



**Viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema solar  
fotovoltaico conectado a la red de la cabaña Mirador del Mar en la vereda El  
Manantial en el municipio de Santa Marta**

Modalidad: Seminario

Rosemberg Fabián Rodríguez Sánchez

CC 1096215891

Helman Camilo Serrano Botello

CC 1057590213

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS  
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÁNICO  
BARRANCABERMEJA, SANTANDER: 03-07-21**



**Viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema solar  
fotovoltaico conectado a la red de la cabaña El Mirador del Mar en la vereda El  
Manantial en el municipio de Santa Marta**

Modalidad: Seminario

Rosemberg Fabián Rodríguez Sánchez  
CC 1096215891

Helman Camilo Serrano Botello  
CC 1057590213

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Tecnólogo en Operación y Mantenimiento Electromecánico

**DIRECTOR**

Alfredo Rafael Acevedo Picón  
Fabio Alfonso Gonzalez

Grupo de investigación en energía – GIE

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍAS  
TECNOLOGÍA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECAÍNICO  
BARRANCABERMEJA, SANTANDER: 03-07-21**

## Nota de Aceptación

---

---

---

---

FA A. GONZÁLEZ

Firma del Evaluador

Alfredo Acevedo

Firma del director

## DEDICATORIA

Este trabajo fue realizado con un gran esfuerzo, no solo mío, sino de un número muy grande de personas, a quien le dedico este logro. La culminación de esta investigación se la dedico en primera medida a Dios, por darme la fortaleza para continuar cuando los ánimos decaían, a mis padres por apoyarme en cada momento, y a toda mi familia por confiar en mí.

*Rosemberg Fabián Rodríguez Sánchez*

Este logro se lo dedico a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría para afrontar este proceso académico. Así mismo, se lo dedico a mis padres, que fueron mis motores para salir adelante, sin su ayuda esto no habría sido posible.

*Helman Camilo Serrano Botello*

## **AGRADECIMIENTOS**

Aunque se quedan cortas las palabras de agradecimiento, merecen una mención especial, nuestro director de investigación Alfredo Rafael Acevedo Picón, de quien recibimos ayuda constante para la culminación de este proyecto, con sus correcciones oportunas y su ánimo para hacer de este un importante proyecto de investigación. A los Profesores de Unidades Tecnológicas de Santander que nos han visto crecer como personas, y gracias a sus conocimientos hoy podemos sentirnos dichosos y contentos.

## TABLA DE CONTENIDO

<b><u>RESUMEN EJECUTIVO.....</u></b>	<b>10</b>
<b><u>INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b>11</b>
<b><u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</u></b>	<b>13</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS .....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	16
<b><u>2. MARCO REFERENCIAL .....</u></b>	<b>21</b>
2.1. ENERGÍAS RENOVABLES .....	21
2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	21
2.3. EFECTO FOTOELÉCTRICO.....	21
2.4. EFECTO FOTOVOLTAICO .....	22
2.5. FUNDAMENTOS DE LAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS .....	23
2.6. SEMICONDUCTORES.....	23
2.7. UNIÓN PN .....	24
2.8. RADIACIÓN SOLAR.....	25
2.9. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS .....	27
2.10. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO Y SUS PRINCIPALES COMPONENTES.....	28
2.11. CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	28
2.12. PANELES SOLARES .....	29
2.13. NORMATIVA DEL USO E INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS .....	31
<b><u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....</u></b>	<b>32</b>
3.1. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.1.1. PRIMERA FASE .....	33
3.1.2. SEGUNDA FASE .....	34
3.1.3. TERCERA FASE .....	37
<b><u>4. DESARROLLO DEL PROYECTO .....</u></b>	<b>38</b>
4.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	38
4.2. RADIACIÓN SOLAR EN SANTA MARTA .....	38

<b>4.3.</b>	<b>HORAS DE SOL .....</b>	<b>39</b>
<b>4.4.</b>	<b>CONDICIONANTES DE LA LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>40</b>
<b>5.</b>	<b><u>RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>42</u></b>
<b>5.1.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE LOS PRODUCTOS .....</b>	<b>42</b>
5.1.1.	LEVANTAMIENTO DE CARGAS.....	42
5.1.2.	CÁLCULO DE LAS HORAS DE PICO SOLAR.....	43
5.1.3.	SELECCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ACUERDO CON SU ESTRUCTURA .....	43
5.1.4.	PANELES FOTOVOLTAICOS.....	43
5.1.5.	ARREGLO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS E INVERSORES NECESARIOS .....	45
5.1.6.	ADECUACIÓN DE LOS PANELES SOLARES A LOS ESPACIOS DISPONIBLES.....	48
5.1.7.	EQUIPOS DE MEDIDA .....	50
5.1.8.	EQUIPOS DE PROTECCIÓN .....	52
<b>5.2.</b>	<b>TOPOLOGÍA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>53</b>
<b>5.3.</b>	<b>PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....</b>	<b>55</b>
<b>5.4.</b>	<b>INVERSIONES Y FINANCIAMIENTO .....</b>	<b>56</b>
<b>5.5.</b>	<b>INGRESOS PROYECTADOS.....</b>	<b>57</b>
<b>5.6.</b>	<b>COSTO SERVICIOS .....</b>	<b>61</b>
<b>5.7.</b>	<b>FLUJO DE CAJA Y DETERMINACIÓN DEL VAN Y TIR.....</b>	<b>61</b>
<b>6.</b>	<b><u>CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b>7.</b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>67</u></b>
<b>8.</b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</u></b>	<b><u>68</u></b>
<b>9.</b>	<b><u>ANEXOS.....</u></b>	<b><u>70</u></b>
9.1.	ANEXO 1. AUTORIZACIÓN PROPIETARIOS MIRADOR DEL MAR.....	70
9.2.	ANEXO 2. FICHA TÉCNICA MÓDULO FOTOVOLTAICO CS3W-415P.....	71
9.3.	ANEXO 3. FICHA TÉCNICA INVERSOR HIBRIDO 5 KVA.....	72
9.4.	ANEXO 4. FICHA TÉCNICA MEDIDOR SMART METER TS 65A-3 .....	73
9.5.	ANEXO 5. FICHA TÉCNICA DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN SOBRE CONTRA TENSIONES DPS DC Tipo 2 FSP – D40.....	74

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura. 1</b> Efecto Fotoeléctrico .....	22
<b>Figura. 2</b> Semiconductores .....	23
<b>Figura. 3</b> Unión P-N .....	24
<b>Figura. 4</b> Irradiación solar por ubicación Geográfica .....	26
<b>Figura. 5</b> Fases de la Investigación.....	33
<b>Figura. 6</b> Ubicación Geográfica Cabaña Mirador del Mar.....	38
<b>Figura. 7</b> Radiación Solar en Colombia y Santa Marta .....	39
<b>Figura. 8</b> Horas de Sol en Mirador del Mar.....	40
<b>Figura. 9</b> Arreglo de los Módulos por cada Inversor .....	47
<b>Figura. 10</b> Infraestructura de la cabaña Mirador del Mar.....	48
<b>Figura. 11</b> Área de instalación de los módulos solares.....	48
<b>Figura. 12</b> Dimensiones Módulo CS3W-415P .....	49
<b>Figura. 13</b> Distribución módulos solares en techos de la cabaña .....	50
<b>Figura. 14</b> Medidor SMART METER TS 65A-3 .....	51
<b>Figura. 15</b> Dispositivo DPS DC Tipo 2.....	52
<b>Figura. 16</b> Sistema PV con Inversor por cada Módulo.....	53
<b>Figura. 17</b> Esquema Instalación Fotovoltaica.....	54
<b>Figura. 18</b> Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico.....	54

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Componentes y Funciones de un Sistema Fotovoltaico.....	28
<b>Tabla 2.</b> Normativa Vigente en Colombia .....	31
<b>Tabla 3.</b> Levantamiento de cargas cabaña Mirador del Mar .....	42
<b>Tabla 4.</b> Propiedades Eléctricas Módulo CS3W-415P.....	44
<b>Tabla 5.</b> Propiedades Eléctricas Inversor Híbrido 5 Kva .....	46
<b>Tabla 6.</b> Presupuesto de los Equipos e Insumos.....	55
<b>Tabla 7.</b> Presupuesto de Gestión, Mano de Obra y Comunicación.....	56
<b>Tabla 8.</b> Amortización Crédito .....	56
<b>Tabla 9.</b> Ingresos Proyectados Cabaña Mirador del Mar .....	58
<b>Tabla 10.</b> Ahorro anual con la implementación del sistema fotovoltaico .....	58
<b>Tabla 11.</b> Ingresos de la Cabaña Mirador del Mar .....	60
<b>Tabla 12.</b> Costo de los servicios de la cabaña Mirador del Mar.....	61
<b>Tabla 13.</b> Flujo de Caja del Proyecto.....	62
<b>Tabla 14.</b> Indicadores Financiero VAN y TIR .....	62

## RESUMEN EJECUTIVO

La energía solar fotovoltaica es una energía con muchos años de estudio, pero que ha sido implementada hace muy poco, siendo una de las principales alternativas actualmente, debido a que es amigable con el medio ambiente e implica notablemente una reducción de costos. Teniendo en cuenta lo anterior, nace la necesidad de determinar la viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la cabaña Mirador del Mar en la vereda el Manantial en el municipio de Santa Marta, esto es posible mediante la recopilación de información de los principales sistemas fotovoltaicos conectados a la red, que permitirán determinar la capacidad eléctrica instalada en la cabaña, para describir el uso eléctrico y posteriormente seleccionar la topología y componentes óptimos para el sistema fotovoltaico, que ayudarán a realizar un análisis económico teniendo en cuenta los ingresos y egresos ocasionados en el proyecto. La investigación realizada fue de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo, buscando generar una descripción del sistema implementado a través de mediciones. La investigación determinó que el proyecto es viable tanto técnica como económicamente, concluyendo que, la infraestructura de la cabaña permite la instalación de un sistema que abastece el 66% de la carga. Con lo anterior se calculó una tasa interna de retorno del 42%, con un valor actual neto de \$ 9.885.480, haciendo viable el proyecto.

**PALABRAS CLAVE.** Energía Solar, Sistema Fotovoltaico, viabilidad, módulo solar, Turismo.

## INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica actualmente se da por diversas fuentes que son renovables y amigables con el medio ambiente, el avance investigativo de este tipo de energías está centrado en la producción de electricidad porque esta se vincula directamente con el desarrollo tecnológico y el crecimiento económico.

Partiendo de lo anterior, se hace necesario buscar nuevas fuentes energéticas que permitan satisfacer las necesidades actuales, garantizando el desarrollo y crecimiento tecnológico. El desarrollo debe ir en paralelo con los requerimientos ambientales y la reducción de los efectos asociados al cambio climático producido por el uso de energías tradicionales, que ha generado el debate entre la sostenibilidad económica y ambiental, donde se ha alcanzado un punto en el que los precios de los combustibles fósiles no son una buena alternativa ni económica y mucho menos ambiental.

El presente trabajo investigativo considera lo descrito anteriormente, para estudiar la viabilidad técnica y financiera de un sistema fotovoltaico, con el fin de estimular el uso de este tipo de energías, concientizar sobre el cuidado ambiental y cambio climático, y establecer buenas prácticas en la manipulación y uso de energías renovables. Para Beltrán- Telles, en los últimos años ha crecido de forma notable el interés por la utilización de la energía solar, pues se encuentra disponible en mayor o menor medida en todo el planeta, y su adecuado aprovechamiento permite el crecimiento tecnológico y económico sustentable.

Conociendo la importancia actual de la energía solar, en Colombia la Unidad de Planeación Minero-Energética realizó estudios en el 2019 que determinaron que el país cuenta con una irradiación solar promedio de 4,5 kWh/m/d, datos que son muy prometedores y ubican al país como uno de los de mayor potencial para el uso de

energías renovables en el mundo. Debido a esto, el presente documento busca presentar de forma detallada el estudio de factibilidad en la implementación de un sistema de energía solar en la cabaña El Mirador del Mar ubicada en la vereda el Manantial en el municipio de Santa Marta. Los resultados permitirán brindar alternativas en la planificación de una cabaña que sea autosustentable, ayudando a reducir los costos que implica tener un sistema de energía eléctrica ineficiente, además de incentivar el uso de energías que sean amigables con el medio ambiente.

El presente proyecto de investigación estará dividido en 6 capítulos, el capítulo 1 hará una descripción general del trabajo de investigación, presentando el problema que llevó a la realización del proyecto, justificando su alcance y describiendo sus objetivos para posteriormente plantear el estado del arte, en el capítulo 2 se presenta el marco referencial, donde se describen las doctrinas, postulados o teorías que ya son de conocimiento universal, y que fundamentan la solución de la problemática planteada, en el capítulo 3 se define el diseño de la investigación abordando el tipo de investigación, el enfoque, el método y los procedimientos empleados para desarrollar adecuadamente los objetivos planteados, en el capítulo 4 se presentan los resultados del proceso de investigación, para posteriormente en los capítulos 5 y 6 describir las conclusiones y recomendaciones respectivamente.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años la región caribe ha tenido una crisis notable en el servicio de energía eléctrica, presentando fallas constantes y sobrecostos que han generado un descontento generalizado en habitantes de ciudades como Santa Marta (Cortés & Arango, 2017). Partiendo de esto, los propietarios de la cabaña turística Mirador del Mar han evidenciado un elevado costo en las facturas de generación eléctrica, y fallas continuas que afectan la experiencia de los turistas, esto los ha llevado a cerrar la cabaña por temporadas de más de 2 meses, y en algunos momentos buscar alternativas como la reducción de electrodomésticos, reemplazo de aires acondicionados por ventiladores, establecer un horario para el uso de la piscina y Jacuzzi, pero nada de esto se ha reflejado en la factura del servicio eléctrico.

Considerando la problemática mencionada y el gran potencial del país para la generación de energía fotovoltaica, este proyecto es importante porque brinda alternativas de generación de electricidad a través del aprovechamiento mesurado de los recursos naturales (Hernandez, Velasco, & Trujillo, 2017). Se busca estudiar de forma detallada la implementación de un proyecto de energía solar que esté conectado a la red eléctrica, que permita reducir el impacto ambiental ocasionado por el uso de energías convencionales que producen un sinnúmero de gases de efecto invernadero (Fernández, 2009). Lo anterior llevó a los propietarios de la cabaña Mirador del Mar a realizar la siguiente pregunta: ¿Qué tan viable es técnica y financieramente la construcción de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

En Colombia la energía eléctrica se suministra mediante el Sistema de Interconexión Nacional (SIN), y aquellas regiones que no se encuentran interconectadas cuentan con sistemas aislados. El SIN cubre cerca de la tercera parte del territorio nacional, llegando a más del 96% de la población. Por su parte las zonas no interconectadas son cerca del 4% de la población (UPME, 2019). Lo anterior demuestra que, aunque la mayor parte de los colombianos cuenta con servicios de energía eléctrica, cerca de 2,3 millones de personas no tienen acceso a ella (Ocampo, 2019).

En las regiones donde no se tiene un sistema interconectado de energía eléctrica son en su mayoría rurales, donde las condiciones de electrificación son particularmente difíciles, y en su mayoría requieren del uso casi exclusivo de Diesel y su potencial energético es mínimo (Hernández, 2019). En los últimos años se ha evidenciado de forma lamentable la ausencia de empresas electrificadoras que brinden eficientemente servicios de distribución y comercialización energética en la zona caribe de Colombia, lo que ha llevado a problemas constantes por los costos excesivos y los malos servicios brindados. Por ello aparece como una alternativa eficiente, la implementación de energía solar, aprovechando el gran potencial del país (Rivas, 2020).

La investigación realizada pretende elaborar un estudio de factibilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema de energías limpias en la cabaña Mirador del Mar basado en la energía solar fotovoltaica que ayude a reducir los problemas asociados al suministro de energía en la costa Atlántica de Colombia y más específicamente en la vereda El Manantial del municipio de Santa Marta.

Debido a los elevados costos del servicio eléctrico que han reducido el margen de ganancia de la cabaña Mirador del Mar, sumado a los problemas constantes en la red eléctrica, es evidente la necesidad de encontrar una alternativa que permita tener un servicio eléctrico de forma segura, continua, limpia y económica, mejorando la experiencia de las personas que contraten el servicio de hospedaje, permitiendo reducir los precios y generando mayores ganancias para sus propietarios.

Debido a la necesidad de los propietarios de la cabaña por ofrecer un mejor servicio y obtener mayores ingresos, se realizarán estudios para la implementación de un sistema de energía fotovoltaico eficiente, que concluyan en una solución económica y técnica que cumpla con los requerimientos actuales y estén basados en proyectos realizados a nivel mundial, obteniendo resultados óptimos que permitan recuperación de la inversión y dejen a un lado la dependencia en energías convencionales, sacando ventaja de factores meteorológicos debido a la ubicación geográfica de la cabaña, generando innovación y conversión energética en la región caribe y en el país (IDEAM, 2015).

El proyecto realizado busca fundamentar las bases para estudios posteriores en la institución Unidades Tecnológicas de Santander, en temas como el diseño y la evaluación de proyectos de instalación fotovoltaica, además de servir como materia prima en la construcción investigativa del Grupo de investigación en energía GIE. Teniendo en cuenta lo anterior, es importante decir que, la investigación realizada parte de la necesidad de UTS por apoyar el uso de energía amigables con el medio ambiente y que reduzcan de forma considerable las emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de ubicarse como una de las principales instituciones en la búsqueda de estrategias para la conservación ambiental.

### **1.3. OBJETIVOS**

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

Determinar la viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la cabaña El Mirador del Mar en la vereda el Manantial en el municipio de Santa Marta.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar los parámetros de diseño del sistema solar fotovoltaico para la cabaña Mirador del Mar, a través de la medición y el análisis de la carga actual y la identificación de la demanda energética.
- Desarrollar un estudio detallado de la irradiación solar y los cálculos necesarios para determinar el número de paneles solares requeridos para la generación de potencia en el sistema de distribución de la cabaña Mirador del Mar, mediante el dimensionamiento y caracterización de los equipos en términos de calidad, costos y eficiencia.
- Desarrollar el estudio financiero del sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la cabaña El Mirador del Mar, mediante determinación de indicadores financieros, para determinar si es viable el proyecto y brindar recomendaciones para su implementación a sus propietarios.

### **1.4. ESTADO DEL ARTE**

Uno de los principales referentes a nivel internacional es la investigación realizada por Mohammad Ramadhan y Adel Nseeb, denominada “The cost benefit analysis of

implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait” publicada en el año 2018 en la revista Renewable Energy. Esta investigación parte de la problemática relacionada con el alto costo financiero de los recursos eléctricos necesarios para satisfacer la creciente demanda de electricidad en Kuwait, algo que ha incrementado de manera exponencial el impacto ambiental ocasionado por el uso desmedido de los combustibles fósiles. Partiendo de este problema, la investigación tuvo como objetivo determinar la viabilidad económica y técnica para la implementación de energía solar fotovoltaica en el Estado de Kuwait. Los resultados obtenidos permitieron determinar que existen muchas características positivas de la radiación solar asociados a la ubicación geográfica de Kuwait, haciendo viable la implementación de paneles solares. El análisis de costo-beneficio demostró que al considerar los recursos energéticos ahorrados y la disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>, la implementación de un sistema fotovoltaico disminuye notablemente los costos de un sistema de generación eléctrica que utiliza fuentes convencionales de energía (Ramadhan & Naseeb, 2018).

A nivel nacional el principal estudio fue el realizado por Hernández, Velasco & Trujillo en el año 2017, publicado en la revista Renewable and Sustainable Energy Reviews, denominado “Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia”. Este estudio parte de la concepción de los sistemas fotovoltaicos como alternativas esenciales para el aprovechamiento energético, que deben ser instauradas por los estados y las grandes economías a nivel mundial. Partiendo de lo anterior, la investigación busca describir de forma detallada las características principales del uso de energías renovables en Colombia, haciendo énfasis de la energía fotovoltaica. Sumado a esto, se analizará la posibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico como una opción de generación energética en el país, considerando sus perspectivas a futuro. El estudio concluye que la generación energética mediante paneles fotovoltaicos es una opción viable que considera no solo una reducción en los

costos, sino también brinda una alternativa que se acopla a los requerimientos medio ambientales de la actualidad (Hernandez, Velasco, & Trujillo, 2017).

En el año 2019, Ángel Humberto Hernández Urriago presentó la investigación denominada “Análisis de factibilidad técnica de un sistema de energía solar fotovoltaico en la estación de servicio Cootransgigante LTDA” en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. El estudio tuvo como objetivo determinar la factibilidad técnica y económica de llevar a cabo un sistema de energía fotovoltaica, considerando como principal variable la demanda energética requerida para el adecuado funcionamiento, realizado esto se procedió al desarrollo de un enfoque de gestión de costos que permitió a la empresa realizar el proyecto de una forma eficaz, atendiendo los requerimientos técnicos y financieros. El estudio concluye de una manera muy prometedora, al determinar que la inversión realizada por la estación de servicio genera ganancias a partir del segundo año, que es un plazo mucho menor que el obtenido en otras evaluaciones, además de ayudar a la reducción de gases de efecto invernadero que tanto ha afectado a regiones del departamento del Huila (Hernández, 2019).

La investigación de Luis Miguel Ocampo Taborda realizada en el año 2019 en la Universidad Autónoma de Occidente de la ciudad de Cali, y denominada “Estudio de prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico de 1Mw para generación de energía eléctrica”, es un referente importante, ya que tiene como objetivo principal estudiar la prefactibilidad de la construcción de una granja solar fotovoltaica de 1 Mw, respondiendo a los intereses energéticos de la empresa Desarrollamos Ingeniería LTDA de la ciudad de Pereira. Mediante el estudio realizado se pretende dar a conocer los beneficios que trae consigo el uso de la energía solar no solo para las empresas, sino para la sociedad en general y para aquellos que ven en esta alternativa una mejora en los procesos energéticos actuales. Lo anterior es estudiado mediante la definición clara de los conceptos, variables, y parámetros que

son tenidos en cuenta a la hora de realizar una inversión. Los resultados de esta investigación determinaron que, mediante el conocimiento del estado actual de consumo de la empresa, es posible diseñar un plan de ahorro energético que permita a futuro reducir los gastos de operación, contribuyendo de forma notable con el crecimiento de la empresa (Ocampo, 2019).

En la Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el año 2019 se presentó la investigación “Factibilidad de implementación de un sistema fotovoltaico en el parque logístico El Zol en Funza Cundinamarca”. El estudio parte del análisis de la ventaja comparativa de Colombia respecto a radiación solar debido a sus condiciones geográficas, partiendo de esto plantea como objetivo principal, analizar de forma técnica y económica el desarrollo de un sistema fotovoltaico en una empresa del municipio de Funza-Cundinamarca. El análisis realizado permitió establecer los materiales requeridos y su costo, además de considerar la mano de obra, y las actividades necesarias para la puesta en marcha del proyecto; posterior a ello, se realizó un análisis financiero minucioso que ayudo a concluir que es una buena alternativa considerar la generación eléctrica a través de un sistema fotovoltaico, pues la normatividad vigente entrega beneficios de carácter tributario por la implementación de estas estrategias (Sánchez & Casas, 2019).

Una de las investigaciones recientes más importantes a nivel mundial fue la realizada por Shoufeng Qiu, Ku Wang, Boqiang Lin y Ping Lin, denominada “Economic analysis of residential solar photovoltaic systems in China” presentada en el Journal of Cleaner Production en el 2021. El estudio parte de una descripción detallada del crecimiento de las instalaciones residenciales de energía solar fotovoltaica en China en los últimos años, evidenciando con estadísticas mundiales que aún no se tiene el conocimiento adecuado para desarrollar estudios económicos y técnicos. Partiendo de lo anterior, la investigación intenta realizar una evaluación económica completa de los sistemas fotovoltaicos residenciales en China, partiendo

de metodologías utilizadas a nivel mundial. Los resultados obtenidos determinaron que es probable que el auge de las instalaciones fotovoltaicas residenciales retroceda en los próximos años a medida que la población no reciba subsidios centrales y locales por el uso de energías amigables con el medio ambiente, a pesar de ello, algunos proveedores de energía solar a nivel mundial compensan estas deficiencias gubernamentales con el aumento de la generación anual de energía y la reducción del costo inicial, promoviendo la transición energética (Qiu, Wang, Lin, & Lin, 2021).

## **2. MARCO REFERENCIAL**

### **2.1. Energías renovables**

Las energías renovables hacen referencia a cualquier energía que tiene su origen en fuentes solares, geofísicas y que logran ser restauradas de forma natural a un ritmo semejante o superior al de su utilización (Giraudit, Massipe, & Rodriguez, 2014). Su gran diferencia respecto a las energías no renovables radica en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, sin generar gases de efecto invernadero que puedan acelerar el cambio climático, lo que han incrementado el interés de los países en diversificar sus fuentes de obtención de energía, incorporando energías renovables en el sistema eléctrico (Hernandez, Velasco, & Trujillo, 2017).

### **2.2. Energía Solar Fotovoltaica**

Un sistema fotovoltaico es la transformación de radiación solar en electricidad sin ningún tipo de movimiento mecánico esta transformación es posible gracias a unos dispositivos llamados paneles fotovoltaicos, que hacen que la radiación solar incida en las células fotovoltaicas.

### **2.3. Efecto Fotoeléctrico**

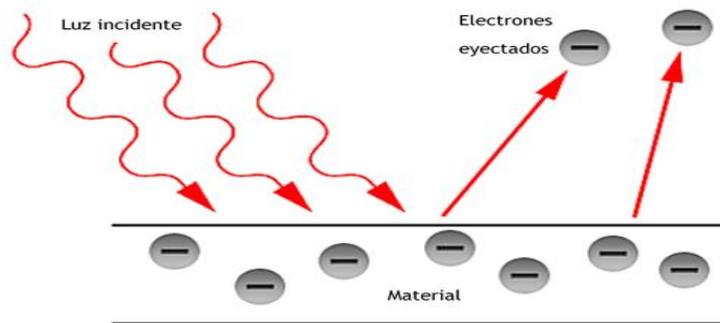
El efecto fotoeléctrico es definido como aquel fenómeno de carácter físico que permite la transformación de la energía obtenida mediante radiación electromagnética en electricidad mediante el movimiento de electrones. Este efecto fue estudiado por muchos científicos de los cuales se destacan:

Edmond Becquerel en 1839 Observó por primera vez el efecto fotoeléctrico: iluminó uno de los electrodos de una solución electrolítica y observó un voltaje. Lenard en 1902 realizó medidas experimentales del efecto fotoeléctrico sobre superficies

sólidas. Albert Einstein en 1905 dio una explicación del efecto fotoeléctrico basado en los cuantos de energía de la luz (fotones) (Rodríguez & Cervantes, 2006).

Einstein fue quien instauró el estudio del efecto fotoeléctrico, estableciendo que la luz está conformada por partículas que denominó fotones, y el viaje de un rayo de luz como una onda se da cuando existe una corriente de fotones. Lo anterior puede explicarse al describir el comportamiento de un rayo de luz que incide sobre un material, produciendo un desprendimiento de electrones por el choque de fotones, estos electrones pueden ser utilizados para la formación de una corriente eléctrica. Lo anterior puede ilustrarse en la siguiente figura (Martinez, 2018).

**Figura. 1 Efecto Fotoeléctrico**



*Fuente:* (SESLAB, 2014)

La obtención de energía eléctrica mediante módulos solares y células fotovoltaicas es una de las principales aplicaciones del efecto fotoeléctrico.

## 2.4. Efecto Fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es un proceso que nace del efecto fotoeléctrico, y es aquel que permite obtener corriente eléctrica partiendo del movimiento de electrones generado por la radiación, un ejemplo de ello son las células fotovoltaicas.

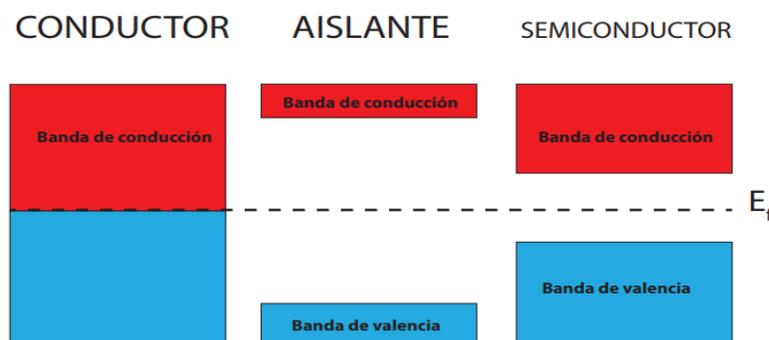
## 2.5. Fundamentos De Las Células Fotovoltaicas

Las células solares son dispositivos básicos de conversión fotovoltaica, cuyos módulos están formados por pequeñas células solares interconectadas y encapsuladas. Estos sistemas utilizan módulos solares con características óptimas en cuanto a estructuras de soporte, interconexión y electrónica. Estas células se componen de materiales semiconductores P y N unidos (unión PN).

## 2.6. Semiconductores

Un material semiconductor es aquel que se encuentra en un estadio intermedio entre un material conductor y uno aislante. Entre los semiconductores más importantes se encuentran el Silicio y el Germanio, sin embargo, existe un gran número de materiales formados por la combinación de determinados elementos que tienen estas características.

**Figura. 2 Semiconductores**



Fuente: (SCD, 2014)

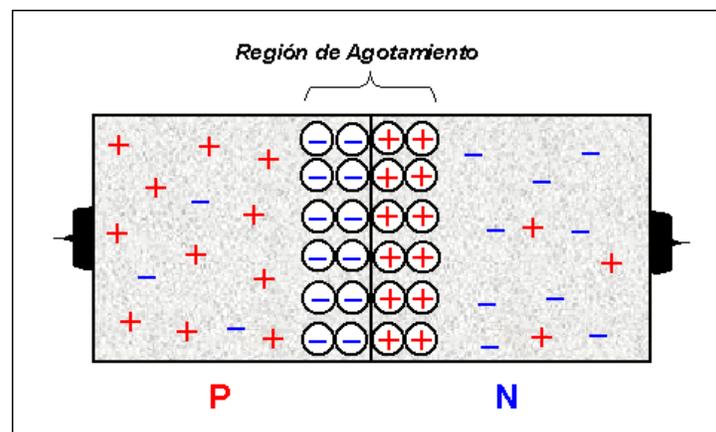
Los semiconductores tienen una energía de gap ( $E_g$ ) entre 1 y 2 eV. Con esta baja  $E_g$ , algunos electrones pueden saltar de la banda de valencia a la de conducción. Tanto el electrón como el estado vacío de la banda de valencia contribuyen al transporte electrónico como se observa en la figura 3.

Cuando un semiconductor es iluminado con fotones lo suficientemente energéticos, los electrones pueden pasar de la banda de valencia a la de conducción. Como consecuencia de la baja iluminación la densidad de electrones y huecos es mayor que en la oscuridad (Memming, 1988).

## 2.7. Unión PN

Los materiales semiconductores pasan por un proceso donde se introducen átomos de otros elementos, permitiendo la obtención de materiales con características eléctricas diferentes, estos materiales se denominan tipo N y tipo P. Los materiales tipo P son obtenidos mediante elementos como el Boro, por su parte para la formación de materiales tipo N es necesario elementos como Fósforo. La estructura más común de una célula solar es la unión de un semiconductor dopado P con otro dopado N (la unión PN). En la oscuridad se comporta como un diodo semiconductor (Maloberti, 2015).

**Figura. 3** Unión P-N



Fuente: (EcuRed, 2011)

En la unión PN en el lado tipo-N los electrones serán las cargas libres, mientras que en la parte tipo-P serán los huecos. Como consecuencia del diferente tipo de transporte electrónico se pierde la neutralidad electrónica apareciendo un campo eléctrico interno (E). Este campo es el que produce un potencial entre las dos zonas del semiconductor (PN) como se puede evidenciar en la figura 3. En otras palabras, cuando incide luz sobre la célula, el electrón gana la energía necesaria para “liberarse”, y este a su vez es recogido por un material conductor en una de las caras de la celda, el material conductor puede conectarse a una carga generando flujo eléctrico que lleva electrones a través de la carga y de vuelta a la celda (SESLAB, 2014). La electricidad producida en un sistema PV depende de la radiación solar de su ubicación y de las especificaciones técnicas del sistema.

## 2.8. Radiación Solar

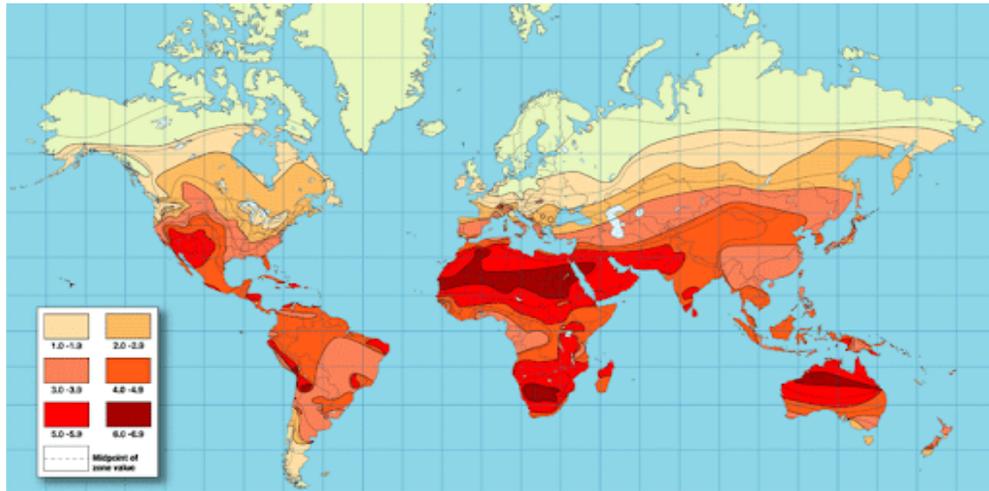
La radiación solar puede definirse dependiendo de la forma en que incide en la superficie terrestre, existiendo tres tipos que son:

- Radiación Directa: es aquella que llega a un punto determinado de la superficie terrestre pasando por la atmósfera sin obstáculos, permitiendo un mayor aprovechamiento del potencial energético.
- Radiación Difusa: este tipo de radiación, aunque llega a la superficie terrestre necesita pasar por la atmósfera y atravesar obstáculos, entre ellos las nubes, reduciendo de forma notable su potencial energético.
- Radiación Reflejada o Albedo: es la radiación que al pasar por la atmósfera se refleja en el suelo o superficies cercanas.

La cantidad de radiación solar que puede recibir un punto en la superficie de la tierra depende de muchos factores (IDEAM, 2015):

- **Condiciones meteorológicas:** estas condiciones afectan de forma notable la obtención directa de radiación solar, en un punto determinado de la tierra la radiación puede variar dependiendo si es un día nublado o soleado, en este último la radiación directa puede ser de hasta el 90%.
- **Inclinación del sistema de captación:** cuando se requiere obtener radiación directa de forma eficiente el sistema de captación debe formar un plano horizontal, en cambio, cuando se busca aprovechar de forma óptima la radiación reflejada el plano debe cambiar su ángulo alejándose de la horizontalidad. Para el mayor aprovechamiento de la radiación, es necesario optimizar la inclinación del sistema de captación.
- **Superficies reflectantes:** las superficies cercanas al sistema de captación pueden ayudar a la obtención óptima de radiación reflejada, este es el caso de la nieve que permite reflejar la radiación de una forma mucho más eficiente que el césped o la tierra.
- **Posición de la superficie respecto al sol:** para un aprovechamiento óptimo de la radiación solar es necesario que la incidencia de los rayos se de lo más perpendicularmente posible respecto a la superficie de captación.

***Figura. 4 Irradiación solar por ubicación Geográfica***



*Fuente:* (Baraňao, 2010)

La anterior figura muestra la irradiación solar a nivel mundial de forma geográfica, demostrando que aquellas regiones que se encuentran en latitudes ecuatoriales reciben mayor radiación directa, haciendo posible que en estos puntos la obtención de energía solar sea más eficiente.

## 2.9. Instalaciones Fotovoltaicas

Según su función y ubicación se pueden clasificar en dos tipos (Energiza, 2021):

- En isla. No se conectan a la red de distribución, su utilidad está guiada en la autogeneración.
- Conectadas a la red de distribución. La totalidad o una porción de la energía que se produce se inyecta a la red de distribución eléctrica.

## 2.10. Principios de funcionamiento de un sistema fotovoltaico y sus principales componentes

Los sistemas fotovoltaicos son estudiados como la integración de componentes o equipos que realizan las funciones que se describen a continuación:

**Tabla 1.** Componentes y Funciones de un Sistema Fotovoltaico

Funciones	Componentes
Transformación eficiente y directa en energía eléctrica de la energía obtenida del sol.	Panel fotovoltaico
Almacenamiento de la energía eléctrica obtenida.	Baterías
Regulación de la carga y voltaje	Regulador de carga
Suministro adecuado de la energía eléctrica	Inversor (CD/CA)
Utilización eficiente de la energía almacenada	Cargas CD/ CA

Fuente: (Cortés & Arango, 2017)

## 2.11. Configuraciones de los Sistemas Fotovoltaicos

- Sistemas fotovoltaicos conectados directamente a una carga: El funcionamiento de este sistema es simple, ya que permite la conexión directa del módulo fotovoltaico a la carga, en su mayoría hacen referencia a los motores de corriente directa. Este tipo de sistemas no necesitan de baterías o componentes de carácter electrónico, en su mayoría son de carácter diurno, pues no se presenta almacenamiento energético.

- **Sistemas fotovoltaico de corriente directa con cargador fotovoltaico y baterías de almacenamiento:** Estos sistemas son diseñados para trabajar con cargas de corriente directa en horarios nocturnos, incluyendo para su óptimo funcionamiento baterías que se alimentan en el día. Un componente fundamental de estos sistemas, son los reguladores que previenen de sobrecargas a las baterías.
- **Sistemas fotovoltaicos de corriente directa que alimentan cargas de corriente alterna:** Este tipo de módulos trabajan para la producción de corriente eléctrica directa, para su adecuado funcionamiento es necesario contar con inversores que permiten la transformación de electricidad de corriente directa en electricidad de corriente alterna (Sullivan, Uzquiano, & Sandy, 2015).

## 2.12. Paneles Solares

Los paneles solares pueden clasificarse dependiendo de los materiales y métodos utilizados para su construcción. Dentro de los principales tipos de paneles solares se encuentran:

- **Silicio Puro monocristalino:** los paneles de Silicio Puro Monocristalino están formados por secciones de barras de silicio que cristalizan de forma perfecta en una única pieza. El rendimiento de este tipo de paneles es cercano al 16%, sin embargo, mediante trabajo de laboratorio se pueden alcanzar rendimientos cercanos al 25%.
- **Silicio puro policristalino:** aunque los materiales son muy similares a los paneles de Silicio Puro Monocristalino, estos difieren en su cristalización. Las

barras de silicio se estructuran de forma desordenada en cristales pequeños, debido a esto, el rendimiento es inferior, obteniendo en laboratorio porcentajes máximos del 19,8%. Este tipo de paneles debido a sus propiedades físicas tienen un grosor considerable, a pesar de ello, manejos recientes en laboratorio permiten obtener paneles de menor espesor con el cambio de estructura y materiales, haciéndolos más prácticos para el uso en superficies irregulares.

- Silicio amorfo. (TFS): este tipo de paneles, aunque son de silicios, no cuentan con estructura cristalina, debido a esto el rendimiento alcanzado en laboratorio es del 13%, y en usos comerciales es cercano al 8%.
- Arseniuro de Galio: los paneles de Arseniuro de Galio cuentan con rendimientos comerciales superiores a los descritos anteriormente, con un 20%, y rendimientos máximos en laboratorio del 25,7%.
- Diseleniuro de cobre en indio: los paneles de este tipo alcanzan rendimientos comerciales cercanos al 9%, que alcanzan su máximo en laboratorio con el 17%.
- Triple unión: estos paneles unen tres materiales semiconductores que son Arseniuro de Galio, Germanio y Fosforo de Galio Indio, permitiendo alcanzar rendimientos máximos cercanos al 40% (Fernández, 2009).

## 2.13. Normativa del uso e instalación de paneles fotovoltaicos

**Tabla 2.** Normativa Vigente en Colombia

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
NTC 2883 de 2006	Esta norma determina los requerimientos para la aplicación terrestre de los Módulos fotovoltaicos (fv) de silicio cristalino
NTC 5287 de 2009	Establece los requisitos generales y pruebas de ensayo para las baterías para sistemas solares fotovoltaicos.
NTC 5759 de 2010	Determina los procedimientos para la medición del rendimiento de los Sistemas fotovoltaicos y los acondicionadores de potencia.
NTC 5464 de 2010	Estudia los criterios de calificación y homologación de diseño de los Módulos fotovoltaicos (fv) de lámina delgada para uso terrestre.
NTC 5899-1 de 2011	Determina los requisitos de construcción necesarios para los módulos fotovoltaicos, proporcionando las directrices para el funcionamiento mecánico y eléctrico seguro.
NTC 6016 de 2013	Define el comportamiento y rendimiento de los controladores de carga de batería para instalaciones fotovoltaicas.
Ley 1715 de 13 de mayo 2014	Esta ley regula la integración de fuentes de energías renovables y no convencionales al sistema energético nacional.
Decreto 2143 de 2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía, 1073 de 2015, en lo relacionado con la definición de los lineamientos para la aplicación de los incentivos establecidos en el Capítulo III de la Ley 1715 de 2014
Resolución UPME 0281 de 2015	Se determina el límite máximo de potencia para la autogeneración a pequeña escala.
Resolución Min Ambiente 1283 de 8 agosto de 2016	Se determinan los requisitos y procedimientos necesarios para obtener el certificado de beneficio ambiental, necesario en proyectos de fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER, con el fin de obtener los beneficios tributarios estipulados en los artículos 11, 12, 13 y 14 de la Ley 1715 de 2014.
Resolución CREG 030-2018	Se establece la regulación de actividades de autogeneración a pequeña escala y su distribución en el Sistema Interconectado Nacional.

Fuente: (Escobar, Torres, & Hincapie, 2010)

### **3. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

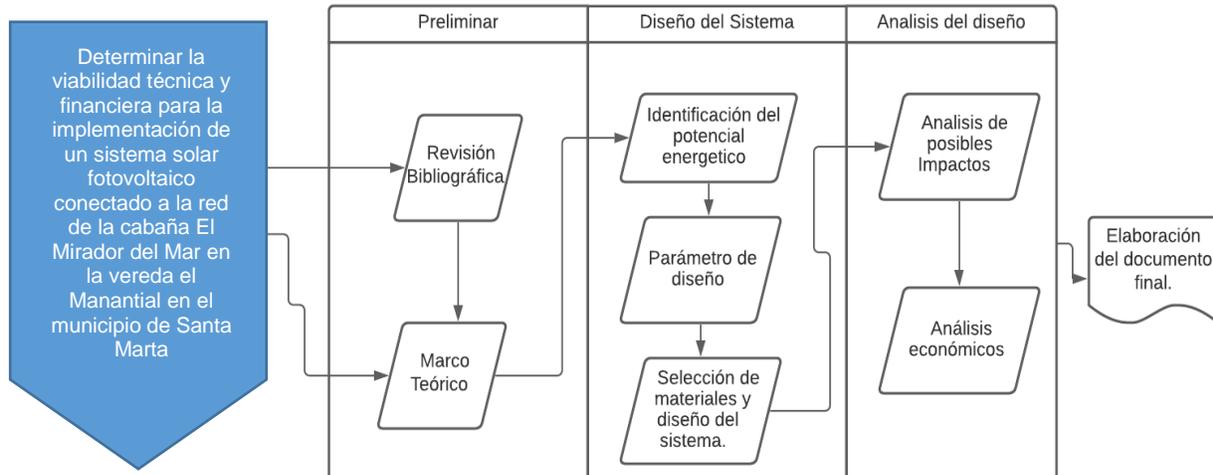
Se llevó a cabo una investigación descriptiva con un enfoque cuantitativo; con el fin de determinar la viabilidad técnica y financiera para la implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la cabaña El Mirador del Mar.

Para clarificar el tipo de estudio realizado en esta investigación se puede definir el concepto de investigación descriptiva como aquella que pretende hacer caracterizaciones de fenómenos, de tal forma que detallan, especifican, y precisan las condiciones, características, componentes, y propiedades que revisten los elementos constitutivos del problema de investigación. No se pretende en este tipo de investigación generar explicaciones causales o interpretaciones generales de un hecho que sean universales, se busca generar una descripción a través de mediciones. Para el desarrollo de esta investigación descriptiva se requirió de un conocimiento previo del problema de investigación con el fin de producir las preguntas más específicas y precisas a partir de las cuales se pretende caracterizar mejor el objeto o problema.

Para la evaluación técnica y financiera de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de la cabaña Mirador del Mar en la vereda El Manantial del municipio de Santa Marta, se utilizó la metodología de investigación aplicada, mediante esta se determinó los elementos y procesos requeridos para el diseño de una cabaña autosustentable.

A continuación, se describen las etapas para el desarrollo efectivo del proyecto, las cuales fueron ilustradas en un flujograma donde se observan las etapas con sus respectivas actividades para dar cumplimiento a los objetivos planteados.

**Figura. 5 Fases de la Investigación**



*Fuentes: Autores*

### 3.1. Fases de la investigación

El desarrollo del proyecto de energía solar fotovoltaica busca hacer de la cabaña El Mirador de Sol un lugar autosustentable, que necesita del consumo ininterrumpido de energía para la prestación de sus servicios. Teniendo en cuenta lo anterior el proyecto contará con las siguientes fases:

#### 3.1.1. Primera Fase

Durante la primera fase del proyecto se obtiene información directamente de la cabaña, que permitirá obtener los consumos energéticos, para posteriormente describir el área de implementación de los paneles solares, reconociendo el recurso solar mediante datos ofrecidos por el IDEAM, estableciendo la radiación en la

cabaña. A partir de lo anterior, se determinan criterios como la localización del proyecto, la descripción general de la cabaña y el tamaño del proyecto.

### 3.1.2. Segunda Fase

La información recolectada en la primera fase del proyecto, permitirán determinar de forma adecuada el número de paneles que se utilizarán, esto se realizará mediante los cálculos que se describen a continuación:

#### 3.1.2.1 Determinación de las horas pico de radiación

Para determinar las horas de mayor radiación o las horas aprovechables de radiación solar es necesario contar con información como la radiación promedio en el lugar de instalación y la mayor radiación por metro cuadrado. La ecuación para calcular las horas pico de radiación es la siguiente:

$$HSP = \frac{\text{Radiación promedio}}{\text{Mayor radiación por } m^2} \quad (1)$$

#### 3.1.2.2 Potencia a Instalar (Pins)

La potencia a instalar puede ser calculada mediante el consumo energético de la cabaña por día conociendo la demanda pico de energía eléctrica mensual:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda mensual}}{1 \text{ mes}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} \quad (2)$$

Calculando el consumo energético se procede a determinar la potencia instalada considerando el consumo diario de la cabaña y la producción energética de los paneles solares de forma segura.

$$P_{ins} = \frac{\text{Consumo de energía por día}}{\text{Horas pico solar}} \quad (3)$$

### 3.1.2.3 Factor de planta (FP)

Este factor es determinado por la diferencia entre las temperaturas en las que está expuesto el panel y las que fue probado en laboratorio donde se selecciona por catálogo una temperatura de 25°C.

$$F_p = \text{Coeficiente de temperatura a } P_{max} \times \text{Diferencia de temperatura en la celda} \quad (4)$$

### 3.1.2.4 Paneles necesarios para la demanda energética

Para calcular el número de paneles necesarios para satisfacer la proporción energética requerida para la cabaña, se necesita conocer tanto la potencia máxima del panel solar como la potencia a instalar.

$$N^{\circ} \text{ de paneles solares} = \frac{\text{Potencia a instalar}}{\text{Máxima potencia generada por el panel solar}} \quad (5)$$

### 3.1.2.5 Dimensiones del panel solar

Es importante conocer el área para la instalación de los paneles solares, que para el presente proyecto corresponde a 64 m<sup>2</sup> que se distribuirán de forma paralela en los techos de la cabaña formando dos líneas diferentes de paneles solares.

### 3.1.2.6 Dimensionamiento banco de baterías

Considerando que el mayor uso energético de la cabaña se da en horario nocturno, debido a la ausencia de luz natural y a la conglomeración del mayor número de personas, requiriendo fuentes de luz artificial. Debido a esto se necesita de un sistema que permita almacenar la energía, que se denomina banco de baterías.

El número de baterías se determina teniendo en cuenta la demanda de energía eléctrica de la cabaña cuando los paneles solares no se encuentren produciendo energía, debido a esto el banco de baterías fue seleccionado teniendo en cuenta lo siguiente:

- Tiempo de autonomía: conociendo las variaciones de radiación respecto a la ubicación geográfica de la cabaña, se busca tener un banco de baterías que proporcione aproximadamente 2 días de autonomía.
- Capacidad del banco de baterías que puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$Cb = \frac{\text{Energía necesaria} \times \text{Días de autonomía}}{\text{Voltaje} \times \text{Profundidad de descarga de la batería}} \quad (6)$$

### **3.1.2.7 Selección del Inversor**

El inversor adecuado fue seleccionado teniendo en cuenta el factor de simultaneidad que se encuentra para usos domésticos entre 0,5 y 0,7, además de conocer de forma adecuada la potencia instalada que generaran los paneles. Es necesario aclarar que el inversor debe tener una potencia mayor a la calculada.

### **3.1.3. Tercera Fase**

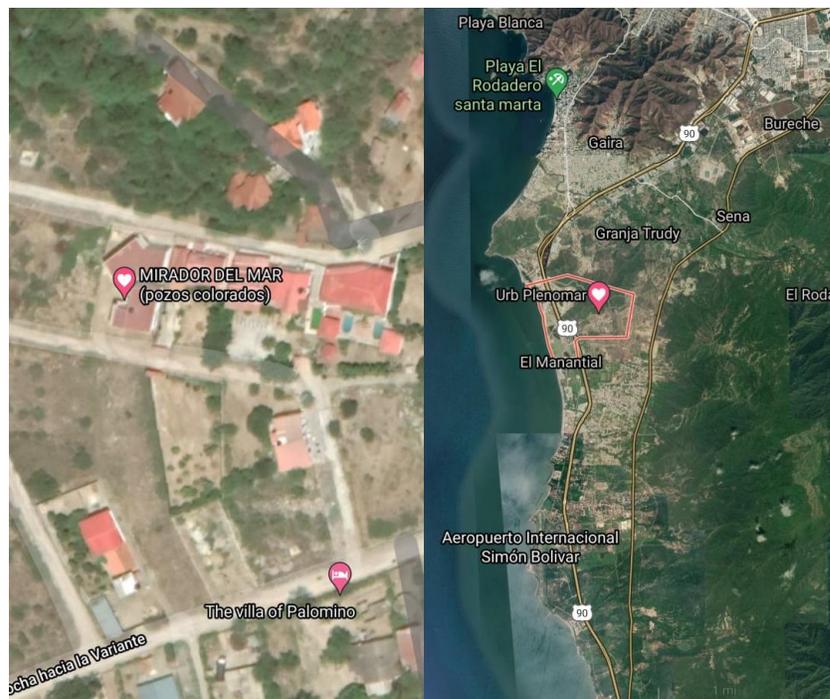
El proyecto finaliza determinando la viabilidad económica de la implementación del sistema de energía solar fotovoltaica para la cabaña Mirador del Mar. Para lo anterior será necesario realizar las cotizaciones de los paneles solares, y los Quepos necesarios, además de estudiar las fuentes de financiamiento y el tiempo de recuperación de la inversión.

## 4. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1. Ubicación Geográfica

La cabaña Mirador del Mar se encuentra ubicada en la Calle 101 con carrera 8 sector pozos colorados de la vereda El manantial en el municipio de Santa Marta.

**Figura. 6** Ubicación Geográfica Cabaña Mirador del Mar

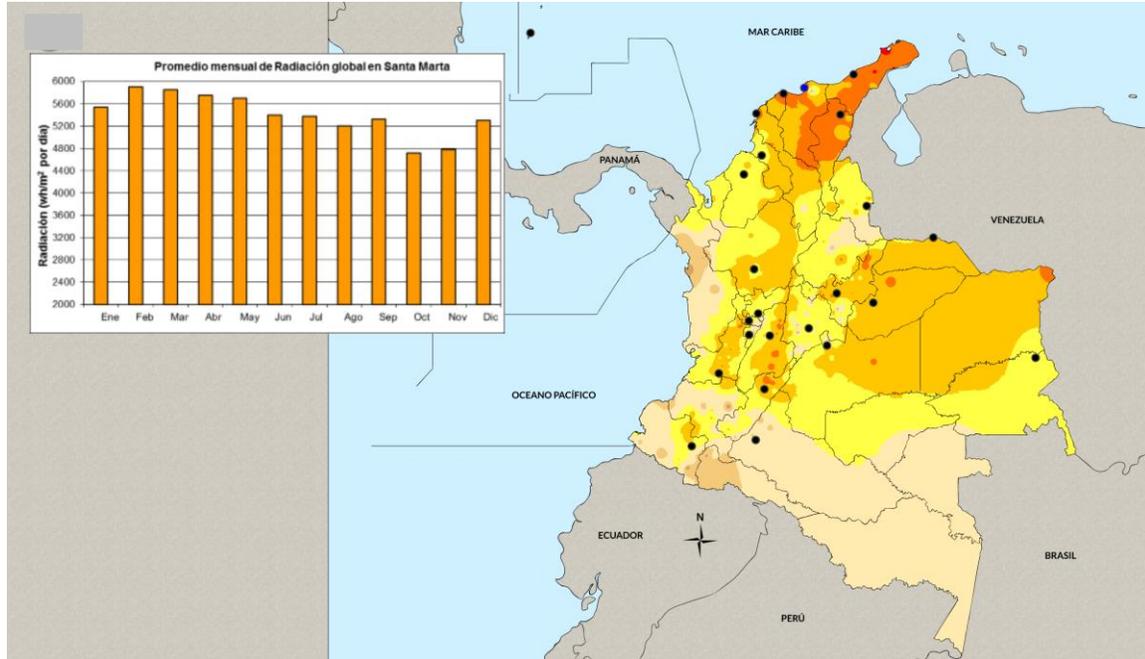


Fuente: (Google, 2021)

### 4.2. Radiación solar en Santa Marta

La radiación solar promedio en Santa Marta se encuentra entre 5 y 5.5 Kwh/m<sup>2</sup> al día esto se puede comprobar con los datos tomados por el servidor Atlas de radiación solar, ultravioleta y de ozono en Colombia.

**Figura. 7** Radiación Solar en Colombia y Santa Marta



*Fuente:* (IDEAM, 2019)

### 4.3. Horas de sol

En la siguiente figura se resumen los datos de radiación solar en las coordenadas 11.16°N, 74.22°W en el sector pozos colorados de la vereda El Manantial del municipio de Santa Marta obtenidos de acuerdo con la información del sistema ATLAS- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

**Figura. 8 Horas de Sol en Mirador del Mar**

ESTACIÓN UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE MAGDALENA (SANTA MARTA)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
1-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2-3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3-4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4-5	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5-6	0,0	0,0	0,8	1,3	5,3	2,3	0,7	0,7	0,5	1,8	0,2	0,0
6-7	36,7	38,1	49,8	71,1	98,3	92,5	82,9	78,7	79,9	77,5	66,0	38,5
7-8	158,1	152,1	178,1	231,8	286,7	274,3	259,6	244,8	248,6	244,6	239,3	208,9
8-9	383,7	392,7	406,7	463,2	485,1	472,7	461,3	432,0	476,1	450,0	450,6	422,9
9-10	584,0	619,3	620,3	640,6	623,6	609,7	604,7	608,6	649,3	601,9	602,3	607,4
10-11	727,3	775,2	773,4	758,9	728,4	717,8	698,2	723,3	756,0	686,9	692,9	727,7
11-12	796,3	843,2	824,2	816,1	779,1	761,3	734,6	752,8	772,5	687,0	695,1	780,1
12-13	791,0	841,3	811,1	802,0	731,7	673,9	699,8	711,9	709,9	604,8	627,3	753,5
13-14	732,0	773,6	756,8	708,6	670,6	626,0	644,4	573,7	595,8	516,5	533,9	663,5
14-15	614,5	654,5	642,8	557,5	562,1	515,7	494,6	466,3	469,4	391,7	432,7	533,7
15-16	441,0	486,0	462,6	403,2	410,4	371,8	368,3	330,8	332,1	284,4	284,4	368,1
16-17	232,3	265,6	252,4	230,5	234,8	197,3	225,5	195,9	176,1	138,0	133,1	167,6
17-18	49,3	72,4	75,6	70,9	80,1	84,8	94,5	80,9	58,8	41,2	39,3	29,5
18-19	2,4	0,3	0,9	0,7	1,8	2,6	1,7	0,7	0,2	0,1	0,1	0,2
19-20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
20-21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
21-22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
22-23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
23-0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Acumulada diaria	5548,5	5914,3	5855,5	5756,4	5698,0	5402,9	5370,9	5201,1	5325,3	4726,5	4797,2	5301,5



Fuente: (IDEAM, 2019)

#### 4.4. Condicionantes de la localización del proyecto

Para llevar a cabo el proyecto es necesario conocer los factores que influyen en su viabilidad de acuerdo con la ubicación de la cabaña El Mirador del Mar, dentro de los principales se tiene:

- Disponibilidad y proximidad: el proyecto se llevará a cabo en la vereda El Manantial, que se encuentra a 14,2 km del centro urbano de Santa Marta, que se traduce en 28 minutos, esto es importante porque en caso de emergencia o requerimiento de determinados materiales se tiene proximidad a una de las principales ciudades de Colombia. La cabaña se encuentra ubicada en un sector de interés turístico y cuenta con los espacios disponibles para atender las necesidades de los turistas.

- Medios y costos de transporte: la ubicación de la cabaña permite un acceso vehicular óptimo con vías en buen estado, ya que se encuentra cerca de la avenida Troncal Caribe, este es un factor determinante en el proyecto ya que reduce los costos de transporte de los suministros, productos y la mano de obra.
- Mano de obra: aunque es una ventaja estar cerca de un centro urbano importante como Santa Marta, la disponibilidad de mano de obra, el grado de calificación y capacitación se ven reducidas, al no contar con proyectos de implementación de paneles solares fotovoltaicos en la región. A pesar de lo anterior, se cuenta con una gran oferta y calidad de mano de obra para el presente proyecto.

## 5. Resultados

Este proyecto consideró los parámetros y factores óptimos que permitieron no solo dimensionar, sino también seleccionar y aplicar las tecnologías disponibles de generación de energía solar fotovoltaica.

### 5.1. Especificaciones de los productos

En este apartado se dimensiona, caracteriza y describe los principales equipos y componentes que fueron utilizados para el desarrollo del sistema solar fotovoltaico en la cabaña Mirador del Mar.

#### 5.1.1. Levantamiento de cargas

En la siguiente tabla se determina la energía total utilizada diariamente en la cabaña, teniendo en cuenta los aparatos que necesitan del suministro eléctrico y el tiempo que hacen uso de este.

**Tabla 3.** Levantamiento de cargas cabaña Mirador del Mar

<b>Aparato</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo (W)</b>	<b>Horas</b>	<b>Energía (Watts-h)</b>
Aire Acondicionado	5	1400	8	56000
<i>Bombillos</i>	50	5	12	3000
<i>Nevera</i>	1	80	24	1920
<i>Microondas</i>	1	800	1	800
<i>Sandwichera</i>	1	800	1	800
<i>Licuada</i>	1	150	1	150
<i>Cámaras</i>	1	80	24	1920
<i>Motobomba Piscina</i>	1	750	6	4500
<i>Motobomba Jacuzzi</i>	1	450	6	2700
<i>Blower</i>	1	450	6	2700
<i>Motobomba Pozo</i>	1	600	6	3600
<i>Lavadora</i>	1	300	2	600
<b>Total Energía (Kw-h)</b>				<b>78,69</b>

Fuente: Autores

### **5.1.2. Cálculo de las horas de pico solar**

Para determinar las horas de pico solar se tiene en cuenta el peor mes, con el fin de garantizar condiciones límite del suministro energético. Para lo anterior se toma el mes de agosto con un valor de 5,21 Kwh/m<sup>2</sup>, y se hace uso de la ecuación 1 para el respectivo cálculo.

$$HPS = \frac{5210 \text{ Wh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 5,21 \text{ horas solar pico}$$

### **5.1.3. Selección del sistema fotovoltaico de acuerdo con su estructura**

Tomando como referencia el reglamento NTC 5549 respecto a sistemas fotovoltaicos y reconociendo los requerimientos de la cabaña, se cuenta con un sistema conectado a la red eléctrica que mediante los paneles solares generan flujo eléctrico en corriente continua, este flujo será transformado por medio de inversores para conexión a la red.

### **5.1.4. Paneles Fotovoltaicos**

Los avances tecnológicos respecto al diseño de paneles solares fotovoltaicos han hecho que en los últimos años se cuente de forma comercial con celdas que se encuentran en un rango entre 100 W y 450 W. Teniendo en cuenta las condiciones ambientales, los módulos que cumplen con los requerimientos de la cabaña son los policristalinos que tienen mayor calidad, duración y eficiencia.

Dentro del catálogo de módulos solares policristalinos en Colombia, el que tiene un mejor índice calidad-precio es el módulo CS3W-415P de la marca Canadian Solar. Las especificaciones de este módulo se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 4. Propiedades Eléctricas Módulo CS3W-415P**

<b>Propiedades Eléctricas Para Ensayo De Paneles</b>	
<b>Tipo de Modulo</b>	<b>CS3W-415P</b>
Potencia nominal watio Pmax (W)	415
Voltaje máximo de potencia Vmp (V)	39,3
Corriente de Potencia imp (A)	8,45
Voltaje de Circuito Abierto Voc (V)	44,9
Isc de Corriente de Cortocircuito (A)	8,99
Eficiencia del Módulo (%)	17,49
NOTC	42°C +- 3°C
Coeficiente de Temperatura de Pmax	(-0,36% / °C)
Coeficiente de Temperatura de Voc	( -0,28% / °C)
Coeficiente de Temperatura de Isc	(0,05% / °C)

*Fuente: (SOLARTEX, 2021)*

Para determinar el número de módulos con 5,21 horas de sol es necesario calcular la Potencia a Instalar siguiendo la ecuación 3.

$$P_{ins} = \frac{78690 \text{ KWh/día}}{5,21 \text{ h/día}} = 15.103 \text{ Kw} \cong 15 \text{ Kw}$$

Posterior al cálculo de la potencia a instalar, se debe considerar el Factor de Planta que determina el efecto de las pérdidas por temperatura en la cabaña que para este caso según datos del IDEAM tiene una temperatura promedio anual de 26°C.

$$Fp = 0,36 \frac{\%}{^{\circ}C} \times 26^{\circ}C = 9.36\%$$

Con el factor de planta, se halla la potencia corregida que considera las pérdidas de los módulos solares.

$$P_c = \left( \frac{15 \text{ Kw}}{1 - 0,093} \right) \cong 16 \text{ Kw}$$

Por último, se calcula el número total de módulos.

$$Nm = \frac{16000 \text{ W}}{415 \text{ W}} = 38 \text{ módulos}$$

### **5.1.5. Arreglo de los módulos fotovoltaicos e inversores necesarios**

Para determinar la cantidad de filas de módulos en serie para cada inversor, es necesario conocer las especificaciones eléctricas de los inversores, que permiten obtener un promedio de la tensión de entrada.

Teniendo en cuenta lo anterior, para elegir de forma adecuada el inversor, se necesita identificar la potencia pico del campo solar, relacionándola con la potencia pico del panel,  $P_{p\text{Panel}}$  y el número de paneles  $NP_{\text{Max}}$ .

$$P_{P\text{campo}} = NP_{\text{máx}} \cdot P_{p\text{panel}} \cdot 0.8$$

$$P_{P\text{campo}} = 30 \cdot 200 \text{ Wp} \cdot 0.8 = 4.800 \text{ Wp}$$

Teniendo en cuenta los requerimientos del proyecto y la relación calidad-precio el inversor seleccionado es el Híbrido 5 Kva de Conexión a Red de la marca POWEST. En la siguiente tabla se resumen las principales características del inversor.

**Tabla 5. Propiedades Eléctricas Inversor Híbrido 5 Kva**

<b>Propiedades Eléctricas Del Inversor Híbrido 5 Kva</b>	
<i>Potencia nominal CA</i>	5000 W
<i>Max. Potencia aparente de CA</i>	5000 VA
<i>Voltaje nominal / ajustable</i>	240 V
<i>Rango de voltaje CA</i>	164-254 V
<i>Frecuencia de red de CA</i>	60 Hz / 50 Hz
<i>Max. corriente de salida</i>	25 A
<i>Factor de potencia</i>	1

*Fuente: (SOLARTEX, 2021)*

Con la información anterior, es posible determinar el promedio de voltaje de entrada de la siguiente manera:

$$V_{inv} = \frac{164 V + 254 V}{2} = 209 V$$

Con el anterior valor se procede a calcular el número de módulos en serie.

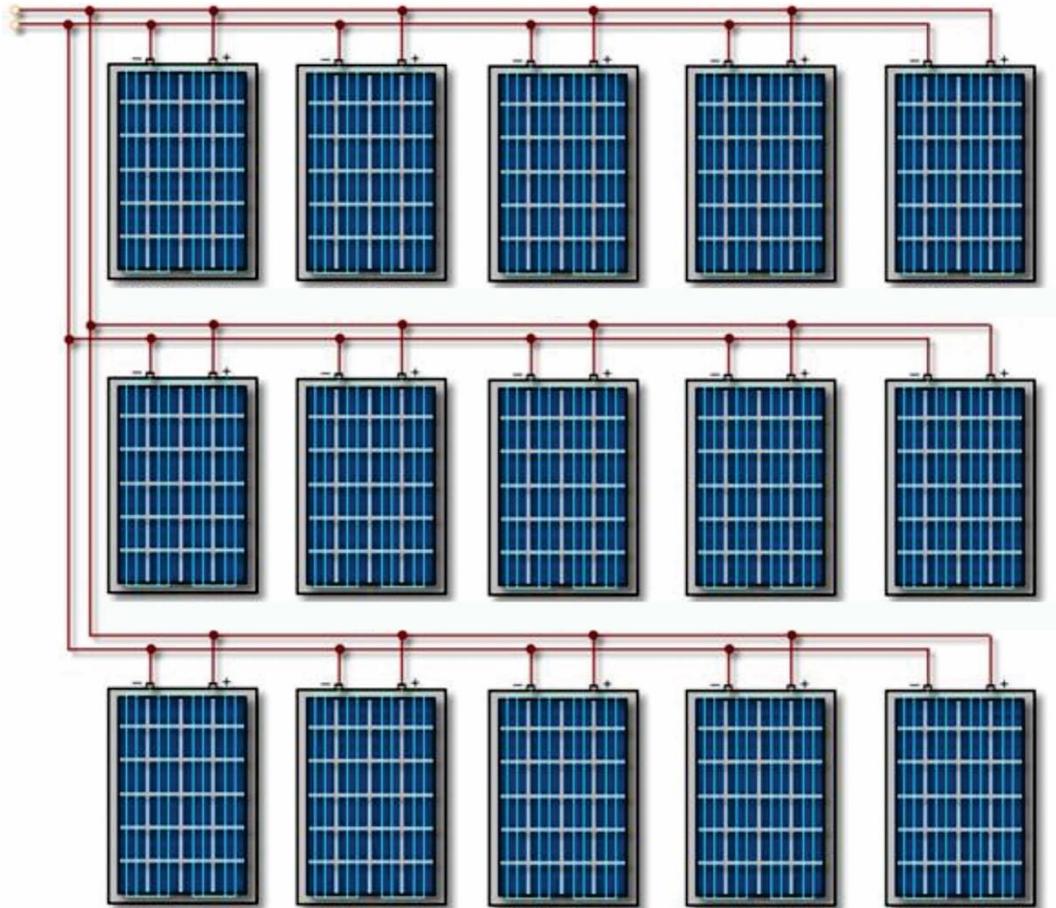
$$\text{Módulos en serie} = \frac{209 V}{39.3 V} = 5 \text{ paneles en serie}$$

Posterior al cálculo de los paneles en serie, se procede a determinar el número de módulos en paralelo de la siguiente manera:

$$\text{Módulos en Paralelo} = \frac{25 A}{8,99 A} = 2,8 \cong 3 \text{ Modulos}$$

Los módulos fotovoltaicos serán instalados siguiendo el esquema de la figura 9, con 5 paneles en serie y 3 en paralelo, con un total de 15 módulos por arreglo.

**Figura. 9** Arreglo de los Módulos por cada Inversor



*Fuente: Autores*

Partiendo de lo anterior, se puede apreciar que el número de módulos por cada inversor es igual a 15, considerando que el número de módulos total es 38, se necesitan en total 3 inversores para el proyecto de la cabaña Mirador del Mar.

### 5.1.6. Adecuación de los paneles solares a los espacios disponibles

En las siguientes imágenes se presenta la infraestructura de la cabaña donde serán adecuados los módulos fotovoltaicos, donde se puede apreciar un espacio óptimo en los techos de esta.

**Figura. 10** Infraestructura de la cabaña Mirador del Mar



*Fuente: Autores*

El área de los techos con sus respectivas medidas se esquematiza en la siguiente figura.

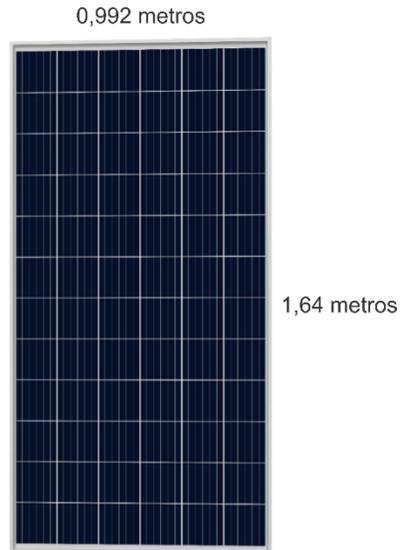
**Figura. 11** Área de instalación de los módulos solares



*Fuente: Autores*

A continuación, se presentan las dimensiones de los módulos CS3W-415P

**Figura. 12** Dimensiones Módulo CS3W-415P



*Fuente:* (SOLARTEX, 2021)

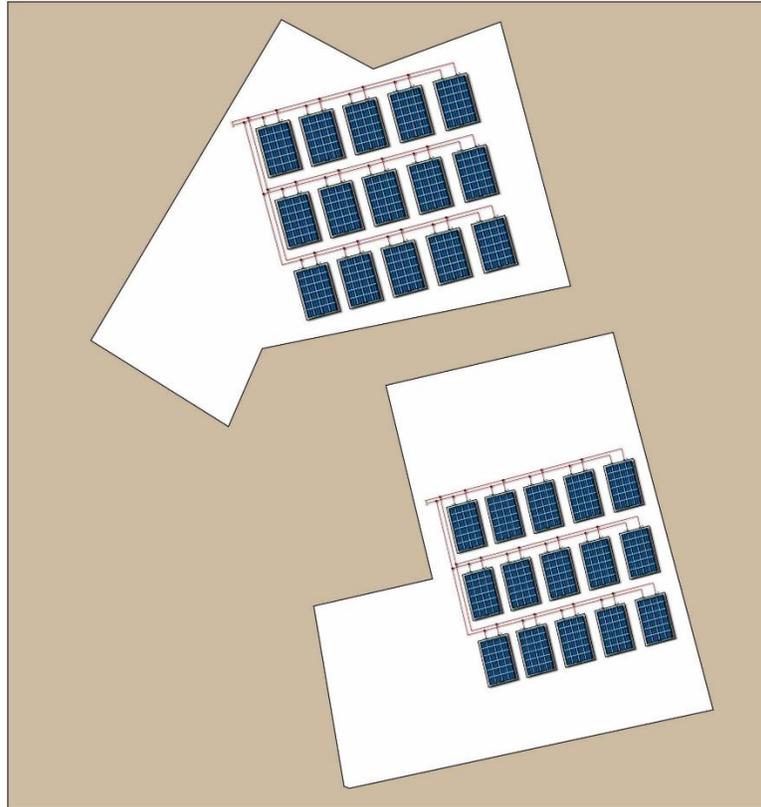
Teniendo en cuenta las dimensiones de cada módulo solar, y considerando el área disponible en la cabaña, se procede a distribuir los módulos mediante los siguientes cálculos.

$$\text{Área módulo solar} = 1.64 \text{ m} \cdot 0.992 \text{ m} = 1.62 \text{ m}^2$$

$$\text{Módulos en cada techo} = \frac{34 \text{ m}^2}{1.62 \text{ m}^2} = 20$$

Los cálculos permiten establecer que el número de módulos posibles en cada techo son 20, sin embargo, la forma irregular de cada techo únicamente permite la instalación de 15 módulos, de la siguiente manera.

**Figura. 13** Distribución módulos solares en techos de la cabaña



*Fuente: Autores*

Mediante los anteriores esquemas se puede determinar que para la instalación de los módulos solares se cuenta con el suficiente espacio, y serán necesarios 3 arreglos de 15 módulos que ocupan un área de 24,4 m<sup>2</sup>, debido a que cada techo tiene un área reducida y únicamente puede alojar un arreglo, únicamente se utilizarán 30 módulos organizados en dos arreglos, uno en cada techo.

### **5.1.7. Equipos de Medida**

Considerando la Ley 1715 del 2014 que promueve el uso de energías no convencionales, se establece la normatividad CREG 030 de 2018, que define las reglas de juego para la autogeneración energética, en búsqueda de la

diversificación de la matriz energética. Partiendo de lo anterior, se establece la resolución 40072 del 29 de enero del 2018, que define los mecanismos de implementación de Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) en el servicio público de energía eléctrica. Esta medida es fundamental para que las instalaciones de Generación Distribuida, por ejemplo, los Sistemas Solares Fotovoltaicos puedan cuantificar los excedentes de energía que exportan a la red.

La cabaña Mirador del Mar requiere de equipos óptimos de medición en el sistema de generación fotovoltaica; realizando una revisión detallada de los principales equipos para este fin en Colombia, se determinó que el medidor óptimo es el Medidor de potencia bidireccional Fronius SMART METER TS 65A-3. Este es un contador bidireccional que permite optimizar el autoconsumo, registrando además la curva de carga de la cabaña.

**Figura. 14** Medidor SMART METER TS 65A-3



Fuente: (SOLARTEX, 2021)

### 5.1.8. Equipos de Protección

En los sistemas fotovoltaicos es muy común que ocurran sobretensiones transitorias, que son producidas por múltiples factores, entre ellos:

- Daños en los equipos de protección por caída de rayos.
- Cambios generados por corrientes inducidas que son distribuidas en la red.
- Cambios en la tensión que se transmiten de la red, pudiendo ser de origen atmosférico o debido a conmutaciones en líneas.
- Alteraciones del campo eléctrico.

Considerando los anteriores factores, se seleccionó el dispositivo de protección sobre contra tensiones DPS DC Tipo 2, para sistemas fotovoltaicos, que se instalan entre los paneles solares e inversores para proteger los equipos electrónicos de los efectos de sobretensiones.

**Figura. 15** Dispositivo DPS DC Tipo 2



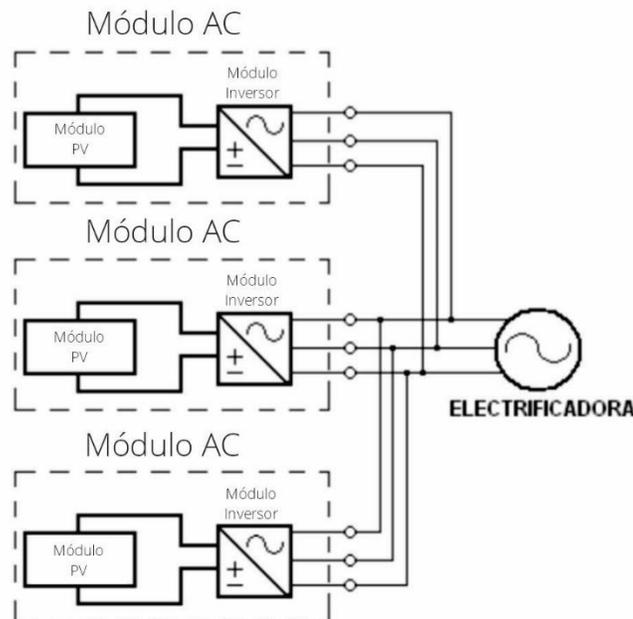
*Fuente:* (SOLARTEX, 2021)

## 5.2. Topología del Sistema Fotovoltaico

En la figura 15 se observa que cada arreglo de módulos fotovoltaicos cuenta con un inversor propio, garantizando principalmente estabilidad y flexibilidad al sistema. Esta topología es eficiente para el sistema diseñado, ya que permite añadir más módulos en serie o paralelo a los ya existentes.

Esta topología es óptima para la cabaña Mirador del Mar, ya que brinda confiabilidad al contar con respaldo en la generación e inversión de energía cuando existen fallas en uno o varios módulos. Las pérdidas por cambios en el voltaje de los módulos para esta topología son menores, ya que cada inversor tiene la función de mantener un voltaje estable a la salida. La principal desventaja de esta topología es su elevado costo de inversión, pues se requiere un mayor número de módulos.

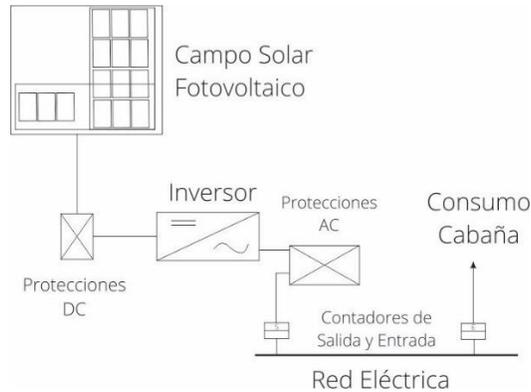
**Figura. 16** Sistema PV con Inversor por cada Módulo



Fuente: (Escobar, Torres, & Hincapie, 2010)

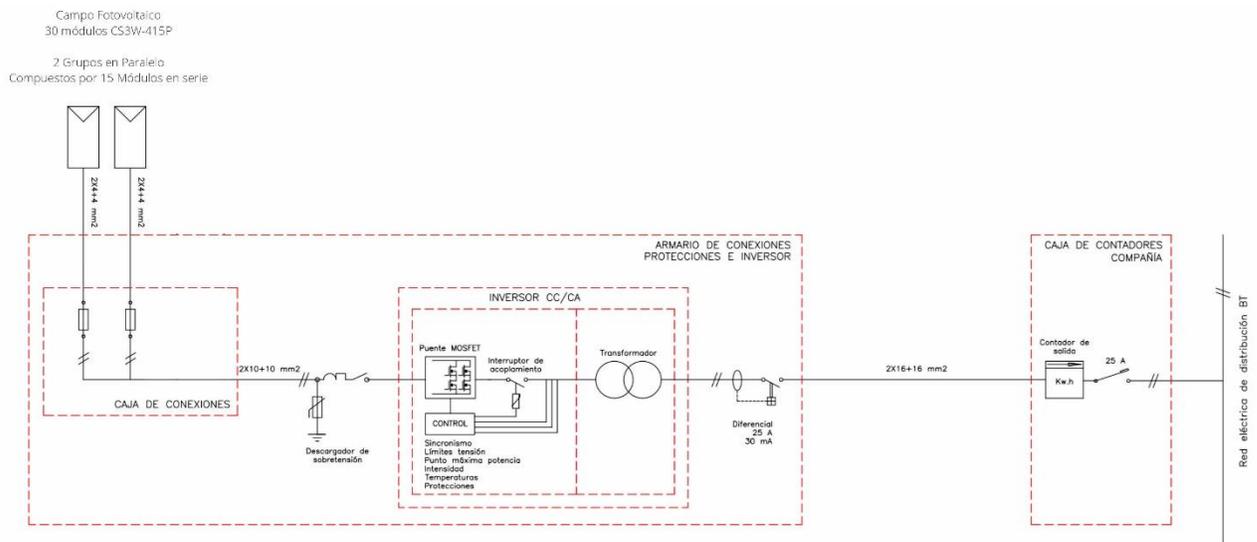
Teniendo en cuenta la topología del sistema fotovoltaico, se procede a diseñar el esquema de instalación y el diagrama unifilar del proyecto.

**Figura. 17 Esquema Instalación Fotovoltaica**



*Fuente: Autores*

**Figura. 18 Diagrama Unifilar Sistema Fotovoltaico**



*Fuente: Autores*

### 5.3. Presupuesto del Proyecto

En las siguientes tablas se resume el presupuesto del proyecto, considerando en primera medida los equipos, insumos, mano de obra, gestión y comunicación.

Es importante mencionar que la infraestructura de la cabaña no requiere de la construcción de estructuras auxiliares para soportar los módulos fotovoltaicos, esto reduce los costos del proyecto de forma considerable.

**Tabla 6. Presupuesto de los Equipos e Insumos**

No	Cant	Descripción	Costo Unit.	Costo T.
1	30	Módulo fotovoltaico CS3W-415P	\$ 619.000,00	\$ 18.570.000,00
2	10	Conector MC4 1000 V 10 pares WorldSunlight	\$ 46.000,00	\$ 460.000,00
3	1	Estructuras Metal Mecánicas	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
4	3	Inversor Híbrido 5 Kva	\$ 2.790.000,00	\$ 8.370.000,00
5	2	Medidor SMART METER TS 65A-3	\$ 1.250.000,00	\$ 2.500.000,00
6	4	DPS DC Tipo 2 Para Aplicaciones Fotovoltaicas	\$ 125.000,00	\$ 500.000,00
7	10	Borna de tierra (Omega) 18-12 AWG Siemens	\$ 11.500,00	\$ 115.000,00
8	15	Cajas Metálicas 40x40x20 cm	\$ 80.000,00	\$ 1.200.000,00
9	15	Canaletas Ranuradas 25x25 mm	\$ 9.000,00	\$ 135.000,00
10	60	Borneras para cable # 8	\$ 3.500,00	\$ 210.000,00
11	30	Metros de cable # 14	\$ 1.800,00	\$ 54.000,00
12	500	Metros de cable # 16	\$ 850,00	\$ 425.000,00
13	20	Cajas 4x2 PVC	\$ 1.850,00	\$ 37.000,00
14	25	Cajas Octogonales	\$ 1.850,00	\$ 46.250,00
15	25	Boquilla Ticino	\$ 3.200,00	\$ 80.000,00
16	8	Interruptores dobles	\$ 2.500,00	\$ 20.000,00
17	60	Conectores 1/2	\$ 850,00	\$ 51.000,00
18	100	Grapas 1/2	\$ 850,00	\$ 85.000,00
19	50	Tubos 1/2	\$ 1.600,00	\$ 80.000,00
20	12	Tomacorrientes dobles Cooper	\$ 1.600,00	\$ 19.200,00
21	10	Cinta Aislante 3M	\$ 1.600,00	\$ 16.000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 35.473.450,00</b>	

Fuente: Autores

**Tabla 7. Presupuesto de Gestión, Mano de Obra y Comunicación**

<b>Gestión y Comunicación</b>				
No.	Cant.	Descripción	Costo Unit.	Costo T.
1	1	Costos de certificación	\$ 3.280.000,00	\$ 2.500.000,00
2	1	Costos de gestión ante operador de red	\$ 1.825.000,00	\$ 1.825.000,00
3	3	Transporte a la cabaña	\$ 60.000,00	\$ 180.000,00
4	3	Alimentación del personal en la cabaña	\$ 48.000,00	\$ 144.000,00
5	1	Gestión y Comunicación	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00
6	1	Contratación Técnico	\$ 5.800.000,00	\$ 5.800.000,00
7	1	Contratación Auxiliar	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
<b>Total</b>				<b>\$ 11.424.000,00</b>

Fuente: Autores

Para llevar a cabo el proyecto será necesario un presupuesto total de \$ 46.897.450.

#### 5.4. Inversiones y Financiamiento

Los propietarios de la cabaña Mirador del Mar expresan contar con \$ 22.650.00 para realizar el proyecto, sin embargo, aún queda un saldo de \$ 24.242.250 para hacer posible la implementación del sistema fotovoltaico. Para obtener el dinero restante deciden solicitar un préstamo a la entidad financiera que cuenta con las menores tasas de interés, con una tasa mes vencido de 1.28% y un seguro de vida con un valor de 29,091.

**Tabla 8. Amortización Crédito**

Mes	Cuota	Abono a intereses	Abono a Capital	Seguro de Vida	Saldo
1	\$ 708.203,00	\$ 310.300,00	\$ 368.811,00	\$ 29.091,00	\$ 23.873.439,00
2	\$ 708.203,00	\$ 305.580,02	\$ 373.531,98	\$ 29.091,00	\$ 23.499.907,02
3	\$ 708.203,00	\$ 300.798,81	\$ 378.313,19	\$ 29.091,00	\$ 23.121.593,83
4	\$ 708.203,00	\$ 295.956,40	\$ 383.155,60	\$ 29.091,00	\$ 22.738.438,23
5	\$ 708.203,00	\$ 291.052,01	\$ 388.059,99	\$ 29.091,00	\$ 22.350.378,24
6	\$ 708.203,00	\$ 286.084,84	\$ 393.027,16	\$ 29.091,00	\$ 21.957.351,08
7	\$ 708.203,00	\$ 281.054,09	\$ 398.057,91	\$ 29.091,00	\$ 21.559.293,17
8	\$ 708.203,00	\$ 275.958,95	\$ 403.153,05	\$ 29.091,00	\$ 21.156.140,13
9	\$ 708.203,00	\$ 270.798,59	\$ 408.313,41	\$ 29.091,00	\$ 20.747.826,72
10	\$ 708.203,00	\$ 265.572,18	\$ 413.539,82	\$ 29.091,00	\$ 20.334.286,90
11	\$ 708.203,00	\$ 260.278,87	\$ 418.833,13	\$ 29.091,00	\$ 19.915.453,78
12	\$ 708.203,00	\$ 254.917,81	\$ 424.194,19	\$ 29.091,00	\$ 19.491.259,58
13	\$ 708.203,00	\$ 249.488,12	\$ 429.623,88	\$ 29.091,00	\$ 19.061.635,71

14	\$ 708.203,00	\$ 243.988,94	\$ 435.123,06	\$ 29.091,00	\$ 18.626.512,64
15	\$ 708.203,00	\$ 238.419,36	\$ 440.692,64	\$ 29.091,00	\$ 18.185.820,01
16	\$ 708.203,00	\$ 232.778,50	\$ 446.333,50	\$ 29.091,00	\$ 17.739.486,50
17	\$ 708.203,00	\$ 227.065,43	\$ 452.046,57	\$ 29.091,00	\$ 17.287.439,93
18	\$ 708.203,00	\$ 221.279,23	\$ 457.832,77	\$ 29.091,00	\$ 16.829.607,16
19	\$ 708.203,00	\$ 215.418,97	\$ 463.693,03	\$ 29.091,00	\$ 16.365.914,13
20	\$ 708.203,00	\$ 209.483,70	\$ 469.628,30	\$ 29.091,00	\$ 15.896.285,83
21	\$ 708.203,00	\$ 203.472,46	\$ 475.639,54	\$ 29.091,00	\$ 15.420.646,29
22	\$ 708.203,00	\$ 197.384,27	\$ 481.727,73	\$ 29.091,00	\$ 14.938.918,56
23	\$ 708.203,00	\$ 191.218,16	\$ 487.893,84	\$ 29.091,00	\$ 14.451.024,72
<b>24</b>	<b>\$ 708.203,00</b>	<b>\$ 184.973,12</b>	<b>\$ 494.138,88</b>	<b>\$ 29.091,00</b>	<b>\$ 13.956.885,84</b>
25	\$ 708.203,00	\$ 178.648,14	\$ 500.463,86	\$ 29.091,00	\$ 13.456.421,98
26	\$ 708.203,00	\$ 172.242,20	\$ 506.869,80	\$ 29.091,00	\$ 12.949.552,18
27	\$ 708.203,00	\$ 165.754,27	\$ 513.357,73	\$ 29.091,00	\$ 12.436.194,45
28	\$ 708.203,00	\$ 159.183,29	\$ 519.928,71	\$ 29.091,00	\$ 11.916.265,73
29	\$ 708.203,00	\$ 152.528,20	\$ 526.583,80	\$ 29.091,00	\$ 11.389.681,94
30	\$ 708.203,00	\$ 145.787,93	\$ 533.324,07	\$ 29.091,00	\$ 10.856.357,86
31	\$ 708.203,00	\$ 138.961,38	\$ 540.150,62	\$ 29.091,00	\$ 10.316.207,24
32	\$ 708.203,00	\$ 132.047,45	\$ 547.064,55	\$ 29.091,00	\$ 9.769.142,70
33	\$ 708.203,00	\$ 125.045,03	\$ 554.066,97	\$ 29.091,00	\$ 9.215.075,72
34	\$ 708.203,00	\$ 117.952,97	\$ 561.159,03	\$ 29.091,00	\$ 8.653.916,69
35	\$ 708.203,00	\$ 110.770,13	\$ 568.341,87	\$ 29.091,00	\$ 8.085.574,83
36	\$ 708.203,00	\$ 103.495,36	\$ 575.616,64	\$ 29.091,00	\$ 7.509.958,18
37	\$ 708.203,00	\$ 96.127,46	\$ 582.984,54	\$ 29.091,00	\$ 6.926.973,65
38	\$ 708.203,00	\$ 88.665,26	\$ 590.446,74	\$ 29.091,00	\$ 6.336.526,91
39	\$ 708.203,00	\$ 81.107,54	\$ 598.004,46	\$ 29.091,00	\$ 5.738.522,46
40	\$ 708.203,00	\$ 73.453,09	\$ 605.658,91	\$ 29.091,00	\$ 5.132.863,54
41	\$ 708.203,00	\$ 65.700,65	\$ 613.411,35	\$ 29.091,00	\$ 4.519.452,20
42	\$ 708.203,00	\$ 57.848,99	\$ 621.263,01	\$ 29.091,00	\$ 3.898.189,19
43	\$ 708.203,00	\$ 49.896,82	\$ 629.215,18	\$ 29.091,00	\$ 3.268.974,01
44	\$ 708.203,00	\$ 41.842,87	\$ 637.269,13	\$ 29.091,00	\$ 2.631.704,87
45	\$ 708.203,00	\$ 33.685,82	\$ 645.426,18	\$ 29.091,00	\$ 1.986.278,70
46	\$ 708.203,00	\$ 25.424,37	\$ 653.687,63	\$ 29.091,00	\$ 1.332.591,06
47	\$ 708.203,00	\$ 17.057,17	\$ 662.054,83	\$ 29.091,00	\$ 670.536,23
<b>48</b>	<b>\$ 708.203,00</b>	<b>\$ 8.582,86</b>	<b>\$ 670.529,14</b>	<b>\$ 29.091,00</b>	<b>\$ -</b>

Fuente: Autores

## 5.5. Ingresos Projectados

Los principales ingresos para implementación de este sistema se obtienen del ahorro en el recibo de energía eléctrica de la cabaña, considerando que el 66% de la carga se abastecerá del sistema fotovoltaico. Parte de los ingresos para asumir la inversión se obtendrán del alquiler de la cabaña, que se alquila en promedio 4 días a la semana, y tiene un costo de 1.300.000 en temporada alta y 800.000 en temporada baja.

En la siguiente tabla se presenta el consumo promedio mensual de energía eléctrica los 20 meses anteriores a la realización del proyecto.

**Tabla 9.** Ingresos Proyectados Cabaña Mirador del Mar

Año	Mes	Consumo Promedio Mensual	Valor KWh	Cobro Mensual de Energía Mensual
2020	1	\$ 2.362	\$ 553	\$ 1.306.414
	2	\$ 23.144	\$ 553	\$ 12.802.852
	3	\$ 2.125	\$ 553	\$ 1.175.772
	4	\$ 2.007	\$ 553	\$ 1.110.451
	5	\$ 2.480	\$ 553	\$ 1.371.734
	6	\$ 2.598	\$ 553	\$ 1.437.055
	7	\$ 2.527	\$ 553	\$ 1.397.862
	8	\$ 2.244	\$ 553	\$ 1.241.093
	9	\$ 2.102	\$ 553	\$ 1.162.708
	10	\$ 2.645	\$ 553	\$ 1.463.183
	11	\$ 2.314	\$ 553	\$ 1.280.285
	12	\$ 2.456	\$ 553	\$ 1.358.670
2021	1	\$ 2.314	\$ 571	\$ 1.322.522
	2	\$ 2.417	\$ 571	\$ 1.381.226
	3	\$ 2.797	\$ 571	\$ 1.598.498
	4	\$ 2.906	\$ 571	\$ 1.660.575
	5	\$ 2.634	\$ 571	\$ 1.505.381
	6	\$ 2.662	\$ 571	\$ 1.520.901
	7	\$ 2.480	\$ 571	\$ 1.416.988
	8	\$ 2.314	\$ 571	\$ 1.322.522

Fuente: Autores

Con la información obtenida anteriormente, es posible calcular el ahorro posterior a la implementación del sistema fotovoltaico, en la siguiente tabla se realiza la proyección del ahorro durante 4 años, donde se reconoce un aumento de la tarifa del Kwh cada año, de acuerdo con el IPC.

**Tabla 10.** Ahorro anual con la implementación del sistema fotovoltaico

Implementación Sistema Fotovoltaico					
Año	Mes	Consumo Promedio Mensual	Valor KWh	Cobro Mensual de Energía Mensual	Ahorro generado
2021	9	2102	\$ 571	\$ 1.200.142	\$ 792.093
	10	2645	\$ 571	\$ 1.510.290	\$ 996.792
	11	2314	\$ 571	\$ 1.321.504	\$ 872.193
	12	2456	\$ 571	\$ 1.402.413	\$ 925.592
<b>Total Ahorro</b>					<b>\$ 3.586.670</b>
	1	2314	\$ 590	\$ 1.365.477	\$ 901.215

F-DC-125

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

VERSIÓN: 1.0

2022	2	2417	\$ 590	\$ 1.426.088	\$ 941.218
	3	2797	\$ 590	\$ 1.650.416	\$ 1.089.275
	4	2906	\$ 590	\$ 1.714.510	\$ 1.131.576
	5	2634	\$ 590	\$ 1.554.275	\$ 1.025.822
	6	2662	\$ 590	\$ 1.570.299	\$ 1.036.397
	7	2480	\$ 590	\$ 1.463.011	\$ 965.587
	8	2314	\$ 590	\$ 1.365.477	\$ 901.215
	9	2102	\$ 590	\$ 1.240.076	\$ 818.450
	10	2645	\$ 590	\$ 1.560.545	\$ 1.029.960
	11	2314	\$ 590	\$ 1.365.477	\$ 901.215
	12	2456	\$ 590	\$ 1.449.078	\$ 956.391
	<b>Total Ahorro</b>				<b>\$ 11.698.321</b>
2023	1	2314	\$ 609	\$ 1.409.450	\$ 930.237
	2	2417	\$ 609	\$ 1.472.012	\$ 971.528
	3	2797	\$ 609	\$ 1.703.565	\$ 1.124.353
	4	2906	\$ 609	\$ 1.769.723	\$ 1.168.017
	5	2634	\$ 609	\$ 1.604.328	\$ 1.058.857
	6	2662	\$ 609	\$ 1.620.868	\$ 1.069.773
	7	2480	\$ 609	\$ 1.510.125	\$ 996.683
	8	2314	\$ 609	\$ 1.409.450	\$ 930.237
	9	2102	\$ 609	\$ 1.280.011	\$ 844.807
	10	2645	\$ 609	\$ 1.610.800	\$ 1.063.128
	11	2314	\$ 609	\$ 1.409.450	\$ 930.237
	12	2456	\$ 609	\$ 1.495.743	\$ 987.190
<b>Total Ahorro</b>				<b>\$ 12.075.047</b>	
2024	1	2314	\$ 629	\$ 1.455.737	\$ 960.787
	2	2417	\$ 629	\$ 1.520.354	\$ 1.003.434
	3	2797	\$ 629	\$ 1.759.511	\$ 1.161.277
	4	2906	\$ 629	\$ 1.827.842	\$ 1.206.376
	5	2634	\$ 629	\$ 1.657.015	\$ 1.093.630
	6	2662	\$ 629	\$ 1.674.098	\$ 1.104.905
	7	2480	\$ 629	\$ 1.559.719	\$ 1.029.414
	8	2314	\$ 629	\$ 1.455.737	\$ 960.787
	9	2102	\$ 629	\$ 1.322.047	\$ 872.551
	10	2645	\$ 629	\$ 1.663.700	\$ 1.098.042
	11	2314	\$ 629	\$ 1.455.737	\$ 960.787
	12	2456	\$ 629	\$ 1.544.864	\$ 1.019.610
<b>Total Ahorro</b>				<b>\$ 12.471.600</b>	
2025	1	2314	\$ 649	\$ 1.502.025	\$ 991.336
	2	2417	\$ 649	\$ 1.568.696	\$ 1.035.340
	3	2797	\$ 649	\$ 1.815.458	\$ 1.198.202
	4	2906	\$ 649	\$ 1.885.961	\$ 1.244.734
	5	2634	\$ 649	\$ 1.709.703	\$ 1.128.404
	6	2662	\$ 649	\$ 1.727.329	\$ 1.140.037
	7	2480	\$ 649	\$ 1.609.312	\$ 1.062.146
	8	2314	\$ 649	\$ 1.502.025	\$ 991.336
<b>Total Ahorro</b>				<b>\$ 8.791.535</b>	

Fuente: Autores

Con la información anterior, se procede a determinar los ingresos por prestación de los servicios de la cabaña, teniendo la siguiente proyección.

**Tabla 11. Ingresos de la Cabaña Mirador del Mar**

Implementación Sistema Fotovoltaico											
Año	Mes	Precio Alquiler	Días de Alquiler	Ingresos por Alquiler	Año	Mes	Precio Alquiler	Días de Alquiler	Ingresos por Alquiler		
2021	9	\$ 800.000,00	3	\$ 2.400.000	2024	1	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975		
	10	\$ 800.000,00	3	\$ 2.400.000		2	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975		
	11	\$ 1.300.000,00	4	\$ 5.200.000		3	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527		
	12	\$ 1.300.000,00	4	\$ 5.200.000		4	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527		
	Total Ingresos					\$ 15.200.000	5	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527	
2022	1	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600	6	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975			
	2	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600	7	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975			
	3	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200	8	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527			
	4	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200	9	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527			
	5	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200	10	\$ 881.842,00	3	\$ 2.645.527			
	6	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600	11	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975			
	7	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600	12	\$ 1.432.994,00	4	\$ 5.731.975			
	8	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200	Total Ingresos		\$ 50.265.014				
	9	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200	2025	1	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	10	\$ 826.400,00	3	\$ 2.479.200		2	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	11	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600		3	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
	12	\$ 1.342.900,00	4	\$ 5.371.600		4	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
Total Ingresos				\$ 47.104.800		5	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
1	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863	6		\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130			
2	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863	7		\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130			
3	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014	8		\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829			
Total Ingresos				\$ 48.659.258	Total Ingresos		\$ 34.615.840				
2023	4	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014	2026	1	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	5	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014		2	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	6	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863		3	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
	7	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863		4	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
	8	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014		5	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
	9	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014		6	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	10	\$ 853.671,00	3	\$ 2.561.014		7	\$ 1.480.283,00	4	\$ 5.921.130		
	11	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863		8	\$ 910.943,00	3	\$ 2.732.829		
	12	\$ 1.387.216,00	4	\$ 5.548.863		Total Ingresos		\$ 34.615.840			
	Total Ingresos					\$ 48.659.258					

Fuente: Autores

## 5.6. Costo Servicios

Teniendo en cuenta el pago de servicios de energía eléctrica, agua potable e internet, además del pago al personal de servicios generales, y del mantenimiento de zonas húmedas y del sistema fotovoltaico, se tienen los siguientes costos en la prestación del servicio por año en la cabaña Mirador del Mar.

**Tabla 12.** Costo de los servicios de la cabaña Mirador del Mar

Año	2022	2023	2024	2025
Servicio de Energía Eléctrica	\$ 6.026.000	\$ 6.224.858	\$ 6.430.278	\$ 6.642.477
Servicio Agua Potable	\$ 5.122.100	\$ 5.291.129	\$ 5.465.737	\$ 5.646.106
Servicio de Internet	\$ 956.000,00	\$ 1.271.480,00	\$ 1.691.068,40	\$ 2.249.120,97
Mantenimiento zonas húmedas	\$ 850.000	\$ 878.050	\$ 907.026	\$ 936.957
Mantenimiento Sistema fotovoltaico	\$ 1.250.000	\$ 1.291.250	\$ 1.333.861	\$ 1.377.879
Servicio de Aseo	\$ 8.600.000	\$ 11.438.000	\$ 15.212.540	\$ 20.232.678
Reparaciones	\$ 2.500.000	\$ 2.582.500	\$ 2.667.723	\$ 2.755.757
<b>Total Egresos</b>	<b>\$ 25.304.100</b>	<b>\$ 28.977.267</b>	<b>\$ 33.708.233</b>	<b>\$ 39.840.976</b>

Fuente: Autores

## 5.7. Flujo de Caja y Determinación del VAN y TIR

Teniendo en cuenta los ingresos y egresos generados por la cabaña Mirador del Mar en un horizonte de 4 años, el flujo de caja se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 13. Flujo de Caja del Proyecto**

Concepto/Año	0	1	2	3	4
<b>Ingresos</b>		\$ 47.104.800	\$ 48.659.258	\$ 50.265.014	\$ 55.291.515
<b>Egresos</b>		\$ 25.304.100	\$ 28.977.267	\$ 33.708.233	\$ 39.840.976
<b>Crédito</b>		\$ 8.498.436	\$ 8.498.436	\$ 8.498.436	\$ 8.498.436
<b>Inversión Propietarios</b>	-\$ 22.655.200				
<b>Saldo Final Caja</b>	-\$ 20.000.000	\$ 13.302.264	\$ 11.183.555	\$ 8.058.345	\$ 6.952.103

Fuente: Autores

Observando los flujos de caja en cada año y teniendo en cuenta tanto las cuotas mensuales del préstamo y la inversión de los propietarios, es posible calcular indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Tabla 14. Indicadores Financiero VAN y TIR

<b>Tasa de Descuento</b>	16%
<b>VAN</b>	\$ 9.885.480
<b>TIR</b>	42%

Fuente: Autores

El Valor Actual Neto VAN, es un indicador financiero que permite establecer la viabilidad del proyecto de implementación del sistema fotovoltaico. Este indicador determina si después de calcular los futuros ingresos y egresos, además de descontar la inversión queda alguna ganancia en un tiempo determinado. El valor indica que al término de 4 años existe una ganancia de \$ 9.885.480, lo que muestra que el proyecto es rentable en este periodo de tiempo.

Por su parte, la Tasa Interna de Retorno es uno de los métodos más recomendables que analiza la viabilidad de proyectos de inversión. Así, se puede decir que esta tasa corresponde al porcentaje de beneficio o pérdida que conllevará cualquier inversión. El valor calculado permite determinar que, al término de 4 años, el proyecto tiene una

rentabilidad del 42%, que está por encima de la rentabilidad esperada, y que ayuda a definir la implementación del sistema de generación de energía fotovoltaica como una opción viable para la cabaña el Mirador del Mar.

## 6. CONCLUSIONES

Este proyecto se realizó con el fin de determinar la viabilidad técnica y financiera de un proyecto de implementación de energía solar fotovoltaica en la cabaña Mirador del Mar, aunque este fue el fin de la investigación, es importante mencionar que se logró hacer una revisión teórica e investigativa de los principales avances que se han realizado en el marco mundial de la conversión energética, que implica procesos más eficientes y amigables con el medio ambiente.

El estudio realizado permitió identificar variables clave para llevar a cabo el proyecto con los requerimientos de rendimiento y rentabilidad requeridos. En primera medida se determinaron datos de radiación solar para la ubicación de la cabaña, obteniendo información del peor mes de radiación en la vereda El Manantial sector Pozos Colorados en el municipio de Santa Marta, mediante una revisión detallada en el sistema Atlas del IDEAM, esto fue fundamental para dimensionar los componentes del sistema, permitiendo delimitar la topología y la cantidad de paneles requeridos.

Se determinó que las condiciones climatológicas son un factor limitante en el desarrollo del proyecto, sin embargo, es necesario destacar la ubicación estratégica de la cabaña, permitiendo recibir altas radiaciones durante gran parte del año que hace posible determinar como principal alternativa el uso de energía solar fotovoltaica. Por otro lado, las condiciones físicas de la cabaña son favorables para llevar a cabo el proyecto, pues los techos permiten tener un ángulo óptimo para el máximo aprovechamiento de la radiación solar.

Definido lo anterior, se identificó como uno de los principales proveedores a nivel nacional la empresa Solartex, obteniendo los mejores equipos a un buen precio; realizando una revisión detallada de los catálogos se determinó que los principales componentes a utilizar son módulos fotovoltaicos de referencia CS3W-415P,

inversores híbrido 5 kVA, medidores SMART METER TS 65A-3 y Protectores Breaker 100 A 4-P 1000V XM1-125PV.

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos mencionados anteriormente, se determina que la topología óptima requiere de arreglos de 15 paneles ubicados en 5 columnas y 3 filas, y para cada arreglo se utiliza un inversor. La carga eléctrica calculada para la cabaña permite establecer que se requieren 3 arreglos de 15 paneles cada uno para satisfacer el 100% de los requerimientos, sin embargo, esto no es posible, debido a que el espacio en los techos es reducido y el jardín está destinado al parqueo de automóviles, por lo que se decidió contar únicamente con 2 arreglos que proporcionarán el 66% de la carga requerida. Este es un punto importante, ya que la reducción en el costo energético se verá directamente afectado por esta decisión.

Una vez determinada la topología, los equipos necesarios y las herramientas para la instalación, fue necesario determinar el personal requerido para poner en marcha el proyecto, para ello es necesario un técnico en instalaciones fotovoltaicas y un ayudante, que serán trasladados a la cabaña con recursos de los propietarios, y a los cuales se les brindará alimentación, se espera que el tiempo que tome la instalación sea menor a 2 meses, ya que se requiere tener desalojada la cabaña y esto implica pérdidas notables para los propietarios, teniendo en cuenta que 4 días de la semana está ocupada.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis de viabilidad financiera, donde es importante mencionar que los recursos serán obtenidos por inversión de los propietarios en un 45%, y el porcentaje restante mediante un préstamo a Bancolombia, teniendo en cuenta que tiene las tasas de interés más bajas. Determinando el valor de las cuotas, los ingresos y egresos del proyecto, se realiza un flujo de caja, que es necesario para determinar indicadores como el VPN y TIR.

Los resultados obtenidos se realizan en un periodo de 4 años, obteniendo un Valor Actual Neto de \$ 9.885.480, que es la ganancia obtenida por el proyecto al terminar el periodo descrito. Se puede argumentar que este valor presenta una relación marcada con la Tasa Interna de Retorno, que fue del 42%, y esto permite plantear que el proyecto es rentable no solo técnica sino también económicamente.

Es necesario mencionar, que este proyecto es viable económicamente debido al costo de los servicios ofrecidos en la cabaña Mirador del Mar, que permiten recuperar la inversión en un plazo óptimo, sin embargo, en muchos de los casos no puede ser viables, debido a los altos costos de los equipos y la mano de obra especializada, por eso es importante recibir beneficios económicos del gobierno por llevar a cabo proyectos de conversión energética.

## 7. RECOMENDACIONES

Antes de describir las principales recomendaciones del estudio realizado, es importante mencionar que existe una presión en el ámbito internacional para el uso de energías renovables, siendo la más importante la fotovoltaica, algo que ha acelerado la reducción de los precios y permitido hacer más viables los proyectos domésticos e industriales. Partiendo de lo anterior, se recomienda actuar sobre el mercado colombiano, de manera que los bajos precios a nivel internacional puedan trasladarse al país, con el fin de incentivar los proyectos de conversión energética y sean viables económicamente.

Es importante que se logre una reducción considerable en el costo de implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica, que permitan alcanzar la paridad de precios con la red, y de esta manera se brinden incentivos por utilizar esta tecnología. Actualmente, estas alternativas únicamente son viables de forma económica en zonas no conectadas a la red del país.

Se recomienda que la evaluación técnica tenga como referencia los valores promedio obtenidos de la factura del proveedor de energía eléctrica durante el último año, con el objetivo de no sobredimensionar el sistema, reduciendo costos y haciendo más viable su implementación. De la misma manera, es necesario contar con equipos modernos y seguros, no solo con el fin de ofrecer un mejor servicio sino también de no poner en riesgo la vida de los turistas.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barañaño, J. (12 de 10 de 2010). *Central Energía*. Obtenido de Central de Información y Discusión de Energía en Chile: <http://www.centralenergia.cl/2010/10/12/potencial-solar-de-chile/>
- Cortés, S., & Arango, A. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(30). doi:<https://doi.org/10.18566/rces.v25n38.a7>
- EcuRed. (2011). *Unión P-N*. Obtenido de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Uni%C3%B3n\\_P-N](https://www.ecured.cu/Uni%C3%B3n_P-N)
- Energiza. (28 de abril de 2021). *Efecto fotoeléctrico e instalaciones fotovoltaicas*. Obtenido de [https://www.energiza.org/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=625:efecto-fotoel%C3%A9ctrico-e-instalaciones-fotovoltaicas](https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=625:efecto-fotoel%C3%A9ctrico-e-instalaciones-fotovoltaicas)
- Escobar, A., Torres, C., & Hincapié, R. (2010). CONEXIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A LA RED ELÉCTRICA. *Scientia Et Technica*, 31-36.
- Fernández, J. (2009). *Caracterización de módulos fotovoltaicos con dispositivo portátil*. Madrid: Universidad Carlo III de Madrid. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/6037>
- Giraudit, C., Massipe, I., & Rodriguez, R. (2014). Factibilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red. *Ingeniería Energética XXXV*, 141-148.
- Google. (11 de 07 de 2021). *Google Maps*. Obtenido de [https://www.google.com.co/maps/place/MIRADOR+DEL+MAR+\(pozos+colorados\)/@11.164011,-74.2219121,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8ef45979f19f7937:0x5749f3d36f2f66d8!8m2!3d11.16395!4d-74.2197307?hl=es-419&authuser=0](https://www.google.com.co/maps/place/MIRADOR+DEL+MAR+(pozos+colorados)/@11.164011,-74.2219121,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8ef45979f19f7937:0x5749f3d36f2f66d8!8m2!3d11.16395!4d-74.2197307?hl=es-419&authuser=0)
- Hernández, A. (2019). *Estudio de Viabilidad Operativa de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaico Para la Sostenibilidad Energética De La Estación De Servicio Coostransgigante LTDA*. Neiva: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Hernandez, J., Velasco, D., & Trujillo, C. (2017). Analysis of the effect of the implementation of photovoltaic systems like option of distributed generation in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2290-2298. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032111000451>
- IDEAM. (4 de Abril de 2015). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- IDEAM. (2019). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- Jäger, A., Kougiyas, I., & Taylor, N. (2020). How photovoltaics can contribute to GHG emission reductions of 55% in the EU by 2030. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 126.
- Maloberti, F. (2015). Revisión teórica electrónica y física de un transistor de efecto de campo de unión pn. *Ciencia, Innovación y Tecnología*, 2. Obtenido de <https://www.jdc.edu.co/revistas/index.php/rciyt/article/view/110>
- Martinez, G. (2018). Limitaciones de la física clásica y nacimiento de la física cuántica. “La ley del efecto fotoeléctrico de Albert Einstein”. *Revista de Innovación en Enseñanza*

- de las Ciencias, 2(1). Obtenido de <http://www.reinnec.cl/index.php/reinnec/article/view/35>
- Memming, R. (1988). Photoelectrochemical Solar Energy Conversion. *Topics in Current Chemistry*, 143-452.
- Ocampo, L. (2019). *Estudio de prefactibilidad de un sistema solar fotovoltaico de 1Mw para generación de energía eléctrica*. Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Qiu, S., Wang, K., Lin, B., & Lin, P. (2021). Economic analysis of residential solar photovoltaic systems in China. *Journal of Cleaner Production*, 282, 52-97. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620353427>
- Ramadhan, M., & Naseeb, A. (2018). The cost benefit analysis of implementing photovoltaic solar system in the state of Kuwait. *Renewable Energy*, 36(4), 1272-1276. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148110004581>
- REN 21 Renovables Global Status Report. (2021). A COMPREHENSIVE ANNUAL OVERVIEW OF THE STATE OF RENEWABLE ENERGY. *REN21*.
- Rivas, E. (2020). Analisis del Código eléctrico Colombiano. *Academia y Desarrollo*.
- Rodríguez, M., & Cervantes, J. (2006). El efecto Foelectrico. *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 13(3), 303-311. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10413309>
- Sánchez, A., & Casas, N. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el parque logístico El Zol en Funza Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- SCD. (08 de junio de 2014). *Seminario de Circuitos Digitales*. Obtenido de <http://seminario-digitales.blogspot.com/2014/11/que-es-un-semiconductor.html>
- SESLAB. (2014). *Especialización en sistemas fotovoltaicos*. Obtenido de [http://seslab.org/fotovoltaico/11\\_el\\_efecto\\_fotoelctrico.html](http://seslab.org/fotovoltaico/11_el_efecto_fotoelctrico.html)
- SOLARTEX. (11 de 07 de 2021). *SOLARTEX Energía para Colombia*. Obtenido de Stock Sincronizado y Envíos Inmediatos: <https://www.solartex.co/>
- Sullivan, M., Uzquiano, C., & Sandy, X. (2015). Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani. *Energía y Ambiente Andina*, 20-26. Obtenido de <http://energiayambienteandina.net/pdf/WCS%20-%20CAPACITACI%C3%92N%20E%20INSTALACI%C3%92N%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>
- UPME. (2019). *Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia*. Bogotá: Ministerio de Energía.
- Vargas, G. (2019). Efectos del cambio climático en el Caribe colombiano. *Cambio Climático. Lecciones de y para ciudades de América Latina*, 43.

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo 1. Autorización propietarios Mirador del Mar

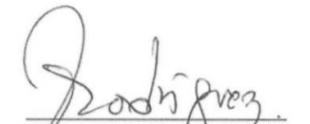
MIRADOR DEL MAR  
NIT 91432772

CERTIFICA

Que los docentes investigadores **FABIO ALFONSO GONZÁLEZ** y **ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICÓN** identificados con cédulas de ciudadanía número 91478573 de Bucaramanga y 912922021 de Bucaramanga, respectivamente y los estudiantes: **ROSEMBERG FABIAN RODRIGUEZ SANCHEZ**, identificado con cédula de ciudadanía número 1096215891 y **HELMAN CAMILO SERRANO BOTELLO**, identificado con cédula de ciudadanía número 1057590213, quienes hacen parte en su mayoría del grupo de investigación en Energía GIE del programa de Ingeniería Eléctrica articulado por ciclos propedéuticos con el programa de Tecnología en Electricidad Industrial de las Unidades Tecnológicas de Santander; ofrecieron un servicio de consultoría ad honorem en la empresa, con el objeto VIABILIDAD TECNICA Y FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA CABAÑA MIRADOR DEL MAR EN LA VEREDA EL MANANTIAL EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARTA; entregando como producción de su labor los resultados de dicha consultoría.

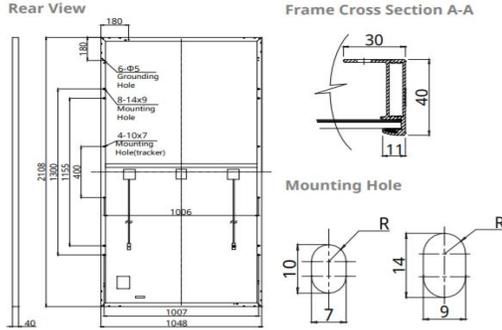
Dicha labor fue realizada en el mes de julio siendo esta satisfactoria en su totalidad.

Se expide a solicitud del interesado a los 11 días del mes de Julio del año 2021.

  
Representante legal  
cc. 91432772 Bra.

## 9.2. Anexo 2. Ficha Técnica Módulo Fotovoltaico CS3W-415P

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

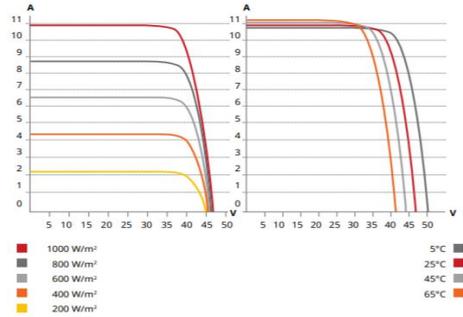
\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	293 W	297 W	301 W	304 W	308 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.1 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.35 A	8.42 A	8.48 A	8.52 A	8.58 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.72 A	8.78 A	8.85 A	8.90 A	8.97 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### CS3W-400P / I-V CURVES



### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (Including Connector) (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	T4 series
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

### PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

### 9.3. Anexo 3. Ficha Técnica Inversor Híbrido 5 Kva

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
MODEL	5KW
RATED OUTPUT POWER	5000 W
PV INPUT (DC)	
Max. Potencia PV	6000W
Max. Arreglo de voltaje en circuito abierto PV	145 VDC
Rango MPPT @ Voltaje de Operación	60 VDC~115 VDC
Numero de rastreadores de MPP	2
OPERACIÓN GRID-TIE	
GRID OUTPUT (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Rango de alimentación de voltaje en la Red	195.5~253 VAC @India regulation
	184 ~ 264.5 VAC @Germany regulation
	184~264.5VAC @ South America regulation
Rango de alimentación de Frecuencia en la Red	49~51Hz @India regulation
	47.5~51.5Hz @Germany regulation
	57~62Hz @ South America regulation
Corriente nominal a la salida	21.7A
Factor de Potencia	>0.99
Eficiencia máxima de conversión (DC/AC)	90%
OFF-GRID, OPERACIÓN HÍBRIDA	
Entrada Red	
Rango de voltaje a la entrada	90 - 280 VAC or 170 - 280 VAC
Rango de Frecuencia	50 Hz/60 Hz (Auto sensing)
Rating of AC Transfer Relay	40A
Modo Batería (AC)	
Voltaje nominal a la salida	220/230/240 VAC
Tipo de Onda	Onda sinusoidal pura
Eficiencia (DC/AC)	93%
Baterías y Cargador	
Voltaje nominal en DC	48VDC
Máxima Corriente del Cargador (from Grid)	60A
Máxima Corriente del Cargador (from PV)	120A
Máxima Corriente del Cargador	180A
GENERAL	
Dimensiones Largo * Ancho * Alto (mm)	190 * 295 * 483
Peso (Kg.)	16
Interfaces	
Paralelos	SI
Caja de seguridad externa (opcional)	Yes
Comunicación	USB or RS232/ Dry-Contact
Ambiente	
Humedad	0 ~ 90% RH (Sin condensación)
Temperatura de Operación	0 to 50°C

\* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. \* Fotos de referencia, accesorios se venden por separado.

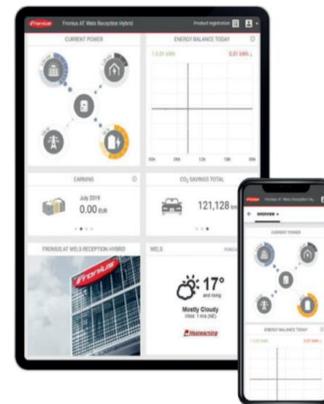
## 9.4. Anexo 4. Ficha Técnica Medidor SMART METER TS 65A-3

### FRONIUS SMART METER TS

TECHNICAL DATA	FRONIUS SMART METER TS 100A -1	FRONIUS SMART METER TS 65A -3	FRONIUS SMART METER TS 5KA -3
Nominal voltage	230 V	208 - 400 V	220 - 480 V
Tolerance	-30% - +20%	-20% - +20%	-20% - +15%
Nominal frequency		50 to 60 Hz	
Grid frequency range		45 to 65 Hz	
Maximum current	1 x 100 A	3 x 65 A	3 x 5000 A
Power line cross section	1 - 25 mm <sup>2</sup>	1 - 16 mm <sup>2</sup>	1 - 4 mm <sup>2</sup>
Neutral line cross section	1 - 25 mm <sup>2</sup>	0.05 - 1.5 mm <sup>2</sup>	1 - 4 mm <sup>2</sup>
Communication line cross section		0.05 - 1.5 mm <sup>2</sup>	
Power consumption		<=1W	
Starting current	40 mA	20 mA	10 mA
Accuracy class		1	
Active energy accuracy		Class 1 (EN62053-21) / Class B (EN50470-3)	
Reactive energy accuracy		Class 2 (EN 62053-23)	
Short-time overcurrent	3000A/10ms	1950A/10ms	25A/500ms
Mounting		Indoors (DIN rail)	
Housing	2 modules DIN 43880	3 modules DIN 43880	3 modules DIN 43880
Degree of protection		IP 51 (front frame), IP 20 (terminals)	
Specified operating range		-25 to +65°C	
Dimensions (Height x Width x Depth)	91.5 x 35.8 x 63.0	91.5 x 53.8 x 63.0 mm	91.5 x 53.8 x 63.0 mm
Interface to inverter		Modbus RTU (RS485)	
Display		3 x 8 digit / Touchscreen	

### THE ADVANTAGES AT A GLANCE

- / Fast and accurate dynamic feed-in control
- / Clear overview of power consumption in Fronius Solar.web
- / Energy management with Fronius storage solutions
- / Identifying opportunities to optimize the pv system
- / Monitoring and analyzing heavy loads



## 9.5. Anexo 5. Ficha Técnica dispositivo de protección sobre contra tensiones DPS DC Tipo 2 FSP – D40

### FSP-D40

Type2 Solar DC Surge Protective Device (DC SPD)



#### ► Application

Surge protective device, protect against lightning surge voltages in solar system (photovoltaic power supply system). These units must be installed in parallel on the dc networks to be protected and provide common and different modes protection. Its installed location are recommended at both ends of the dc power supply line (solar panel side and inverter/converter side), especially if the line routing is external and long. High energy MOVs equipped with specific thermal disconnectors and related failure indicators.



#### ► Specifications

FSP-D40 Surge protector	FSP-D40				
PVDC - specific	EN50539-11				
Pole	2P	2P	3P	3P	2P(CUSTOMIZED)
Electrical parameter					
Classified test	II	II	II	II	II
Uoc max (VDC)	600	800	1000	1500	12/24
Uc (VDC)	600	800	1000	1500	12/24
In (8 /20 jus ( kA )	20	20	20	20	20
I <sub>ma</sub> x (8 /20 jus ( kA )	40	40	40	40	40
Up ( kV )	2.0	2.5	3.8	5.3	2.0

#### ► Remote Signal Contact

Remote signal contact	Maximum working voltage (V)	250VAC/30VDC	250VAC /30VDC
Maximum working current (A) IA ( 250 V /AC )		IA ( 250V/AC )	IA (250V /AC )
	1 A ( 30 V DC )	IA (30V/AC )	IA (30V /AC )

#### ► Installation and Dimensions

Wiring capacity(mm2)	Hard wire	4-25	4-25
	Flexible wire	4-16	4-16
Stripping length(mm)		10	10
Terminals crwa		M5	M5
Torque (Nm)	Main circuit	3.5	3.5
	Remote signal contact	0.25	0.25
Protection class	All profile	IP40	IP40
	Connection port	IP20	IP20
Installation environment		No obvious shock and vibration	
Altitude (m)		≤2000	≤2000
Working Temperature		-30°C ~ +70°C	-30°C ~ +70°C
Relative humidity		30%-90 %	30%-90 %
How to install		Installed with H 35-7.5/DIN35 steel mounting rail	
Size (mm ) (W x H x L)	W	36	54
	H	90	90
	L	67.6	67.6
Weight (kg)		0.24	0.36