



Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Fotovoltaica para la Comunidad Amaichon en el Corregimiento Mayapo, Municipio de Manaure, Departamento de La Guajira

Sidel Iván Borrego Mejía

21131619053

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Riohacha, Colombia

2023

Diseño de un Sistema de Generación Eléctrica Fotovoltaica para la Comunidad Amaichon en el Corregimiento Mayapo, Municipio de Manaure, Departamento de La Guajira

Sidel Iván Borrego Mejía

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

Director (a):

Juan Vicente Cajal Barros
Ingeniero Mecánico
Magister en Ingeniería Naval

Línea de Investigación:
Energías Renovables y Alternativas

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Riohacha, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado:

_____ , Cumple con los

requisitos para optar al título de:

_____ .

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

CONTENIDO

Resumen..... 10

Abstract..... **¡Error! Marcador no definido.**

Introducción 11

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

II. JUSTIFICACIÓN

III. OBJETIVOS

4.1. Marco teórico

4.1.1 Antecedentes

4.1.2. Energías renovables

4.1.3 Sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica

4.2 Marco conceptual

4.2.1. Energía Solar

4.2.2 Irradiación solar

4.2.3. Energía solar fotovoltaica

4.2.4 Panel solar

4.2.5 Efecto fotovoltaico

4.2.6 Batería solar

4.3 Marco legal colombiano

METODOLOGÍA

4.4. Diseño ingenieril de un sistema de generación de energía fotovoltaica

4.4.1. Determinación de las necesidades de energía eléctrica de la comunidad Amaichon

4.4.2. Establecimiento de la radiación solar recibida

4.4.3. Dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaica

4.4.3.1. Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

4.4.3.2. Estimación de la capacidad de las baterías

4.5 Selección técnica de los componentes del sistema de generación fotovoltaica

4.5.1. Selección del panel fotovoltaico

4.5.2. Selección de las baterías

4.5.3. Selección del regulador de carga

4.5.4 Selección del Inversor

4.6. Evaluación de costos asociados a la implementación del proyecto

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Recomendaciones

BIBLIOGRAFÍA

Anexos

DEDICATORIA

A Dios, por la vida y la sabiduría para lograr esta meta profesional.

A mi familia, por estar en cada momento de mi vida con paciencia y tolerancia en los momentos difíciles y brindarme apoyo siempre.

A todas las personas que directa e indirectamente han estado involucradas en mi proceso de formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios,

A la Universidad Antonio Nariño, por abrir espacios académicos para el crecimiento intelectual y profesional.

Lista de tablas

Tabla 1. Aforo eléctrico de la comunidad Amaichon.	28
Tabla 2. Estaciones del IDEAM en la Región La Guajira con datos climáticos.....	29
Tabla 3. Análisis por año del brillo solar en la estación meteorológica Manaure.....	31
Tabla 4. Aforo eléctrico de las viviendas en la comunidad Amaichon.....	34
Tabla 5. Presupuesto para el sistema de generación fotovoltaica.....	38

Lista de figuras

Figura 1. Vivienda de la comunidad Amaichon.....	28
Figura 2. Familia de la comunidad Amaichon en su vivienda.....	30
Figura 3. Panel fotovoltaico marca inti.....	33
Figura 4. Batería recargable para panel fotovoltaico marca Fulibattery GS.....	34
Figura 5. Controlador de carga marca PACO.....	36
Figura 5. Inversor fotovoltaico marca PACO	36
Figura 6. Espacio funcional para el sistema de generación fotovoltaico.....	37

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo; diseñar un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para la comunidad Amaichon en el corregimiento de Mayapo, Municipio Manaure. Los servicios de electricidad son fundamentales para el desarrollo integral de una población y sus habitantes. El sol es una fuente de energía que contribuye con la ciencia para buscar alternativas sustentables a los pueblos vulnerables. La metodología del estudio tuvo un enfoque cuantitativo, se presentó una propuesta de diseño para un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, estableciendo el costo beneficio del mismo. Los resultados obtenidos, demuestran que con la implementación de este sistema de generación eléctrica fotovoltaica se beneficiaran los 19 habitantes que residen en 4 viviendas y no disponen de energía para su hogar. Se recomienda a la comunidad de Amaichon continuar con la gestión del proyecto en las entidades del gobierno colombiano u organizaciones que puedan colaborar en su implementación para el beneficio de la población. También, se recomienda el aprovechamiento no solo de la energía solar, sino, la generación eléctrica Eólica.

PALABRAS CLAVE: Generación eléctrica fotovoltaica, radiación solar, comunidad Amaichon, energía solar

Abstract

This project has as objective; design a photovoltaic electricity generation system for the Amaichon community in the corregimiento of Mayapo, Manaure Municipality. Electricity services are essential for the integral development of a population and its inhabitants. The sun is a source of energy that contributes to science to find sustainable alternatives for vulnerable peoples. The study methodology had a quantitative approach, a design proposal for a photovoltaic power generation system was presented, establishing its cost benefit. The results obtained show that the implementation of this photovoltaic electricity generation system will benefit the 19 inhabitants who live in 4 houses and do not have energy for their home. It is recommended that the Amaichon community continue with the management of the project in the entities of the Colombian government or organizations that can collaborate in its implementation for the benefit of the population. Also, it is recommended to use not only solar energy, but also wind power generation.

KEY WORDS: Photovoltaic electricity generation, solar radiation, Amaichon community, solar energy.

Introducción

El marco de este proyecto se basa en la calidad de vida en el ámbito del servicio de agua, desde la perspectiva de afianzamiento territorial ancestral Wayuu, y tomando en cuenta los procesos organizativos propios de las familias que se beneficiarán con dicho proyecto de sistema de generación eléctrica fotovoltaica, en la comunidad Amaichon donde existe un control territorial de modelo cultural de gobierno propio, ya que cada clan tiene definido su jurisdicción territorial, lo que permite la pertinencia y garantía del proyecto.

La etnia Wayuu asentada en el Departamento de La Guajira vive en una zona desértica y desprovista de los servicios domiciliarios básicos para una vida comunitaria. Por mucho tiempo sus asentamientos se han mantenido al margen del desarrollo humano como comunidad [1]. Entre los servicios básicos domiciliarios que hacen falta en la comunidad Amaichon, asentada en la zona norte del Departamento de la Guajira, está el acceso al agua potable y al suministro de fluido eléctrico. El agua se extrae de pozos profundos, con una profundidad de 100 metros o más. Para extraer el agua de los pozos profundos se requiere el uso de bombas hidráulicas sumergidas que requieren de energía eléctrica para su funcionamiento.

El presente proyecto busca el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica a partir de paneles solares fotovoltaicos. Con dicho sistema se soluciona el suministro de energía eléctrica para el funcionamiento de las bombas sumergidas y provee energía para algunos aparatos eléctricos domésticos de poco consumo de energía eléctrica. De acuerdo a lo anterior, con la utilidad y aprovechamiento de la energía solar beneficia en gran proporción a la población rural. Los diseños de sistemas fotovoltaicos ofrecen electricidad en diversos espacios donde se realizan actividades de la vida cotidiana y productiva en el campo. La generación eléctrica

tradicional de las empresas privadas tiene costos elevados que repercuten directamente en la estructura de precios de los productos y servicios [1].

Desde este punto de vista, con este proyecto se busca proponer un diseño de generación eléctrica fotovoltaica para beneficiar a 4 viviendas de la comunidad 1 de Amaichon, donde habitan 19 personas. Esta problemática de falta de electricidad, afecta el funcionamiento de la bomba sumergible que sirve para extraer agua del pozo artesanal el cual tiene una profundidad de 150 m, impactando principalmente en la comunidad la producción de alimentos. Por tal razón, en caso de implementarse el sistema de generación eléctrica puede suministrarse electricidad bien distribuida a los hogares.

Finalmente, el presente estudio, está estructurado en cuatro capítulos de la siguiente manera:

El primer capítulo relata el problema de estudio, formulando el planteamiento del problema, la interrogante de investigación, los objetivos que le dieron respuesta a los resultados, además, se mostró porque se justifica el estudio y cuál es su importancia para el investigador. En el segundo capítulo se detalla el marco teórico, con la búsqueda de fundamentos teóricos, legales y conceptuales para el abordaje de la variable en estudio relacionada con el sistema de generación eléctrica fotovoltaica. Por su parte, el tercer capítulo detallo la metodología bajo un enfoque cuantitativo, para una población de 19 personas que habitan 4 viviendas en la comunidad de Amaichon. Finalmente, en el cuarto capítulo se revelaron los resultados obtenidos, las conclusiones, las recomendaciones finales, las referencias bibliográficas y los anexos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, Colombia cuenta con un sistema interrelacionado de redes eléctricas, las cuales están dispuestas por: equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e inter-regionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios. Aunque hay zonas donde al Gobierno se le hace difícil implementar las redes eléctricas, por lo tanto, carecen de la prestación del servicio público de la energía eléctrica, a estas zonas se les conoce como Zonas no Interconectadas (ZNI) [2]. Especialmente, el departamento de la Guajira en Amaichon donde existe una vulnerabilidad en el servicio eléctrico, afectando la recolección de agua potable mediante el uso de pozos artesanales que se extraen con bombas sumergibles.

Cabe señalar, que los habitantes de estas poblaciones se transportan por medios rurales en caballos o mulas, ya que el acceso es difícil con vehículos. Algunas de estas poblaciones acceden al servicio eléctrico por medio de sistemas fotovoltaicos que funcionan con la energía solar, sin embargo, otras comunidades indígenas no poseen servicio eléctrico, lo que obliga a los habitantes a movilizarse a otras localidades, con el fin de cargar sus equipos celulares o realizar cualquier actividad que implique electricidad.

La problemática expuesta lleva a plantear la siguiente pregunta ¿Cómo se puede diseñar un sistema de generación eléctrica fotovoltaico que pueda suministrar el fluido eléctrico indispensable para el funcionamiento de equipos del hogar y bomba de agua que utiliza la comunidad Amaichon, en la Alta Guajira?

Lo anterior incentiva a proponer una solución que sea viable, económica y funcional que termine con los problemas de escasez de energía eléctrica, mientras mejora la calidad de vida de las personas y contribuye con el ambiente.

II. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto justifica su importancia, para favorecer la problemática del agua mediante una propuesta de diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica adecuada para la comunidad de Amaichon en Mayapo, la cual actualmente no tienen servicio de electricidad. Además, la alta sequía afecta al territorio, en la producción de alimentos y la irrigación en los *Apain* (Huertas tradicionales), a razón de no tener electricidad para extraer agua de un pozo artesanal. La comunidad de Amaichon, tiene pocos conocimientos sobre sistemas de producción agrícola que utilicen componentes tecnológicos para la instalación de paneles solares.

Cabe mencionar, que a nivel mundial las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo global de electricidad de forma gratuita [2]. Sin embargo, las zonas rurales de las comunidades indígenas del Resguardo de la Alta y Media Guajira, desde la Zona Norte extrema hasta la media Guajira en su mayoría no tienen servicio eléctrico.

También, esta investigación aporta al desarrollo académico del país, fortaleciendo los conocimientos teóricos en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Antonio Nariño, y beneficia en la propuesta de electricidad a 19 personas que habitan en las 4 viviendas de la comunidad 1 de Amaichon.

III. OBJETIVOS

Diseñar un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para la comunidad Amaichon en el corregimiento Mayapo, Municipio de Manaure, Departamento de La Guajira.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el aporte de energía solar del lugar a partir del análisis de información en bases de datos especializadas en irradiación solar y condiciones meteorológicas.
2. Establecer las necesidades de energía eléctrica para las 4 viviendas con 19 habitantes de la comunidad 1 de Amaichon, corregimiento de Mayapo.
3. Determinar la cantidad de paneles a utilizar para cubrir las necesidades eléctricas de la comunidad Amaichon.
4. Realizar la selección adecuada de los componentes principales del sistema de generación de energía fotovoltaica y una evaluación de costos asociados a la implementación del proyecto.

4.1. Marco teórico

4.1.1 Antecedentes

El presente capítulo es un resumen de los principales estudios referenciales con los cuales se sustenta este estudio con el fin de diseñar un sistema de generación eléctrica fotovoltaica para la comunidad Amaichon en el corregimiento Mayapo, Municipio de Manaure, Departamento de La Guajira. Este marco referencial sirve de aporte para otros estudios similares en la región de la Guajira en el tema del aprovechamiento del recurso solar. Esta sección está dividida en tres partes, iniciando por los antecedentes, luego se exponen las bases teóricas y finalmente, se mencionan las variables en estudio y los factores medibles, para evitar interpretaciones ambiguas.

En el marco de los estudios referenciales se muestra el trabajo de Martínez y Mora [4] cuyo objetivo fue: Emplear un sistema de energía fotovoltaico mediante el uso de simuladores para mejorar la calidad de vida en una vivienda ubicada en la Comuna “Masa 2” en el golfo de Guayaquil. En el diseño se propuso una problemática de como cubrir la necesidad que poseen los individuos que habitan en zonas o comunas, e inclusive que no cuentan con los recursos como por ejemplo redes eléctricas, agua potable y entre otros. En los resultados se demostró, que para la instalación de cada equipo y factor que conforma el sistema solar fotovoltaico se priorizó las reglas o estándares técnicos que indiquen en sus hojas técnicas (Datasheet), a lo largo del proceso del plan se verificaron las instalaciones con el diagrama unifilar, así como además el adecuado uso de cada factor que conforma el sistema fotovoltaico. Concluyendo, el programa de PVSyst se hizo mirar el índice de 0.521 que es la interacción del rendimiento del sistema y la parte solar 0.992, además se ha podido mirar los gráficos de la producción de energía y

consumos, voltajes; de carga y descargas, es aconsejable que el núcleo familiar beneficiada solicite un mantenimiento predictivo para eludir fallas a lo largo de los siguientes meses o años. Para el aporte, cabe señalar que el trabajo de Martínez y Mora [4] tomado como referente, no se observó una descripción metodológica de la población beneficiada y un análisis pertinente de los resultados obtenidos. También, no se evidenciaron listas de cotejo para llevar un control de las actividades realizadas.

Por otro lado, Valverde, et al. [5] realizó un estudio titulado: impacto de la implementación del sistema de riego con energía solar en cultivos de limón en este trabajo se realizó un dimensionamiento de un sistema de riego para cultivar limón, haciendo uso de la energía solar. Este riego tuvo el cumplimiento del valor de evapotranspiración potencial (ETP) de 4,31 mm/día y Uso Consuntivo (UC) de 1,85 mm/ha/día, donde la matrix experimental se compuso de tres surcos de 57 árboles con requerimiento de 64,91 litros/árbol/día, utilizando goteros de una descarga de 4 litros/hora. Por otro lado, se cumplió con la instalación de los diez paneles solares en serie y dos en paralelo para un total de veinte en conjunto, un inversor de una capacidad de 5,0 kWp, que alimentara la bomba de 2 HP y una vivienda, con consumo promedio de 1,5 kWp, conectado a una red de baja tensión de 220V.

También, Camargo y Garzón [6] realizaron un estudio titulado; evaluación de la implementación de energía solar fotovoltaica en la ganadería sostenible en toca, Boyacá. El objetivo fue: Evaluar las condiciones de la finca La Chorrera ubicada en Toca (Boyacá), para realizar un proyecto de energías alternativas que respalde un proyecto de ganadería sostenible en el lugar. La metodología utilizada fue la PMI de gestión de proyectos, teniendo en cuenta que

ésta se divide en tres fases de las cuales sólo se ahondó en la primera, que es la fase de Evaluación de proyecto. Los resultados indicaron después de los análisis realizados que el uso de los sistemas fotovoltaicos en la finca permitirá instalar máquinas especializadas para la producción, permitiendo la disminución de costos en cuanto a energías y combustibles. Concluyendo, que la ganadería sostenible se está convirtiendo en uno de los métodos más rentables para la producción lechera a nivel mundial.

Por otro lado, Montalvo [7] realizó una investigación sobre el análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico. El objetivo fue, el análisis de la iluminación en espacios exteriores mediante generación fotovoltaica autónoma con la finalidad de fomentar el ahorro y eficacia eléctrica para iluminar el exterior, además de transmitir conocimientos con el uso de los sistemas fotovoltaicos y la energía solar. El método aplicado fue el análisis teórico mediante investigación bibliográfica de los fundamentos acerca de la energía solar fotovoltaica, iluminación pública y microcontroles. La conclusión más relevante del proyecto fue, que mediante el diseño de este sistema se puede obtener una alta eficiencia en el sistema de iluminación y un ahorro de energía. Un aporte fundamental a este proyecto fue la metodología utilizada a través de una revisión bibliográfica para buscar fundamentos sobre los diferentes sistemas fotovoltaicos de paneles solares.

Resulta interesante, lo expuesto por Vélez y Figueroa [8] quienes realizaron un trabajo de grado titulado: diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la urbanización valle del sol Girardot – Cundinamarca, el cual tuvo por objetivo;

establecer un modelo de un sistema de alumbrado público, que por medio de la energía solar fotovoltaica hará posible la iluminación de espacios abiertos de la Urbanización Valle del Sol en Girardot – Cundinamarca. El fundamento teórico estuvo bajo los autores Crana (2014), Peralta (2011), Osorno (2010). La metodología aplicada fue una investigación exploratoria describiendo las energías renovables el cual es un tema de mucho interés en Colombia. El proyecto se desarrolló en cinco fases distintas que reflejaron las metas planteadas. También se aplicó un cuestionario de 10 ítems para conocer la opinión de la comunidad respecto al alumbrado público. Los datos obtenidos se analizaron mediante gráficas. Concluyendo, la implementación de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar, contribuye al cuidado del medio ambiente y mejora la calidad de vida de los habitantes de la Urbanización valle del sol. El aporte de esta investigación al presente estudio, radica en el instrumento utilizado para conocer la opinión, el mismo servirá como guía para orientar algunas preguntas a realizar al personal directivo de la universidad.

Por su parte, Rabiul [9] indicó en su investigación que también existen sistemas de riego fotovoltaico conectados directamente a la red eléctrica, para satisfacer los requerimientos eléctricos de la vivienda y del riego agrícola. Además, permite guardar la energía no consumida en la red, para usarla cuando el sistema la requiera evitando pérdidas para el invierno y facilitando la producción en verano. En esa misma línea de investigación, en la revisión de documentos se encontró que para optimizar costos en los sistemas de bombeo con la utilidad del sol en el proyecto de Zhang (2014) [10] desarrolló un modelo de simulación FV, balanceando la demanda de agua con la generación de energía. Asimismo, Mérida et al., (2018) [11] optimizaron

un sistema de bombeo de agua mediante un algoritmo de eficiencia global difuso. También, López et al., (2016) [12] utilizaron emisores no compensadores conectados a una bomba de velocidad para variar el flujo en el sistema de riego en función de la energía fotovoltaica disponible. Valverde, et al. (2022) [5] en varios países han desarrollado leyes para tener costos justos en la energía fotovoltaica, en competencia a la electricidad tradicional. Cabe destacar, que todos los estudios revisados están centrados en evaluar las diferentes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Los cuales, servirán de fundamentos para el desarrollo del presente proyecto en el ámbito metodológico.

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Energías renovables

4.2.1.1 Energía Solar

Es la energía que llega por la radiación electromagnética del sol en forma de luz, rayos ultravioleta o calor principalmente, según Villegas (2021) [16] esta es aprovechada por la conversión térmica que se genera por la alta temperatura o por la conversión mediante un sistema fotovoltaico. En efecto, la conversión térmica transforma la energía solar en térmica acumulada en un fluido y para calentarlo se emplean unos dispositivos llamados colectores. Por su parte, la conversión fotovoltaica es la energía solar transformada directamente a eléctrica utilizando placas solares constituidas por células fotovoltaicas de silicio o de germanio.

4.2.1.2 Energía Solar Térmica

Se comprende por energía solar térmica, cuando se transforma la energía radiante solar en calor o energía térmica, para Villegas (2021) este tipo de energía es la encargada de calentar el agua directamente alcanzando temperaturas que oscilan entre los 40°y 50°, aunque el agua caliente queda almacenada para su posterior consumo para uso sanitario, industrial o calefacción de espacios.

4.2.1.3 Energía Mareomotriz

La energía mareomotriz según Franco (2017) [16] se produce por el movimiento de la fuerza de las masas de agua que suben o bajan las mareas y las olas originadas en el mar por el viento. Esta fuente de energía limpia es inagotable, aunque solo se puede generar en zonas marítimas y afectarse por cambios climáticos sus instalaciones que son por lo general grandes y costosas.

4.2.1.4 Energía Hidráulica

Se produce por agua estancada en pantanos o embalses de gran altura, señala Villegas (2021) que esta energía se transforma en una central hidroeléctrica, es una fuente de energía limpia y de fácil almacenaje. Lamentablemente construir centrales hidroeléctricas es muy costoso para los gobiernos. Adicionalmente, se ocasiona un impacto ambiental ecosistémico y a los caudales de los ríos en la calidad del agua.

4.2.1.5 Energía Eólica

La energía Eólica es aquella que se produce por el viento, según Villegas (2021) para ser transformada en electricidad es necesario los molinos de viento especial que son llamados aerogeneradores. Este tipo de fuente energética es inagotable y no contamina, ni produce daños a la capa de ozono. Aunque, depende de la fuerza del viento para mantener su estabilidad.

4.2.3 Sistema de generación de energía eléctrica fotovoltaica

Históricamente el físico Antoine Becquerel reveló la existencia de la generación de energía eléctrica fotovoltaica en el año de 1839, considerado un fenómeno para la generación de energía solar que se recoge directamente de la luz del sol y la denomino efecto fotovoltaico. Para lograrlo utilizo células fotovoltaicas y consideraba que tendrían una vida útil de más de 30 años. Por otro lado, demostró según Martínez y Mora (2022) que el principio de función de la celda fotovoltaica es obligar al electrón los agujeros a desplazarse al otro lado del material y no solo recombinarse, lo que causa la diferencia de potencial y el voltaje en las dos partes.

También, para lograr este proceso de energía eléctrica fotovoltaica se considera acogerse según el autor Martínez y Mora (2022) a la teoría de la geometría de la radiación incidente en sistemas fotovoltaicos, señalando que la potencia que entrega un generador fotovoltaico es mayor según el nivel de radiación eficiente incidente en dicha generación eléctrica. Al respecto, el cómputo de la radiación efectiva debe incluir todos los datos perdidos por reflexión, y los efectos que se relacionen con el ángulo formado entre la línea que une el generador con el sol y la perpendicular al plano del módulo. En efecto, a mayor incremento del ángulo, será mayor la

radiación manifestada, este fenómeno se puede observar en diversos ángulos si se posiciona el cuerpo frente a una superficie de espejos.

Por lo anterior, se considera que la radiación directa es por lo común equitativamente superior a la radiación difusa, dichas pérdidas por reflexión reducen solo si mejora el apuntamiento al sol, partiendo de esto se diseñan los sistemas de seguimiento solar. El objeto común es minimizar el ángulo formado entre el vector solar y el otro vector que dirige el plano generador a lo largo del movimiento celeste del sol. Las diferentes técnicas de seguimiento para la radiación buscan obtener dicho propósito para que el usuario tenga un sistema de generación solar estructural económico y con mejor aprovechamiento del terreno donde exista la necesidad de electricidad.

4.2.4. Energía Solar

Esta energía aparece en la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del sol, donde ha sido compuesta por un proceso de fusión nuclear. También, el beneficio de la energía solar se puede utilizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura sistema foto térmico y por conversión fotovoltaica sistema fotovoltaico [11].

Asimismo, la conversión térmica de alta temperatura transforma la energía solar en energía térmica almacenada en un fluido. También, la conversión fotovoltaica evoluciona directamente de la energía luminosa a energía eléctrica. Utilizando para estos sistemas, las placas solares de células fotovoltaicas de silicio o de germanio.

4.2.5 Irradiación solar

La radiación solar es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas emitidas por los procesos de fusión del hidrógeno contenido en el sol. La cantidad de radiación varía dependiendo de la situación y de la ubicación. Existe radiación directa la cual proviene directamente del sol y radiación difusa que proviene del efecto generado cuando la radiación solar se dispersa de su dirección original a causa de moléculas en la atmósfera. La suma de estas dos se conoce como radiación global (Aros, 2018)

4.2.6. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas.

Los dispositivos fotovoltaicos se pueden dividir en cuatro elementos principales con las siguientes funciones: captura de energía, regulación, acumulación de energía e inversión de voltaje. Los componentes deben estar interconectados y protegidos para que toda la instalación funcione correctamente. Como se muestra, estos elementos son: módulos fotovoltaicos, controladores o reguladores de carga, baterías e inversores solares

Horas de Sol Pico (H.S.P.) El tiempo solar máximo es el número de horas por día con una exposición asumida de 1000, que suma el mismo número de horas que la exposición real. (2014)

La irradiación es numéricamente similar a H.S.P. cuando se expresa en KW-h/m^2 . es muy

importante saber este concepto, ya que se puede estipular la potencia producida por los paneles fotovoltaicos, con un pequeño rango de pérdida. E

4.2.7 Panel solar

Son un conjunto de celdas solares iguales, interconectadas de tal forma que puedan suministrar los medios de tensión y corriente óptimos para lograr ser integradas en un sistema de generación de energía según Guarín y Ruiz [10]. Los paneles solares consisten en muchas células solares con propiedades semiconductoras encapsuladas en un material para protegerlas del medio ambiente. Estas propiedades permiten que la batería capture la luz, o más específicamente, los fotones del sol, y convierta su energía en electricidad útil a través de un proceso llamado efecto fotovoltaico. El semiconductor está flanqueado por una capa de material conductor que “cosecha” la electricidad que se produce. (Villegas, 2021)

4.2.7.1 Tipos de Paneles Solares

Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado nacional son:

a. Silicio Puro monocristalino: La mayoría de las células actualmente en el mercado son monocristalinas, el proceso de fabricación es el siguiente: El Silicio se purifica, se funde y se cristaliza en barras. Las barras o lingotes son cortados para hacer células individuales. Este tipo de silicio son los más eficientes y efectivos, pero el precio es muy elevado.

b. Silicio puro policristalino: Los materiales son similares a los del anterior, aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una

barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Su superficie tiene un aspecto granulado. Se obtiene un rendimiento inferior que con los monocristalinos, pero su precio es totalmente inferior, que el primero.

Para la comunidad de Amaichon en mención, se recomienda la instalación de paneles solares inti, ya que se adaptan mejor a las necesidades del área rural y su población.

4.3 Efecto fotovoltaico

Este puede convertir la luz solar en electricidad, se produce en materiales conocidos como semiconductores, las cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas [12].

4.4 Batería solar

Los electrodos de un acumulador solar están aleados con antimonio, permitiendo adherir una gran cantidad de material activo. También se indica, que al incrementar el material activo el costo y el peso de la batería será diferente en cada caso. En efecto, si es de 6 V o 12 V en un automotor, pesa más de 30 Kgs. Del mismo modo, se descarga a causa del antimonio Por otro lado, si la batería solar se encuentra almacenada, necesita cargarse con frecuencia ya que el antimonio aumenta la gasificación variando la corriente de carga en un sistema fotovoltaico [12].

4.5 Marco legal colombiano

En Colombia, todo usuario que desee implementar los paneles solares debe registrarse bajo la NTC 5899-1 y la NTC 5899-2 de 2011, donde se establecen los requerimientos técnicos para la

construcción y pruebas. Además, según el tipo de panel a instalar se requiere la NTC 2853 de 2006 especialmente si son de silicio cristalino y la NTC 5464 de 2010 en los de película delgada, finalmente la NTC 5512 de 2013 para paneles en condiciones especiales.

4.6 METODOLOGÍA

Este proyecto tiene un enfoque cuantitativo [3], donde se plantea una propuesta para un sistema de generación eléctrica fotovoltaica que beneficia a la comunidad de Amaichon en Mayapo, Departamento de La Guajira en Colombia.

Fase 1: Determinar el aporte de energía solar en el territorio

Buscar referencias del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por mes donde se demuestre el potencial de la radiación del sol por las horas con brillo solar.

Fase 2. Determinar las necesidades de energía eléctrica de la comunidad Amaichon.

Establecer el aforo eléctrico para las necesidades de suministro que permita encender bombillos, un televisor, un abanico, una radio y fundamentalmente la bomba sumergible para extraer el agua.

Fase 3: Determinar la cantidad de paneles a utilizar para cubrir las necesidades eléctricas de la comunidad.

Realizar los cálculos necesarios para establecer los paneles a utilizar para suplir las necesidades de energía eléctrica determinadas.

Fase 4: Selección de componentes y valoración de costos.

Determinar los componentes del sistema fotovoltaico a utilizar.

Buscar proveedores para la cotización de materiales.

4.7 Población

La población de la comunidad 1 de Amaichon son 19 personas que habitan en 4 viviendas donde, la mayoría niños, y donde reside el jefe del clan Wayuu del Corregimiento de Mayapo. Para identificar el grupo étnico poblacional al cual pertenecen se realizó la siguiente consulta de información diagnóstica.

Grupo poblacional al que pertenece

Indígena etnia Wayuu pueblo _____

Negro afrocolombiano palanquero raizal

Campesino

¿Otro? ¿Cuál? Indígenas pertenecientes a la etnia wayuu ubicado en Amaichon de la alta y media guajira específicamente en el Municipio de Manaure la Guajira, Corregimiento Mayapo.

4.8 Características específicas de los beneficiarios: los beneficiarios son miembros pertenecientes a la Etnia Wayuu que se rigen por normas propias teniendo en cuenta su pertenencia por Territorios Claniles distribuidos en el Resguardo Wayuu de la Alta y Media Guajira. Cada territorio clanil está constituido por un jefe familiar (Alaulayu) y su núcleo familiar matrilineal. Con esta propuesta se pretende dejar la información necesaria de los recursos técnicos y financieros para la puesta en marcha del sistema de generación eléctrica fotovoltaica para la comunidad de Amaichon para el beneficio eléctrico de los 19 habitantes.

Cabe señalar que este proyecto se ubica en la línea de trabajo del programa de investigación; en la línea de energías renovables y alternativas, Grupo de Investigación en Bioinstrumentación y

Control – GIBIO de la Universidad Antonio Nariño. Los usuarios directos y formas de utilización de los resultados del proyecto, será la población beneficiada residentes en las 4 viviendas con 19 habitantes de la comunidad 1 de Amaichon donde reside el jefe del clan Wayuu del Corregimiento de Mayapo.

Asimismo, se cumple con el establecimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) enmarcados en la agenda 2030, en su objetivo 7, que indica una energía asequible y no contaminante. Del mismo modo, los objetivos 9 y 11; invitan a la contribución de la innovación de infraestructuras y a las comunidades sostenibles. Recomendar el desarrollo de tecnologías en Colombia para tratar diferentes problemas que consistan en mejorar las condiciones de vida, logrando un desarrollo sustentable, sostenible, competitivo y amigable con el ambiente que permita disminuir costos y posibilitar aún más el proyecto, direccionando acciones individuales y colectivas en pro del cumplimiento de la agenda ODS.

También, se pretende con este proyecto lograr un impacto económico y productivo aportando soluciones a la problemática del suministro eléctrico en la comunidad Amaichon mediante el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica que apoyará la productividad y la integración familiar para el afianzamiento territorial en los cultivos, apoyando la iniciativa colectiva de funcionalidad y mejoramiento de las APAIN (Huertas Tradicionales) en los Wayuu que ancestralmente se han desarrollado, incorporando un elemento tecnológico de producción que es el sistema de paneles solares.

5. Resultados

5.1 Diseño ingenieril de un sistema de generación de energía fotovoltaica

5.1.1. Determinación de las necesidades de energía eléctrica de la comunidad Amaichon

Para el análisis del consumo eléctrico de la población, se estimaron los datos del consumo en promedio de los hogares en Amaichon, según lo dialogado con el líder comunitario y contrastados con cálculos de realización propia. El número de horas indica el tiempo de consumo de energía del equipo, en promedio en una vivienda de bajos recursos. Se realizó el análisis del consumo promedio de la carga de un celular y el funcionamiento de la bomba de agua sumergible.

Tabla 1.
Aforo eléctrico de la comunidad Amaichon.

Equipo	Potencia equipo (W)	Cantidad equipos	Potencia total nominal (W)	Horas diarias de uso	Subtotal energía diaria (Wh/día)
Salida de alumbrado	11	4	44	5	220
Tomacorriente	50	2	100	4	400
TV y decodificador	70	1	70	4	280
Nevera	80	1	80	8	640
Bomba sumergible	745.7	1	745.7	2	1491.4
Total Potencia (W)			461	Total energía (Wh/día)	3031.4
Energía consumida al mes (kWh/mes)					101.04

Fuente: elaboración propia.

A partir de la Tabla 1 se obtuvo que en promedio la casa puede llegar a consumir 3031.4 KWh/día, es decir, aproximadamente 101.04 KWh/mes. Como se puede observar, las cargas están asociadas a consumos relacionados con conservación de alimentos y así mismo con otro tipo de dispositivos que son de vital importancia como la iluminación.



Figura 1. Vivienda de la comunidad Amaichon
Fuente: elaboración propia

5.1.2. Establecimiento de la radiación solar recibida

Referencias del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) por mes donde se demuestre el potencial de la radiación del sol por las horas con brillo solar en Mayapo. En la tabla 1 se observan los datos climáticos y se describe cada estación de la cual se tomaron las series de datos para cada subregión y el rango de años de cada una.

Tabla 2.
Estaciones del IDEAM en la Región La Guajira con datos climáticos.

Región La Guajira	Nombre de la estación	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud	Temperatura promedio (°C)	Año de la serie
Manaure	15075030	11.767	-72.45	3,200m	31 °C a 24°C	2020- 2021- 2022.

Mayapo Ranchería Amaichon		11.64	-72.77	3,578	35°a 25°	2020- 2021- 2022.
Albania	15065090	11.151	-72.60	3,200m	34°a 22°	2020- 2021- 2022.
	15065180					
Riohacha	AEROPU ERTO ALM. PAD... 15065180 15065160	11.533	-72.94	3,200m	34° a 25°	2020- 2021- 2022.
	Matitas 15045010					
Dibulla	Thermogu ajia 15035020	11.26	73.3	320m	32° a 24°	2020- 2021- 2022.

Los datos reportados por el IDEAM que se usaron con el objetivo de estimar el potencial de energía solar son las horas de brillo solar (hbs) total de cada mes y anuales. Reporta valores de irradiación solar sobre superficie horizontal cada media hora entre los años de 1998 al 2019, con una resolución espacial de 4 km por 4 km. Los datos que se recopilaron son de lugares cercanos a las coordenadas de las estaciones del IDEAM. NREL arroja información de irradiancia cada media hora.

5.1.3. Dimensionamiento del sistema de generación fotovoltaica

Este sistema de generación fotovoltaica puede proveer energía eléctrica para las 4 viviendas, donde viven aproximadamente 19 habitantes. El consumo de electricidad será mostrado con base a los diálogos de los líderes comunitarios, indicando que la potencia promedio de consumo en los hogares esta alrededor de 400 – 500 W. Teniendo en cuenta el número de viviendas y considerando un consumo individual, a partir de la Tabla 1 se obtuvo que en promedio la casa puede llegar a consumir 3031.4 Wh/día, es decir, aproximadamente 101.04 KWh/mes, la potencia máxima requerida por las viviendas tiene como resultado 25.2KW.



Figura 2. Familia de la comunidad Amaichon en su vivienda.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Cuadro de cargas para las 4 viviendas en la comunidad Amaichon.

CUADRO DE CARGA

Electrodomésticos	Cantidad	Watts	Total Vatios	Horas de Uso
Bombillos	1	10	10	5
Televisor Led	1	39	39	12
Ventilador	1	90	90	8
Radio	1	8	8	6
Celular	2	20	40	2
Bomba 1HP	1	745.7	745.7	2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.

Análisis por año del brillo solar en la estación meteorológica Manaure.

Año	Brillo solar medio Anual (hbs)	G_{da} (0). Irradiación solar sobre la superficie promedio anual (kwh.dia/m²)
2000	159.22	4.77
2001	148.55	4.60
2002	164.16	4.84
2003	147.65	4.59
2004	169.64	4.93
2005	156.39	4.73
2006	161.16	4.80
2007	153.83	4.69
2008	156.54	4.73
2009	169.47	4.93
2010	144.83	4.54
2011	150.46	4.63
2012	157.94	4.75
2013	130.97	4.31
2014	162.59	4.82
2015	158.54	4.76
2016	137.58	4.42
Promedio	154.65	4.69
Máximo	169.64	4.93
Mínimo	130.967	4.31
S	10.49	0.17
F.E	2.54	0.04
IC95%	4.99	0.08

Fuente: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

5.1.4. Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

Adicional a esto, se debe tener en cuenta que la potencia pico sólo se genera en determinadas condiciones de temperatura, irradiancia (1.000 W/m²), etc., siendo su promedio ligeramente inferior (en torno al 90%) en condiciones reales de funcionamiento, debido a la posible suciedad del módulo, se toma un factor de rendimiento del 0.9, por ende, es necesario aplicar la siguiente fórmula para aplicar un valor aproximado a las condiciones reales.

Para establecer el cálculo de la cantidad de instalación de paneles fotovoltaicos es necesario conocer cuál es la energía requerida en promedio por las viviendas y el brillo de hora solar promedio según la tabla 3 para Manaure seria (KWh.día/m²) = 4.69 . Luego de conocer dichos datos, se realiza el cálculo de número de panel (p), con base al potencial del panel solar (Hps) se considera igual al número de potencia horas pico sol (n sistema) resultando la eficiencia del sistema.

$$Energia\ pico = 0.9 * HSP = 0.9 * 4 \frac{Kwh}{día} = 3.6 \frac{Kwh}{día}$$

El análisis técnico del sistema solar fotovoltaico a diseñar parte de los parámetros que se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 4.
Análisis técnico del sistema de generación fotovoltaico.

Días de Autonomía	1 día
Descarga máxima Baterías (DOD)	80%
Coefficiente autodescarga de la batería	0.5%
Coefficiente perdidas en batería	5%
Coefficiente de pérdidas del inversor	6%

Coefficiente de pérdidas del cableado	5%
Eficiencia del Controlador	98%
Radiación Global diaria media ideal	4.0 kWh/m ² día
Radiación Global diaria media aproximada	3.6 kWh/m ² día
Irradiancia en STC.	1.00 kW/m ² día

A partir de estos valores, se realiza el diseño detallado, el primer cálculo que se realiza es la energía real que se requiere suministrar en función de la demanda energética especificada en la Tabla 1, en las pérdidas del sistema y la eficiencia del controlador, como se muestra en la Ecuación 1.

$$Energía Real = \frac{p_p}{R_g * \eta_c} = \frac{3031.4 \text{ KW/día}}{0.831 * 0.95} = 3,839.88 \text{ Wh/día}$$

Ecuación 1

Donde:

$P_p =$ Potencia proyectada

$R_g =$ Rendimiento general del sistema

$\eta_c =$ Eficiencia de controlador

Con base en la Ecuación 1 se obtiene que la energía real que el sistema solar fotovoltaico debe suministrar corresponde a 3,83 KWh/día, este valor de energía requerido se reemplaza en la Ecuación 2 y en la Ecuación 3 para obtener el valor de la capacidad de la batería y del generador. (Mertens, 2014)

$$\text{Generador FV} = \frac{\frac{E_D}{N_s}}{(1 - F_p) * \frac{RG_{DM}}{I_{STC}}} = [W_p]$$

$$\text{Generador FV} = \frac{\frac{1891.0 \text{ Wh/Día}}{0.831}}{(1 - 0.169) * \frac{3.6 \text{ Wh/Día}}{1 \text{ Wh/m}^2}} = 760.65 [W_p]$$

Donde:

F_p = Factor global de pérdidas

η_s = Eficiencia del inversor

RG_{DM} = Radiación Global diaria media aproximada (Wh/m²)

I_{STC} = Irradiancia en STC (KW/m²)

E_D = Demanda energética real diaria (Wh/día)

Lo anterior da como resultado un generador cercano a los 760.65 Wp, con el caso del almacenamiento se emplea la siguiente formula:

$$\text{Almacenamiento} = \frac{\frac{E_D}{n_s * f_r}}{DOD * V_B} = [Ah]$$

$$\text{Almacenamiento} = \frac{\frac{1891.0 \text{ Wh/Día}}{0.83 * 0.9}}{0.8 * 24} = 131.84 [Ah]$$

A partir de esto se obtiene que se requiere aproximadamente un almacenamiento de 131.84 Ah. En la Tabla 5 se resumen los valores obtenidos para baterías y generador fotovoltaico.

Tabla 5.

Resultados de los valores para la batería y generador del sistema de generación fotovoltaico

Elemento	Valor
Generador FV	760.65 Wp
Batería	131.84 Ah.

De esta manera, a partir de los valores obtenidos en los cálculos realizados y de acuerdo con la disponibilidad del mercado, se seleccionan 14 paneles de 410 Wp y 2 batería de voltaje nominal de 24V y 150Ah. Las especificaciones de los elementos seleccionados se encuentran resumidos en la Tabla 6.

Tabla 6.
Especificaciones de los elementos seleccionados para el sistema de generación fotovoltaico

Panel Solar Ref: AS-6M120-HC Monocristalino	
Potencia	410 wp
Voltaje vmp	30.62v
Corriente Imp	13.39 A
Voltaje Circuito abierto	37.14V
Tipo de celda	108 2 x 54 type monocrystalline
Corriente cortocircuito	13.92 A
Dimensiones	722x1134x30mm
Peso	22 kg
Batería referencia UU24-15	

Voltaje	25.6 V
Capacidad	150 Ah
Energía	3840 Wh
Voltaje de corte	17.6 V – 31,3 V
Ciclos (DOD 80%)	4000 vida útil 5 años
Eficiencia	95%

Con el objetivo de determinar la cantidad de paneles en serie, se calcula el voltaje de circuito abierto máximo de los paneles, de acuerdo con las especificaciones seleccionadas en la tabla 6 para la solución. Para esto, se toma como referencia la temperatura mínima del departamento que se encuentra en la figura 3.

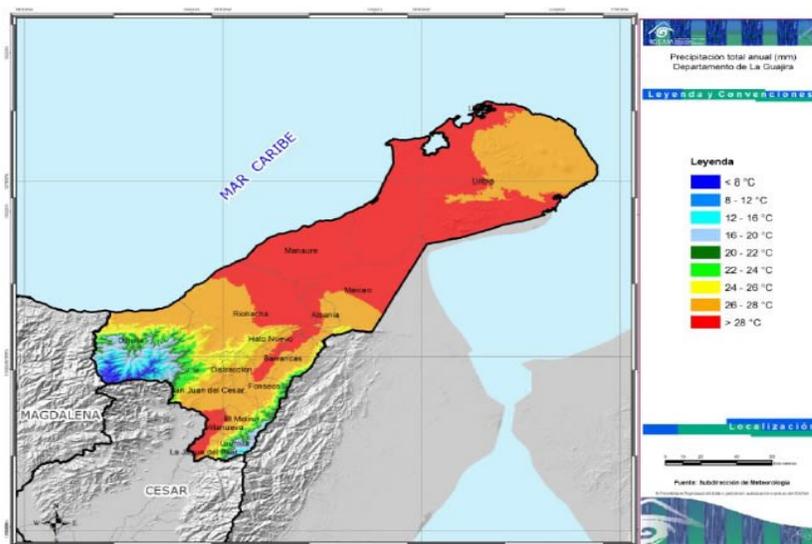


Figura 3. Temperatura mínima del departamento de La Guajira.

A partir de esto, se emplea la Ecuación 4, con el objetivo de determinar el voltaje de circuito abierto máximo para el generador fotovoltaico, considerando las especificaciones del

panel seleccionado en la Tabla 6.

$$V_{OC}(T_{min}) = [(T_{min} - T_{STC}) * \beta * V_{oc} + V_{oc}]$$

Donde:

N_p = Número de paneles

T_{min} = Temperatura mínima lugar instalación [C°]

T_{STC} = Temperatura a condiciones estándar de prueba (STC) [C°]

β = Coeficiente de temperatura de V_{oc} [%/ C°]

V_{oc} = Voltaje de circuito abierto del panel [V]

F_s = Factor de seguridad

De esta manera, al considerar los valores determinados en las especificaciones de los paneles seleccionados, se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{OC}(T_{min}) = [(16 - 25) * (-0.28\%) * 37.14 + 37.14]$$

$$V_{OC-Tmin} = 38.07 V$$

De acuerdo con la formula se debe tener en cuenta que a medida que la temperatura aumenta, el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) por ende, el cálculo se realiza para la solución más crítica que se encuentra en la temperatura mínima de todas las ubicaciones.

$$I_{SC}(T_{cell}) = I_{SC}(T_{cell})[1 + \alpha * (T_{max} - T_{STC})]$$

$$I_{SC}(T_{cell}) = 13.85 [1 + 0.048\% * (37 - 25)]$$

$$I_{SC}(T_{cell}) = 13.93$$

Del mismo modo, se realiza el cálculo de corrección de acuerdo con la Ecuación 7

$$P_{MPP}(T_{cell}) = P_{MPP}(T_{cell})[1 + \delta * (T_{max} - T_{STC})]$$

$$P_{MPP}(T_{cell}) = 410 * [1 + -0.35\% * (37 - 25)]$$

$$P_{MPP}(T_{cell}) = 392.78 \text{ W}$$

La corriente de carga mínima de la batería se calcula a partir de la Ecuación 8.

$$I_C = \frac{P_P}{V_B} = \frac{820}{24} = 34.17 \text{ A}$$

Donde:

P_{DC} = Potencia DC

P_A = Potencia AC

η_S = Eficiencia del inversor

V_B = Voltaje de batería

Con base en los resultados obtenidos en la Ecuación 8, se determina que es posible emplear un controlador de 150V|40A

De esta manera, se determina que es posible emplear los dos paneles en serie, considerando el uso de un controlador en mención, ya que se comprueba en la Ecuación 8, donde se verifica que no se sobrepasa el valor máximo de voltaje del controlador que corresponde a 150V.

$$V_{OC}(T_{min}) = 2 * [(16 - 25) * (-0.28\%) * 37.14 + 37.14]$$

$$V_{OC-Tmin} = 76.15 \text{ V}$$

En la Tabla 7, se encuentran resumidas las características del controlador seleccionado para el diseño.

Tabla 7. Especificaciones técnicas controlador seleccionado

Controlador de carga	Referencia: Controlador XTRA 4210N	
	Voltaje	24 V
	Corriente de carga nominal	40 A
	Potencia fotovoltaica nominal	1040W
	Voltaje máximo OC	100V
	Max corriente cortocircuito	40 A
	Eficiencia	97%

En cuanto al inversor, se emplea la Ecuación 9 para poder calcular la potencia activa y se obtiene que se requiere un inversor de 820 W. De acuerdo con la disponibilidad en el mercado, se selecciona un inversor de 1000W.

$$P_{\text{Inversor}} = 1.25 * P_{\text{Pico}}$$

$$P_{\text{Inversor}} = 1.25 * 693.7 = 867.125 \text{ W}$$

Donde: P_{Pico} = Potencia requerida por la vivienda (ver Tabla 1)

A partir de esto, de acuerdo con la disponibilidad en el mercado, se selecciona un inversor 1000 W 24V, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 7. Selección del inversor

Inversor	Referencia: Inversor IP1000-21-Plus	
	Voltaje de entrada DC	21.6~32.0VDC
	Potencia continua 25°C	1.000 VA
	Factor de potencia	0,9 -1
	Pico de potencia	2.000 W
	Voltaje de salida AC	110V

5.2 Selección técnica de los componentes del sistema de generación fotovoltaica

5.2.1 Selección del panel fotovoltaico

El panel seleccionado es de la marca INTI tiene celdas solares de transmisión elevada con fibra texturizada para una entrega eficiente de la energía eléctrica para las 4 viviendas de la comunidad Amaichon además tienen un bypass de caída para mantener su potencia cuando exista la sombra.

Características del panel fotovoltaico:

Dimensiones: 195.6 x 99.2 x 4 cm

Peso: 22.5 kg

Marco: Aluminio anodizado

Potencia de salida Pmax: 410 Wp

Tolerancias de potencia de salida Pmax: 0 / + 3 W

Eficiencia del módulo: 15.98 %

Tensión en Pmax: 37.76 V

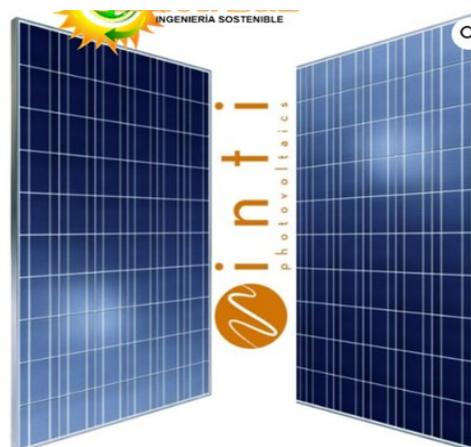
Intensidad en Pmax: 8.21 A

Tensión en circuito abierto: 44.81 V

Intensidad en cortocircuito: 8.79 A

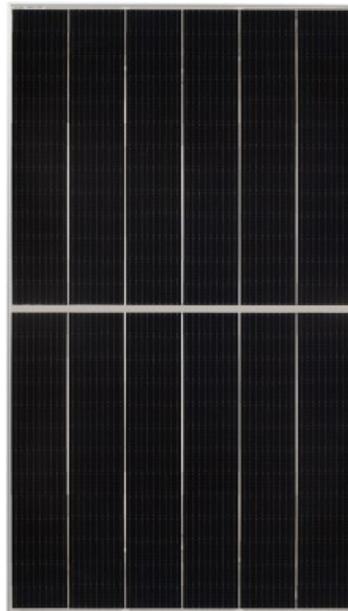
Figura 4. Panel fotovoltaico marca inti.

Fuente: <https://www.ecogreensolar.co/producto/panel-solar-policristalino-inti-301w/>



Características del panel fotovoltaico:

Marca Jinko tiger mono cristalina hc 470wp
 Potencia máxima (pmax):470 wp
 Tension a potencia máxima (vmpp):43,28v
 Corriente a potencia máxima (impp):10,86A
 Tensión en circuito abierto(voc):52,14v
 Corriente de cortocircuito(isc):11,68A
 Voltaje máximo iec:1000/1500VDC
 Eficiencia de modulo:20,93%
 Longitud 2.182 mm
 Ancho 1.029 mm
 Profundida 35 mm
 Peso 25 kg



Características del panel fotovoltaico:

Panel solar 450 watts 120 celdas tiger pro.
 Potencia máxima (pmax):450 wp
 Voltaje maximo potencia (impp):33,91 V
 Corriente a máxima potencia (impp) 13.27A
 Voltaje de circuito abierto(voc)41,18v
 Corriente de circuito(isc)13,85A
 Eficiencia del panel: 20,85%
 Tolerancia de potencia (positiva)+1%
 Voltaje máximo del asistente: 1000/1500v
 Dimensión de panel(h/w/d) 1903x1134x30mm
 Peso 24,2kg



5.2.3 Selección de las baterías

Batería Solar seleccionada para las 4 viviendas de la comunidad Amaichon, es de la marca Fulibattery GS (Servicios Generales) esta batería recargable tiene sistema de ácido – plomo que se regula por válvulas. Tiene alta resistencia en clima frio. Características comerciales: Batería Sellada Libre de Mantenimiento, 12 Voltios x 40 Amperios, Dimensiones (mm): 197 x 165 x 170, Peso Aproximado 13Kg (28.66 lbs) \pm 5%, Certificación ISO 9001:2008 e ISO 14001: 2004, UL y aprobación del CE, CEBAT-7216. Garantía 1 Año.



Figura 5. Batería recargable para panel fotovoltaico marca Fulibattery GS
Fuente: <https://www.ecogreensolar.co/producto/panel-solar-policristalino-inti-301w/>

Fórmula para selección de la batería solar

Capacidad de baterías (C_b) = Energía requerida (E_r) * Días de autonomía profundidad de descarga (días) * Tensión del sistema (tensión).

$$C_b = E_r * \text{días} * \text{tensión.}$$

5.2.4 Selección del regulador/controlador de carga

Para completar el sistema de generación eléctrica fotovoltaica de la comunidad Amaichon se requiere un controlador de carga marca PACO que regula la entrada de corriente del panel a la batería y evita que se produzcan sobrecargas y descargas, es eficiente porque cuenta con un chip computarizado especial para un control inteligente que sirve para configurarse en un solo botón.

Características:

Controlador regulador de carga panel solar.

Posee protección para sobrecarga y corto circuito.

Controla automáticamente la energía del panel solar y la batería.

Protección contra rayos, prolonga la vida de la batería.

Fácil de instalar y utilizar.

Especialmente diseñado para sistemas de paneles solares.

Tensión Voltaje: DC 12V / 24V.

Corriente de entrada máxima del módulo a 50 °: 10A, 15A, 20A, 30A,

Corriente de salida de carga máxima a 50°: 10A, 15A, 20A, 30A,

Tensión del sistema: 12 V / 24 V, Tensión máxima del colector solar: 47 V CC,

Dimensiones (L × W × H) : 177x 96 x 43 mm

Temperatura ambiente permitida: -25° + 50°,

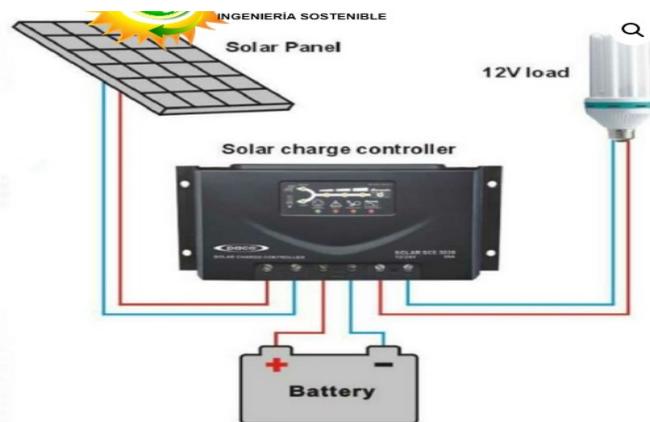


Figura 6. Controlador de carga marca PACO para el sistema de generación eléctrica fotovoltaica.
Fuente: <https://www.ecogreensolar.co/producto/panel-solar-policristalino-inti-301w/>

4.5.4 Selección del Inversor

Para el sistema de generación eléctrica fotovoltaica se requiere el inversor 300W-12V de corriente de onda senoidal modificada marca PACO que ofrece una alternativa de alta calidad en el suministro de energía de corriente alterna para todos los equipos eléctricos comunes a través de la inversión desde una entrada de 12 VDC proveniente de baterías comunes.



Figura 7. Inversor fotovoltaico marca PACO para el sistema de generación eléctrica fotovoltaica.
Fuente: <https://www.ecogreensolar.co/producto/panel-solar-policristalino-inti-301w/>

Características

Voltaje de entrada DC: 12V DC, 27.5A, (10-15V)

Voltaje de salida de CA: 110 V CA, +/- 8%

Potencia de salida: 300W, 1.3A pico max: 600W

Voltaje de salida USB: 5.0V DC, 500mA

Frecuencia de salida: 50 o 60Hz

Onda de salida: ONDA SENOIDAL MODIFICADA

Alarma de voltaje de batería baja: 10.5V DC, + / - 0.5V

Apagado por voltaje de batería baja: 10.0 V CC, +/- 0.5 V

Fusible 40A (externo)

Eficiencia: 85 a 90%

Tamaño de la máquina (mm): 150×108×51

peso: 0.75K



Figura 8. Espacio funcional para el sistema de generación fotovoltaico otorgado por el jefe de la comunidad Amaichon.

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Evaluación de costos asociados a la implementación del proyecto

A continuación, se describen los costos asociados para la instalación del sistema de generación fotovoltaica que puede proveer de energía eléctrica para las 4 viviendas, donde viven aproximadamente 19 habitantes en la comunidad Amaichon del Municipio Manaure.

Tabla 5.
Presupuesto para el sistema de generación fotovoltaica unitario.

Cant.	Concepto	Referencia	Valor total
14	Panel fotovoltaico	410 W Dimensiones 195.6 x 99.2 x 4 cm	\$7.498.000,00
2	Batería solar	24 voltios x 150 Amperios	\$4.620.000,00
1	Inversor	1500W-24V Onda completa EPEVER	\$648.000,00
1	Controlador de carga	EPEVER 4215N DC 24V/30A	\$485.000,00
1	Instalaciones internas	Internas RETIE SCH40	\$700.000,00
Total			\$13.951.000,00

Para la comunidad de Amaichon, se requieren los anteriores materiales según listado por cada unidad constructiva, es decir, se multiplican los equipos anteriores por 4, para suplir las necesidades de manera individual. La segunda opción como está contemplado en los diseños anexos, es realizar un solo sistema de inversión de voltaje y distribuir el fluido eléctrico convencional directamente desde un punto centralizado, por medio de acometidas aéreas y cumpliendo con la normatividad. ver anexo E.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Con relación al primer objetivo específico para determinar el aporte de energía solar del lugar a partir del análisis de información en bases de datos especializadas en irradiación solar y condiciones meteorológicas, se realizó la búsqueda en el Ideam en la plataforma web obteniendo los indicadores del brillo solar para el Municipio Manaure, según los datos reportados por el IDEAM que se usaron con el objetivo de estimar el potencial de energía solar son las horas de brillo solar (hbs) total de cada mes y anuales. Reporta valores de irradiación solar sobre superficie horizontal cada media hora entre los años de 1998 al 2019, con una resolución espacial de 4 km por 4 km. Y la temperatura referencial es 35° a 25° grados centígrados cada media hora que se reportan los datos de irradiancia.

Por su parte el segundo objetivo específico busco establecer las necesidades de energía eléctrica en las 4 viviendas con 19 habitantes de la comunidad 1 de Amaichon, se realizó una tabla descriptiva con el aforo de consumo eléctrico por cada equipo que puede ser utilizado con el sistema de generación fotovoltaica, aplicando cálculos para el logro de la eficiencia eléctrica en los paneles fotovoltaicos. Por lo tanto, en promedio la casa puede llegar a consumir 3031.4 KWh/día, es decir, aproximadamente 101.04 KWh/mes, la potencia máxima requerida por las viviendas tiene como resultado 25.2KW.

En cuanto al tercer objetivo específico para determinar la cantidad de paneles a utilizar en el sistema de generación fotovoltaico y poder cubrir las necesidades eléctricas de la comunidad Amaichon, fue considerado según los cálculos para la capacidad energética mediante paneles

hechos con fibra texturizada para una entrega eficiente de la energía eléctrica a las 4 viviendas de la comunidad Amaichon, donde se determinó que es posible emplear los dos paneles en serie, considerando el uso de un controlador en mención, ya que se comprueba en la Ecuación 8, donde se verifica que no se sobrepasa el valor máximo de voltaje del controlador que corresponde a 150V.

Finalmente, el último objetivo específico donde se realizó la selección adecuada de los componentes principales del sistema de generación de energía fotovoltaica, valorando su eficiencia y costos en el mercado para que alguna entidad pueda contribuir en la implementación de este proyecto en la comunidad de Amaichon en el municipio Manaure, demostrando que cada instalación de equipo individual tiene un costo de \$13.951.000,00 pesos para cada casa de la comunidad Amaichon. Otra opción sería según lo contemplado en los diseños anexos, es realizar un solo sistema de inversión de voltaje y distribuir el fluido eléctrico convencional directamente desde un punto centralizado, por medio de acometidas aéreas y cumpliendo con la normatividad.

Recomendaciones

Se recomienda a la comunidad de Amaichon continuar con la gestión del proyecto en las entidades del gobierno colombiano u organizaciones que puedan colaborar en su implementación para el beneficio de la población.

También, se recomienda el aprovechamiento no solo de la energía solar, sino, la generación eléctrica Eólica.

Se recomienda a la universidad continuar con la investigación académica y la generación de proyectos sustentables que contribuyen a dar soluciones oportunas a las necesidades de las comunidades en la región colombiana.

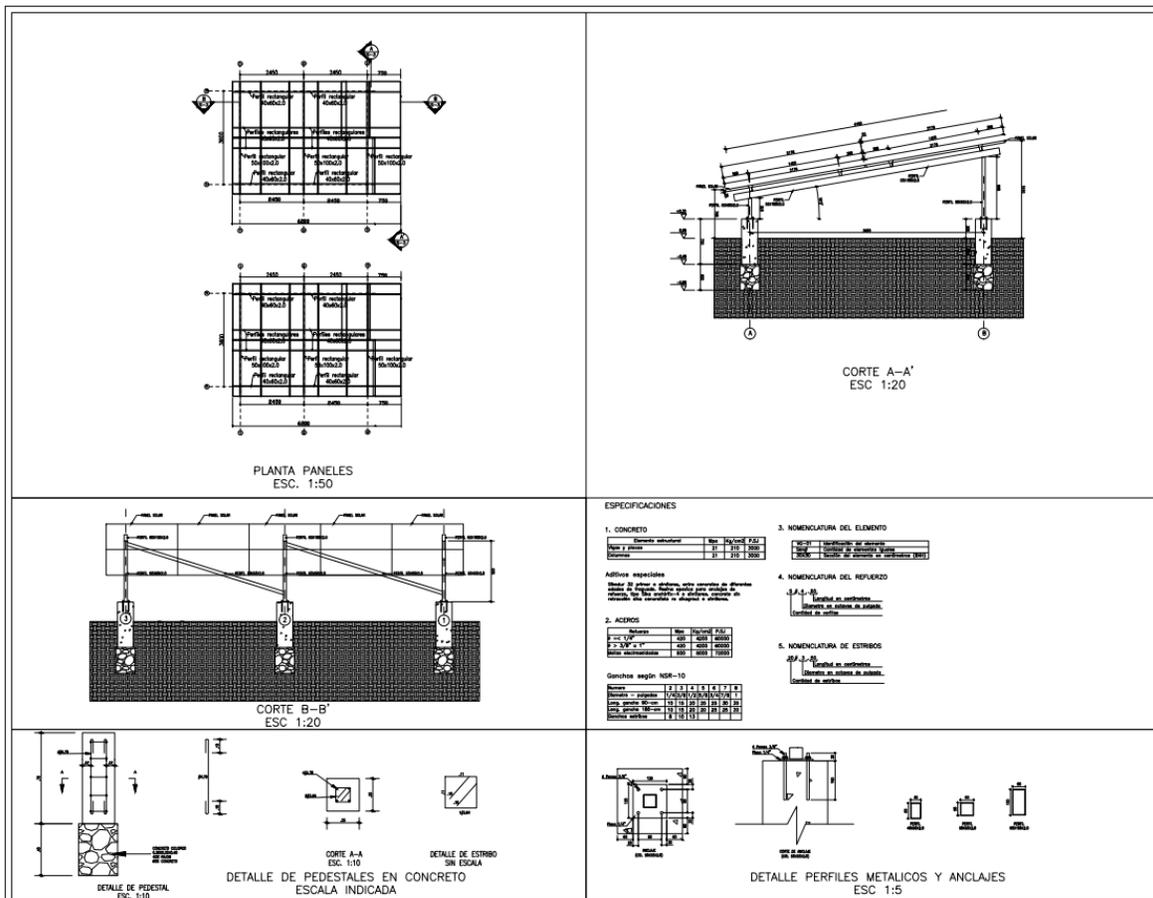
BIBLIOGRAFÍA

- [1] Harper, E. (2017). El ABC de las energías renovables en los sistemas eléctricos. México: Limusa.
- [2] IDEAM. (2019). Atlas de la radiación solar en Colombia. Bogotá: UPME.
- [3] Hernández, R.; Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill. (2016).
- [4] Martínez, B. y Mora, A. (2022). Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en vivienda en zona rural donde no llega el tendido eléctrico situado en el Golfo de Guayaquil - comunidad masa 2. Trabajo de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. Recuperado de: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22810/1/UPS-GT003826.pdf>
- [5] Valverde Granja, Agustín, Vargas Galván, Giovanni Andrés, García Arboleda, Mauricio, y Díaz Figueroa, John Edisson. (2022). Impacto de la implementación del sistema de riego con energía solar en cultivos de limón. *Revista Logos Ciencia & Tecnología*, 14 (2), 90-107. Epub 13 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.22335/rlct.v14i2.1571>
- [6] Carmargo, L. y Garzón, P. (2018). Evaluación de la implementación de energía solar fotovoltaica en la ganadería sostenible en toca, Boyacá. Trabajo de grado. Universidad Católica de Colombia.
- [7] Montalvo, D. (2017). Análisis y diseño del alumbrado en espacios exteriores utilizando lámparas LED microcontroladas, alimentadas por un sistema de energía solar fotovoltaico. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Santiago Guayaquil. Ecuador.
- [8] Vélez, J. y Figueroa J. (2017). Diseño de un sistema de alumbrado público con suministro de energía solar fotovoltaica en la urbanización valle del sol Girardot – Cundinamarca. Trabajo de grado. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Girardot, Colombia.
- [9] Rabiul Islam, M. S., Pejush, & Kumar Ghosh, S. (2017). Prospect and Advancement of Solar Irrigation in Bangladesh: A Review. *Energy Reviews*, (77), 406-422. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.052>
- [10] Zhang, J., Liu, J., Campana, P. E., Zhang, R., Yan, J., y Gao, X. (2014). Model of Evapotranspiration and Groundwater Level Based on Photovoltaic Water Pumping System. *Applied Energy*, (136), 1132-1137. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.045>

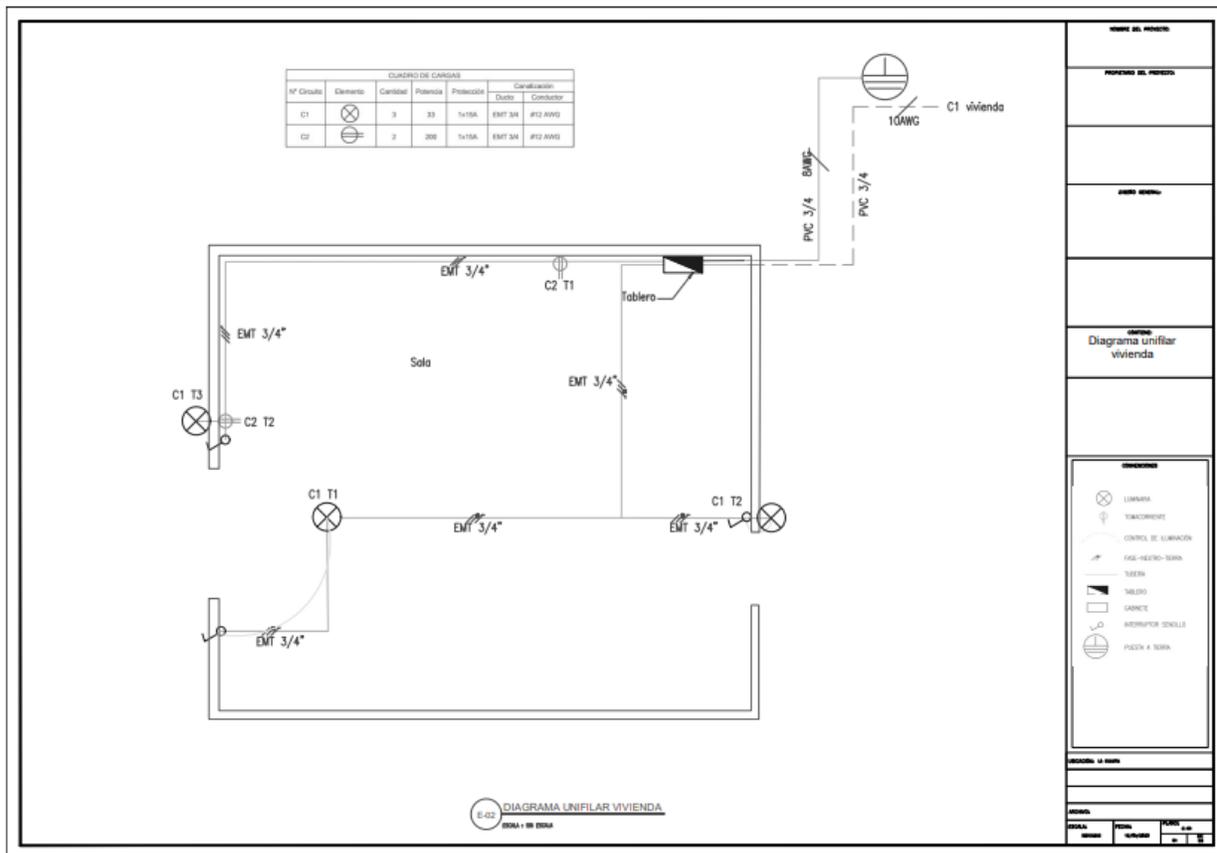
- [11] Mérida, A., Fernández García, I., Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P., & Rodríguez-Díaz, J. A. (2018). Coupling Irrigation Scheduling with Solar Energy Production in a Smart irrigation Management System. *Journal of Cleaner Production*, (175), 670-682. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.093>
- [12] López-Luque, R., Martínez, J., Reza, J., y Ruiz, R. (2017). Análisis de viabilidad y gestión del riego en invernaderos mediterráneos con energía solar fotovoltaica. *Ribagua*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/23863781.2017.1332806>
- [13] Guarín, W. y Ruiz, J. (2022). Diseño de un sistema fotovoltaico de riego para la empresa agrícola Cactus S.A. Trabajo de grado. Universidad Antonio Nariño. Tunja, Colombia.
Recuperado de:
http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/6803/3/TIG_WilverGuarin_JorgeRuiz_IEM.pdf
- [14] Miñarro, J. (s.f.). newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm. Recuperado el 11 de agosto de 2022, de http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm
- [15] Paramo, R. (2022). Los seres vivos. [Documento en línea]. Recuperado de: de Los seres vivos: <http://naturalezaparaguaguas.blogspot.com/2022/03/el-sol-nos-da-luz-y-calor.html>
- [16] Villegas, W. (2021). Estudio para el suministro de energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico para el mercado San Roque. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- [17] Franco, M. (2017). Diseño e implementación de un sistema alternativo de suministro eléctrico mediante energía solar fotovoltaica en iluminación y térmica en calentamiento de agua en una casa rural. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- [18] Fuertes, V. (2019). Diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaica para una población del medio atrato – Chocó (caso beté). Trabajo de grado. Universidad Autónoma De Occidente. Cali

Anexos

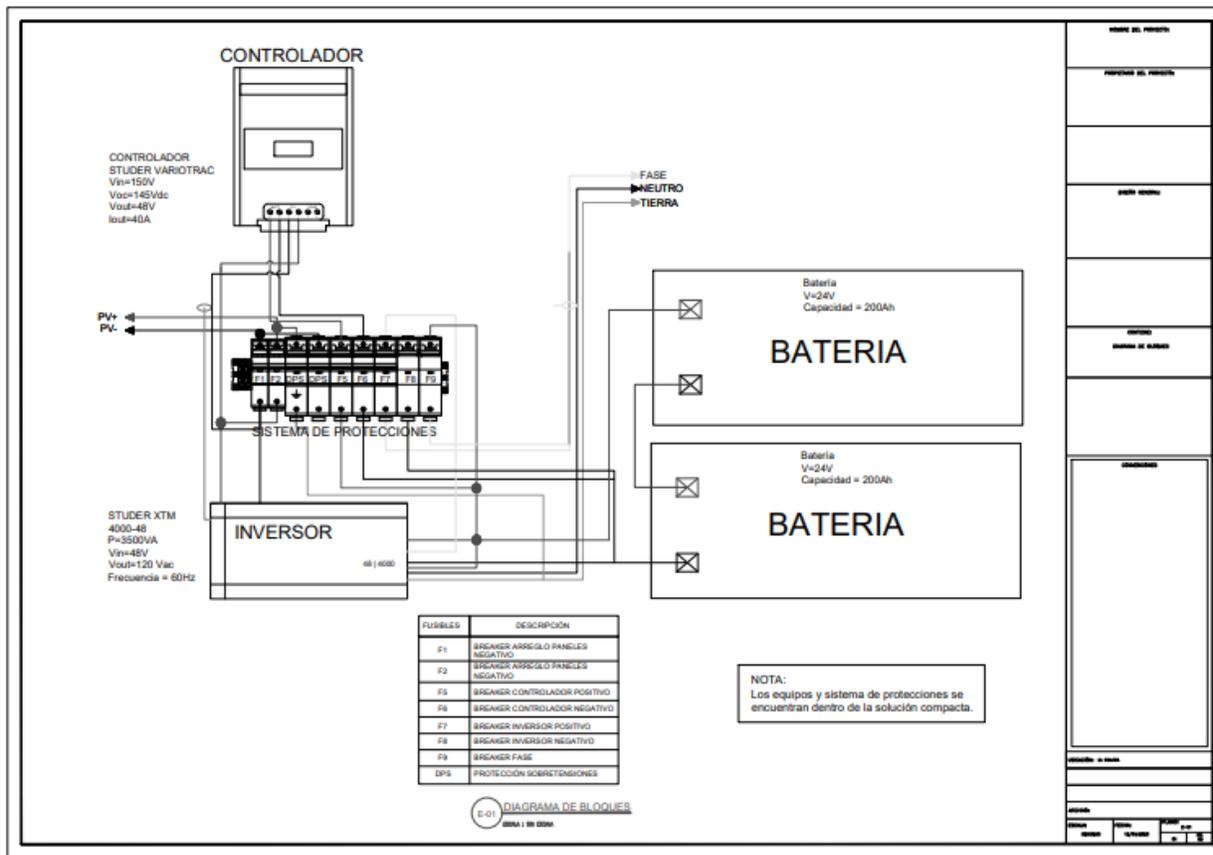
Anexo A - diseño de Distribución Eléctrica



Anexo c



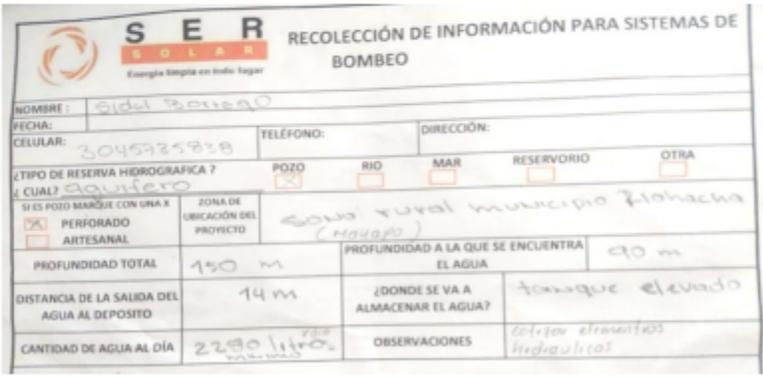
Anexo d



Anexo E

		SOLUCIONES ENERGÉTICAS RURALES S.A.S. N.º: 906718371 Calle 12A No. 14 - 98 7281047 - 3045281682 serosolaras@gmail.com			
CLIENTE: SIDEL BORREGO Nombre : SIDEL BORREGO Teléfono: 3045735838 Email:		COTIZACIÓN 2023-044 14/03/2023			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND/M	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Kit solar de 336wp, incluye: • Panel solar • Batería • Controlador • Inversor de corriente • Gabinete y conexiones electricas interna de la planta.	UND	1	\$ 5,300,511	\$ 5,300,511
2	Transporte e instalación	UND	1	\$ 450,000	\$ 450,000
Nota: Sitio de instalación sería zona rural municipio Riohacha (Mayapo)				SUBTOTAL:	\$ 5,750,511
				TOTAL:	\$ 5,750,511
OBSERVACIONES: Este sistema está diseñado para uso de los electrodomésticos que aparecen en el siguiente cuadro de cargas, si el cliente quiere conectar algún aparato consumidor de energía diferente a los que aquí se detallan, por favor comunicarse a la oficina de Ser Solar para validar la información.					
CUADRO DE CARGA					
ELECTRODOMESTICOS	CANTIDAD	WATTS	TOTAL VATIOS	HORAS DE USO	
BOMBILLOS	1	10	10	5	
TELEVISOR LED	1	39	39	12	
VENTILADOR	1	90	90	8	
RADIO	1	8	8	6	
CELULAR	2	20	40	2	
Vigencia de la propuesta: 8 días Tiempo de Entrega: 3 a 5 días hábiles después de verificación del pago.					
Forma de PAGO A contado					
ATENTAMENTE <div style="text-align: center;"> GUNTER PIMENTA GERENTE </div>					

Anexo F

 S E E R S O L A R Energía limpia en todo lugar		SOLUCIONES ENERGÉTICAS RURALES S.A.S. NIT: 900718071 Calle 13 No. 18 - 121 281047 - 204521683 sev@seeruas@gmail.com				
CLIENTE: SIDEL BORREGO Nombre: SIDEL BORREGO Teléfono: 3045735828 Email:		COTIZACIÓN 2023-044 14/03/2023				
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNDM	CANT	VALOR UNITARIO ANTES DE IVA	IVA	VALOR TOTAL
1	Kit de bombeo con energía solar, incluye: (Bomba sumergible, controlador para la bomba y asesorios para la bomba)	UND	1	\$ 3,726,048	19%	\$ 3,726,048
2	Sistema de generación de energía fotovoltaica	UND	1	\$ 5,012,640	0%	\$ 5,012,640
3	Elementos hidráulicos, electricos y protecciones para sistema de bombeo.	UND	1	\$ 4,319,456	19%	\$ 4,319,456
4	Estructura sobre poste para paneles solares	UND	1	\$ 1,008,403	19%	\$ 1,008,403
5	Transporte e instalación	UND	1	\$ 378,151	19%	\$ 378,151
				SUBTOTAL:		\$ 14,444,699
					IVA 19%	\$ 1,792,091
				TOTAL:		\$ 16,236,790
OBSERVACIONES: Dimensionamiento de sistema para cumplir con las especificaciones recibida por el cliente.						
 <p> RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA SISTEMAS DE BOMBEO NOMBRE: Sidel Borrego FECHA: CELULAR: 3045735828 TELÉFONO: DIRECCIÓN: ¿TIPO DE RESERVA HIDROGRÁFICA? POZO <input checked="" type="checkbox"/> RIO <input type="checkbox"/> MAR <input type="checkbox"/> RESERVORIO <input type="checkbox"/> OTRA <input type="checkbox"/> ¿CUÁL? acuífero SI ES POZO MARQUE CON UNA X ZONA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO: zona rural municipio Bohacha (Mogote) <input checked="" type="checkbox"/> PERFORADO <input type="checkbox"/> ARTESANAL PROFUNDIDAD TOTAL: 150 m PROFUNDIDAD A LA QUE SE ENCUENTRA EL AGUA: 90 m DISTANCIA DE LA SALIDA DEL AGUA AL DEPÓSITO: 14 m ¿DONDE SE VA A ALMACENAR EL AGUA?: tanque elevado CANTIDAD DE AGUA AL DÍA: 2280 litros OBSERVACIONES: cotizar elementos hidráulicos </p>						
Vigencia de la propuesta: 8 días Tiempo de Entrega: A fines del mes de abril						
Forma de PAGO A contado						
ATENTAMENTE <p style="text-align: center;">GUNTER PIMENTA GERENTE</p>						

Anexo G.



Punto de acceso al agua potable para las comunidades aledañas.

Anexo H.



Tomas de medidas en la comunidad de amaichon.

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8885/1/TESIS%20PANELES%20SO LAR%20V3.pdf>