



Diseño de un sistema solar fotovoltaico para la comunidad indígena Pijao ubicada en el resguardo Pocharco

Tania Julieth Guayazan Pinto
Julián David Mendivelso Moreno
Brigitte Puentes Restrepo
Julián Stiven Villamil Vargas

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Proyecto de grado
Bogotá, D.C, Colombia
2020

Diseño de un sistema solar fotovoltaico para la comunidad indígena Pijao ubicada en el resguardo Pocharco

Tania Julieth Guayazan Pinto
Julián David Mendivelso Moreno
Brigitte Puentes Restrepo
Julián Steven Villamil Vargas

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero en Energías - Ingeniera Química

Director:
Camilo Mejía Moncayo

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Proyecto de grado
Bogotá, D.C, Colombia
2020

Resumen

En Colombia las zonas no interconectadas representan aproximadamente el 52% del territorio nacional (Superservicios, 2017). Donde principalmente estas zonas están caracterizadas por tener una baja densidad poblacional, bajos niveles de consumo energético, baja capacidad de pago por parte de los habitantes, altos costos de prestación o implementación de servicios públicos y uno de los factores más determinantes y repetitivos es que estas zonas suelen estar habitadas por comunidades indígenas y minorías étnicas. El objetivo del siguiente proyecto de grado es brindar una solución de diseño para brindar el servicio eléctrico a una comunidad indígena del Tolima teniendo en cuenta las necesidades y obstáculos de la zona que serán plasmados y resueltos a continuación. Para esto se brindará una solución por medio de energía fotovoltaica ya que este tipo de generación de energía eléctrica es considerada de las más viables y económicas para las zonas más alejadas o con difícil acceso como lo representa el territorio donde se espera establecer el sistema. Se brindará alternativas de diseño para solución fotovoltaica en pro de lo que sea más viable y óptimo para lograr la aprobación y realización del proyecto.

Finalmente, se dará toda la información requerida para la implementación del diseño del sistema cubriendo todos los aspectos técnicos necesarios y se brindaran las recomendaciones pertinentes para el mantenimiento y óptimo desempeño del mismo.

Palabras clave: Energía, Recursos renovables, energía solar fotovoltaica, energía renovable, paneles solares, medio ambiente, ZNI.

Abstract

In Colombia, non-interconnected areas represent approximately 52% of the national territory (Superservicios, 2017). Where mainly these areas are characterized by having a low population density, low levels of energy consumption, low ability to pay by the inhabitants, high costs of provision or implementation of public services and one of the most determining and repetitive factors is that these areas are often inhabited by indigenous communities and ethnic minorities. The objective of the following degree project is to provide a design solution to provide electrical service to an indigenous community of Tolima, taking into account the needs and obstacles of the area that will be reflected and resolved below. For this, a solution will be provided by means of photovoltaic energy and that this type of electric power generation is considered one of the most viable and economical for the most remote areas or those with difficult access, as represented by the territory where the system is expected to be established. Design alternatives for a photovoltaic solution will be provided in favor of what is most viable and optimal to achieve the approval and completion of the project. Finally, all the information required for the implementation of the system design will be provided, covering all the necessary technical aspects and the pertinent recommendations will be provided for its maintenance and optimal performance.

Keywords: Energy, Renewable Resources, Photovoltaic Solar Energy, Renewable Energy, Solar Panels, Environment, Non-interconnected zone

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	10
3. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
3.2 CONTEXTO DEL PROBLEMA	11
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS O ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	14
MARCO DE REFERENCIA:	17
ANÁLISIS DE RESTRICCIONES	26
ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN	28
ESPECIFICACIONES DE INGENIERÍA PARA LA SOLUCIÓN Y EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS COMPONENTES.	36
ANÁLISIS DE COSTOS DEL DISEÑO	44
PROTOTIPADO O DISEÑO CONCEPTUAL	45
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS.....	48

Lista de figuras

FIGURA1. ÁRBOL DEL PROBLEMA (CAUSAS Y EFECTOS).	13
FIGURA 2. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED.	19
FIGURA 6. CELDA, MÓDULO Y GENERADOR DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	22
FIGURA 7. ALAMBRE DE COBRE Y CABLE DE COBRE.....	24
FIGURA 8. CABLE CON TRES CONDUCTORES EN LA MISMA MANGA Y CABLE DE COBRE PARA SOLDADURA.	24
FIGURA 9. CUADRO NORMATIVO.....	25
FIGURA 10.....	28

Lista de tablas

Pag.

Tabla 1. Participación de las energías renovables primaria ..!ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1.Introducción

La comunidad indígena del resguardo Pocharco está conformada por descendientes de la etnia Pijao perteneciente al departamento del Tolima, la tierra es sagrada y por ello su economía se basa en la agricultura, la pesca y el intercambio comercial con las poblaciones aledañas de los bienes que producen. A pesar de ser parte de una cultura ancestral nacional ya no conservan las mismas tradiciones y sus rituales han cambiado o se han modernizado por culpa del conflicto armado y las grandes industrias que los obligaron a dejar su territorio y mezclarse con otras comunidades, perdiendo de esta forma su identidad ancestral.

En cuanto a la ubicación, el resguardo de Pocharco se encuentra en el municipio de Natagaima - departamento del Tolima, para llegar a este resguardo existen dos vías, la primera es desde Natagaima hacia el paso de la barca, con medios de transporte como carro, moto o a pie. En este punto hay dos opciones de transporte, un planchón o una canoa para pasar al otro extremo del río Magdalena, al finalizar este tramo, se debe escoger el camino de la vereda Los Ángeles y emprender 30 minutos de camino (en carro o moto) o dos horas de camino. La segunda vía es desde el municipio de Prado, pasando por la vereda Yavi y saliendo por el municipio de Purificación en vehículo o moto. (Mininterior, 2014).

Según el "Plan de Salvaguarda Étnica del Pueblo Pijao" presentado por el Ministerio del Interior en el año 2014 los habitantes de este resguardo viven en condiciones precarias, pues las viviendas están construidas principalmente en bahareque y los techos en palma de moriche o en guadua. En cada casa pueden llegar a habitar entre dos o tres familias de cuatro integrantes. Los baños y la cocina se encuentran fuera de la vivienda y son empleados métodos artesanales como el horno o fogón de leña para la preparación de los alimentos.

En la actualidad el gobierno nacional promueve a través de entidades como la UPME (Unidad de Planeación Minero-energética), el ministerio de minas y energía o el IPSE (Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas), la implementación de proyectos solares fotovoltaicos para la implementación de la cobertura del servicio de energía eléctrica en las zonas ni interconectadas al sistema eléctrico nacional, esto con miras a promover el desarrollo en estas comunidades y poder cumplir con el abastecimiento de energía eléctrica en el territorio nacional.

Puesto que el sol es una de las principales fuentes de energía que tenemos en la tierra y su principal característica es que es inagotable y el avance tecnológico de la última década ha permitido que la generación eléctrica a partir de esta fuente sea cada vez más eficiente y el costo de implementación menor. Por ende, la energía solar fotovoltaica es implementada cada vez más en proyectos aislados en las zonas no interconectadas a la red en Colombia, promovido por leyes como la 1753 de 2015 que les permite a las entidades regionales asignar recursos para el estudio

de instalación de proyecto, o la 1715 de 2014 donde el gobierno fomenta a través de los ministerios el aprovechamiento del recurso solar para la generación eléctrica.

Teniendo en cuenta las características del resguardo de Pocharco, como ZNI (zona no interconectada): temperatura promedio de 19.21 °C, un clima cálido semihúmedo y una irradiación promedio de 4.575 kWh/m² día, la viabilidad de un sistema de generación eléctrica favorece la opción de celdas fotovoltaicas, estas optimizan espacio, aprovechan la irradiación, suelen ser más económicas y eficientes.

El presente documento desarrollará el análisis para el posterior diseño de un sistema solar fotovoltaico para la comunidad indígena ubicada en el resguardo Pocharco en Natagaima. Dado que este tipo de comunidades no cuentan con servicios públicos de gas, alcantarillado y en algunas ocasiones no cuentan con el servicio eléctrico o este se presenta de forma parcial, producido por fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), estas condiciones se presentan principalmente por la falta de planes regionales incluyentes argumentados en el difícil acceso a la comunidad y también por las grandes distancias que separan a estas comunidades de las zonas urbanas.

El sistema solar por implementar es una forma de generación eléctrica que se realiza mediante el uso de paneles fotovoltaicos compuestos por módulos de células fotoeléctricas de silicio que transforma los fotones captados de la radiación solar y los transforma en electricidad, que se emplea para el uso general de los equipos eléctricos que se encuentran en la vivienda.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de generación eléctrica a partir de la energía solar fotovoltaica para el suministro eléctrico del resguardo indígena Pocharco ubicado en el municipio de Natagaima – Tolima.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar los diferentes elementos que componen la instalación y su entorno para asegurar su correcto funcionamiento y eliminar factores que pueden afectar negativamente el rendimiento del proyecto.
- Plantear la alternativa a tener en cuenta para el desarrollo de diseño del sistema solar fotovoltaico dependiendo de la ubicación.
- Desarrollar el modelamiento del sistema fotovoltaico apoyados en software de modelamiento de proyectos solares (Helioscope).
- Evaluar el impacto económico del proyecto según los elementos a implementar y el modelo del proyecto.

3. Identificación del problema

3.1 Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un sistema solar fotovoltaico para el resguardo indígena Pocharco?

3.2 Contexto del problema

En México se realizó un estudio para profundizar sobre el uso de paneles solares fotovoltaicos en zonas rurales y urbanas, en este estudio realizan el análisis de las viviendas, y encuentran que el 90% de las viviendas son casas y el 7% son apartamentos, además, que el 65% de las viviendas están ubicadas en el área urbana y el 35% en el área rural. A lo anterior, identifican que el 80% de las viviendas están construidas con ladrillos y los techos de hormigón y el 20% restante, las paredes se conforman de adobe, techos de palma o tejado, todo depende de la zona donde se encuentre. Ahora, respecto a la infraestructura eléctrica para el 2015, 2,3% de las viviendas sin servicio de energía correspondían al área rural (Rosas, Zenón, & Morillón., 2019). Nuestro propósito con lo anterior es ejemplificar las condiciones de vivienda también identificadas en el resguardo de Pocharco.

Por otra parte, un estudio realizado por la universidad Santo Tomás, donde hacen referencia a proyectos puestos en marcha en Colombia integrando la energía solar fotovoltaica; mencionan un proyecto llevado a cabo en los años 80, el proyecto fue realizado entre Telecom y la universidad Nacional, en el cual instalaron generadores fotovoltaicos de 60 Wp (vatio pico) en zonas rurales para radioteléfonos. Además, se mencionan el desarrollo de aproximadamente 370 proyectos de instalación de sistemas solar fotovoltaicos implementados en los departamentos de Vichada, Guaviare, Guainía, Vaupés y Amazonas, realizados por el Instituto Colombiano de Energía Eléctrica (Gómez, Murcia, & Cabeza, 2017).

En lo concerniente a nuestra carrera, nuestro reto, es desarrollar un diseño viable, económico y útil, para poder implementar en el resguardo de Pocharco, un sistema solar fotovoltaico que les genere energía eléctrica y que puedan usar en su beneficio, aprovechando

Comentado [BR1]: No entiendo la relación de este párrafo con nuestro proyecto.

los conocimientos que hemos adquirido como ingenieros de energía e ingeniería química, para desarrollar este tipo de sistema y así contribuir con el desarrollo de esta comunidad, empezando por identificar el problema, las alternativas de solución y modelamiento del sistema.

Ahora, en revisión al caso del departamento del Tolima, se encontró que este, está incluido en el SIN (Sistema interconectado nacional), ya que en los reportes del IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas) este no se tiene en cuenta, y no se tiene en cuenta porque la mayoría de las poblaciones son urbanas y cuentan con energía (IPSE & CNM, 2020). Sin embargo, el resguardo de Pocharco se encuentra en una zona rural aislada y de difícil acceso lo que la ubica fuera del SIN (Sistema interconectado nacional), además se le dificulta su interconexión como a los 23 resguardos indígenas restantes de Natagaima – Tolima, como también, a su vez la mayoría carecen de los servicios básicos (los servicios públicos de alcantarillado, recolección de basuras, solo cuentan con electricidad en algunos hogares, tienen pozo séptico y suministran el agua de aljibes, cocinan en leña y la basura se desecha y se quema a cielo abierto) (Min interior, 2018).

De acuerdo a su ubicación geográfica y por sus características culturales el resguardo Pocharco tiene su propia organización interna, lo que limita la acción y ejecución de proyectos del gobierno departamental o regional y por ende sus necesidades se hacen más explícitas en cuanto a la carencia de servicios básicos con los que cuentan las grandes urbes o ciudades, el agua potable, el gas natural de cocina y el servicio de corriente eléctrica en las viviendas son servicios con los que no cuenta esta población. Al ser una población pequeña y no contar con estos servicios básicos, sus actividades diarias se limitan en gran medida, incluso llegando a afectar las actividades económicas de los habitantes del resguardo. Para la identificación de las limitaciones que se pueden presentar, se realizó el siguiente diagrama:

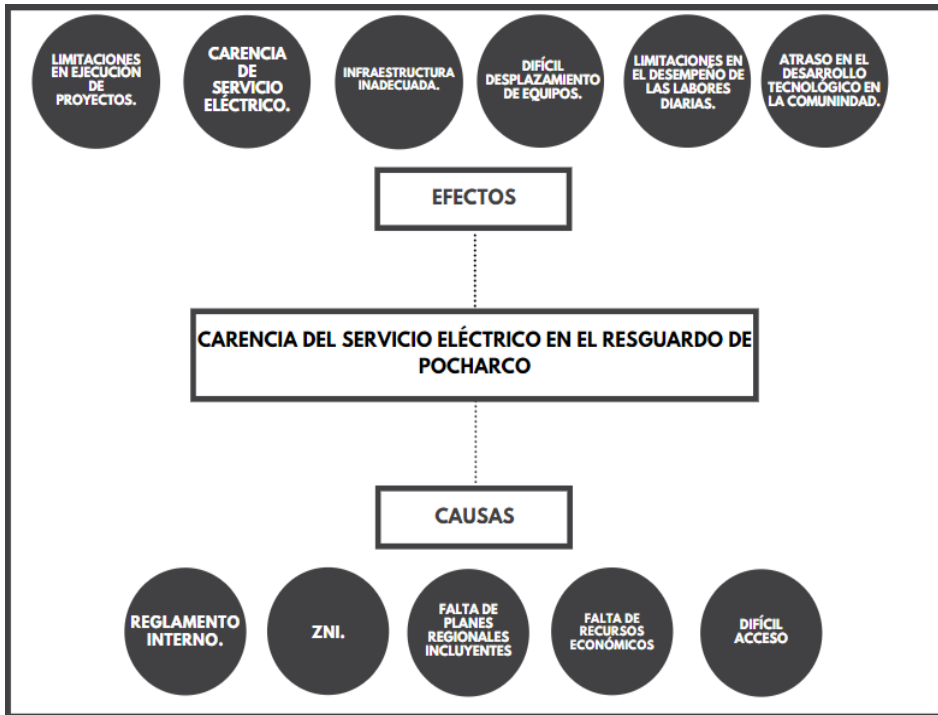


Figura1. Árbol del problema (causas y efectos).

Elaboración propia.

Una de las ventajas del municipio de Natagaima es que cuenta con una irradiancia en promedio de 4.575 kWh/m² día, que es bastante buena para un proyecto fotovoltaico, esta irradiación la registra la entidad Energie Repowering the Future con datos obtenidos del IDEAM. Teniendo en cuenta la anterior información, proponemos en este proyecto generación in situ por medio de paneles solares fotovoltaicos con objetivo de generación eléctrica para la comunidad de Pocharco, de esta forma la comunidad podrá contar con el servicio de energía eléctrica de una forma más accesible que la interconexión con el SIN, o la generación a partir de combustibles líquidos como la gasolina

4. Análisis de requerimientos o especificaciones del producto

Para el desarrollo del proyecto se establecen los siguientes requerimientos que permiten estructurar de forma clara y precisa el producto que corresponde a la entrega final.

Introducción.

1. Establecer los diseños de generación solar fotovoltaica.

El cliente solicita que se diseñen dos modelos de consumo eléctrico para poder seleccionar el más conveniente en cuanto al tema económico y la eficiencia del sistema. El primero modelo, corresponde a un sistema autónomo de generación eléctrica solar fotovoltaica por unidad residencial que debe contar con un banco de baterías que se carga durante las horas solares para el suministro energético nocturno, la segunda opción, corresponde a un diseño centralizado del sistema fotovoltaico, en otras palabras la generación aislada de la energía y distribuida a todas las viviendas para su consumo, este sistema aislado tiene un respaldo nocturno que costa de baterías instaladas de forma aislada en cada vivienda igual que en el sistema por unidad residencial. Otro punto a tener en cuenta es que esta generación eléctrica no se encuentra conectada a la red nacional y por ello se requiere el respaldo de las baterías. Aun se tiene en evaluación el diseño del sistema ya que no se ha podido definir los costos de implementación de cada uno.

2. Los requerimientos definidos para el diseño correspondiente del proyecto son: costos, confiabilidad del sistema, ubicación y facilidad de mantenimiento del sistema. A continuación, se definen los requerimientos mencionados anteriormente.

Los requerimientos se definieron de forma autónoma, estos son reflejados como costos, según el diseño que se amolde mejor a las necesidades, los cuales también se podrían reducir según el lugar de compra de los insumos, la forma de traslado y el tiempo de implementación.

La confiabilidad del sistema, este se entiende como la constancia del servicio las 24 horas, y que se puede respaldar con un banco de baterías que permita suplir el suministro energético durante las horas de la noche.

Ubicación del sistema, si este va a ser en in situ o en un lugar centralizado, debe estar en un lugar despejado, sin sombras y que reciba la mayor cantidad de radiación solar para transformar gran parte de la energía y que esta pueda ser aprovechada.

Facilidad en el mantenimiento del sistema, este se puede cumplir teniendo un acceso viable del mismo, capacitación de los habitantes del resguardo para el ajuste de la estructura en general, la verificación de todo el sistema eléctrico, la revisión de los inversores y demás elementos.

Por último, el requerimiento a tener en cuenta, son las celdas fotovoltaicas, estas, se pueden definir, según el proveedor, la capacidad requerida, los costos y la vida útil.

3. Desempeños del sistema solicitado por el cliente o definidos por nosotros (desempeños cuantificables/valor/unidad):

Capacidad instalada del sistema: la demanda estimada solicitada por el cliente es de 210 kWh/mes por vivienda. A continuación, se muestra la tabla de la demanda energética del resguardo y la potencia (W) a instalar, 1,56 kWh/día, para poder cubrir esa demanda estos datos son para una casa, para obtener la demanda total del resguardo se multiplica la demanda por vivienda por las 29 casa que corresponden a la totalidad del mismo.

Cálculos por unidad residencial			
	Día (kWh/día)	kWh/mes	kWh/año
✓ Demanda	7,01	210,15	2521,80
✓ a instalar	1,56	46,7	560,4

Tabla 1: Diseño propio. Demanda energética y proyección de la potencia a instalar.

Cobertura: Como se muestra en la tabla anterior se plantea que el diseño del sistema pueda cubrir el 100% de la demanda del resguardo indígena. Esto según la demanda del cliente que plantea que el diseño cuente con un respaldo de baterías para el suministro nocturno, como ya se mencionó con anterioridad.

Los desempeños de los sistemas varían dependiendo del modelo que se vaya a implementar. Para el sistema de generación in situ (por unidad residencial) se deben generar 7,01 kWh/día con una potencia instalada 1,56 kWh, este dato se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$P_{ins} = \frac{Ed}{H_{sp}}$$

Donde:

P_{ins} : Potencia a instalar

Ed : Demanda de energía diaria

H_{sp} : Horas sol promedio

Los datos que corresponden a los niveles de radiación presentes en la zona son importantes para poder realizar el dimensionamiento de la estructura a emplear.

La siguiente tabla presenta las características de insolación presentes y el tiempo promedio de mayor intensidad lumínica por mes durante los doce meses del año.

Variable	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Insolation, kWh/m ² /day	4.61	4.58	4.67	4.42	4.44	4.61	4.79	4.85	4.79	4.46	4.34	4.34
Clearness, 0...1	0.48	0.46	0.45	0.43	0.44	0.47	0.49	0.48	0.47	0.44	0.45	0.47
Temperature, °C	19.27	19.82	19.82	19.67	19.44	18.93	18.84	19.73	20.20	19.68	19.16	19.03
Wind speed, m/s	2.08	2.14	2.11	1.99	2.07	2.47	2.57	2.32	2.12	1.95	1.92	2.15
Precipitation, mm	95	111	171	218	202	141	94	99	139	230	219	145
Wet days, d	11.8	12.5	16.3	20.0	19.6	15.4	12.7	13.3	15.4	20.7	19.8	16.1

Tabla 4. Características generales del lugar. Gaisma

De acuerdo con la tabla anterior tenemos que en promedio las horas solares corresponden a 4.575 horas solares día. Con una temperatura ambiente promedio de 19.21 °C. La temperatura se emplea para el dimensionamiento del sistema en DC.

También se debe percibir calidad en la energía entregada a esto se le conoce como confiabilidad del sistema y corresponde al suministro adecuado, mediante el sistema de baterías que garantiza el servicio de energía de manera ininterrumpida durante la noche.

4. Describir cuales son las entradas y las salidas del desempeño.

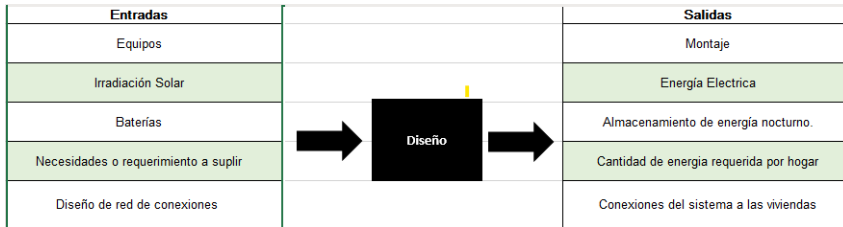


Tabla 2: Elaboración propia. Entradas y salidas del sistema.

5. Marco de referencia:

En relación con nuestro objetivo de diseñar un sistema solar fotovoltaico en la comunidad de Pocharco, resguardo indígena del Tolima, realizamos la definición de las variables involucradas en el sistema que permiten la toma de decisiones a la hora de elegir la mejor opción del diseño, para su mayor comprensión y que son presentadas a continuación:

5.1 Marco teórico:

5.1.1 Energía solar:

El sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso, presenta en su interior elevadas presiones y temperaturas de varios millones de grados, produciendo espontáneamente e interrumpida un proceso de fusión nuclear, que se denomina energía solar. La energía que genera el sol a la tierra es insignificante por la distancia que se encuentra entre ellos, la cual equivale a 150 millones de Km, sin embargo, esta no se compara con todas las formas de energía que se emplea en la tierra, ya que la energía solar es aproximadamente 10.000 veces mayor a la conocida por el ser humano. También, otro dato a destacar es la cantidad de energía solar recibida por unidad de superficie y unidad de tiempo ya que esta representa la energía media que llega a la capa externa de la atmósfera terrestre y que equivale a 1.353 W/m^2 , conocida como "constante solar". Del mismo modo, la energía corresponde a una radiación electromagnética, formada por longitudes de onda y una velocidad de propagación de 300.000 km/s , estas ondas

corresponden a ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR) equivalente a una capacidad energía transportada de 7%, 47% y 46% respectivamente. La radiación solar que llega a la superficie terrestre representa unos 900 W/m², pero, la distribución de esta energía no es uniforme al llegar a la tierra y depende de la hora del día, la latitud del lugar, la orientación de la superficie reciproca y el clima. (Solar, E. 2020).

5.1.2 Aplicaciones de la energía solar:

La energía solar para su mejor aprovechamiento se debe transformar y se han desarrollado diversas tecnologías para esta acción, para este apartado haremos mención de dos tecnologías:

- La primera es un sistema termo solar, su objetivo es transformar la energía solar en energía eléctrica, el proceso que está adopta no es una conversión directa de la energía solar a la eléctrica, por el contrario, es una conversión indirecta, que utiliza la radiación para calentar un fluido caloportador que hará evaporar el agua, esta se expandirá en una turbina de vapor, convirtiendo su energía térmica en energía mecánica, que después el generador eléctrico convierte en energía eléctrica. Para el aprovechamiento de la energía solar térmica, encontramos tecnologías como: concentradores cilíndricos parabólicos (CCP), sistemas de torres central, espejos Fresnel, entre otros (Villaseñor, R. 2018).
- La segunda tecnología y posiblemente la más utilizada, hace referencia al sistema solar fotovoltaico, que consiste en el aprovechamiento de la radiación para la generación eléctrica, transformación que se realiza empleando unas células a base de silicio. Este fenómeno físico, es debido a la interacción de la radiación luminosa con los electrones presentes en los materiales semiconductores (Solar, E. 2019).

5.1.3 Sistema solar fotovoltaico:

Existen varios tipos de sistemas fotovoltaicos y estos varían según la configuración, depende si el uso es en zona rural o áreas remotas, para consumo residencial en la ciudad o consumo industrial. Para poder entender un poco más las diferentes configuraciones, la empresa SUN SUPPLY realiza las siguientes descripciones:

1. Sistemas conectados a la red (on grid): Esta configuración se basa en la implementación de paneles solares que alimentan edificios o casas durante el día, en donde hay dos opciones de funcionamiento: la primera es un bajo consumo de la infraestructura, por

ende, los paneles deben entregar a la red eléctrica y distribuir a otra infraestructura porque el total de energía generada por los paneles no es consumido; el segundo funcionamiento, es un alto consumo de energía de la infraestructura que los paneles no alcanzan a suplir, en este caso deben tomar energía eléctrica de la red, para suministrar a la infraestructura.

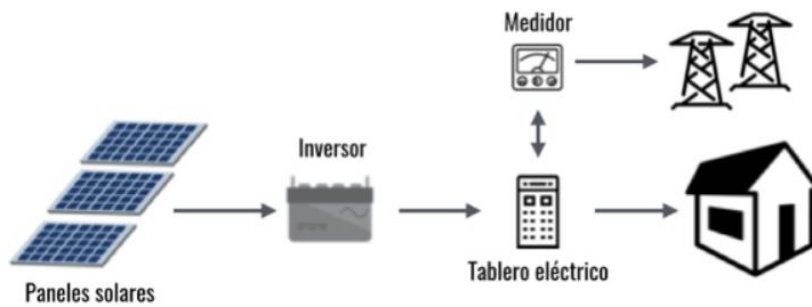


Figura 2. Sistema solar fotovoltaico conectado a red.

Tomado de: <http://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

2. Sistemas híbridos o con respaldo de la red: El sistema fotovoltaico tiene un respaldo, la configuración que utiliza, es de un inversor de potencia híbrido que integra la energía producida de los paneles, la energía almacenada en las baterías y la energía generada de la fuente externa. La fuente externa, se comprende entre una turbina eólica, un generador de diésel o la red eléctrica.

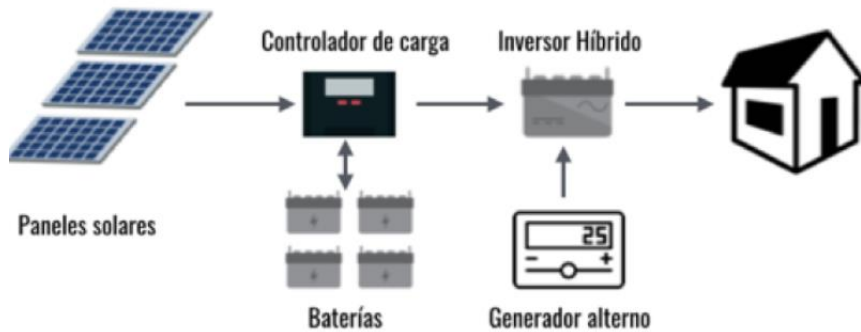


Figura 3. Sistema solar fotovoltaico híbrido con baterías.
 Tomado de: <http://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

3. Sistema off - grid 100% autónomos: La configuración de este sistema, cuenta con un banco de baterías que permite el almacenamiento de la energía, además, de que está energía puede ser utilizada tanto de día como de noche, esta configuración puede ofrecer energía a cargas corrientes directas (CD) o cargas corrientes alternas (CA), las cargas corrientes alternas agrupan los electrodomésticos del hogar.

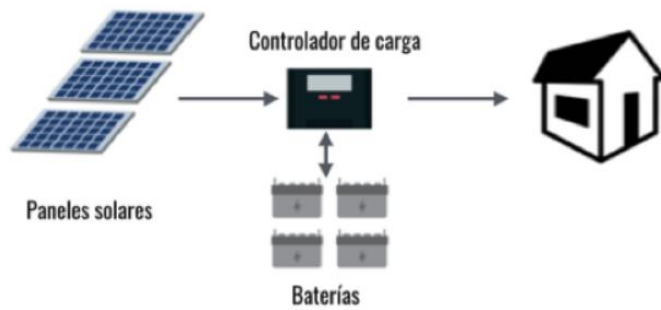


Figura 4. Sistema solar fotovoltaico con baterías para cargas DC.
 Tomado de: <http://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

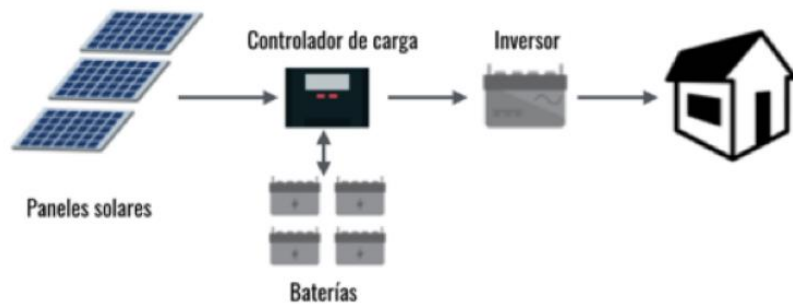


Figura 5. Sistema solar fotovoltaico con baterías con inversor para cargas AC.
Tomado de: <http://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>

5.1.3.1 La composición del sistema fotovoltaico:

- Célula solar fotovoltaica: Las células fotovoltaicas se agrupan e interconectan entre sí para conformar los módulos fotovoltaicos. Estas son un dispositivo que tiene características fotovoltaicas cuando al exponerse a la luz, absorbe por el material y es capaz de transformar la energía de los fotones en energía eléctrica, con la cual se obtiene una corriente y un voltaje (Mascotte, E. H., Chávez, R. I. M., Estudillo-Ayala, J. M., Hernández, J. M. S., Guryev, I., & Morales, R. A. L. 2016).
- Módulo fotovoltaico: Son la unidad de fuente de energía renovable primaria en los sistemas fotovoltaicos, convierte la energía del sol en energía eléctrica a la exposición del sol y está conformado por un grupo de celdas fotovoltaicas interconectadas. Existen dos tipos de módulos fotovoltaicos, silicio cristalino y capa delgada, entre el módulo de silicio cristalino hay dos tipos, el primero es monocristalino, que se diferencia porque todas sus celdas son del mismo color; el segundo tipo, es el policristalino, este se diferencia, porque tienen variedad de tonos y colores entre las celdas que lo conforman. Varios módulos juntos, conforman un generador (Style, O. 2012).

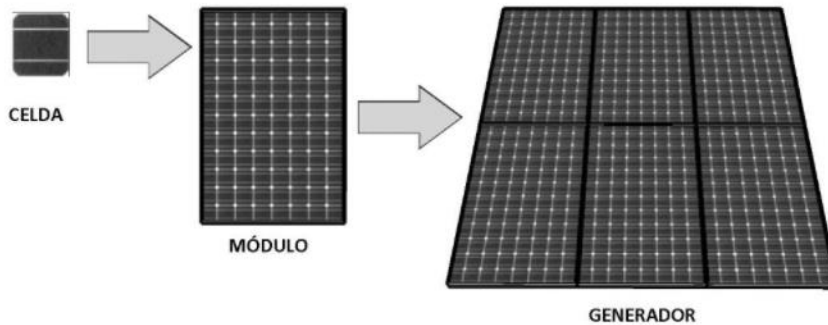


Figura 6. Celda, módulo y generador de un sistema solar fotovoltaico.

Obtenido de: Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Oliver Style.

- Regulador de carga: Es un controlador ubicado entre el generador (módulo) y el acumulador (batería), su función es proteger la batería contra sobre cargas regulando la energía proveniente del módulo y según el estado de carga de la batería, si el sol está en su generación máxima y la batería esta baja, el regulador aumenta la corriente que llega a la batería, por el contrario, si la batería está bien cargada, el regulador disminuye la corriente que llega a la batería. Otra función del regulador es proteger a la batería contra la descarga, comprendido de forma, que sí el consumo de energía es muy alto y la batería tiene un estado bajo de carga, el regulador desconecta la carga, para reservarla hasta cuando se pueda volver a cargar la batería. Los reguladores tienen cuatro tipos de etapas para cargar las baterías, (carga inicial, carga de absorción, carga de flotación y carga de equalización), al igual que tiene cuatro tipos de reguladores (serie, paralelo, modulación de anchura de pulso y punto de máxima potencia) (Style, O. 2012).
- Batería: La batería es la unidad de almacenamiento de energía eléctrica utilizada en el caso de un sistema fuera de la red, las baterías son las encargadas de almacenar la energía generada por los módulos durante el día y que se puede usar en la noche, hay diferentes tipos de baterías, entre ellas: Vented Lead-Acid Batteries (VLA) (Style, O. 2012). Las baterías se pueden dividir en dos grupos principales que son: Las baterías Monoblock, (baterías placa plana, placa reforzada, Gel y Agm) y las baterías de modelo estacionario, (OPZS, OPZV, TOPZS Y EPZS.). a). Las baterías modelo Monoblock: Son

empleadas en modelos de baja potencia puesto que no soportan los picos de arranque de los equipos con motor. La vida media de estas baterías es de 3-4 años sin embargo si se utiliza con aparatos con motor se reduce la vida útil a 1 año. Son baterías de placa plana, placa reforzada, Gel y Agm. b). Las baterías de modelo estacionario están formadas por vasos independientes de 2V cada uno, con capacidad de carga cercana a los 4500Ah. Los vasos se conectan entre sí y forman sistemas de 12 V, 24V, y 48V. Utilizan una tecnología que permite la descarga profunda.

Categoría	Nombre común	Notas
Arranque	Batería de arranque	<i>Generalmente no aptas para SFA's</i>
	SLI (<i>Starting-Lighting-Ignition</i>)	
	Batería de automóvil / coche / carro	
Híbrida	Batería de arranque modificada	Aptas para SFA's
	Batería solar	
	Batería marina	
Ciclo profundo	Batería de tracción	Aptas para SFA's
	Batería de recombinación (VRLA)	
	Batería de Gel (electrolito cautivo)	
	Batería AGM (electrolito cautivo)	
	Baterías de placas tubulares de ácido líquido o gel (OPzS o OPzV)	

Tabla 3. Baterías de plomo ácido.

Tomado de: Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Oliver Style.

- Inversor: Es un componente que convierte la corriente continua de baja tensión proveniente de las baterías en corriente alterna a una tensión mayor. Los inversores en su mayoría cuentan con una eficiencia de 85 % al 95 %, además, que existen inversores para sistemas fotovoltaicos conectados a la red (inversores cableados) y sistemas fotovoltaicos aislados (inversores de conexión directa) (Style, O. 2012).
- Cableado: hay cable solar para conexión de paneles y cable para conexión de los equipos, por lo general el tipo de cableado a utilizar en un sistema solar fotovoltaico son de cobre, los tipos son: de un alambre de cobre (para corriente alterna), un cable de cobre (son aptos para circuitos en corrientes continuas y altas), cable con tres conductores en la

misma manga y cables de cobre para soldadura (para llevar corrientes altas) (Style, O. 2012).



Figura 7. Alambre de cobre y cable de cobre.

Obtenido de: Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Oliver Style.



Figura 8. Cable con tres conductores en la misma manga y cable de cobre para soldadura.

Obtenido de: Style, O. (2012). Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Oliver Style.

5.2 Marco de referencia:

En este apartado, se recopila información de otros proyectos de sistemas fotovoltaicos realizados en zonas no interconectadas (ZNI):

- Integrantes de 250 familias del municipio de Fonseca, en La Guajira, resultaron beneficiados con la instalación de paneles solares en sus hogares. Este proyecto contó con una inversión de \$4.543 millones de pesos provenientes del Ministerio de Minas y Energía, a través del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas no Interconectadas. Cada hogar tendrá la capacidad de usar una nevera, un televisor, un radio, una licuadora, un cargador de celular y una bomba pequeña de agua, además que cuentan con lo necesario para alimentar cuatro tomas de corriente y cuatro bombillos (De Frente. 2019).

- Un convenio por nueve mil millones de pesos firmó el subdirector nacional del Departamento de la Prosperidad Social, DPS, Nemesio Roys Garzón, con la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGDR), para la construcción de nuevas soluciones integrales en comunidades Wayuu, residentes en los municipios de Uribia, Maicao y Manaure. Tiene como objeto principal contribuir en la lucha para la erradicación de la crisis que afronta el departamento, por diferentes causas, las soluciones integrales constan de un sistema operado con energía solar, cuyos componentes son un pozo profundo de triple propósito, del cual extraerán agua para consumo humano, para riego y consumo animal. (Ariño, J. 2016).

5.3 Marco normativo:

- Leyes, decretos y resoluciones involucradas en un proyecto de generación de proyectos de energía fotovoltaica.



Figura 9. Cuadro normativo.

Fuente: Elaboración propia.

6. Análisis de restricciones

- **Restricción de información:**

Para el desarrollo de esta idea se tiene la limitante de la información de la comunidad indígena, puesto que principalmente por la problemática de salud actual no se pueden realizar una recolección de información en el lugar. También por temas de tiempo y la ubicación del resguardo se obtiene información tercerizada para el desarrollo del presente documento.

- **Restricción Geográfica:**

La zona es de difícil acceso por falta de infraestructura vial y condiciones geográficas inestables, esto representaría una restricción bastante importante a la hora de tratar introducir los equipos a campo para instalar el sistema fotovoltaico.

Para esto se prevé realizar un trabajo logístico detallado con el trazado de la ruta de los equipos en terreno para facilitar su entrega y desarrollo del proyecto en normalidad

- **Restricciones de infraestructura:**

En la zona del proyecto se identifica que para instalar un sistema fotovoltaico en las viviendas estas no cuentan con la resistencia estructural mínima pues muchas de fabricación artesanal con techos rudimentarios no aptos para la instalación de los equipos, adicionalmente en la zona se cuenta con una red de baja tensión interna de la cual no se tiene pleno conocimiento de su estado y funcionalidad actual por lo cual se prevé que para realizar una generación centralizada en la zona se necesitaría la adecuación de redes nuevas las cuales implican un alto costo, además del estudio de suelo para la instalación de la estructura.

Se realiza en análisis de ambas alternativas de instalación y se prefiere realizar la generación por hogar adecuando un sistema externo en las casas los cuales tendrían el sistema completo en ellos minimizando la restricción estructural en las viviendas

- **Restricciones ambientales:**

Dentro de la zona las restricciones ambientales, aunque no son muchas, se identifica que podrían representar una restricción la vegetación de la zona debido que al momento de implementar el sistema fotovoltaico esta puede generar sombras importantes que producirían perdidas en la generación de uno o varios paneles causando ineficiencia del sistema

Para esto el sistema fotovoltaico procurara quedar en una altura considerable en donde las sombras que se puedan generar en el terreno no representen un obstáculo en la generación garantizando la máxima eficiencia posible.

- **Restricciones de personal calificado:**

Las personas de la zona no cuentan con la preparación académica técnica adecuada para la instalación, operación de los equipos y el mantenimiento de los mismos. Pudiendo generar un deterioro en los mismos o daño severo por una incorrecta manipulación de los mismos.

Con el fin de evitar estas situaciones se le brindara capacitación a personal de la zona en el manejo de los sistemas fotovoltaicos para que sean ellos mismos los encargados de mantener en operación los equipos en óptimas condiciones, así se mitigaran costos importantes de operación ya que la zona al ser de difícil acceso no es viable que una persona externa este a cargo de estas funciones.

- **Restricciones sociales y políticas:**

El proyecto está sujeto a la adopción y aprobación por parte de las entidades gubernamentales correspondientes lo cual de no realizarse de la manera adecuada la gestión administrativa del proyecto impediría que este sea llevado a cabo para el beneficio de la población

Realizando una excelente propuesta, sólida y eficiente se podrá superar las evaluaciones pertinentes para la ejecución del proyecto, para esto es importante desarrollar de manera adecuada los estudios y simulaciones que conlleva este proyecto.

7. Alternativa de solución

La resistencia de la estructura tiene que soportar una velocidad promedio de 2.15 m/s en cuanto a la resistencia del viento para evitar daños en la estructura de soporte de los paneles.

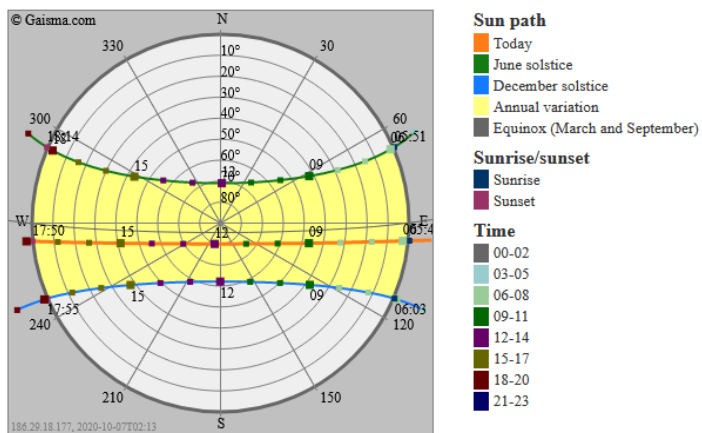


Figura 10.

Debido al diagrama del movimiento además de la ubicación de las siguientes coordenadas Magna Sirgas desde origen Bogotá latitud 3.6480598 longitud -75.0433196 se toman en referencia los puntos de generación a partir de los de mayor referencia en sitio como son los solsticios y los equinoccios.

Se estima que el consumo

EQUIPOS	W	#HORAS	CANT.	DÍA(kwh/día)	MES	AÑO
TV	100	8	1	0,80	24,0	288
PLANCHA	1200	0,3	1	0,36	10,8	129,6
VENTILADOR	60	8	2	0,96	28,8	345,6
BOMBILLO	60	8	6	2,88	86,4	1036,8
Licudadora	350	0,2	1	0,07	2,1	25,2
nevera	80	24	1	1,92	57,6	691,2
equipo de sonido	50	0,3	1	0,02	0,5	5,4
sumatoria	1900	48,8	13	7,01	210,15	2521,80
Cantidad de viendas	29					

Tabla 5. Consumos de los electrodomésticos hipotéticos, usados en cada vivienda.

7.1 Posibles soluciones

Se consideran las siguientes alternativas de solución, respecto a un proceso de identificación de desempeños, equipos y materiales de implementación, además de una aproximación de los costos totales:

- Alternativa 1: Se define como un modelo de generación eléctrica fotovoltaica por unidad residencial; Considerando un sistema independiente para cada vivienda, donde entran otras consideraciones a evaluar, entre ellas, la capacidad de los equipos, la cantidad de cada uno, la exposición a la irradiación solar, extensión del cableado, y distribución a cada vivienda. La razón de esta alternativa es evaluar la viabilidad económica de la implementación versus la alternativa 2, considerando del mismo modo el mantenimiento del sistema.
- Alternativa 2: Definido como modelo centralizado del sistema solar fotovoltaico; para esta opción, se tuvo en cuenta la ubicación de la infraestructura (un lugar central del resguardo o adecuado para la distribución de la energía), se estimó al igual que en la alternativa 1, la cantidad de los equipos, la eficiencia de cada uno y el costo de implementación.

Para justificar lo anterior, presentamos una serie de tablas con el siguiente contenido: 1). Las opciones por equipo y sus características, 2). Los costos del equipo por cada tipo de opción, 3). La relación de la cantidad de cada equipo según el modelo, 4). La opción seleccionada de cada equipo.

PANELES				
MARCA	W	Eficiencia	Garantía (años)	Dimensiones
ZNSHINESOLAR	420 - 445	19.32 - 20.47	12 - 25	2094x1038
VERTEX	480 - 505	20.1 - 21.1	25	2040x1130
JINKO SOLAR	450 - 470	20.04 - 20.93	12 - 25	2182x 1029

Tabla 6. características de cada opción de paneles.
Fuente: Elaboración propia.

INVERSORES			
MARCA	W	Eficiencia	Dimensiones
IP1000-24	1000	94.5	163 x 219.5
BEP1000S	1000	90	150 x 367
Wcc 12v 1000w	1000	89	180 x 387

Tabla 7. características de cada opción de inversores.
Fuente: Elaboración propia.

BATERÍAS			
MARCA	AH	CICLOS	PROFUNDIDAD
Lead-Acid Batteries 12V 730Ah (VRLA-GEL)	109	12000	60
Bloque 6V 421Ah Bae	182	12000	80
Ion litio	105	3600	80

Tabla 8. características de cada opción de baterías.
Fuente: Elaboración propia.

Controladores					
MARCA	CORRIENTE NOMINAL	EFICIENCIA	CONSUMO DE W	VOLTAJE	TEMPERATURA
MC2450N10	50A	98	1320W	12/24 V	-35/45
GSC-F1224-30	60A	97	1440 W	12/24V	-35/50
OLMO 30A	30A	98	780 W	12/24V	-20/50

Tabla 9. características de cada opción de controladores.
Fuente: Elaboración propia.

COSTOS				
Equipo	Descripción	Precio	Cantidad	Total
Panel				
Op. 1	ZNSHINESOLAR	\$ 629,000.00	1	\$ 629,000.00
Op. 2	VERTEX	\$ 592,000.00	1	\$ 592,000.00
Op. 3	JINKO SOLAR TIGER	\$ 649,000.00	1	\$ 649,000.00
Controlador				
Op. 1	MC2450N10	\$ 615,000.00	1	\$ 615,000.00
Op. 2	SAT GSC-F1224-60	\$ 509,228.00	1	\$ 509,228.00
Op. 3	OLMO 30A	\$ 386,100.00	1	\$ 386,100.00
Batería				

Op. 1	ead-Acid Batteries 12V 730Ah (VRLA- GEL)	\$ 3,108,900.00	2	\$ 6,217,800.00
Op. 2	Bloque 6V 421Ah Bae	\$ 2,525,952.00	4	\$ 10,103,808.00
Op. 3	Ion Litio Pylontech	\$ 2,817,000.00	1	\$ 2,817,000.00
Inversor				
Op. 1	IP1000-24	\$ 819,000.00	1	\$ 819,000.00
Op. 2	BELTTT 1000W	\$ 650,000.00	1	\$ 650,000.00
Op. 3	Wcc solar 100W	\$ 657,912.00	1	\$ 657,912.00
Cable				
Op. 1	#10	\$ 212,900	100	\$ 212,900.00

Tabla 10. Costos por opción de cada equipo.
Fuente: Elaboración propia.

CANTIDAD DE EQUIPOS POR ALTERNATIVA.		
EQUIPO	UNIDADES SISTEMA AISLADO (29 CASAS)	UNIDADES SISTEMA CENTRALIZADO
PANEL	116	106
CONTROLADOR	29	29
BATERÍA	58	58
INVERSOR	29	29
CABLE (MTS)	5.104	5.104+EL CABLE HASTA EL SISTEMA CENTRALIZADO.
ESTRUCTURA	29	26.5
Total, Equipos	313	318.5

Tabla 11. Cantidad de equipos por alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

PANELES						
MARCA	W	Eficiencia	Garantía (años)	Dimensiones		
VERTEX	480 - 505	20.1 - 21.1	25	2040x1130		
INVERSORES						
MARCA	W	Eficiencia	Dimensiones			
IP1000-24	1000	94.5	163 × 219.5			
BATERIAS						
MARCA	AH	CICLOS	PROFUNDIDAD			
ead-Acid Batteries 12V 730Ah (VRLA-GEL)	730	12000	80			
CONTROLADORES						
MARCA	CORRIENTE NOMINAL	EFICIENCIA	CONSUMO DE W	VOLTAJE	TEMPERATURA	PANTALLA

SAT GSC-F1224-60	60A	97	1440	12 - 24	-35; 50	LCD
------------------	-----	----	------	---------	---------	-----

Tabla 12. Equipos seleccionados.
Fuente: Elaboración propia.

Se debe tener en cuenta que hace falta incluir, la infraestructura exterior del sistema y los transformadores para la alternativa de centralización del sistema.

Para tener una mayor claridad de la alternativa apropiada, se presenta la siguiente tabla:

Criterios.	Alternativa 1.	Alternativa 2.
Requerimientos.		
Sistema de fácil mantenimiento	Es un sistema más accesible, más rápido de realizar el mantenimiento por ser más pequeño y poder tener al alcance todos los componentes.	Al ser un sistema grande, es más complejo realizar el mantenimiento, la cantidad de paneles juntos, hace que sea más difícil llegar a sus conexiones y/o componentes y arreglar cualquier daño.
Durable	La durabilidad promedio del sistema es de 20 años, el mantenimiento a esté, permite que se mantenga en buenas condiciones.	El difícil acceso al sistema para su mantenimiento hace que no sea tan frecuente y que se deteriore más rápido, aunque el sistema tiene una durabilidad promedio de 20 años.
Costos	Esta alternativa es más económica por que requiere de menos equipos para su montaje.	Los costos de esta alternativa incrementan, ya que requiere de otro equipo como transformadores, el cual la alternativa 1 no requiere.
Espacio	El espacio necesario es de aproximadamente 4.08 m de largo por 2,26 m de ancho por casa.	El espacio necesario es de aproximadamente 59,89 m de largo por 4,08 m de ancho para el sistema centralizado.
Facilidad de manejo	Se tiene acceso a todos los equipos, es de fácil mantenimiento y no requiere mayor espacio.	Se tiene acceso de forma limitada, es de difícil mantenimiento y requiere mayor espacio.
Acceso	El sistema quedara en un costado de cada residencia, lo que permite tener un acceso óptimo.	El sistema quedara cerca al poblado, pero por sus conexiones y equipos, el espacio es más extenso y será restringido por su peligro de carga.
Ubicación	Se ubica cerca de la residencia, en un lugar despejado.	Por la complejidad del sistema, debe estar a una distancia prudente de la comunidad.
Irradiación	La irradiación es equivalente a 4,575 igual que la alternativa 2.	La irradiación es equivalente a 4,575 igual que la alternativa 1.
Cantidad de equipos	El sistema requiere de dos elementos menos que la alternativa 2.	El sistema requiere además de los paneles, el inversor y controlador de dos elementos más (transformador y cableado extra).

Vida útil.	La vida útil es de aproximadamente 20 años, al igual que la alternativa 2, porque los dos sistemas implementan las mismas opciones de cada equipo, la diferencia es su accesibilidad para la realización del mantenimiento.	La vida útil es de aproximadamente 20 años, al igual que la alternativa 1, porque los dos sistemas implementan las mismas opciones de cada equipo, la diferencia es su accesibilidad para la realización de su mantenimiento, porque el sistema centralizado es más complejo para realizar el mantenimiento.
Rendimientos.		
Eficiencia	78,0%	67,1%
Perdidas del sistema	Temperatura: 11% Sistema AC: 0,4% Reflexión: 3,3%	Temperatura: 11% Sistema AC: 14,2% Reflexión: 3,3%
Potencia	DC: 1,52 kW AC: 1,14 kW	DC: 44,9 kW AC: 33,8 kW
Confiabilidad.	90%	45%

Tabla 13. Análisis de cumplimiento de rendimientos y requerimientos de cada alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
1	Las pérdidas por distancia de cable son considerablemente menores.	La cantidad de paneles es mayor que la implementada en la alternativa 2.
	No se requiere mayor obra civil que un pequeño sistema de sujeción de los paneles. Los costos son menores que la alternativa 1.	
2	La cantidad de paneles es menor que la implementada en la alternativa 1.	En este sistema debe implementar una red de baja tensión para la distribución de la energía a las viviendas.
		En esta alternativa se requieren más equipos que en la alternativa 1.
		El espacio implementado en el sistema centralizado es 12 (doce) veces más largo que la alternativa 1.
		Los costos de sistema son mayores que la alternativa 1 por el exceso de cable necesario para esta alternativa.

Tabla 14. Identificación de ventajas y desventajas de cada alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

Criterios.		Alternativa 1.	Alternativa 2.
Requerimientos %	Sistema de fácil mantenimiento	5	3
	Durable	4	3
	Eficiente	4	2
	Costos	4	3
	Espacio	5	2
	Facilidad de manejo	4	3
	Acceso	4	3
	Ubicación	4	3
	Irradiación	5	5
	Cantidad de equipos	5	4
	Vida útil.	4	3
	Rendimientos %	Eficiencia	4
	Perdidas del sistema	4	3
	Potencia	2	4
	KWh/KWp	3	4
	producción anual	2	5
Total, ponderación		63	53

Tabla 14. Ponderación de cada alternativa.
Fuente: Elaboración propia.

7.2 Mejor alternativa seleccionada

Descripción detallada de la alternativa seleccionada

La generación por unidad residencial se define como una solución óptima según el análisis de alternativas ya que con esta se permite ahorrar costos de manera significativa en la implementación del sistema fotovoltaico y este tipo de sistema requiere de una menor área para su implementación por unidad residencial a comparación del área que debería ser ocupada por la generación centralizada y el montaje de redes dentro de la zona, incluyendo transformadores e infraestructura que se requiere para poder distribuir toda la energía generada por medio de esta opción, eso eleva de manera significativa la inversión que debe llevarse a cabo por lo que termina por descartarse este modelo de diseño de generación centralizada y se opta por la generación por unidad residencial. Adicionalmente este tipo de diseño facilita en gran medida temas relacionados con el mantenimiento y limpieza de los equipos. Con base en todos los aspectos

mencionados anteriormente y pro de la accesibilidad y facilidad de la implementación y operación del sistema de generación fue seleccionada esta alternativa.

Cálculos por unidad residencial			
	Día (kWh/día)	kWh/mes	kWh/año
Ed	7005,00	21015	2521,80
W a instalar	1556,67	46700	560,4
Paneles	3		
Batería CAPA	730		

Se identifica la cantidad de paneles y baterías necesarias para la implementación del sistema fotovoltaico por hogar, lo cual permite dimensionar el diseño del mismo teniendo en cuenta las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente. Con esto se procede a realizar el prototipo del sistema que será implementado en las unidades residenciales

8. Especificaciones de ingeniería para la solución y el dimensionamiento de los componentes.

La capacidad de los equipos se determinó a través de la demanda energética inicial de las unidades residenciales del resguardo Pocharco:

Demanda unidad residencial			
	Día (kWh/día)	kWh/mes	kWh/año
Ed	7005.00	21015	2521,80
W a instalar	1556.67	46700	560,4
Paneles	3		
Batería CAPACIDAD NOMINAL (Ah)	730		

A partir de la demanda del cliente se determina la capacidad de los equipos a implementar.

La capacidad del panel se determinó según su eficiencia.

ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	480	485	490	495	500	505
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5					
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0
Maximum Power Current- I_{MP} (A)	11.42	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	50.8	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	11.99	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35
Module Efficiency η_m (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

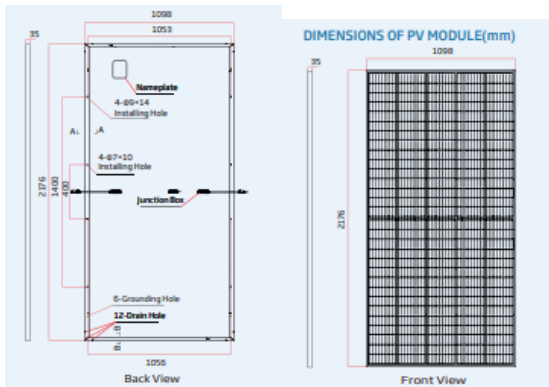
ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)*	480	485	490	495	500	505
Power Output Tolerance- P_{MAX} (W)	0/+5					
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	42.0	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0
Maximum Power Current- I_{MP} (A)	11.42	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	50.8	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	11.99	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35
Module Efficiency η_m (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	20.9	21.1

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
 *Measuring tolerance: ±3%.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2176 × 1098 × 35 mm
Weight	26.3 kg
Glass	3.2 mm High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² Portrait: N 280mm/P 280mm Landscape: N 1400 mm /P 1400 mm
Connector	TS4



CONTROLADOR SOLAR SAT MPPT

SAT GSC F12 24 30

- Capacidad de las Baterías: 38 Ah ~ 800 Ah
- Eficiencia Max:>98%
- Voltaje Nominal: 12V / 24V 24V / 48V

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS*

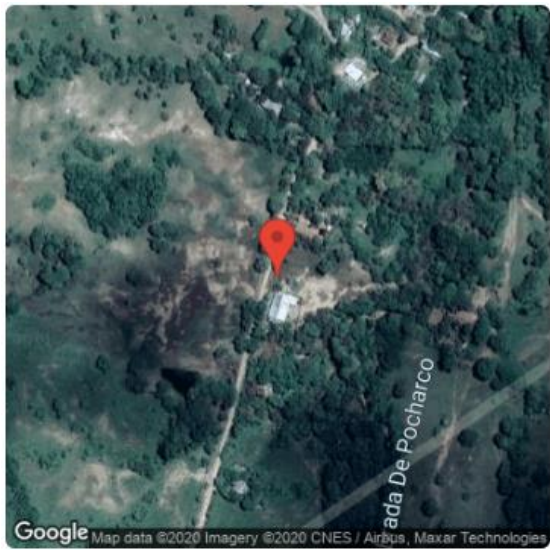
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
REFERENCIA	SAT GSC F12 24 30
PANTALLA	LCD+ LED
VOLTAJE NOMINAL	12V / 24V 24V / 48V
CORRIENTE MÁXIMA DE RECARGA	10 / 20 / 30 / 40 / 50 / 60 A
MÁXIMA CORRIENTE DE CARGA	10 / 20 / 30 / 40 / 50 / 60 A
MÁXIMA POTENCIA DEL PANEL SOLAR	12V- 120 / 240 / 360 / 480 / 600 / 720W 24V- 240 / 480 / 720 / 960 / 1200 / 1440W 48V- 480 / 960 / 1440 / 1920 / 2400 / 2880W
CAPACIDAD DE LA BATERIA	38 Ah - 800 Ah
EFICIENCIA MÁXIMA	> 98%
MAX VOLTAGE DE ENTRADA PV	F1224 (12 V: 0 - 30V; 24V: 0 - 60V); F2448 (24V: 0 - 48V; 48V: 0 - 96V)
VOLTAGE DE OPERACIÓN ÓPTIMO (V _{mp})	12 V: 15 - 22V; 24V:29V-38V;48V:58V - 72V
VOLTAGE DE CARGA ECUALIZADO	12 V: 14.6 V ± 1%; 24 V: 29.2 V ± 1%; 48 V: 58.4 V ± 1%
VOLTAGE DE CARGA FLOTANTE	12 V: 14.4 V ± 1%; 24 V: 28.8 V ± 1%; 48 V: 57.6 V ± 1%
PROTECCION DE SOBRECARGA	12 V: 14.7 V ± 1%; 24 V: 29.4 V ± 1%; 48 V: 58.8 V ± 1%
VOLTAGE PLEGABLE DE CARGA	12 V: 13.2 V ± 1%; 24 V: 26.4 V ± 1%; 48 V: 52.8 V ± 1%
ALARMA DE BAJO VOLTAGE	12 V: 11.2 V ± 1%; 24 V: 22.4 V ± 1%; 48 V: 44.8 V ± 1%
PROTECCION DE SOBRECARGA	12 V: 10.8 V ± 0.3 V; 24 V: 21.6 V ± 0.3 V; 48 V: 43.2 V ± 0.4 V
VOLTAGE DE ESTRELLA DE RESTAURACIÓN DE SOBRECARGA	12 V: 13.2 V ± 0.3 V; 24 V: 26.4 V ± 0.3 V; 48 V: 52.8 V ± 0.4 V
SOBRECARGA / PROTECCION CONTRA CORTO CIRCUITO	110% para 255 s; 125% para 60 s; 150% para 10 s / AUTO-APAGADO SI HAY CORTO CIRCUITO
PROTECCION INVERSION DE POLARIDAD DEL PANEL	DISPONIBLE
COMUNICACIONES (OPCIONAL)	RS232 / CONTACTOS EN SECO
TEMPERATURA DE OPERACION	(-20°C - 45°C)
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO	(-25°C - 85°C)
ALTITUD MÁXIMA	1000 m a la potencia nominal (reducción del 1% por cada 100 m adicionales); Max. 4000 m
HUMEDAD REAL TIVA	0- 95% NO CONDENSADO
HUMEDAD DE ALMACENAMIENTO	< 85%
INSTALACIÓN	Montaje vertical en un muro
DIEMNSIONES	164 × 168 × 100 (F1224 - 40 / 50 / 60M& F2448 - 30 / 40 / 50 / 60 M)
PESO NETO	2.05 Kg
PESO BRUTO	2.25 Kg

Model	IP1000-12	IP1000-22	IP1000-11	IP1000-21	IP1500-12	IP1500-22	IP1500-11	IP1500-21
Technical Specification								
Rated Input Voltage	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC
Input Voltage Range	10.8 – 16VDC	21.6 – 32VDC	10.8 – 16VDC	21.6 – 32VDC	10.8 – 16VDC	21.6 – 32VDC	10.8 – 16VDC	21.6 – 32VDC
Input Surge Voltage	<20VDC	<40VDC	<20VDC	<44VDC	<20VDC	<40VDC	<20VDC	<40VDC
Output Voltage	220VAC / 230VAC (± 5%)		110VAC / 120VAC (± 3%)		220VAC (± 5%) 230VAC (-7% ~ + 5%)		110VAC (± 3%) 120VAC (-7% ~ + 3%)	
Output Frequency	50/60±0.1Hz							
Output Continuous Power	800W				1200W			
Output Power 15 min.	1000W				1500W			
Surge power	1600W				2400W			
Power factor	0.2-1(VA lower than output continuous power)							
Output Wave	Pure sine wave							
Distortion THD	THDs<3%①		THDs<5%①		THDs<3%①		THDs<5%①	
Max. Efficiency	94.5%		92.5%		93%		94%	
No-load Current	<0.8A	<0.5A	<0.8A	<0.5A	<1.0A	<0.6A	<1.0A	<0.6A
USB Output Port②	5VDC/Max.1A							
RS485 Com. Port②	5VDC / 200mA							
Binding Post	φ10mm							
Overall Dimension (mm)	298.3 × 231.5 × 98.5	284.7 × 231.5 × 98.5	298.3 × 231.5 × 98.5	284.7 × 231.5 × 98.5	326.12×231.5 ×98.5	284.7×231.5 ×98.5	326.12×231.5 ×98.5	284.7×231.5 ×98.5
Mounting Dimension	183 × 220 mm	163 × 219.5mm	183 × 220 mm	163 × 219.5mm	208 × 220 mm	163 × 219.5mm	208 × 220 mm	163 × 219.5mm
Mounting Hole Size	φ5.5mm							
Net Weight	3.9 kg	3.6 kg	3.9 kg	3.6 kg	4.6 kg	3.9 kg	4.6 kg	3.9 kg

2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

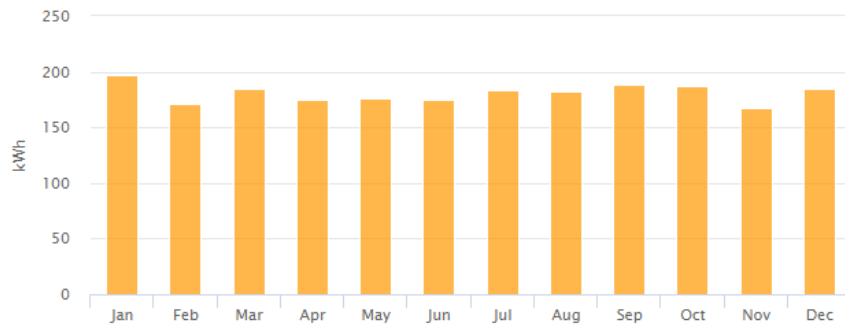
Type	C_{1h} Ah	C_{10h} Ah	C_{20h} Ah	C_{72h} Ah	C_{100h} Ah	C_{120h} Ah	C_{240h} Ah	R_i 1) mΩ	I_k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight kg
U_b V/cell	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80						
2 PVV 140	71	121	134	153	157	158	165	1.65	1.30	105	208	420	12.4
3 PVV 210	107	182	202	229	236	238	247	1.15	1.86	105	208	420	17.1
4 PVV 280	143	243	268	306	314	318	331	0.89	2.40	105	208	420	19.4
5 PVV 350	179	304	336	383	393	397	412	0.73	2.91	126	208	420	23.3
6 PVV 420	215	364	404	460	472	477	496	0.63	3.39	147	208	420	27.4
5 PVV 550	254	447	506	570	583	589	609	0.68	3.14	126	208	535	31.4
6 PVV 660	302	529	598	671	686	693	715	0.58	3.64	147	208	535	36.9
7 PVV 770	350	610	688	770	788	795	820	0.52	4.12	168	208	535	42.4
6 PVV 900	417	729	834	943	968	978	1,012	0.46	4.63	147	208	710	49.5
7 PVV 1050	492	858	980	1,116	1,140	1,154	1,195	0.36	5.81	215	193	710	60.4
8 PVV 1200	559	970	1,106	1,252	1,280	1,296	1,344	0.32	6.54	215	193	710	67.3
9 PVV 1350	616	1,090	1,252	1,418	1,450	1,464	1,524	0.34	6.29	215	235	710	75.5
10 PVV 1500	691	1,200	1,382	1,562	1,600	1,620	1,675	0.28	7.50	215	235	710	82.5
11 PVV 1650	748	1,320	1,512	1,713	1,750	1,764	1,836	0.28	7.56	215	277	710	90.8
12 PVV 1800	822	1,440	1,644	1,857	1,900	1,920	1,989	0.24	8.63	215	277	710	97.7

Design	Sistema Individual
DC Nameplate	1.52 kW
AC Nameplate	1.14 kW (1.33 DC/AC)

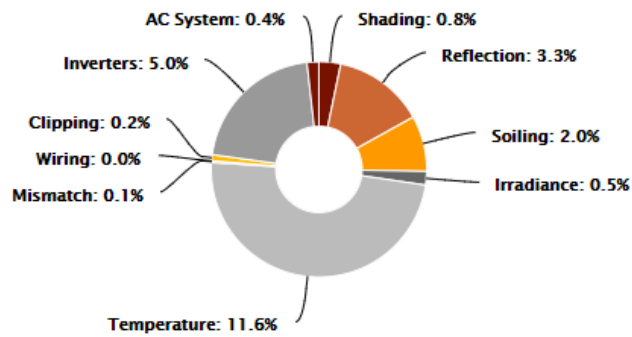


Design	Sistema Individual
Module DC Nameplate	1.52 kW
Inverter AC Nameplate	1.14 kW Load Ratio: 1.33
Annual Production	2.170 MWh
Performance Ratio	78.0%
kWh/kWp	1,432.4
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)

Monthly Production



Sources of System Loss



9. Análisis de costos del diseño

Haga un análisis de los costos en los que se incurriría para el desarrollo e implementación de la solución propuesta.

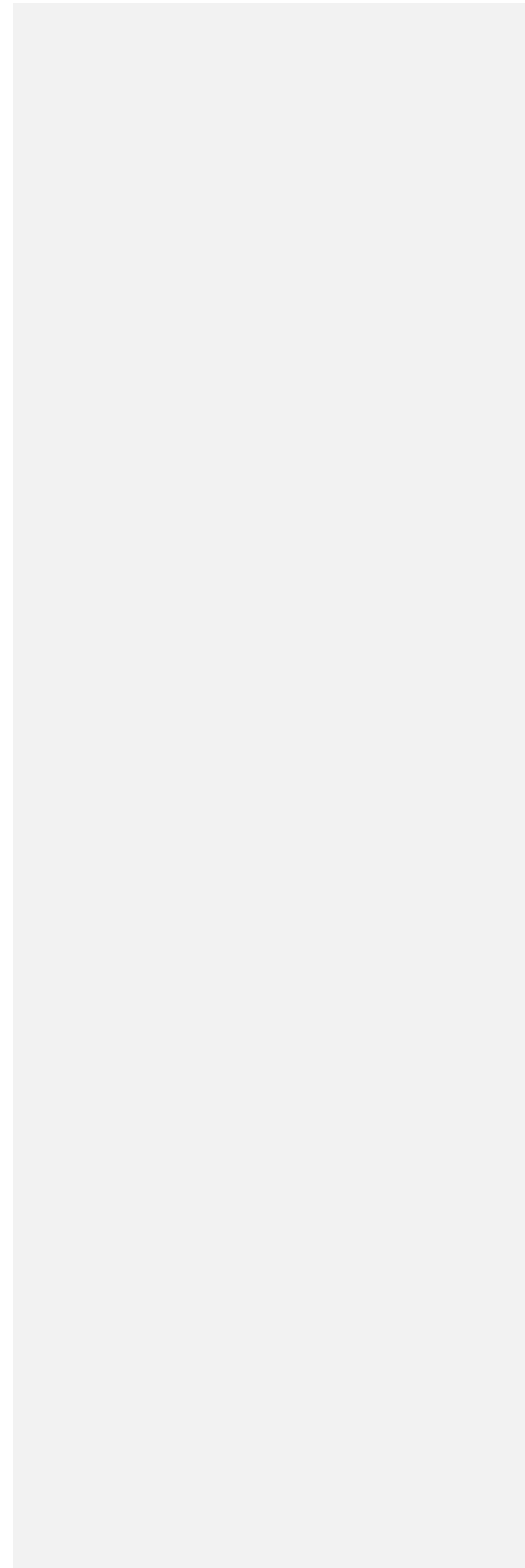
PRECIOS PROMEDIO			
EQUIPO	CASA	COSTO SISTEMA AISLADO (29 CASAS)	COSTO SISTEMA CENTRALIZADO
PANEL	\$ 623,333.33	\$ 72,306,666.67	\$ 66,073,333.33
CONTROLADOR	\$ 503,442.67	\$ 14,599,837.33	\$ 14,599,837.33
BATERÍA	\$ 8,160,804.00	\$ 236,663,316.00	\$ 236,663,316.00
INVERSOR	\$ 708,970.67	\$ 20,560,149.33	\$ 20,560,149.33
CABLE	\$ 110,000.00	\$ 1,320,000.00	
Total	\$ 10,106,550.67	\$ 345,449,969.33	\$ 337,896,636.00

Tabla 12. Costos promedios de las opciones de cada equipo por alternativa.

Fuente: Elaboración propia.

10. Prototipado o diseño conceptual





11. Conclusiones y recomendaciones

Teniendo en cuenta los antecedentes, necesidades, ubicación geográfica y retos que se presentan en la zona del proyecto como la poca accesibilidad, carencia de servicios básicos, falta de personal calificado e infraestructura rudimentaria y después de analizar los aspectos técnicos y sociales de la zona se opta por elegir la opción de instalar los sistemas de generación por unidad residencial ya que con este se obtienen mejores resultados en la operación y mantenimiento del sistema, adicionalmente el costo de implementar este tipo de sistema es menor a la generación centralizada ya que para realizar esta se necesitaba renovar la infraestructura eléctrica de la zona como el cableado, postes y transformadores adicional al área que debía ser ocupada para la ejecución de la obra civil y montaje del sistema.

Por otro lado, la implementación de la generación por unidad residencial facilita el montaje de los sistemas, operación y mantenimiento ya que al ser más compactos resultan más prácticos y adicionalmente este tipo de sistema de generación por unidad residencial da una mayor confiabilidad a los usuarios de la zona ya que en caso de presentarse una falla o daño en los equipos solamente afectaría a la unidad residencial implicada y no a toda la población.

Cabe resaltar que el óptimo funcionamiento y durabilidad del sistema depende netamente del mantenimiento, operación y cuidado que se tenga con el mismo. Se recomienda brindar capacitación a los habitantes de la zona para que sean ellos mismos los encargados de realizar estas tareas.

12. Referencias

Nota: Relacione los autores y fuentes referenciados a lo largo del documento. Por favor genere la tabla de referencias de manera automática a través de MS-Word.

- Ariño, J. (2016). *Con energía solar extraerán agua en Alta Guajira*. Obtenido de: elpilon.com.co/energia-solar-extraerán-agua-alta-guajira/
- De Frente. (2019). *Instalan paneles solares en 250 viviendas de la Guajira*. Obtenido de: <https://defrente.co/instalan-paneles-solares-en-250-viviendas-de-la-guajira/>
- Gómez, J., Murcia, J., & Cabeza, I. (27 de Octubre de 2017). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PERSPECTIVAS*. Obtenido de Universidad Santo Tomás: <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312>
- IPSE, & CNM. (11 de 05 de 2020). *INFORME MENSUAL DE LA PRESTACIÓN DE SERVICIO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS LOCALIDADES SIN SISTEMAS DE TELEMETRÍA DE LAS ZONAS NO INTERCONECTAS – ZNI*. Obtenido de IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas): http://190.216.196.84/cnm/no_telemetria.php?v1=no_telemetria/INFORME%20LOCALIDADES%20SIN%20TELEMETR%C3%8DA%20ZNI%20JUNIO%202020.pdf
- Mascotte, E. H., Chávez, R. I. M., Estudillo-Ayala, J. M., Hernández, J. M. S., Guryev, I., & Morales, R. A. L. (2016). Estudio de las características de una celda fotovoltaica para el uso eficiente de la energía solar. *Acta Universitaria*, 26(1), 30-34.
- Ministerio del interior. (7 de Noviembre de 2014). *PLAN DE SALVAGUARDA ÉTNICA DEL PUEBLO PIJAO*. Obtenido de MINISTERIO DEL INTERIOR: https://www.mininterior.gov.co/sites/default/files/upload/115_resguardo_pocharco_natagaima.pdf
- Rosas, J., Zenón, E., & Morillón, D. (December de 2019). *Potential energy saving in urban and rural households of Mexico with solar photovoltaic systems using geographical information system*. Obtenido de Renewable and Sustainable Energy Reviews: <https://www.sciencedirect.com/bdbiblioteca.universidadean.edu.co/science/article/pii/S1364032119306203>
- Solar, E. (2019). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=EcpvEn3c8vcC&oi=fnd&pg=PA191&dq=sistema+sol>

[ar+fotovoltaico&ots=QVvsYOBu1B&sig=albvqjPrsin8h-5T5u0ct4FD-Cs&redir_esc=v#v=onepage&q=sistema%20solar%20fotovoltaico&f=false](#)

- Solar, E. (2020). *Energía Solar. Acceso em*, 15(03). Obtenido de: [https://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013-2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20\(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica\)/2_Solar/Solar_Resumen.pdf](https://fjarabo.webs.ull.es/VirtualDoc/Curso%202013-2014/Energ%C3%ADas%20renovables%20(Tecnolog%C3%ADa%20Energ%C3%A9tica)/2_Solar/Solar_Resumen.pdf)
- Style, O. (2012). *Energía Solar Autónoma: Planificación, dimensionado e instalación de un sistema fotovoltaico autónomo*. Oliver Style. <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=cNJB5tdbcJ0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=Energ%C3%ADa+Solar+Aut%C3%B3noma.&ots=MUDXv9Ucuz&sig=Lq6ttCqcODInR1ImhPE23lKHpk0#v=onepage&q=Energ%C3%ADa%20Solar%20Aut%C3%B3noma%3A&f=false>
- SUPPLY, S. (2017). *Diferentes tipos de sistemas solares fotovoltaicos*. Obtenido de: <http://www.sunsupplyco.com/tipos-de-sistemas-solares/>
- Villaseñor, R. (2018) . *PRINCIPALES TÉCNICAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA SOLAR Y OPINIÓN PERSONAL: ENERGÍA FV VS. TERMOSOLAR..* Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/328738153_Termosolar_PDF