

**DISEÑO DE SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNATIVA (FOTOVOLTAICA) PARA
MEJORAR LAS CONDICIONES EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

GEAN CARLOS COLPAS ROMERO

LUISANA ESCOBAR GUZMAN

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR

2019

**DISEÑO DE SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNATIVA (FOTOVOLTAICA) PARA
MEJORAR LAS CONDICIONES EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

Autor:

GEAN CARLOS COLPAS ROMERO

LUISANA ESCOBAR GUZMAN

Director:

JUAN CASTILLEJO BELTRÁN

Asesor:

HECTOR HELI SEGURA OROZCO

Ingeniero Forestal

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR

2019

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Valledupar, diciembre de 2019

Este triunfo se lo dedico:

*A Dios por haberme dado sabiduría,
entendimiento, fortaleza para poder
escalar un nuevo peldaño en mi vida.*

*A mis Padres, quienes me han brindado
su amor y apoyo durante todo el
desarrollo de mi existencia dando fuerzas
y conduciendo mi camino.*

Gean Carlos Colpas Romero

La culminación de este trabajo se la dedico a:

*Ante todo, a Dios por permitirme seguir adelante
y lograr una de las metas propuestas en mi vida.*

*A mis padres, quienes me han brindado su amor
incondicional y perseverancia para verme llegar
hasta donde he llegado al día de hoy.*

Luisana Escobar Guzman

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

HECTOR HELI SEGURA OROZCO, quien no sólo fue un asesor, sino un amigo que nos brindó todo su apoyo y conocimientos en la elaboración de este proyecto.

Todos los docentes quienes hicieron parte de esa formación profesional, orientándonos y apoyándonos, arrojando hoy unos resultados positivos.

La Universidad Popular del Cesar, por formarnos como Ingenieros Ambientales y Sanitarios, convirtiéndonos en unas profesionales y a la hora de ejercer esta labor desempeñarla integralmente.

Todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para que se llevara a cabo la realización de este proyecto.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCION	
13	
TITULO	15
1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	
16	
2.	JUSTIFICACIÓN
18	
3. OBJETIVOS	20
3.1 OBJETIVO GENERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	20
4.	MARCO REFERENCIAL
21	
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	
21	
4.2.	MARCO TEÓRICO
31	

4.3. MARCO CONCEPTUAL	35
4.4. MARCO CONTEXTUAL	37
4.5. MARCO LEGAL	39
VII	
5. MARCO METODOLÓGICO	42
6.1 Línea y sublínea de la investigación	42
5.2 Tipo de investigación	42
5.3 Población de estudio	42
5.4 Muestra poblacional	43
5.5 Desarrollo metodológico	43
5.5.1 Etapa 1	43
5.5.2 Etapa 2	48
5.5.3 Etapa 3	49
5.6 Instrumentos de recolección de información	49
5.7 Procesamiento y análisis de la información	49
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51

7.	CONCLUSIONES
72	
8.	RECOMENDACIONES
74	
REFERENCIAS	BIBLIOGRAFICAS
75	
ANEXOS	
79	

VIII

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resumen de las tecnologías de módulos fotovoltaicos de .	22
Tabla 2. Potencial de radiación solar en Colombia	29
Tabla 3. Normas y disposiciones legales que reglamenta la producción De energía fotovoltaica en Colombia	39
Tabla 4. Descripción de parámetros de panel solar policristalino de 150W	47
Tabla 5. Consumo total de potencia al día en W/día	55
Tabla 6. Comparación entre la energía entre la energía disponible y la energía a suplir de la casa	56
Tabla 7. Tipos de cables seleccionados	61
Tabla 8. Descripción de parámetros de panel solar policristalino de 330W	63

Tabla 9. Descripción de parámetros de baterías seleccionados	64
Tabla 10. Descripción de parámetros de regulador seleccionado	64
Tabla 11. Descripción de parámetros de inversores seleccionados	64
Tabla 12. Descripción de parámetros de inversores seleccionados	64
Tabla 13. Descripción de parámetros de conductos seleccionados	65
Tabla 14. Descripción de parámetros de toma corriente de conexión	65
Tabla 15. Descripción de parámetros de soporte para paneles	65
Tabla 16. Valor total de los elementos del sistema	66
Tabla 17. Comparación de los elementos de sistema incluyendo la bomba y sin ella	68
Tabla 18. Valor total de los elementos del sistema con la bomba	68
Tabla 19. Valor total de los elementos del sistema sin la bomba	69

IX

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Sistema implementado en Caño Limón Coveñas.	24
Imagen 2. Mapa de radiación solar en Colombia.	30
Imagen 3. Proceso de generación de electricidad fotovoltaica.	32
Imagen 4. Ubicación y Estructura de la Granja Experimental - UPC.	37
Imagen 5. Esquema eléctrico del sistema	69

X

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para mejorar las condiciones en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, ubicada en la vereda el Cielo, corregimiento de Valencia de Jesús, al s del municipio de Valledupar.

Para alcanzar el objetivo propuesto y los específicos se siguió el siguiente procedimiento.: para el levantamiento de información primaria se eligió como instrumentos de recolección de datos un software o programa de cálculo llamado PVSYST, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la

tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones y así determinar el dimensionamiento de la potencia necesaria, según el consumo, el horario del mismo y la colocación de los paneles, con sus pérdidas y rendimientos; brindando los elementos necesarios para llegar al diseño del sistema de energía solar fotovoltaica en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.

De igual manera para llevar a cabo el proyecto se utilizó una metodología basada en fuentes de información secundaria y bibliográfica para alcanzar la dimensión y crear los detalles de ingeniería y así poder cumplir con los objetivos propuestos. Así mismo con este proyecto los autores desean incrementar el uso de los recursos naturales para generar nuevas alternativas de energías más limpias y libres de contaminación aprovechando el uso de la luz solar.

Palabras claves: Energía alternativa, energía fotovoltaica, panel solar, energía solar

ABSTRACT

This research aimed to design an alte system (photovoltaic) to improve conditions in the experimental farm of the Popular University of Cesar, located in the village of El Cielo, corregimiento of Valencia de Jesus, south of the municipality of Valledupar.

To achieve the proposed and specific objectives, the following procedure was followed: for the collection of primary information, a software or calculation program called PVSYST was chosen as data collection instruments, which models and

optimizes distributed power systems and simplifies the task. for evaluating designs of both off-grid and grid-connected power systems for a variety of applications and thus determine the sizing of the necessary power, according to consumption, its schedule and the placement of the panels, with their losses and returns; providing the necessary elements to arrive at the design of the photovoltaic solar energy system in the experimental farm of the Popular University of Cesar.

In the same way to carry out the project, a methodology based on secondary and bibliographic information sources was used to reach the dimension and create the engineering details and thus be able to meet the proposed objectives. Likewise, with this project, the authors wish to increase the use of natural resources to generate new alternatives for cleaner and pollution-free energy by taking advantage of the use of sunlight.

Keywords: Alternative energy, photovoltaic energy, solar panel, solar energy

INTRODUCCIÓN

La energía solar es la más abundante y más limpia fuente de energía renovable disponible, y Colombia posee algunos de los más ricos recursos solares en América. La tecnología moderna puede aprovechar esta energía para variedad de usos, incluyendo generación de energía eléctrica.

La energía solar tiene dos manifestaciones, luz y calor, ambas juegan un papel importante en la vida del planeta, la luz solar hace posible el proceso de fotosíntesis, sin el cual el reino vegetal y animal desaparecería. El calor aumenta la temperatura y evapora las aguas de la superficie, en especial las aguas del mar,

las que, libre de contenidos salinos, son devueltas a la superficie en forma de lluvia, los seres vivos (humanos, animales y plantas) deben su existencia a este simple mecanismo de purificación.

La radiación solar puede ser transformada directamente en energía eléctrica. A este fenómeno se lo denomina efecto fotovoltaico. A mediados del siglo XIX (1839) el físico francés Becquerel descubrió el efecto fotovoltaico (FV). Varios físicos, como Willoughby Smith (1873) y Lenard (1900) verifican su existencia bajo diversas condiciones. Einstein (1905) proporciona la base teórica del fenómeno, ganando el premio nobel de física. Milikan (1920), un físico norteamericano, corrobora la teoría de Einstein. Sin embargo, la aplicación práctica de esta conversión de energía no comenzó hasta 1954. Cuando se necesitó una fuente generadora de energía eléctrica que pudiera alimentar los circuitos eléctricos de los satélites espaciales, sin recurrir al uso de combustibles y con una vida útil de larga duración.

La granja experimental de la Universidad Popular del Cesar no cuenta en la actualidad con suministro de energía debido a la ubicación rural de esta, ya que la universidad no cuenta con los recursos para la instalación del cableado y del respectivo transformador, este proyecto busca diseñar un sistema de energía alternativa, como lo es la fotovoltaica, debido a que la energía solar es la más abundante y más limpia fuente de energía renovable disponible con lo que se pretende el mejoramiento de las condiciones de la granja, adecuándola para ser un sitio más viable y apropiado para llevar a cabo investigaciones y otras actividades prácticas académicas.

Como objetivo específico se realizó la descripción y se analizó la zona de influencia, con el fin de determinar los distintos ángulos de inclinación del sol, con el fin de poder instalar el parque fotovoltaico; por otro lado, determinara los impactos ambientales y económicos.

Los aspectos presupuestales pueden traducirse como una limitación de la extensión y profundidad del proyecto.

TÍTULO

DISEÑO DE SISTEMA DE ENERGÍA ALTERNATIVA (FOTOVOLTAICA) PARA
MEJORAR LAS CONDICIONES EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En Colombia es evidente que muchas zonas rurales apartadas en la geografía, no cuentan con el servicio de electricidad, convirtiéndose en un problema para el desarrollo de las comunidades. Según las cifras que maneja el Banco Interamericano de Desarrollo - BID, aproximadamente, el 60% del territorio no está conectado a la red eléctrica y alrededor de 1,8 millones de habitantes dependen de un servicio energético limitado. En lo referente al uso de energías renovables, Colombia, según expertos, por estar en una zona tórrida, tiene una gran capacidad

para trabajar la energía solar, sin embargo, y pese a los pronósticos de los especialistas, el país se encuentra en la lista de los últimos países que empiezan a utilizarla. (Caro, 2019).

La Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar, no está exenta de este problema, ya que se encuentra ubicada en el corregimiento de Valencia de Jesús, vereda el Cielo, en el kilómetro 14 de la vía Valledupar- Bosconia, a un kilómetro y medio del desvío izquierdo, donde alrededor del 85% de esta población cuenta con el servicio de energía eléctrica, y la granja pertenece al 15% de las zonas que no lo tienen, lo cual impide el desarrollo total de las actividades de investigación que en ella se realizan, como son estudios microbiológicos, estudios de suelo, implementación de biodigestores y muchos otros proyectos. La falta de fluido eléctrico ha sido un gran inconveniente debido a la falta de iluminación y a la imposibilidad del uso de equipos y herramientas eléctricas para el desarrollo de los distintos proyectos de investigación que se están realizando.; por lo cual se pretende realizar el diseño de un sistema de energía alternativa fotovoltaica, que pueda abastecer de energía eléctrica la granja experimental mejorando sus condiciones.

Lo antes expuesto lleva a formular la pregunta problema: ¿La generación de energía eléctrica a partir de energía solar fotovoltaica es una alternativa viable para mejorar las condiciones de la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar?

2. JUSTIFICACIÓN

La falta de energía eléctrica en muchas zonas rurales de Colombia; conduce al uso de energías relacionadas con el consumo de combustibles fósiles empleados en maquinaria, equipos agrícolas y como insumo doméstico. Estas aplicaciones basadas en la utilización de recursos naturales representan factores de riesgo ambiental y de salud, como la contaminación atmosférica o calentamiento global,

debido al aumento del dióxido de carbono, uno de los gases responsables del efecto invernadero, afectando la agricultura por la evaporación de agua de la superficie de la tierra y el aumento de lluvias e inundaciones. De igual manera, el consumo de energía calórica, en zonas rurales, se fundamenta en el consumo de leña o carbón vegetal derivados directa o indirectamente de los árboles; estas prácticas contribuyen a la reducción de recursos estratégicos como bosques, biodiversidad, aguas y suelos.

Es así como el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, se justifica porque tiene muchos puntos favorables, ya que genera electricidad sin contaminar, es silenciosa, y genera energía aun con luz difusa, es un recurso inagotable, no produce ningún tipo de polución durante su funcionamiento, contribuyendo a evitar la emisión de gases de efecto invernadero; aunque la producción de los paneles fotovoltaicos presenta también un cierto impacto ambiental como la afectación del paisaje, esto puede gestionarse mediante controles de contaminación ya existentes, determinando el proceso de reforestación lo que quiere decir una repoblación de árboles en la zona o área de ejecución del proyecto, a su vez, con la implementación del proyecto se especifica por medio de los estudios y evaluaciones ambientales que se disminuirá el consumo y contaminación del recurso hídrico el cual se denomina indispensable para la existencia de la vida. De igual manera esta investigación servirá como línea base a futuras investigaciones de energías alternativas no convencionales sin comprometer los recursos naturales.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para mejorar las condiciones en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, ubicada en la vereda el Cielo, corregimiento de Valencia de Jesús, al sur del municipio de Valledupar.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Programar el sistema de energía eléctrica que se puede implementar en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.
- Realizar la descripción y análisis de la zona de influencia, con el fin de determinar los distintos ángulos de inclinación del sol, con el fin de poder instalar el parque fotovoltaico.
- Realizar un análisis de sostenibilidad y retorno de inversión con el cual se espera evidenciar la rentabilidad del proyecto y atraer la inversión de capital.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGCIÓN

Colombia goza aún del privilegio de contar con el abastecimiento interno de hidrocarburos, sin embargo, este recurso no renovable está llegando a su fin pues ya se ha evidenciado que las reservas del país tienen cerca de 6 años de durabilidad con lo cual, se esperaría que se volviera una nación netamente importadora de este recurso. La Agencia Internacional de Energía (AIE) dice que la base de la vida moderna del mundo depende en un 80% del petróleo y que a medida que los países se industrializan y sus poblaciones aumentan, también crece el consumo de energía.

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando.

Por eso el Gobierno Nacional en los últimos años ha invertido en el desarrollo y aplicación de tecnologías alternativas de producción de energía, que funcionen con recursos renovables, para solucionar el problema de la crisis energética mundial y contribuir a un medio ambiente más limpio. (Ministerio de educación de Colombia, 2013)

Según La Unidad de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad. La investigación, el desarrollo y la innovación en el ramo de celdas solares fotovoltaicas y sus aplicaciones, tiene cada vez un mayor interés e impacto en el ámbito internacional debido a sus bondades; un sistema que genera electricidad sin contaminar, no lleva componentes de fricción, es modular, silenciosa, y genera aun con luz difusa.

Desde principios de la década de los 80, cuando comenzaron a establecerse compañías fotovoltaicas en los Estados Unidos, la Solar Energy Research Institute

(SERI) ahora, National Renewable Energy Laboratory (NREL) estableció métodos y estándares de prueba y funcionamiento para los módulos fotovoltaicos. Estas actividades ayudaron a las compañías a reducir sus costos y mejorar su funcionamiento, eficiencia y confiabilidad. En la Tabla 2, se describen las ventajas y las desventajas de cada una de las tecnologías de los módulos fabricados en base a silicio. Se dan a conocer también las eficiencias de conversión a nivel laboratorio y producción comercial, así como los principales fabricantes. (CONACYT, 2010).

Tabla 1

Resumen de las tecnologías de módulos fotovoltaicos de silicio.

TIPO DE CEDULA	EFICIENCIA (%)		VENTAJAS	DESVENTAJAS	FABRICANTES
	LAB.	PROD			
SILICIO MONOCRISTALINO	25	15 A 18	* Tecnología bien desarrollada y probada * Estable * Mayor eficiencia * Se fabrica en celdas cuadradas	* Emplea material caro * Se genera mucho desperdicio (casi la mitad) * Manufactura costosa	Siemens (Alemania) Sharp (Japon) Solec (E.U) Helios (Italia) Solarex (E.U) Hitachi (Japon) Tideland (E.U) Mitsubishi (Japon) CEL (India) Kyocera (Japon) Hoxan (Japon) Heliodynamic (Brasil) Pragma (Italia) Bharat (India) BP Solar (R.U) Ansaldo (Italia) Isofoton (España) Nippon Elec. (Japon) Komatsu (Japon)
SILICIO POLICRISTALINO	18	12 A 16	* Tecnología bien desarrollada y probada * Estable * Mayor eficiencia * Se fabrica en celdas cuadradas * Menos costoso que el monocristal	* Material costoso * Se genera desperdicio * Manufactura costosa * Menor eficacia que el monocristal	Pragma (Italia) Photowatt (Francia) AEG (Alemania) Kyocera (Japon)
SILICIO LAMINADO	16	11 A 14	* No requiere rebanado * Menos material desperdiciado * Potencial para rapidez de manufactura * Buena eficiencia	Complejidad en crecimiento del cristal	ASE (E.U) Westinghouse (E.U)
SILICIO AMORFO	12.5	6 A 9	* Utiliza muy poco material * Alto potencial y producción rápida * Costo bajo, 50% del silicio cristalino * Menos afectado por bajos niveles de insolación	Algo de degradación Menor eficiencia	Solarex (E.U) Sovonics (E.U) Sanyo (Japon) Sharp (Japon) Tanaka (Japon) Taiyo Yuden (Japon)

Fuente: CONACYT

En la actualidad algunas de las grandes compañías petroleras han sentado las bases para la industria fotovoltaica moderna en los Estados Unidos. Desde la década de los 70, compañías como Exxon, Shell, Mobily Arco se involucraron en la investigación y desarrollo de esta tecnología, procurando protegerse de una

eventual elevación de los precios del petróleo hasta niveles exorbitantes. Sin embargo, debido a que dichos precios se han mantenido relativamente estables durante dos décadas, estas compañías fueron abandonando paulatinamente el mercado fotovoltaico, culminando con la venta de Arco Solar, la fábrica de módulos solares más importante del mundo, a Siemens, de Alemania, así como los derechos de tecnología a Isofotón de España (Murcia, 2008).

Recientemente, el interés de estas compañías ha renacido, ahora por motivos ambientales y estratégicos, tal es el caso de, Showa-Shell, British Petroleum (BP) por citar ejemplos. En Colombia se podría generar en mayor escala en las zonas del Magdalena, La Guajira, San Andrés y Providencia. (Murcia 2008) En Colombia este sistema de generación se ha implementado en muchas partes a lo largo del territorio, algunas de ellas son:

Hospital Pablo Tobón en Medellín en el año 1984: Para reducir el consumo de energía, se instalaron en el año 1987 colectores solares de placa plana, los cuales reemplazaron una caldera que salió de servicio en la institución, de esta manera se instalaron 345 m² de colectores para calentar diariamente 22.500 litros de agua a 45°C Centro Las Gaviotas en ciudad Salitre en Bogotá. (Hospital Pablo Tobón, 2010.)

Sistema solar de 2.8 kWp instalado por el antiguo ICEL (Instituto Colombiano de Energía eléctrica, hoy IPSE): en la Venturosa, Vichada, en 1996. Suministra energía a 120 V AC a una comunidad de 12 familias y centro escolar. Gracias a este tipo de generación se logra dar alcance en el suministro de energía eléctrica a comunidades alejadas.

Sistema fotovoltaico de 3.4 kWp del Oleoducto Caño Limón-Coveña: En operación desde hace más de 20 años. Este sistema permite realizar la operación de equipos propios del oleoducto, facilitando las condiciones de alimentación eléctrica en áreas alejadas. Este sistema ha permitido contar con la disponibilidad de válvulas remotas sin realizar altas inversiones por suministros desde fuentes con generación tradicional hidráulica. En la Imagen 3 se muestra el sistema implementado en el oleoducto Caño Limón- Coveñas



Imagen 1 Sistema implementado en Caño Limón Coveñas

Fuente H. Rodríguez Murcia 2008

Energía Solar en Colombia: Las aplicaciones térmicas en Colombia datan de mediados del siglo pasado, cuando en Santa Marta fueron instalados calentadores solares en las casas de los empleados de las bananeras, calentadores que aún

existen, aunque no operan. Más tarde, hacia los años sesenta, en la universidad Industrial de Santander se instalaron calentadores solares domésticos de origen israelí para estudiar su comportamiento. Posteriormente, hacia finales de los setenta y estimulados por la crisis del petróleo de 1973, instituciones universitarias (la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional en Bogotá, la Universidad del Valle, entre otras) y fundaciones (como el Centro Las Gaviotas) sentaron las bases para instalar calentadores solares domésticos y grandes sistemas de calentamiento de agua para uso en centros de servicios comunitarios (como hospitales y cafeterías). (Murcia, 2008)

Algunos desarrollos resultaron bastante innovadores. Sin embargo, se adoptó finalmente el sistema convencional que consta de uno o varios colectores solares y de su respectivo tanque de almacenamiento. El colector empleaba una parrilla de tubería de cobre y, como absorbedor, láminas de cobre o de aluminio. Como película absorbidora se empleaba pintura corriente o con aditivos, y otros absorbedores selectivos. La cubierta exterior era vidrio corriente o templado y el aislamiento fibra de vidrio, icopor o poliuretano. El tanque generalmente era metálico en sistemas presurizados o de asbesto cemento en sistemas abiertos. (Murcia 2008)

Estos desarrollos tuvieron su máxima expresión a mediados de los ochenta en la aplicación masiva de calentadores en urbanizaciones en Medellín (Villa Valle de Aburrá) y Bogotá (Ciudad Tunal, Ciudad Salitre) en donde fueron instalados miles de calentadores, desarrollados y fabricados por el Centro Las Gaviotas; el Palacio de Nariño, en Bogotá, también tuvo uno de estos grandes calentadores. A mediados de los ochenta surgieron varias compañías nacionales en Bogotá, Manizales y Medellín que fabricaron e instalaron miles de calentadores solares de diversas capacidades en esas ciudades. Muchas instituciones religiosas montaron

calentadores solares en sus conventos y también alguna cadena hotelera (Hoteles Dann)

La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de Operación y Mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Estas actividades surgieron con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional. En este programa se instalaron pequeños generadores fotovoltaicos de 60 Wp (Wp: vatio pico) para radioteléfonos rurales y ya en 1983 habían instalados 2 950 de tales sistemas. El programa continuó instalando estos sistemas y pronto se escaló a sistemas de 3 a 4 kWp para las antenas satelitales terrenas. Muchas empresas comenzaron a instalar sistemas para sus servicios de telecomunicaciones y actualmente se emplean sistemas solares en repetidoras de microondas, boyas, estaciones remotas, bases militares, entre otras aplicaciones. Estos sistemas son hoy esenciales para las telecomunicaciones rurales del país. Según un estudio realizado, entre 1985 y 1994 se importaron 48 499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp. De estos 21 238 módulos con una potencia de 843.6 kW en proyectos de telecomunicaciones y 20 829 módulos con 953.5 kWp en electrificación rural. El estudio anterior también indicó, sobre una muestra de 248 sistemas (con 419 módulos), que 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Como principal fuente de problemas se encontraron la falta de mínimo mantenimiento, suministro de partes de reemplazo (reguladores y lámparas) y sistemas sub-dimensionados. Estos problemas, que se suelen repetir aún hoy en día, indican la importancia que tiene el asegurar la sostenibilidad del suministro del servicio de energía para estos usuarios. Estas dificultades se han

mostrado como una de las debilidades más graves del servicio de energía con estos sistemas. Y más que tratarse de un problema meramente técnico, el problema es de calidad del servicio y de atención al usuario. En los últimos diez años tampoco se han realizado estudios sobre el comportamiento de estos sistemas.

En los programas de electrificación rural, el sistema convencional para hogares aislados ha constado de un panel solar de 50 a 70 Wp, una batería entre 60 y 120 Ah y un regulador de carga. Estos pequeños sistemas suministran energía para iluminación, radio y TV, cubriendo las necesidades realmente básicas de los campesinos. El costo actual de este sistema es del orden de US\$ 1 200 a 1 500, afectado principalmente por los elevados costos de instalación en las zonas remotas. (Murcia 2008)

Durante los últimos años, se han instalado muchos más sistemas en los programas de electrificación rural, con fuerte financiación del Estado, haciendo uso actualmente de recursos como el FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas). El IPSE (Instituto para la Promoción de Soluciones Energéticas) es en la actualidad la institución que lidera las acciones del Estado en la energización del campo colombiano. Según esta institución hay en la actualidad más de 15 000 sistemas instalados para estas aplicaciones. Pero, además, el IPSE tiene en desarrollo soluciones innovadoras como sistemas híbridos, en donde se combinan por ejemplo la energía solar fotovoltaica y las plantas diesel, para reducir los costos de generación del diesel y emplear el generador diesel como respaldo. El mercado de sistemas solares fotovoltaicos tuvo su boom hacia finales de los años ochenta con el programa de telecomunicaciones rurales de Teleco; las conocidas dificultades de orden público de la década de 90 frenaron el desarrollo del mercado, que aún se puede estimar

en el orden de 300 kW por año. Si se consideran 30 años de desarrollo de este mercado, entonces la potencia instalada sería del orden de 9 MWp

Los logros colombianos son aún modestos y el desarrollo actual no corresponde ni al potencial de varias fuentes ni a las posibilidades de un desarrollo local, que permita al país realizar tecnologías energéticas liberadas de las tradicionales dependencias de tecnologías foráneas. Sin embargo, se ha perdido tiempo valioso que hace que, si bien equipos desarrollados en los 80 causaban sorpresa y alguna admiración en el país y en el exterior, no son actualmente ni medianamente comparables a los desarrollados en otras naciones y probablemente no serían competitivos frente a los productos extranjeros.

La evaluación del potencial solar de Colombia se ha realizado empleando principalmente información de estaciones meteorológicas del IDEAM (Instituto de Estudios Ambientales), procesada para ser transformada de información meteorológica en información energética. La energía solar se ha evaluado para varias regiones como la Costa Atlántica, la Sabana de Bogotá y para el país.

De acuerdo con la Tabla se puede evidenciar el potencial de radiación solar que posee el departamento de la Guajira con respecto a otras áreas del país.

Tabla 2

Potencial de radiación solar en Colombia

Región del Pais	Radiación Solar (kWh, m2, año)
Guajira	2000-2100
Costa Atlántica	1730-2000
Orinoquía-Amazonía	1550-1900
Región Andina	1550-1750
Costa Pacífica	1450-1550

Fuente: IDEAM

Si se tiene en cuenta que el máximo mundial es de aproximadamente 2 500 kWh/m²/año, el potencial en Colombia en relación con este máximo varía entre 58 % en la Costa Pacífico y 84 % en la Guajira. Pero más importante aún que los valores es que la variación mensual de la radiación global frente a la media anual es pequeña comparada con las variaciones de otras regiones del mundo, lo que permite que los sistemas de acumulación de energía sean de capacidad reducida. La información de estos estudios merece, sin embargo, los siguientes comentarios: la densidad de estaciones es en la Zona Andina más elevada que en el resto del país, razón por la cual el resultado de interpolaciones de valores de la radiación entre estaciones resulta menos confiable para el resto del país que para la Zona Andina. Y por otro lado, los modelos de radiación empleados no han sido suficientemente validados para el país. Hacia el futuro, se espera que la información sea más refinada y permita mejorar la resolución espacial de la información.

La imagen permite evidenciar el alto nivel radiación solar presentado en la Guajira y en todo el país, la diferencia se evidencia de acuerdo al color.

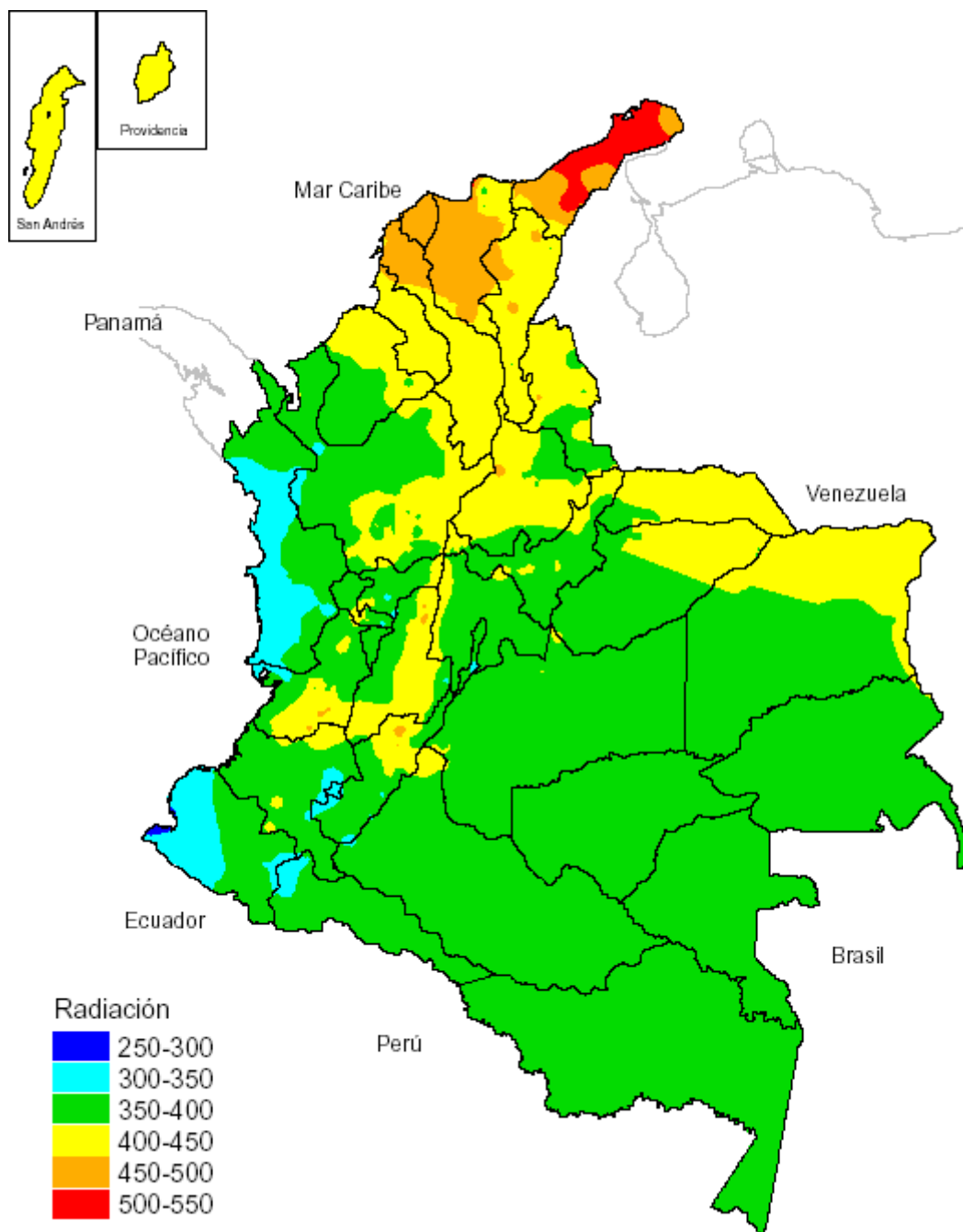


Imagen 2 Mapa de radiación solar en Colombia.

Fuente: www.lookfordiagnosis.com

4.2 MARCO TEÓRICO

Teniendo en cuenta que objeto de estudio en esta investigación está centrado en diseñar un sistema de energía alternativa (fotovoltaica) para mejorar las condiciones en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, se hace necesario resaltar los aportes teóricos sobre el tema:

Es así como Arenas y Zapata, definen como energía solar fotovoltaica al proceso de obtención de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos. Los módulos o colectores fotovoltaicos están conformados por dispositivos semiconductores tipo “diodo”, los cuales al recibir radiación solar mediante un proceso químico se excitan y provocan saltos electrónicos; esto se conoce como efecto fotoeléctrico. Al producirse este fenómeno se genera una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas para el uso de pequeños dispositivos electrónicos. (Arenas y Zapata, 2011)

Así mismo para Perpiñán, un sistema fotovoltaico es el conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar. El principal componente de este sistema es el módulo fotovoltaico, a su vez compuesto por células capaces de transformar la energía luminosa incidente en energía eléctrica de corriente continua. El resto de equipos incluidos en un sistema fotovoltaico depende en gran medida de la aplicación a la que está destinado. (Perpiñán, 2018)

Por su parte para la AMT, el fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando estos electrones libres

son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad. (AMT, 2013).

En lo referente el EVE (Ente Vasco de la Energía) afirma que el efecto fotovoltaico crea una fuerza electromotriz en el material (la presencia de luz hace que se genere una fuerza electromotriz a través del límite de dos sustancias). En las células solares fotovoltaicas, esa fuerza electromotriz que aparece genera un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que reciben. Tiene la ventaja sobre los demás procesos de no requerir tensión auxiliar, por eso es utilizado para la conversión directa de energía solar en energía eléctrica. (EVE, 2000)

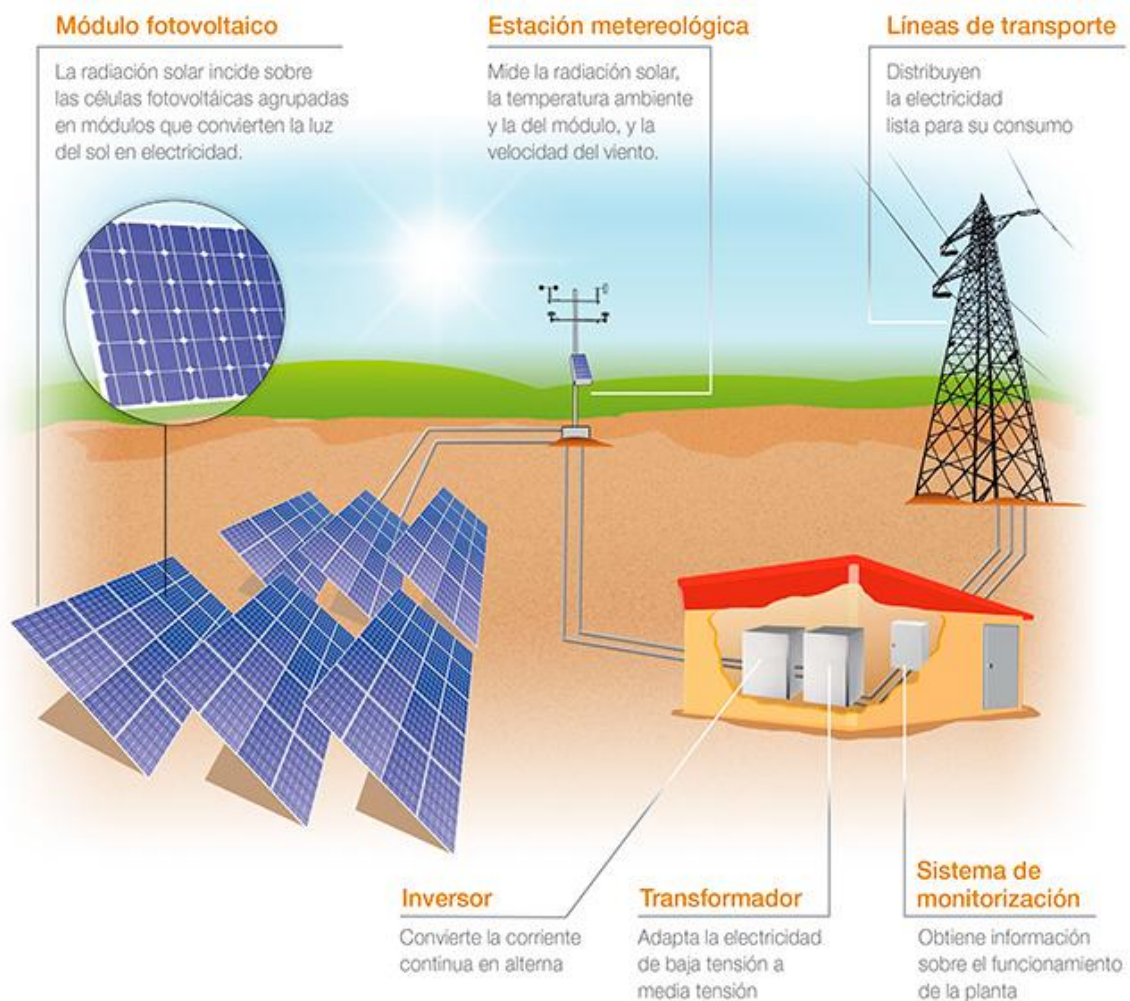


Imagen 3. Proceso de generación de electricidad fotovoltaica

Fuente: www.sunedison.es

De igual manera en la energía solar fotovoltaica las superficies son células formadas por una a o varias láminas de materiales semiconductores, en la mayoría de los casos silicio, y recubiertas por un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y minimiza las pérdidas. Las células se agrupan en módulos para su integración en sistemas fotovoltaicos. Los módulos tienen una vida estimada de 30 años y su rendimiento después de 25 años está por encima del 80% y, aun así, se continúa investigando para incrementar su eficiencia. (Sunedison, 2015)

Cuándo más intensa sea la luz solar, mayor será el flujo de electricidad. No siendo necesario un flujo de luz directa, la electricidad se produce incluso en días nublados al amanecer y al anochecer. Los módulos fotovoltaicos generan corriente continua y se convierten a corriente alterna a por medio de un dispositivo eléctrico llamado “inversor”. Posteriormente la energía eléctrica producida pasa por un “centro de transformación” se adapta la electricidad a las condiciones de intensidad y tensión de las líneas de transporte para su consumo.

Cabe destacar que las investigaciones alrededor del tema llevan muchos años, es así como, en 1839, el físico francés Edmundo Becquerel fue el primero en constatar el efecto fotoeléctrico. Más tarde, Willoughby Smith en 1.873 y Lenard en 1.900 verifican su existencia bajo diferentes condiciones. En 1921 Albert Einstein gana el Premio Nobel de Física gracias a un trabajo en el que se describe la naturaleza de la luz y el efecto fotoeléctrico y en el cual está basada la tecnología fotovoltaica. En 1920 el físico norteamericano Millikan corroborará totalmente la teoría de Einstein. Sin embargo, fue en 1.954 cuando se construye el primer módulo fotovoltaico en los Laboratorios Bell y es tratado como un experimento científico ya que su coste era demasiado elevado para su utilización a gran escala. (AMT, 2013)

En cuanto a su funcionamiento, los paneles fotovoltaicos toman la luz solar para generar una corriente directa, la cual es transferida y aprovechada por la mayoría de los equipos eléctricos. La energía generada pasa a través de un medidor, que la cuantifica. Luego continúa hacia una caja de suministro eléctrico, donde se distribuye hacia la red del lugar. De tal manera la energía fotovoltaica se genera siguiendo los siguientes pasos: 1. Los paneles solares se componen de células fotovoltaicas (PV), que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (DC) durante las horas del día. 2. El inversor, este dispositivo es el que convierte la electricidad generada por los paneles solares en la electricidad de corriente alterna (AC). 3. Panel eléctrico, la electricidad de corriente alterna se envía desde el inversor a su tablero eléctrico para accionar las luces y aparatos con energía solar. El cuadro eléctrico es a menudo llamado “caja de interruptores.” 4. El medidor de utilidad, o contador de servicios mide el consumo de energía. En realidad, va hacia atrás cuando el sistema genera más energía de la que necesita inmediatamente. Este exceso de energía solar compensa la energía que se utiliza por la noche. Esto se denomina “Net Metering”, o medición neta. (Celsia, 2019)

Los beneficios de esta fuente energética son muchos. Sin embargo, se busca generar un mayor consumo de energía solar, ya que se cree traería consigo una reducción del uso de las otras fuentes de energía, una menor demanda de la red y, por consiguiente, una reducción de los precios nacionales en las fuentes tradicionales. Esto desde luego, es un beneficio para todos los consumidores (Gómez, 2017).

En lo que se refiere a la inversión, es importante destacar que la inversión o costo inicial de una instalación fotovoltaica es alto. Pero, el aprovechamiento posterior es enorme (larga vida útil del sistema) y económico (bajos costos de mantenimiento y no necesita de combustible). Se dice que, si se aumenta la oferta

de energía fotovoltaica, el costo sería menor, lo que se conoce como merit-order effect. (Morales, 2013)

Otro gran beneficio o ventaja es que cualquier persona u empresa puede generar energía eléctrica con sistemas FV, aumentando la independencia energética. Además, el uso de la energía fotovoltaica es menos peligroso, debido a que no necesita de líneas de alta tensión, las cuales pueden generar catástrofes en cuanto fallo de estructura y líneas de transporte. De acuerdo al IPSE, Colombia presenta un sistema Interconectado muy débil el cual no cubre toda la demanda del país, el transporte de energía resulta costoso y genera pérdidas significativas; Haciendo uso de esta fuente energética, se pueden reducir impactos ambientales, emisiones de gases de efecto invernadero (actividades industriales) y demás contaminación causada por el petróleo, carbón entre otras (Gómez, 2017)

4.3 MARCO CONCEPTUAL.

Energía fotovoltaica: El efecto fotoeléctrico permite transformar directamente energía solar (ya sea directa o difusa) en energía eléctrica continua. Pero se suelen utilizar semiconductores, y en especial el silicio (el segundo o más abundante en la corteza terrestre que se obtiene de la arena). El elemento base es la célula solar. Suelen ser de silicio mono cristalino, poli cristalino o amorfo.

Los conjuntos de células se orientan hacia el sur para aprovechar más la radiación solar, y son conectadas a un sistema de almacenamiento (baterías) y de conversión de la corriente. Se trata pues de una fuente de energía que puede aprovecharse en cualquier aplicación: red eléctrica, consumo en lugares aislados en zonas rurales.

Energía solar: La cantidad de calor recibido por la tierra anualmente puede calcularse en 1946 calorías pequeñas por centímetro cuadrado de superficie y por minuto. Este calor es capaz de producir una potencia de 1,81 caballos de vapor por metro cuadrado. La transformación directa de la energía radiante del sol en calor parece ser actualmente fácil y con rendimiento elevado, del 30 al 60%, la técnica es bastante sencilla y eficaz en el tiempo, consiste en concentrar en una superficie reducida las radiaciones solares recogidas en una gran superficie.

Radiación generada por el sol: Fuente de energía en forma de luz la cual estimula los paneles solares.

Captación de luz por paneles fotovoltaicos: Los paneles se estimulan por la fuente de luz y empujan los electrones generando flujo de electricidad en corriente continua.

Generación de electricidad corriente directa: Se genera electricidad la cual se almacena en bancos de baterías.

Rectificación de la onda de corriente directa a corriente alterna: Se rectifica la onda de directa a alterna con lo cual se garantiza la correcta aplicación a las cargas del sistema.

Sistema de medición de potencia activa: El consumo que genera la carga es medido para determinar los índices de consumo y realizar las respectivas acciones de mantenimiento o controlar sobrecargas al sistema. 6. Consumo o carga final:

La energía es utilizada para sistemas de iluminación, alimentación de equipos eléctricos, etc.

Inyección sincronizada de potencia a la red: Cuando la energía no es utilizada inmediatamente por la carga, esta puede ser inyectada a los sistemas generales de potencia.

4.4 MARCO CONTEXTUAL

La Granja Experimental de la Universidad Popular del Cesar, se encuentra ubicado en la zona suroriental del municipio de Valledupar, en el corregimiento de Valencia de Jesús, vereda el Cielo ($10^{\circ}19'57.35''$ N y $73^{\circ}20'04.17''$ O), esta vereda cuenta con una población aproximada de 600 habitantes y su principal actividad económica es la fabricación y comercialización de ladrillos, se encuentra a una altitud de 112 m.s.n.m, en el kilómetro 14 de la vía Valledupar- Bosconia, a un kilómetro y medio del desvío izquierdo. (González & Gómez, 2010).



Imagen 4. Ubicación y Estructura de la Granja Experimental - UPC.

Fuente: Google Earth®

El municipio de Valencia de Jesús limita hacia el norte con el corregimiento de Azúcar Buena; hacia el occidente con la zona rural de la ciudad de Valledupar. Al sur limita con el municipio de San Diego y al occidente con el corregimiento de Aguas Blancas. El corregimiento hace parte de la cuenca del río Cesar, río con el cual limita al sur.

En cuanto a las vías de acceso el corregimiento es atravesado por la carretera de la Ruta Nacional 80 entre Valledupar y Bosconia. y el único peaje que se encuentra en esta vía está ubicado en inmediaciones del corregimiento de Valencia de Jesús.

Parte Abiótica: En su territorio cuenta con zonas planas y montañosas, numerosa cantidad de ríos, el cual le permite gozar al municipio de numerosos pisos térmicos y variabilidad en las temperaturas. Es una zona de bosque seco tropical

con un promedio de temperatura media anual de 28° C, situándola en un piso bioclimático ecuatorial y una precipitación anual de 1324 mm. Cuenta con grandes afluentes en su mayoría del río Cesar, facilitando el sistema de riego para la agricultura de forma casi permanente. Entre los principales ríos encontramos: El río Chiriaimo, Hobo o Tocaïmo, El Salado, Perú, el Reicito, el río Cesar y un sin número de ramificaciones de acequias afluentes de estos ríos. (González & Gómez, 2010).

Parte Biótica: El terreno del municipio es su mayoría es muy fértil, apto para la ganadería y la agricultura. Referente a la flora ofrece un ecosistema ideal para vegetación, con especies como cañaguates, acacias, ceibas, cedros, guanábanos, mangos, cítricos, eucaliptos, etc. Es común encontrar jardines llenos de flores, entre ellas las trinitarias, se caracterizan por florecer en cualquier época del año. En cuanto a la fauna, existen especies que cada día se encuentran más amenazadas y no se encuentran con facilidad, como es el caso de los venados y tigrillos. Boas, lagartos, iguanas, falsas corales, mapanás, pericos, colibríes, tierrelitas, palomas, gavilanes y lechuzas hacen parte de la fauna silvestre que habita el territorio. (González & Gómez, 2010).

4.5 MARCO LEGAL

La presente investigación se encuentra enmarcada en las siguientes normas y disposiciones legales existentes en Colombia que reglamentan la producción e instalación de energía fotovoltaica y en las diferentes normas técnicas publicadas por El ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas), que reglamentan el diseño y construcción de instalaciones solares fotovoltaicas:

Tabla 3.

Normas y disposiciones legales que reglamentan la producción e instalación de energía fotovoltaica en Colombia

Norma o disposición legal	Fin
La ley 1715 de 2014	Reglamentar la integración de las energías renovable no convencionales al sistema energético nacional, dentro de sus funciones delega a la CREG establecer tarifas para la energía solar FV, también regula la venta de créditos o excedentes de energía entregados a la red de distribución y transporte para auto generadores que produzcan menos de (5 MW), apoya la utilización de fuentes locales para producción de energía a través del Fondo de Energías no Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE).
Decretos 3652 y 3683 de 2003	Impulsar el uso de fuentes alternas de energía (Solar Fotovoltaica), los cuales establecen el programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales – PROURE.
Ley 620 en diciembre del año 2000	Trata acerca del “Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático”, favoreciendo a Colombia en cuanto a uso del Mecanismo Desarrollo Limpio previsto en dicho Protocolo
Decretos 2469 de diciembre de 2014	Establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración, expedido por el Ministerio de Minas y Energía.
Decretos 2492 de diciembre de 2014	Adoptar las disposiciones en materia de implementación de mecanismos de respuesta a la

	demanda energética, expedido por el Ministerio de Minas y Energía
Res. 0455 de febrero de 2016	Contiene los procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía.
Plan Energético Nacional (PEN) 1997 – 2010	Documento elaborado por el Ministerio de Minas y Energía y la Upme donde se establecen las bases para la estructuración e implementación de una política energética en Colombia, crea la Autosuficiencia Energética Sostenible. En 1994 se reestructuró la expedición de las Leyes 142 y 143; en la cuales se establecieron límites en cuanto a actividades de funcionamiento del sector energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización para las SIN y ZNI. Se le asignó a la UPME elaborar el Plan Energético Nacional (PEN) y el Plan de Expansión del sector eléctrico.
Resolución 18 0919 de junio de 2010	Mediante la cual se promueve la utilización de energías alternativas
NTC 2883 (2005)	Esta norma contiene las características y las especificaciones para los paneles solares fotovoltaicos
NTC 2959 (2008)	Guía para caracterizar las baterías de almacenamiento para sistemas fotovoltaicos
NTC 5287 (2009)	Esta norma suministra la información necesaria referente a los requisitos de las baterías que se utilizan en los sistemas solares fotovoltaicos y de los métodos de ensayo típicos utilizados para verificar la eficiencia de las baterías

NTC 2050 (2015)	Código eléctrico colombiano, describe el reglamento técnico para las Instalaciones Eléctricas.
NTC 1736 (2005)	Esta norma define los términos generales y nomenclatura utilizada en normas relativas a energía solar
NTC 2775 (2005)	Esta norma tiene por objeto establecer las principales definiciones utilizadas en las normas técnicas relativas a energía solar fotovoltaica
NTC 5513 (2010)	Esta norma describe los procedimientos para la medida de la función característica corriente - tensión de dispositivos fotovoltaicos con luz solar natural o con un simulador solar.

Fuente: Autores

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1 LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Línea: Esta investigación se encuentra enmarcada en la línea de investigación institucional: Sostenibilidad y gestión ambiental.

Sublínea: producción más limpia y tecnologías ambientales, teniendo como ejes temáticos:

- Tratamiento y manejo de efluentes domésticos, industriales y de escorrentía en las Empresas.

- Residuos sólidos generados.
- Emisiones atmosféricas.
- Energía.

5.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación utilizado para la realización de este proyecto es el de la investigación descriptiva exploratoria, la cual se realiza con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de una problemática determinada y encontrar los procedimientos adecuados para elaborar una investigación posterior. Es útil desarrollar este tipo de investigación porque, al contar con sus resultados, se simplifica abrir líneas de investigación y proceder a su consecuente descripción y comprobación.

5.3 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población objeto de estudio en esta investigación está compuesta por todos los usuarios, lo cual abarca al personal administrativo, docente, estudiantes e investigadores que utilizan las instalaciones de la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.

5.4 MUESTRA POBLACIONAL

Como muestra se tomó la parte investigadora que utiliza las instalaciones de la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar. Este grupo se tomó a partir del procedimiento de muestreo no probabilístico denominado el muestreo incidental, porque se trabajará como lo explica Amaya (2007), con “la muestra a la que se tiene directamente acceso por su cercanía: personas conocidas, sujetos con los que se relaciona cotidianamente, etc”. (p. 56).

5.5 DESARROLLO METODOLÓGICO

Para dar respuesta a cada objetivo específico se realizaron las siguientes actividades:

5.5.1 Etapa 1. Programación del sistema de energía eléctrica que se puede implementar en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar:

En esta etapa se definieron los parámetros técnicos generales a tener en cuenta para el diseño de la planta de energía solar fotovoltaica, como la topología de la instalación fotovoltaica, las características eléctricas de la instalación, la localización y condiciones ambientales de la granja experimental del lugar donde se va a instalar la planta, los equipos que se van a utilizar, las normas técnicas que orientan rigen la instalación de los mismos, para lo cual se utilizaron las fuentes de información secundaria como normas técnicas, catálogos de los fabricantes y libros de consulta.

5.5.1.1 Determinación del valor de carga. Se trata de obtener el consumo medio diario. Si este no es constante durante todo el año, se ha de calcular para cada mes. Se puede utilizar el V_{oc} de la batería, pero ha de tener en cuenta el voltaje al que operan los equipos incluyen caídas de tensión, lo cual aumenta el consumo. Si se utiliza inversor se ha de tener en cuenta su rendimiento. Se debería establecer un perfil de consumo diario para la determinación del nivel de potencia a la que opera el inversor, y por tanto su rendimiento.

Se trata de confeccionar un listado de los diversos aparatos conectados al sistema, el número de horas de uso diario y el voltaje nominal de operación de cada uno. En principio la determinación del consumo resulta claro y directo: Únicamente se necesita calcular el consumo de energía de todos los dispositivos que se incluirán en el sistema fotovoltaico. En la práctica, sin embargo, la

demanda de energía resulta incierta porque a menudo se desconoce el tiempo en que funcionara cada aparato.

5.5.1.2 Selección del panel FV. Para seleccionar el panel fotovoltaico a utilizar se hizo un análisis de los tipos de paneles fotovoltaicos existentes en el mercado, entre los cuales se encuentran:

Células de arseniuro de galio. Son las más recomendables para la fabricación de módulos ya que en su versión monocristalina el rendimiento llega hasta el 28%. El principal problema es el elevado costo de este material. Sus principales características son su elevado coeficiente de absorción y sus bajas pérdidas de eficiencia a elevadas temperaturas, por lo que son muy utilizadas en sistemas de concentración [Cabrerizo, 2002]. Actualmente se investiga en combinar el arseniuro de galio con silicio para llegar a rendimientos por sobre el 30% y se han tenido resultados exitosos [Vishnuvardhanan, 2013].

Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre. La ventaja de este sistema es que se utiliza muy poco material en un proceso de fabricación sencillo. Por el contrario, su rendimiento es muy bajo, llegando en la práctica a valores del 5%. El mayor problema es su degradación en el transcurso del tiempo y la tecnología con la que se producen no está desarrollada así que aún se necesitan muchos estudios para mejorar esta técnica [Cabrerizo, 2002].

Células bifaciales. Están fabricadas con una doble unión del tipo $n^+ - p - p^+$ de tal manera que la célula puede absorber radiación por sus dos caras, aprovechando también la que es reflejada desde el suelo. Su rendimiento es mayor que las células monofaciales, pero sus costos de fabricación también se elevan. Por estos motivos actualmente se encuentran en desuso [Cabrerizo, 2002].

Células de silicio amorfo. La gran ventaja de éstas es que el espesor de las células fotovoltaicas puede ser 50 veces más fino que el de las de silicio

monocristalino, presentan un alto grado de absorción y al ser compuestas por menos cantidad de material su fabricación es más económica [Cabrerizo, 2002]. Sus desventajas son que su rendimiento es menor al 10%, mucho menor que las de silicio monocristalino (15- 18%), y su alto grado de degradación al entrar en contacto con el sol. Actualmente son muy utilizadas en calculadoras y relojes donde su durabilidad no es un factor preponderante [Cabrerizo, 2002]. En la actualidad se está investigando muchas variaciones en el proceso de fabricación para hacer de estas células más eficientes y ya se han alcanzado rendimientos de hasta 12,24% [Jia, 2014].

Células de silicio policristalino. Su proceso de fabricación es similar al del silicio monocristalino pero no necesita un riguroso control de temperatura en su etapa de enfriamiento [Cabrerizo, 2002]. Su rendimiento llega al 14% [ECA, 2017]. su costo es ligeramente más económico que el del monocristalino y su ventaja es que se pueden producir directamente células de forma cuadrada sin necesidad de cortes posteriores [Cabrerizo, 2002]. Anteriormente estas células no eran muy utilizadas ya que la diferencia de costo con respecto a las monocristalinas era mínima, pero estudios actuales indican que hay nuevas tecnologías que harán que las células policristalinas vuelvan a competir con las tecnologías tradicionales [Becker, 2013].

Células de silicio monocristalino. Son las células más utilizadas actualmente, su estructura es completamente ordenada. El proceso para llegar a la monocristalización requiere de mucho tiempo y energía, por esta razón su elevado costo, además existe una demanda muy pequeña para los paneles solares [Cabrerizo, 2002]. Se lo obtiene dopando silicio puro con boro y su rendimiento llega hasta el 18% [ECA, 2017]. Actualmente se está investigando en procesos de bajo costo que aumenten su rendimiento mediante la utilización de nano partículas de plata, llegando a aumentarlo en un 2,3% [Rachid, 2013].

Como se puede observar de las células fotovoltaicas que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro es una estructura poli cristalina. El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que insume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo del material semiconductor. La versión poli cristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura poli cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme mientras la poli cristalina muestra zonas de brillo diferente.

En este proyecto se trabajará con paneles solares policristalinos ya que estos poseen una ventaja de economía sobre los otros tipos, también se ven aventajados por su forma geométrica la cual no necesitará que se realicen cortes posteriores.

De igual manera los paneles solares varían de precio según la potencia total en vatios, para este proyecto se usará una referencia de panel policristalino comercial que se encuentra en páginas de venta.

Para obtener la energía total que puede captar el panel solar se necesitan los valores de horas solares pico, estos valores pueden obtenerse en la página del IDEAM, se multiplica por $1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ para dejar el valor en términos de potencia eléctrica y no de área.

Descripción de parámetros de panel solar poli cristalino de 150W

Tabla 4.

Descripción de parámetros de panel solar poli cristalino de 150W

Potencia Nominal	150W
Tensión nominal	17.5 V
Corriente nominal	8.58 A
Tensión de circuito abierto	21.5 V
Corriente de corto circuito	9.17 A

Fuente: (TSS, 2009)

5.5.1.3 Cálculo de la potencia de salida del panel y su número total. La potencia de salida de un panel FV, es la característica más importante del mismo. Salvo en casos de muy bajo consumo, la implementación de un sistema FV requiere el uso de paneles con potencia de salidas de 30 o más watts.

La cantidad de paneles solares se obtiene relacionado el número total de paneles del bloque del generador y la energía diaria generada por el panel.

$$N_{tp} = \frac{E_{generada}}{E_{panel}}$$

5.5.1.4 Banco de reserva. Si el sistema requiere un banco de reserva, la capacidad de generación deberá incrementarse, ya que las pérdidas asociadas con el proceso de carga deben ser compensadas. La capacidad de reserva dependerá de la cantidad de días consecutivos sin sol y el grado de confiabilidad que se considera tolerable para el sistema.

5.5.1.5 Selección de componentes auxiliares. El paso siguiente es la selección de los componentes auxiliares: soporte para paneles, control de carga, cables de conexión, fusibles, llaves interruptoras, focos de iluminación, etc.

5.5.1.6 Instalación. Una instalación adecuada contribuye a aumentar el nivel de confiabilidad y seguridad del sistema, disminuye la posibilidad de una interrupción del servicio y facilita el servicio de mantenimiento o la expansión del mismo.

5.5.2 Etapa 2. Realización de la descripción y análisis de la zona de influencia, con el fin de determinar los distintos ángulos de inclinación del sol, con el fin de poder instalar el parque fotovoltaico: en esta etapa se utilizó la observación directa para determinar el lugar de instalación y mirar el espacio disponible y las posibilidades de orientación, inclinación e integración que tienen los paneles, se realiza la selección de componentes, determinación del conexionado entre paneles, determinación del ángulo óptimo y distancia entre paneles, determinación de sistema de montaje, además, se realizaron los planos que indiquen los datos técnicos de los equipos, y que a su vez sirvan de base para más adelante implementar el diseño de la planta fotovoltaica en la granja experimental.

5.5.3 Etapa 3. Realización de un análisis de sostenibilidad y retorno de inversión con el cual se espera evidenciar la rentabilidad del proyecto y atraer la inversión de capital: en esta etapa se realizaron estudios de generación de energía, pérdidas, costos, ingresos, susceptibilidades a factores externos y luego se evalúa la factibilidad de realizar el proyecto desde el punto de vista económico-financiero y se estima el tiempo de amortización.

5.6 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para determinar el dimensionamiento de la potencia necesaria, según el consumo, el horario del mismo y la colocación de los paneles, con sus pérdidas y rendimientos, se utilizó como instrumento un software o programa de cálculo llamado PVSYST, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones; para a través de éste llegar al diseño del sistema de energía solar fotovoltaica en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.

De igual manera se utilizaron fuentes de información secundaria como normas técnicas y textos de consulta.

5.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para alcanzar el objetivo propuesto y los específicos se siguió el siguiente procedimiento: recolección de las fuentes secundarias y bibliográficas. Para el levantamiento de información primaria se eligió como instrumentos de recolección de datos un software o programa de cálculo llamado PVSYST, que modela y optimiza sistemas de potencia distribuida y simplifica la tarea de evaluación de diseños tanto de sistemas de energía fuera de la red como conectadas a la red para una variedad de aplicaciones y así determinar el dimensionamiento de la potencia necesaria, según el consumo, el horario del mismo y la colocación de los paneles, con sus pérdidas y rendimientos; brindando los elementos necesarios para llegar al diseño del sistema de energía solar fotovoltaica en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.

Después de realizar la recolección de la información se procedió a la tabulación y análisis de los resultados; esperando que al final de esta investigación, mediante los estudios realizados se determine que el diseño de sistema de energía alternativa (fotovoltaica) sea el adecuado para la generación de energía eléctrica en la Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar y a su vez sea implementado.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Realizada la recolección de la información a través del software o programa de cálculo PVSYST, se realizó el análisis de los resultados; determinando mediante los cálculos realizados que el diseño de sistema de energía alternativa

(fotovoltaica) es el adecuado para la generación de energía eléctrica en la Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar.

A continuación, se describen detalladamente los cálculos realizados:

1. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

1.1 Estimación de consumo

Representa el consumo diario de energía eléctrica, que debe suplir el sistema fotovoltaico y se debe considerar el consumo en corriente alterna AC y corriente directa DC.

$$E_{cc} = \sum_i^n \text{dispositivos} * \text{Horas} * P_{Eq} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

$\sum_i^n \text{dispositivos}$: Corresponde a la sumatoria de todos los dispositivos de la misma característica conectados a la red fotovoltaica

Horas: corresponde al total de horas de consumo

P_{Eq} : corresponde a la potencia nominal en kW de cada equipo.

1.2 Potencia diaria que aporta el panel

La Cantidad de radiación que se puede aprovechar durante un día, corresponde a la cantidad de energía que puede captar por cada metro cuadrado y puede ser consultado en páginas como el IDEAM, Google Weather o la Nasa, la potencia esta predefinida por el fabricante.

La potencia diaria que aporta el panel se calcula así:

$$PDU = \frac{RD * Pn}{1 \text{ kW/m}^2}$$

Donde:

PDU: potencia diaria que aporta el panel

RD: Cantidad de radiación solar disponible en la zona del calculo

Pn: potencia máxima nominal del panel

1.3 Carga disponible

La carga disponible corresponde al valor de potencia que puede usarse en el sistema está relacionado con la capacidad de absorción del panel solar,

El sistema tiene pérdidas en los conductores, el inversor y las baterías, para este proyecto se asume que las pérdidas corresponden a un 30 por ciento.

$$\text{carga disponible: } \frac{NMP * PDU}{1.3}$$

Donde:

NMP: Numero total de paneles necesarios

PDU : Potencia diaria que aporta el panel

1.4 Cálculo del banco de baterías

El banco de baterías se usa para almacenar la energía captada en el día por los paneles solares y usarla en horas del día donde no se capte radiación del sol.

La corriente total del sistema se calcula usando la ecuación general de corriente eléctrica

$$P = V * I$$

Donde

P: representa la potencia eléctrica total del equipo

V: representa la tensión que usa el dispositivo

I: representa la corriente que circula por el dispositivo a uso nominal

Despejando I y multiplicando por el número total de paneles obtenemos:

$$\text{corriente total del sistema} = \frac{P * NMP}{V}$$

Donde

NMP: es la cantidad de paneles solares a usar. (DANILO VALDERRAMA , 2019)

1.5 Dimensionamiento del regulador de carga

El regulador se conecta en serie con los paneles fotovoltaicos, por lo que circulará por él la corriente generada por ellos. Como regla de diseño, la corriente nominal del regulador se elige un 20% o 25% mayor a la corriente de cortocircuito

$$I_{regulador} = 1.25 * I_{panel} * NPR \text{ (Ecuación 13)}$$

Donde $I_{regulador}$ es la corriente nominal del regulador, I_{panel} corresponde a la corriente nominal del panel y NPR es el número de paneles solares en paralelo.

1.6 Dimensionamiento del Inversor

La potencia del inversor vendrá determinada en función de la potencia de los aparatos de consumo de CA, el rendimiento del mismo inversor y la simultaneidad de uso de dichos aparatos.

$$S_{invout} = 1.25 * S_{carga} * FS \text{ (Ecuación 14)}$$

$$S_{invout} = 1.25 * \frac{P_{carga}}{Fp} * FS \text{ (Ecuación 15)}$$

$$S_{invout} = 1.25 * \frac{P_{carga}}{\eta_{inv}} * Fp * FS \text{ (Ecuación 16)}$$

$$P_{inv in} = \frac{P_{invout}}{\eta_{inv}} * Fp * FS \text{ (Ecuación 17)}$$

Donde S_{invout} es la potencia nominal del inversor, $P_{inv in}$ es la potencia de entrada del inversor, P_{carga} es la potencia de las cargas en CA, Fp es el factor de

potencia de las cargas en CA, FS es el factor de simultaneidad del consumo en CA y η_{inv} es el rendimiento del inversor. (Salamanca-Ávila, 2019)

2. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA

Tabla 5.

Consumo total de potencia al día en W/día

Dispositivo	Cantidad	Potencia (W)	Horas (h)	Consumo total (Wh/día)
Tv trc	1	65	4	260
Bombillos	7	100	5	500
Motobomba	1	7.457	3	22.371
Nevera industrial	1	180	8	1440
Consumo total promedio Wh/día				24.571

Fuente: Autores

Para conocer la potencia en kW*h que puede ser aprovechada por los paneles solares usaremos los datos proporcionados por la Nasa, ubicándonos en las coordenadas: 10.300918, -73.4000156 que corresponden al municipio de Valencia de Jesús, Valledupar Cesar.

El índice de radiación solar para esta zona del país corresponde a un promedio de $5.7 \frac{kW h}{m^2}$ (NASA, 2019)

El aporte de potencia diaria corresponde a la relación de absorción de la radiación por cada metro cuadrado, se expresa:

$$PDU = \frac{RD * Pn}{1 \text{ kW/m}^2} = \frac{5.7 \frac{\text{kW h}}{\text{m}^2} * 330 \text{ W}}{1 \text{ kW/m}^2} = 1.881 \text{ Wh diarios}$$

Donde:

PDU: potencia diaria que aporta el panel

RD: Cantidad de radiación solar disponible en la zona del cálculo

Pn: potencia máxima nominal del panel

2.1 Carga disponible

La carga disponible describe la relación entre la cantidad de paneles solares a usar y la potencia diaria absorbida.

Tabla 6.

Comparación entre la energía disponible y la energía a suplir de la casa

Energía disponible kWh día	Energía a suplir kWh día
25.799	24.571

Fuente: Autores

La energía disponible está calculada como un 5 por ciento más de la energía a suplir, con esto aseguramos la demanda máxima de potencia en la casa.

La carga disponible se expresa:

$$carga\ disponible: \frac{NMP * PDU}{1.3}$$

Donde:

NMP: Numero total de paneles necesarios

PDU : Potencia diaria que aporta el panel

$$25.799: \frac{NMP * 1.881}{1.3}$$

$$NMP: \frac{25.799Wh\ dia * 1.3}{1.881Wh} = 17.83$$

Aproximando este resultado hacia arriba se estima que para suplir la demanda de la casa se tienen que usar 18 paneles de 330W

2.2 Dimensionamiento del banco de baterías

$$corriente\ total\ del\ sistema = \frac{330\ W * 18}{24} = 247.5\ A$$

Como no es posible encontrar comercialmente baterías que soporten esta corriente en las borneras de conexión, dividiremos el banco de baterías en 3, cada uno con 6 de ellas.

$$\text{corriente de cada banco de baterías} = \frac{330 \text{ W} * 6}{24} = 82.5 \text{ A}$$

2.2.1 Capacidad del banco de baterías. La capacidad del banco de baterías estima la cantidad de energía en amperios hora que puede suministrar el sistema

$$\text{capacidad de cada banco de baterías} = 82.5 \text{ A} * \frac{5.7 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}{0.3} = 1567.5 \text{ Ah}$$

2.2.2 Número total de baterías

$$\text{Numero de baterías} \frac{1567.5 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}} * 2 = 20.9$$

Aproximando hacia arriba, usaremos 21 baterías de 12V y 150 Ah, como los paneles funcionan a 24V se tienen que conectar en serie cada par de baterías para lograr esta tensión.

2.3 Cálculo del Regulador de carga

La corriente nominal de los paneles solares es de 8.83 A

$$I_{\text{regulador}} = 1.25 * I_{\text{panel}} * NPR$$

$$I_{\text{regulador}} = 1.25 * 8.83 * 6 = 66.62 \text{ A}$$

Como se hizo un arreglo de 3 grupos cada uno con 6 paneles, se necesitan 3 reguladores cada uno de por lo menos 67 A

2.4 Cálculo del Inversor

El consumo de potencia total de la carga estará dado por la suma de potencia (nominal) de todos los componentes eléctricos en régimen permanente y tiene un valor de 7802W W.

$$S_{invout} = 1.25 * S_{carga} * FS$$

$$S_{invout} = 1.25 * \frac{P_{carga}}{\eta_{inv}} * Fp * Fs$$

$$S_{invout} = 1.25 * \frac{7802W}{0.9} * 1 = 10.836 VA$$

Necesitaremos usar un inversor de 10 kW de potencia.

No es posible encontrar un inversor de esa capacidad, por lo que se usaran 2 inversores, uno para el sistema de alimentación de la bomba de 10 caballos y otro para los demás aparatos electrónicos.

Comercialmente se seleccionará un inversor de 8 kVA y otro de 3KVA

2.5 Cálculo de conductores de corriente eléctrica

Para seleccionar el calibre del conductor se usa la corriente máxima que circula por él, estos valores están estandarizados y el fabricante del cable los entrega en su catálogo.

Dividimos los paneles solares en 3 grupos cada uno de 6 paneles, la corriente de cada grupo se calculó como 66.62 A, para este valor se puede usar un conductor AWG número 3, cuya corriente máxima es de 78 A,

El regulador está conectado en serie a la batería, la corriente máxima es 45A, que corresponde a un conductor AWG número 5.

Las baterías están conectadas en serie al convertidor, cuya corriente máxima de entrada es 50 A, corresponde a un conductor AWG número 5.

El cable que va conectado a la bomba de agua se puede calcular usando la ley de ohm, sabiendo la potencia de la bomba y la tensión de salida.

$$P = V * I$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{7.457W}{120V} = 62 A$$

Con esta corriente se selecciona un cable AWG 4

Podemos conocer el tipo de conductor de los demás dispositivos calculando la corriente

$$I = \frac{P}{V} = \frac{345W}{120V} = 2.875 A$$

Con esta corriente se selecciona un cable AWG 18

Tabla 7.

Tipos de cables seleccionados

Descripción	Tipo de cable	Cantidad	Longitud (metros)	Total (metros)
Panel-Regulador	AWG 3	2 fases x 3 arreglos	5	30
Regulador-Baterías	AWG 5	2 fases x10 arreglos de baterías de 24 v	3 metros del regulador al arreglo de baterías, 2 metros entre baterías	10
Baterías al convertidor	AWG 5	2 fases	1	2
Convertidor a la bomba de agua	AWG 4	2 fases	3	6
Convertidor a los demás depósitos electrónicos	AWG 18	2 fases	10	20

Fuente: Autores

2.6 Elección dispositivos de protección

Los conjuntos fotovoltaicos instalados deben tener protección contra fallas a tierra para reducir el riesgo de incendio. El circuito de protección contra fallas a tierra debe ser capaz de detectar una falla a tierra, abrir el circuito y desactivar el conjunto

Los fusibles e interruptores o interruptores automáticos deben cumplir con los Artículos 690-16 y 690-17 de la Norma NTC 2050 respectivamente. (icontec, 2002)

Se muestra a continuación la característica de las protecciones usadas en el sistema

Paneles: cada agrupación de paneles estará conectada a un interruptor automático de 15A Que protegerá a la instalación de un cortocircuito

Baterías: cada agrupación de baterías estará conectada a un interruptor automático de 20A, para protegerlas de cortocircuito y sobrecarga.

El regulador y el inversor cuentan internamente con sistemas de protección de sobre corrientes y fallas a tierra.

Vamos a dividir la carga total de la vivienda en 2 circuitos, uno para la motobomba de 10 caballos y otro para los demás componentes electrónicos.

2.6.1 Selección de fusible para la motobomba: Previamente hallamos la corriente de la motobomba con:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{7.457W}{120V} = 62 A$$

Para seleccionar el interruptor se debe calcular la corriente de protección

$$I_p = 1.25 * I_{nominal}$$

$$I_p = 1.25 * 62 = 77.5 A$$

Seleccionaremos un interruptor de 80 A

2.6.2 Selección de fusible para el circuito compuesto por la nevera, los bombillos y el tv.

La potencia de estos elementos corresponde a 345 W

$$I = \frac{P}{V} = \frac{345W}{120V} = 2.875 A$$

Por comodidad y normalización seleccionaremos un interruptor de 15 A

3. CARACTERÍSTICA DE EQUIPOS A USAR

Tabla 8.

Descripción de parámetros de panel solar poli cristalino de 330W

Potencia Nominal	330W
Tensión nominal	17.5 V
Corriente nominal	8.83 A
Tensión de circuito abierto	45.8 V
Corriente de corto circuito	9.28 A

(trinasol, 2019)

Tabla 9.

Descripción de parámetros de baterías seleccionados

Tensión nominal	12 V
Capacidad	150 Ah- 155 Ah
Máxima corriente de carga	45 A
Profundidad de descarga sin sufrir daño en los electrodos	40%

(COLOMBIA, 2019)

Tabla 10.

Descripción de parámetros de regulador seleccionado

Tensión nominal	12 V, 24 V
Corriente	70 ^a

(TODOESIMPORTADOS, 2019)

Tabla 11.

Descripción de parámetros de inversor seleccionado

Tensión nominal	24 V
Potencia en corriente AC	8 KVA
Potencia de uso	6400 W

(Power, 2019)

Tabla 12.

Descripción de parámetros de inversor seleccionados

Tensión nominal	24 V
Potencia en corriente AC	3 KVA
Potencia de uso	1000 W

(SOSTENIBLE, 2019)

Tabla 13.

Descripción de parámetros de los conductores seleccionados

Descripción	24 V
Potencia en corriente AC	3 KVA
Potencia de uso	1000 W

(SOSTENIBLE, 2019)

Tabla 14.

Descripción de parámetros de toma corriente de conexión

Toma corriente de 20A	Alimentación nevera
Toma corriente de 20A	Alimentación TV
Toma corriente 70 A	Alimentación bomba

(center, 2019)

Tabla 15.

Descripción de parámetros de soporte para paneles

Medidas	4cm x 12 cm x 25 cm
Peso	1.67 lb

(AKARGO, 2019)

4. COSTO DE LOS COMPONENTES A USAR

Tabla 16.

Valor total de los elementos del sistema

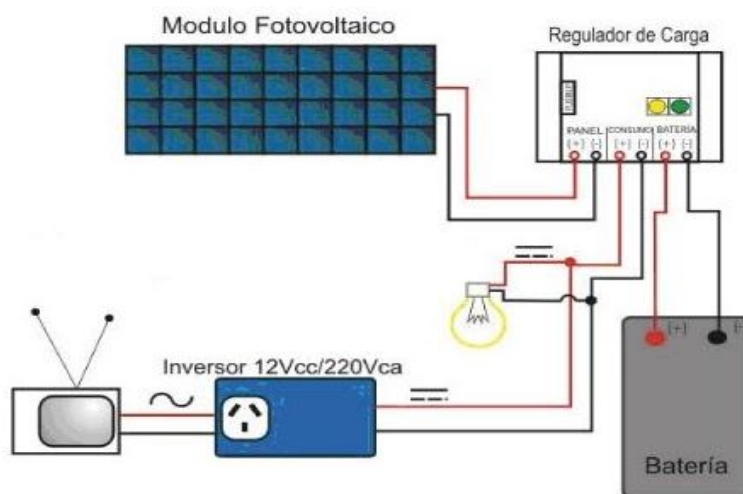
Ítem	Cantidad	Precio	Total
Paneles solares	18	\$ 795.000	\$ 14.310.000
Inversor 3Kva	1	\$3.625.000	\$ 3.625.000
Inversor 8Kva	1	\$3.837.449	\$3.837.449
Regulador	3	\$ 207.890	\$ 623.670
Baterías	21	\$ 723.790	\$ 15.199.590
Toma Corriente 20 ^a	2	\$19.900	\$39.800
Toma Corriente 70 A	1	\$27.200	\$27.200
Interruptor 15 A	2	\$16.500	\$33.000
Interruptor 20 A	1	\$7.200	\$7.200
Interruptor 80 A	1	\$175.000	\$175.000
Soporte para panel	1	\$163.900	\$2.950.200
Conductores AWG 3	30 metros	\$ 30.450	\$ 1.033.500
Conductores AWG 4	6 metros	\$ 11.000	\$ 66.000
Conductores AWG 5	12 metros	\$ 5.260	\$ 63.120
Conductor AWG 18	20	\$ 400	\$ 8.000
		Total	\$41.998.729

(interelectricas, 2019)

4.1 Otros costos de inversión

Para la instalación de los paneles, se necesitarán elementos de conexión mecánico como tornillos y soportes mecánicos, para este el costo de los materiales y su instalación se calculará como el 5% del proyecto en general, para dejar estos gastos cubiertos en la cotización final.

5. ESQUEMA ELECTRICO DEL SISTEMA



Esquema conectado a batería (off grid)

Imagen 5. Esquema eléctrico del sistema

Fuente: investigación energética aplicada s.a.s (2012) Recuperado de: <http://environmentalresearch.blogspot.com.co/2012/10/aprovechamiento-en-energías-y.html>

6. ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO

Como se puede observar la bomba de 10 caballos aporta el 91.04 % total de la potencia requerida, haciendo una comparación entre usar un sistema fotovoltaico para mover una carga tan grande y no usarlo se obtiene:

Tabla 17.

Comparación de los elementos del sistema incluyendo la bomba y sin ella

Ítem	Con Bomba	Sin bomba
------	-----------	-----------

Energía disponible (kWh día)	24.571	2200
Energía a suplir (kWh día)	25.799	2310
carga disponible (W)	26.044	2.893
NMP	18	2
Corriente de cada banco de baterías (A)	82.5	13.75
Capacidad de cada banco de baterías (Ah)	1567.5	263.15
Numero de baterías	21	2
Regulador (A)	66.61	22.075
Inversor (KVA)	10.836	479.16

Fuente: Autores

6.1 Con bomba

Tabla 18.

Valor total de los elementos del sistema con la bomba

Ítem	Cantidad	Precio
Panel	18	14.310.000
Baterías	21	15200.000
Inversor	2	7462000
Regulador	3	7926.000
Conductores	68 metros	1.028.000
Protecciones	4	115000
Toma corrientes	3	32200
Soportes	18	2.950.200
Total		41.998.410

Fuente: Autores

6.2 Sin bomba

Tabla 19.

Valor total de los elementos del sistema sin la bomba

Ítem	Cantidad	Precio
Panel	2	1.590.000
Baterías	2	1.447.580
Inversor	1	3.625.000
Regulador	1	64.000
Conductores	5 metros	20.0000
Protecciones	4	115000
Toma corriente	3	32200
Soportes	2	327800
Total		7.401.580

Fuente: Autores

Se puede concluir que sin conectar la bomba al sistema se estaría ahorrando 34.596.830 millones de pesos en inversión.

Otro aspecto importante es la capacidad del inversor y el regulador con la bomba, su costo se eleva proporcionalmente con la potencia, para esta potencia es muy difícil encontrar estos dos aparatos electrónicos.

Una solución para usar esta bomba sería usar un sistema trifásico de menor potencia y más eficiente, o usar otro tipo de energía alternativa como un molino de viento cuya aplicación sea netamente suministrar la energía a esta máquina.

AMORTIZACION DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En esta sección se calcula el tiempo en el que el sistema tendrá una amortización económica en ambos diseños.

Costo de energía

Costo: \$ 477.95 kW

Consumo total promedio con bomba (Wh)	Diario	Mensual	Anual	10 años	15 años	20 años	25 años
	24.571	737.130	8.968.415	89.684.150	134526.225	179.368.300	224.210.375

Costo por consume (\$)	Diario	Mensual	Anual	10 años	15 años	20 años	25 años
	11.743.70	352.311.28	4.286.453.95	42.864.539.50	64.298.159.3	85.730.879	107.163.599

$$\text{Amortización : } \frac{\text{Costo total del sistema}}{\text{costo por consumo anual}} = \frac{\$41.998.410}{\$4.286.453.95} = 9.8 \text{ Años}$$

Con el resultado anterior se observa que aproximadamente en 10 años habrá una amortización en el costo inicial del sistema, esto solo incluyendo los costos de energía.

Consumo total promedio sin bomba (kWh)	Diario	Mensual	Anual	10 años	15 años	20 años	25 años
	2200	66.000	803.000	8.030.000	12.045.000	16.060.000	20.075.000

Costo por consume (\$)	Diario	Mensual	Anual	10 años	15 años	20 años	25 años
	1.051.49	31.544.7	383.793.85	3.837.938.50	15.756.907.75	7.675.877	9.594.846.25

$$\text{Amortización : } \frac{\text{Costo total del sistema}}{\text{costo por consumo anual}} = \frac{\$ 7.401.580}{\$383.793.85} = 19.28 \text{ Años}$$

Con el resultado anterior se observa que aproximadamente en 20 años habrá una amortización en el costo inicial del sistema, esto solo incluyendo los costos de energía.

Otro aspecto importante es la capacidad del inversor y el regulador con la bomba, su costo se elevada proporcionalmente con la 7potencia, para esta potencia es muy difícil encontrar estos dos aparatos electrónicos.

Una solución para usar esta bomba sería usar un sistema trifásico de menor potencia y más eficiente, o, usar otro tipo de energía alternativa como un molino de viento cuya aplicación sea netamente suministrar la energía a esta máquina.

7. CONCLUSIONES

Terminada esta investigación se puede concluir que:

El funcionamiento del sistema fotovoltaico consiste en que los paneles solares transforman la energía del sol en corriente DC o corriente de flujo continuo, la cual debe ser pasada por los inversores (encargados de transformar la energía) que convertirán la corriente en AC o corriente alterna que es idónea para ser utilizable para cualquier aplicación.

El beneficio de la energía fotovoltaica, radica en que se puede producir energía limpia descentralizada que resulta más económica que la que se adquiere por medio de la red eléctrica. Los sistemas de energía fotovoltaica generan energía más limpia, lo cual es importante, especialmente porque la granja está ubicada en una zona árida. El uso de energía fotovoltaica permitirá a la granja experimental de la universidad Popular del Cesar realizar la autogestión y control del gasto energético.

La implementación del diseño de energía fotovoltaica en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar optimizaría el rendimiento de la misma, ya que la producción de la tierra aumentaría porque la irradiación solar debajo de los paneles sería menor, y la humedad del suelo aumentaría por lo tanto las plantas podrán soportar en mejores condiciones el incremento del calor y la sequía.

El uso de energía fotovoltaica también genera la posibilidad de independencia energética para la granja.

Por último, este proyecto sería muy rentable a nivel financiero y a nivel operacional para la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, porque le ofrece excelentes garantías, ya que a nivel nacional las empresas que permitan el desarrollo de estas fuentes no convencionales de energía están cobijadas por la Ley 1715 que les permite gozar de excepción de impuestos y muchos otros beneficios.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda la puesta en marcha de este proyecto en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, ya que la energía solar fotovoltaica a implementar ofrece la oportunidad de minimizar costos y usar tecnologías más limpias, generando una electricidad respetuosa con el medio ambiente.

Además, se recomienda a la Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar, tener en cuenta la importancia de los beneficios y garantías que ofrece el gobierno para las personas que invierten en proyectos de Mecanismo de energías renovables, documentados en la Ley 1715 de 2014, ya que el ahorro por uso de energía solar será mayor con los descuentos sobre el impuesto de renta y a la entrega de excedentes a la red de distribución regulado por la CREG.

Al poner en funcionamiento el sistema fotovoltaico en la granja se recomienda a los usuarios a sensibilizarse hacia el ahorro energético.

En la implementación del proyecto se recomienda dentro del montaje del sistema fotovoltaico tener en cuenta cada una de las condiciones de diseño eléctrico, para realizar la proyección del sistema fotovoltaico contando con las condiciones de montaje dadas por el fabricante.

A las instituciones encargadas de dar lineamientos para el uso de la energía fotovoltaica o energías renovables se les recomienda aumentar su promoción en el mercado, con el fin de motivar a las empresas y usuarios en el consumo propio descentralizado y lograr la autogestión y control del gasto energético.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(Akargo. 30 de 09 de 2019). *Soporte De Panel Curvado Z De Montaje En Panel Solar Renogy*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-472416674-soporte-de-panel-curvado-z-de-montaje-en-panel-solar-renogy-JM?quantity=1#position=1&type=item&tracking_id=0f8d89e6-4bd7-4e0a-abc6-a5d9a0a5439

(Amaya, R. 2007). *La investigación en la práctica educativa: guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*. Colección 5. España. Ministerio de Educación y Ciencia.

(AMT Solar 2013). *Energía fotovoltaica. Sur de Europa*.

(Arenas D. & Zapata H. 2011). *Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones*. Pereira. Universidad Tecnológica.

(Becker, J. 2013) «Polycrystalline silicon thin-film solar cells: Status and perspectives,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, p. 10.

(Caro D., 2019). *El Cesar, potencial generador de energías del futuro*. Valledupar. El Pilón

(Cabrerizo E. 2002), *Instalaciones Solares Fotovoltáicas*, Sevilla: Progensa

(Celsia 2019). *Todo lo que debes saber sobre energía social en Colombia*.

(Center, h. 31 de 09 de 2019). *Toma Doble P/T Blanca Ornatto*. Obtenido de [https:// www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/220730/Tomacorriente-doble-pt-ornatto](https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/220730/Tomacorriente-doble-pt-ornatto)

(Centro Virtual de Noticias. 2014). *Colombia una potencia en energías alternativas*. Recuperado de (<http://www.mi.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>).

(Colombia, T. S. 2019). *Bateria De Gel Para Panel Solar De 12v Paneles Solares*. Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO_468673_817 - bateria-de-gel para-panel-solar-de-12v-150ah-paneles-solares_](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO_468673_817_-_bateria-de-gel-para-panel-solar-de-12v-150ah-paneles-solares_)

(Eca 2017), *Instituto de la tecnología y formación, energía solar fotovoltaica* 3ra Edición, Madrid: Fundación Confemetal.

(Eve, 2000). *La energía solar fotovoltaica en el país vasco*. Bilbao. Editor Ente Vasco de la Energía.

(Gómez et al, 2017) *La energía solar fotovoltaica en Colombia*. Revista de ingeniería. Bogotá. Universidad Santo Tomas.

(Icontec. 2002). *ICONTEC. NTC 2050, Código eléctrico colombiano*. Bogotá

(Interelectricas. 29 de 09 de 2019). *cables electricos* . Obtenido de <http://www.interelectricas.com.co/subcatego.php?idcategoria=1&idsubcategoria=39&subcategoria=Cables%20Encauchetados>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. [consultado 09 de abril de 2016]. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Atlas_Radiacion.htm

(Jia F. 2014), «Improvement in performance of hydrogenated amorphous silicon solar cells with hydrogenated intrinsic amorphous silicon oxide p/i buffer layers,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, p. 4.

(Morales, C. 2013). *Cálculo de una Tarifa de Alimentación para Instalaciones Fotovoltaicas Residenciales en Colombia*. Semest. Económico, vol. 16, no. 34, 0120–6346, p. 13–40,

(Todoesimportado. 29 de 09 de 2019). *30a/ 50a / 70a 12v / 24v Usb Inteligente Pwm Solar Panel Bate*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-520327063-30a50a-70a-12v-24v-usb-inteligente-pwm-solar-panel-bate-_JM?quantity=1#position=

(Trinasol. 29 de 09 de 2019). *Panel Solar 330w 24v Policristalino 72 Celdas*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-522625951-panel-solar-330w-24v-policristalino-72-celdas-_J

Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, Ministerio de Minas y Energía (2018). *Atlas de Radiación Solar de Colombia* [en línea]. República de Colombia

(Valderrama Hernández, J. D. 2019). *Estudio de factibilidad técnico económico para implementar un sistema de generacion fotovoltaica en un grupo de aulas de la seccional Sogamoso*.

(Vishnuvardhanan V, 2013). «Optical and electronic simulation of gallium arsenide/silicon tandem four terminal solar cells, » *Solar Energy*, pp. 6, 7.

ANEXOS

ANEXO A. COTIZACION 1

ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR UNIDAD COTIZACION 1	COTIZACION 1	REFERENCIA
Paneles solares	18	\$ 795.000	\$ 14.310.000	información completa
Inversor 3kVA	1	\$ 3.625.000	\$ 3.625.000	información completa
Inversor 8kVA	1	\$ 3.837.449	\$ 3.837.449	información completa
Regulador	3	\$ 207.890	\$ 623.670	información completa
Baterías	21	\$ 723.790	\$ 15.199.590	información completa
Toma corriente 20ª	2	\$ 19.900	\$ 39.800	información completa
Toma corriente 70ª	1	\$ 27.200	\$ 27.200	información completa
Interruptor 15 A	2	\$ 16.500	\$ 33.000	información completa
Interruptor 20 A	1	\$ 7.200	\$ 7.200	información completa
Interruptor 80 A	1	\$ 175.000	\$ 175.000	información completa
Soporte para panel	18	\$ 163.900	\$ 2.950.200	información completa
ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR METRO	PRECIO TOTAL	
Conductores AWG 3	30	34.450	\$ 1.033.500	información completa
Conductores AWG 4	6	11.000	\$ 66.000	información completa
Conductores AWG 5	12	\$ 5.260	\$ 63.120	información completa
Conductor AWG 18	20	\$ 400	\$ 8.000	información completa
		TOTAL	\$ 41.998.729	

ANEXO B. COTIZACION 2

ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR UNIDAD COTIZACION 2	COTIZACION 2	REFERENCIA
Paneles solares	18	\$ 558.000	\$ 10.044.000	Información completa
Inversor 3Kva	1	\$ 2.569.000	\$ 2.569.000	Información completa
Inversor 8kVA	1	\$ 4.411.000	\$ 4.411.000	Información completa
Regulador	3	\$ 136.900	\$ 410.700	Información completa
Baterías	21	\$ 731.490	\$ 15.361.290	Información completa
Toma corriente 20A	2	\$ 11.900	\$ 23.800	Información completa
Toma corriente 70A	1	\$ 18.900	\$ 18.900	Información completa
Interruptor 15 A	2	\$ 23.660	\$ 47.320	Información completa
Interruptor 20 A	1	\$ 23.886	\$ 23.886	Información completa
Interruptor 80 A	1	\$ 119.000	\$ 119.000	Información completa
Soporte para panel	3	\$ 370.000	\$ 1.110.000	Información completa
ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR METRO	PRECIO TOTAL	
Conductores AWG 3	30	45.000	\$ 1.350.000	Información completa
Conductores AWG 4	6	14.000	\$ 84.000	Información completa
Conductores AWG 5	12	\$ 6.500	\$ 78.000	Información completa
Conductor AWG 18	20	\$ 459	\$ 9.180	Información completa
		TOTAL	\$ 35.660.076	

ANEXO C. COTIZACION 3

ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR UNIDAD COTIZACION 3	COTIZACION 3	REFERENCIA
Paneles solares	18	\$ 540.000	\$ 9.720.000	Información completa
Inversor 3kVA	1	\$ 2.499.900	\$ 2.499.900	Información completa
Inversor 8kVA	1	\$ 5.988.000	\$ 5.988.000	Información completa
Regulador	3	\$ 127.000	\$ 381.000	Información completa
Baterías	21	\$ 935.000	\$ 19.635.000	Información completa
Toma corriente 20A	2	\$ 42.900	\$ 85.800	Información completa
Toma corriente 70A	1	\$ 70.000	\$ 70.000	Información completa
Interruptor 15 A	2	\$ 23.800	\$ 47.600	Información completa
Interruptor 20 A	1	\$ 19.800	\$ 19.800	Información completa
Interruptor 80 A	1	\$ 37.900	\$ 37.900	Información completa
Soporte para panel	18	\$ 278.000	\$ 5.004.000	Información completa
ARTICULO	CANTIDAD	VALOR POR METRO	PRECIO TOTAL	
Conductores AWG 3	30	26.000	\$ 780.000	Información completa
Conductores AWG 4	6	18.000	\$ 108.000	Información completa
Conductores AWG 5	12	\$ 7.000	\$ 84.000	Información completa
Conductor AWG 18	20	\$ 700	\$ 14.000	Información completa
		TOTAL	\$ 44.475.000	

