

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA LA FINCA PANELERA LA PALMERA 2 UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
YALÍ, ANTIOQUIA**

**JUAN MANUEL GALEANO ARTEAGA
MIGUEL ANGEL HINCAPIE ROJAS
LUIS GONZALO PATIÑO MONSALVE**

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN
2024**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA LA FINCA PANELERA LA PALMERA 2 UBICADA EN EL MUNICIPIO DE
YALÍ, ANTIOQUIA**

JUAN MANUEL GALEANO ARTEAGA

MIGUEL ANGEL HINCAPIE ROJAS

LUIS GONZALO PATIÑO MONSALVE

**Trabajo de grado para optar al título de tecnólogo en supervisión de sistemas de generación
y distribución de energía eléctrica**

Asesor técnico:

Paola Maritza Ortíz Grisales

Magister en energía

Asesora metodológica:

Rosalba Ríos Galvis

Doctora en Estudios Organizacionales

**INSTITUCIÓN UNIVERSIARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA
MEDELLÍN**

2024

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Introducción | 11 |
| 1. Planteamiento del problema | 12 |
| 2. Justificación..... | 14 |
| 3. Objetivos | 17 |
| 4. Referentes teóricos | 18 |
| 4.1 Marco Teórico | 18 |
| 4.5 Marco legal..... | 30 |
| 5. Descripción técnica del proyecto | 32 |
| 6. Resultados | 41 |
| 7. Metodología | 55 |
| 8. Recursos | 57 |
| Cantidad | 59 |
| Referencias bibliográficas | 63 |

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Emisión media de CO2 22

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1</i> Componentes de un sistema solar fotovoltaico | 24 |
| <i>Figura 2</i> Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica..... | 25 |
| <i>Figura 3</i> Sistema solar fotovoltaico autónomo o independiente..... | 25 |
| <i>Figura 4</i> Distorsiones presentes en sistemas con ondas no Sinusoidales A) Huecos de tensión; b) Curvas de corriente y tensiones desfasadas (armónicos). | 27 |
| <i>Figura 5</i> Etapas del proceso de producción de panela. | 30 |
| <i>Figura 6</i> Celda solar fotovoltaica común..... | 33 |
| <i>Figura 7</i> Inversor de corriente..... | 35 |
| <i>Figura 8</i> Batería de plomo-acido | 36 |
| <i>Figura 9</i> Optimizador utilizado en sistemas solares fotovoltaicos. | 37 |
| <i>Figura 10</i> Soportes para celdas solares | 38 |
| <i>Figura 11</i> Diagrama de bloques del sistema | 40 |
| <i>Figura 12</i> Motor eléctrico. | 43 |
| <i>Figura 13</i> Selladora plástica..... | 44 |
| <i>Figura 14</i> Pistola de calor. | 45 |
| <i>Figura 15</i> Ventilador..... | 45 |
| <i>Figura 16</i> Luces led..... | 46 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 . Componentes del sistema fotovoltaico y sus costos..... | 52 |
| Tabla 2 | 59 |
| Tabla 3 | 61 |
| Tabla 4 | 62 |

Resumen

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA LA FINCA PANELERA LA PALMERA 2 UBICADA EN EL MUNICIPIO DE YALÍ, ANTIOQUIA

JUAN MANUEL GALEANO ARTEAGA

MIGUEL ANGEL HINCAPIE ROJAS

LUIS GONZALO PATIÑO MONSALVE

En un estudio reciente, se observa que cerca del 99% de las zonas urbanas tienen acceso a electricidad, mientras que solo el 86% de las zonas rurales disfrutan de este servicio, especialmente en áreas alejadas de la cabecera municipal. Esta situación se agrava debido al alto costo de instalar redes eléctricas en estas zonas y la falta de empleo, lo que lleva a muchos habitantes a recurrir a conexiones ilegales y peligrosas, provocando cortocircuitos y fallas en el suministro eléctrico.

En la vereda Montebello, en YALÍ, Antioquia, se encuentra la finca panelera La Palmera 2, donde viven unas 80 personas de bajos recursos, dedicadas principalmente a la producción de panela. Esta finca se ve afectada por las fallas de energía causadas por las conexiones fraudulentas, lo que interrumpe su producción y afecta sus ingresos. Como solución, se diseñó un sistema de energía solar fotovoltaica autónomo para abastecer la finca durante los cortes de electricidad o para reducir los costos de energía eléctrica.

Palabras clave: Acceso a electricidad, Zonas rurales, Conexiones fraudulentas, Energía solar, Producción de panela

Abstract

In a recent study, it is observed that about 99% of urban areas have access to electricity, while only 86% of rural areas enjoy this service, especially in areas far from the municipal seat. This situation is aggravated due to the high cost of installing electrical networks in these areas and the lack of employment, which leads many inhabitants to resort to illegal and dangerous connections, causing short circuits and failures in the electrical supply.

In the Montebello village, in YALÍ, Antioquia, is the La Palmera 2 panela farm, where about 80 low-income people live, dedicated mainly to the production of panela. This farm is affected by power failures caused by fraudulent connections, which interrupts its production and affects its income. As a solution, an autonomous solar photovoltaic energy system was designed to supply the farm during power outages or to reduce electrical energy costs.

Keywords: Electricity access, Rural areas, Fraudulent connections, Solar energy, Panela production

Glosario

Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es un sistema que utiliza la radiación solar para calentar fluidos, como agua o aceite, que posteriormente se emplean en procesos industriales o domésticos. Los sistemas solares térmicos están formados por colectores solares, los cuales capturan la energía del sol y la transfieren a un fluido, que luego se almacena en tanques para su uso posterior. Este tipo de energía es comúnmente utilizado en la agroindustria para aplicaciones como el calentamiento de agua para procesos de limpieza y desinfección, así como para el secado de productos agrícolas (Guzmán-Hernández, et al., 2016).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad mediante el uso de celdas fabricadas generalmente de silicio. Cuando estas celdas se exponen a la radiación solar, los fotones excitan los electrones en el material semiconductor, generando una corriente eléctrica (Mateus-Osorio & Melo-Acosta, 2023). Esta electricidad puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en baterías para su uso posterior. Los sistemas fotovoltaicos son especialmente útiles en áreas rurales, donde la conexión a la red eléctrica es limitada, y ofrecen una solución autónoma y sostenible para alimentar bombas de agua, maquinaria agrícola y otros equipos eléctricos necesarios para la producción (Guzmán-Hernández, et al., 2016; Mateus-Osorio & Melo-Acosta, 2023).

Irradiación solar

“La irradiación es la energía que recibe una unidad de superficie en un tiempo determinado”. Las unidades con las cuales se mide son $Wh/m^2/día$, o $kW/m^2/día$. Para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, se refiere a la irradiación solar como Hora Solar Pico (HSP), que equivale a las horas del día en que la irradiación es $1000W/m^2$.

Energía solar

Energía disponible y abundante obtenida del sol por medio de ondas electromagnéticas (radiación), la cual puede ser transformada en energía eléctrica mediante la utilización de celdas solares, para su consumo posterior, donde se requiera (Serrano-Guzmán, Pérez-Ruiz, & Sierra, 2016).

Introducción

Según estudios realizados, cerca del 99 % de las zonas urbanas cuentan con servicio de energía eléctrica, mientras que solamente el 86 % de las zonas rurales cuenta con este servicio (República, 2023). Pero esta problemática es más grave en las zonas alejadas de la cabecera municipal debido al elevado costo de implementación de la red de suministro y si a esto se le suma la falta de fuentes de empleo en estas zonas rurales, lo cual disminuye los ingresos mensuales de las personas que allí habitan, obligados a realizar conexiones fraudulentas en la red de energía para disponer del servicio. Muchas de estas conexiones son realizadas por personal no capacitado y con materiales no adecuados, lo que ocasiona corto circuito y por ende fallas en el suministro continuo de energía eléctrica (Enel, 2023).

En la vereda, Montebello del municipio de YALÍ, Antioquia, se encuentra ubicada la finca panelera La Palmera 2 y cerca de esta habitan unas 80 personas de muy bajos recursos, las cuales en su gran mayoría se dedican a la siembra y corte de caña de azúcar para la producción de panela (Llano, 2015). La finca panelera La Palmera 2 se ve afectada debido a estas conexiones fraudulentas, las cuales ocasionan fallas en el servicio de energía eléctrica, haciendo que esta deba detener la producción e incumplir los compromisos establecidos con sus clientes, reduciendo simultáneamente sus ingresos.

Por tal motivo, se realizó el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica autónomo como fuente de energía alternativa para la finca, la cual suministre la energía requerida por los equipos utilizados para la fabricación de panela cuando se presenten las fallas antes mencionadas o como alternativa para reducir el costo de la energía eléctrica consumida.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

En Colombia existen una gran variedad de productos y la panela es uno de ellos. El departamento de Antioquia es uno de los principales productores de panela, principalmente la subregión del nordeste (Estrada, 2023). En municipios como YALÍ, el cual se encuentra ubicado entre los municipios de Yolombó y Remedios, en Antioquia, se cultiva la caña de azúcar debido a su ubicación geográfica donde se pueden encontrar tierras arcillosas, bien drenadas, profundas, planas y con un pH entre 5,5 y 7,5 ideales para su cultivo (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1991).

En la finca panelera La Palmera 2 ubicada en la vereda Montebello del municipio de YALÍ se cultiva caña de azúcar y se produce panela desde hace 10 años, esta es una empresa familiar donde laboran 6 personas diariamente, además, se cuenta con 15 personas prestando servicios temporales, dedicadas a la recolección de panela. En los últimos 2 años, la finca panelera La Palmera 2 ha presentado dificultades financieras debido al panorama político del país, donde, a los pequeños productores les cuesta acceder a créditos bancarios por sus altas tasas de interés, haciendo que la producción disminuya y por ende sus ganancias (Altamar Pérez, 2023).

Por otro lado, el consumo de panela en Colombia ha disminuido en los últimos 5 años un 24 %, perjudicando a los productores de panela del país (Revista Semana, 2023). Además, debido a nuevos hallazgos de yacimientos de oro en municipios cercanos como Vegachí, Segovia y Remedios su población ha aumentado considerablemente ocasionando la construcción de nuevos caseríos o viviendas informales que requieren del suministro de energía eléctrica, a este requerimiento no se ha dado respuesta por parte de la empresa prestadora del servicio (Bernal-Guzmán, 2018), lo que ha llevado a que las personas que allí habitan se conecten de manera fraudulenta a los sistemas de distribución eléctrica, generando fallas en el servicio debido a cortos circuitos, los cuales deben ser reparados dejando al sector sin suministro de energía durante 1 o 2 días (Municipio de YALÍ, 2015).

Todo esto ha implicado que algunas de las fincas paneleras de la región presenten dificultades económicas al no poder cumplir con los compromisos adquiridos con sus clientes, ya que no pueden tener una producción constante debido a las interrupciones del flujo eléctrico, fundamental en algunas de las etapas de la transformación de la caña de azúcar en panela.

Por ende, para el dueño de la finca panelera La Palmera 2 es indispensable contar con una fuente de suministro de energía eléctrica constante para garantizar su producción y generar mayores ingresos.

1.2 Formulación

¿Cómo obtener un suministro de energía eléctrica constante para la finca panelera La Palmera 2, ubicada en la vereda La montaña del municipio de YALÍ, Antioquia de forma eficiente y amigable con el medio ambiente?

2. Justificación

Debido a la creciente necesidad de soluciones energéticas sostenibles para áreas rurales, se presenta una problemática significativa en la finca panelera La Palmera 2, ubicada en el municipio de Yali, Antiquia. La actividad panelera, fundamental para la economía local, debido a los recursos naturales presentes allí, requiere un alto consumo energético, principalmente en el calentamiento y procesamiento de la caña de azúcar, este elevado requerimiento energético ha llevado a la necesidad de buscar alternativas eficientes y sostenibles.

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto busca brindar soluciones energéticas a los problemas identificados en la región, como lo son las interrupciones del servicio de energía, basado en los conocimientos adquiridos en la tecnología de supervisión de sistemas de generación y distribución de energía eléctrica, con esto además, se pretende aportar en la transición energética, hacia la cual apuntan los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). La ONU en la crónica “objetivo de desarrollo sostenible para la energía y la tecnología de la información y de las comunicaciones” habla del objetivo específico de la energía (ODS 7), que aspira a "garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos". El ODS 7 también aborda la necesidad de aumentar la energía procedente de fuentes renovables, además de promover tecnologías de eficiencia energética. (Modi & Figueroa, 2023)

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable que convierte la radiación solar en energía eléctrica mediante el uso de paneles solares. Esta tecnología ha sido adoptada en todo el mundo por su eficiencia y contribución al desarrollo sostenible, ya que no genera emisiones de gases contaminantes ni produce subproductos peligrosos para el medio ambiente (Acciona, 2020). En el caso de la finca panelera La Palmera 2, la instalación de un sistema fotovoltaico no solo cubrirá la demanda energética, sino que también mitigará los problemas asociados a las fallas en el suministro eléctrico local; pues, al aprovechar el alto potencial de radiación solar en la región, este sistema ofrecerá una solución a largo plazo que optimiza los recursos naturales y promueve un desarrollo agrícola sostenible.

Teniendo en cuenta lo anterior, para dar solución a la problemática encontrada se diseñará un sistema solar fotovoltaico autónomo que cubra la demanda eléctrica actual de la finca panelera La Palmera 2 ubicada en el municipio de YALÍ, Antioquia, teniendo en cuenta que la producción panelera requiere un consumo energético alto, especialmente para calentamiento y procesamiento de la caña de azúcar, esta propuesta, trae consigo los siguientes beneficios:

Desde el punto de vista ambiental un sistema solar fotovoltaico autónomo otorga los siguientes beneficios: Es renovable. Es una fuente de energía ilimitada. Es la fuente de energía más limpia y no pone en peligro ni incrementa el calentamiento global, debido a que no produce gases de efecto invernadero ni subproductos peligrosos para el medio ambiente, teniendo en cuenta que la zona objetivo del proyecto cuenta con alto potencial de radiación solar, y sus beneficios, se busca aprovechar esta energía y optimizar recursos naturales, alineándose con las estrategias de desarrollo regional sostenible (Acciona, 2020).

Desde el punto de vista productivo y de comercialización del producto es indispensable contar con un suministro de energía constante que permita dar cumplimiento a los compromisos adquiridos por la finca panelera. También es importante recalcar que tener un suministro de energía autónomo o independiente de la red en este caso es fundamental para no estar inmersos en la problemática antes mencionada, además, el mercado global valora cada vez más los productos sostenibles y con bajo impacto ambiental, esto puede aumentar su valor en mercados tecnológicamente conscientes y mejorar la competitividad del producto.

Desde el punto de vista social impacta de forma positiva, debido a que la producción sería continua, no se presentarían retrasos en el proceso productivo y la entrega al cliente final se realizaría en los tiempos pactados, lo que le permite a finca tener recursos frescos, disponibles, aportando al mejoramiento de la calidad de vida de las personas que allí habitan.

Finalmente, es fundamental señalar que este proyecto introduce una innovación al sector agrícola de la región, ya que muy pocas fincas paneleras de la región cuentan con sistemas de energía autónoma. Además, la utilización del sistema solar fotovoltaico representa un avance en la sostenibilidad productiva, al asegurar la continuidad operativa de la finca incluso durante fallas en la red eléctrica convencional. El sistema permitirá utilizar la energía generada para mantener el funcionamiento constante de los equipos utilizados en la fabricación de panela, lo que a su vez garantizará el cumplimiento de los compromisos comerciales.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema solar fotovoltaico autónomo para la finca panelera La Palmera 2 con el fin de independizar el consumo eléctrico para la producción de panela.

3.2 Objetivos específicos

Identificar las características técnicas y estado de los equipos eléctricos que serán abastecidos por el sistema de generación de energía solar fotovoltaica.

Determinar el consumo eléctrico de los equipos que van a ser abastecidos por el sistema de generación de energía solar fotovoltaico.

Establecer el diseño del sistema solar fotovoltaico autónomo que supla la demanda eléctrica de los equipos utilizados en el proceso productivo de panela.

4. Referentes teóricos

4.1 Marco Teórico

En el contexto actual de la agroindustria, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles se ha vuelto fundamental para garantizar la viabilidad económica y ambiental de los procesos productivos. La transición hacia energías limpias, como la solar, no solo contribuye a la reducción de costos operativos, sino que también minimiza la huella de carbono asociada con las actividades industriales. Este marco teórico se enfocará en la energía solar como una solución efectiva en la producción de panela, un producto de gran relevancia en el sector agroindustrial. A través de este análisis, se explorarán los principios fundamentales de la energía solar, sus tecnologías, aplicaciones específicas y los beneficios que su implementación puede ofrecer a la industria panelera.

4.1.1 Energía solar y aplicación en la agroindustria

Los sistemas de generación de energía solar han surgido como una alternativa energética altamente viable para la agroindustria, destacándose no solo por su capacidad para reducir costos operativos, sino también por sus beneficios en términos de sostenibilidad y reducción de la huella de carbono. (García Marín, 2019). Dado el creciente interés en la transición hacia fuentes de energía limpias, los sistemas solares—tanto térmicos como fotovoltaicos—han sido ampliamente implementados en diversas aplicaciones dentro del sector agrícola. Estas aplicaciones van desde el calentamiento de agua y el bombeo para riego, hasta la alimentación eléctrica de maquinaria agrícola y el procesamiento de productos (Guzmán-Hernández, et al., 2016). A continuación, se busca identificar los principios fundamentales de la energía solar en sistema de generación de energía y su aplicación específica en la agroindustria, con un enfoque particular en cómo estas tecnologías pueden contribuir al desarrollo de procesos productivos más eficientes y sostenibles.

4.1.2 Tipos de energía solar y tecnologías

4.1.2.1 Energía Solar Térmica

La energía solar térmica es un sistema que utiliza la radiación solar para calentar fluidos, como agua o aceite, que posteriormente se emplean en procesos industriales o domésticos. Los

sistemas solares térmicos están formados por colectores solares, los cuales capturan la energía del sol y la transfieren a un fluido, que luego se almacena en tanques para su uso posterior. Este tipo de energía es comúnmente utilizado en la agroindustria para aplicaciones como el calentamiento de agua para procesos de limpieza y desinfección, así como para el secado de productos agrícolas (Guzmán-Hernández, et al., 2016).

4.1.2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz solar en electricidad mediante el uso de celdas fabricadas generalmente de silicio. Cuando estas celdas se exponen a la radiación solar, los fotones excitan los electrones en el material semiconductor, generando una corriente eléctrica (Mateus-Osorio & Melo-Acosta, 2023). Esta electricidad puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en baterías para su uso posterior. Los sistemas fotovoltaicos son especialmente útiles en áreas rurales, donde la conexión a la red eléctrica es limitada, y ofrecen una solución autónoma y sostenible para alimentar bombas de agua, maquinaria agrícola y otros equipos eléctricos necesarios para la producción (Guzmán-Hernández, et al., 2016; Mateus-Osorio & Melo-Acosta, 2023).

4.2 Aplicaciones de la energía solar en la agroindustria

Las aplicaciones de la energía solar en la agroindustria son variadas y abarcan una amplia gama de procesos productivos, lo que ha permitido mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad en sectores como la agricultura y la ganadería (Caballero & Collantes, 2022).

Una de las aplicaciones más comunes de la energía solar en la agroindustria es el bombeo de agua para riego. Los sistemas fotovoltaicos son especialmente útiles en zonas rurales donde el acceso a la red eléctrica es limitado. Estos sistemas permiten bombear agua de manera eficiente, utilizando la energía del sol para garantizar un suministro constante de agua sin depender de fuentes de energía convencionales (Caballero & Collantes, 2022; Acosta-Silva et al., 2019).

En los últimos años, se ha avanzado en el desarrollo de maquinaria agrícola impulsada por energía solar. Tractores y otros equipos que tradicionalmente han dependido de combustibles fósiles ahora pueden funcionar con electricidad generada por paneles solares, lo que contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y al aumento de la sostenibilidad operativa (Caballero & Collantes, 2022)

El secado de granos, frutas, vegetales y otros productos agrícolas es una fase crítica en la agroindustria, ya que el exceso de humedad puede comprometer la calidad y la vida útil de los productos. Los secadores solares aprovechan la energía térmica del sol para eliminar la humedad de los productos de manera eficiente y económica, reduciendo así los costos asociados al uso de secadores convencionales que dependen de combustibles fósiles (Caballero & Collantes, 2022, Acosta-Silva et al., 2019).

4.3 Beneficios de la energía solar en la agroindustria

4.3.1 Impacto económico

El uso de la energía solar en la agroindustria tiene múltiples beneficios operativos, económicos y ambientales. Uno de los principales beneficios de la implementación de estos sistemas es la reducción de los costos energéticos, pues, los sistemas fotovoltaicos permiten a las empresas agrícolas generar su propia energía e incluso vender sus excedentes, reduciendo o eliminando la dependencia de la red eléctrica o de combustibles fósiles. Esto genera un impacto positivo en la rentabilidad, ya que los costos operativos se reducen (Méndez, 2020; Acosta-Silva, 2019; Guzmán-Hernández, et al., 2016).

En este sentido, en un estudio de caso realizado por López Moncayo (2020) en una industria panelera, se analizaron los impactos de la implementación de un sistema fotovoltaico con una capacidad de generación de 25.800 kWh anuales. La instalación, que requirió 79 paneles

solares y ocupó 189 m², permitió identificar un potencial de reducción de costos de hasta un 28% una vez recuperada la inversión inicial, proyectada en un horizonte de cinco años.

Este hallazgo subraya la viabilidad técnica y económica de la energía solar fotovoltaica como alternativa energética en este tipo de industrias.

4.3.2 Sostenibilidad

Adicionalmente, esta fuente de energía se caracteriza por ser limpia y renovable, contrario al uso de leña y otros combustibles fósiles, lo que significa que su uso no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero. Es por ello que, al implementar esta tecnología, las agroindustrias pueden contribuir a la mitigación del cambio climático y mejorar su imagen como empresas comprometidas con la sostenibilidad ambiental (Méndez, 2020; Guzmán-Hernández, et al., 2016).

Así pues, como lo expone la *world nuclear association* en un informe de septiembre de 2024 la producción de un kWh de electricidad puede llegar a producir 820 gramos de CO₂ cuando la fuente es el carbón o 490 si se trata del gas natural, mientras que la producción de energía fotovoltaica puede generar aproximadamente 48 gramos CO₂, lo que es significativamente menor a las fuentes fósiles.

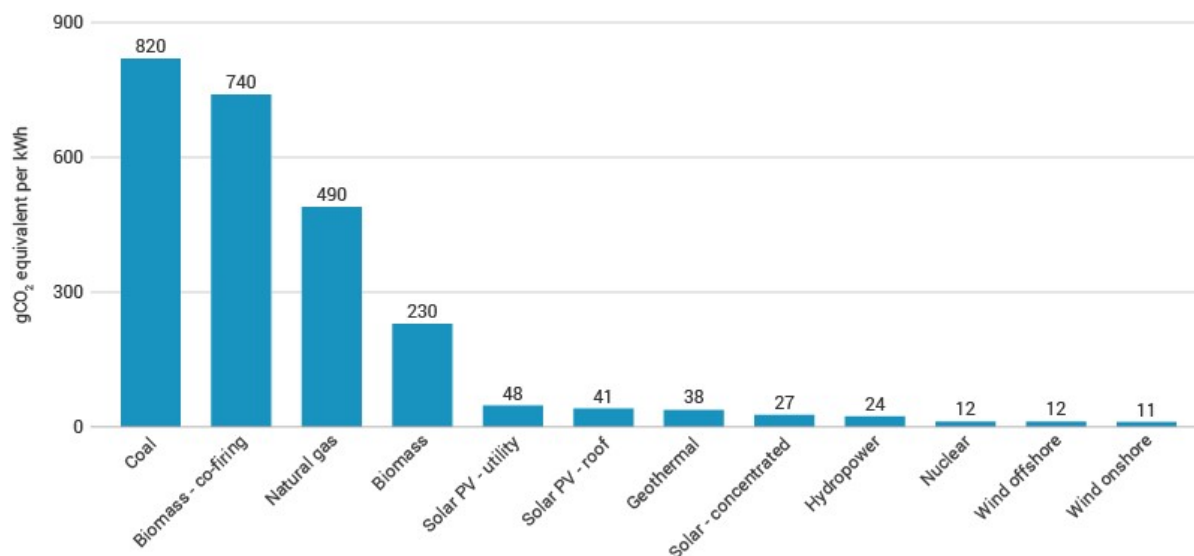


Ilustración 1 Emisión media de CO₂

Fuente: World Nuclear Association

Por lo demás, el uso de energía solar permite optimizar el consumo energético en las empresas agroindustriales al utilizar sistemas eficientes, estas pueden reducir el desperdicio de energía y mejorar su productividad general, lo que se traduce en mayores beneficios económicos y en un uso más racional de los recursos disponibles (Méndez, 2020; Guzmán-Hernández, et al., 2016).

Sumado a lo anterior, los sistemas solares fotovoltaicos, en particular los autónomos, proporcionan una fuente de energía independiente de la red eléctrica, lo que es crucial en áreas rurales o en regiones con infraestructuras eléctricas poco confiables como en el caso de estudio actual. Esta independencia energética mejora la estabilidad de la producción y reduce la vulnerabilidad a las fluctuaciones en los precios de la energía en las industrias (Méndez, 2020).

4.4 Conceptos generales

4.4.1 Energía solar

Energía disponible y abundante obtenida del sol por medio de ondas electromagnéticas (radiación), la cual puede ser transformada en energía eléctrica mediante la utilización de celdas solares, para su consumo posterior, donde se requiera (Serrano-Guzmán, Pérez-Ruiz, & Sierra, 2016).

4.4.2 Radiación solar

La radiación solar recibida está influenciada por cuatro factores: momento del día, condiciones atmosféricas, latitud, la posición al norte o al sur del ecuador, la cantidad de radiación solar difusa puede ser una décima parte de lo que llegaría si fuera directa; Humedad, la humedad del aire absorbe la radiación solar; Claridad atmosférica, nubes, smog, o el polvo, obstaculizan la llegada de la radiación solar (Serrano-Guzmán, Pérez-Ruiz, & Sierra, 2016).

La radiación solar en la tierra es reflejada al entrar a la atmósfera, a razón de factores como (Serrano-Guzmán, Pérez-Ruiz, & Sierra, 2016): Radiación directa “B”. Formada por rayos provenientes del sol. Que no llegan a ser dispersados en su trayectoria.

Radiación difusa “D”. Rayos no directos y dispersados por la atmósfera.

Radiación de albedo “R”. Procede del suelo, debido a la radiación incidente sobre montañas, lagos, edificios, etc. Depende directamente de la naturaleza de dichos elementos.

Si se suman estos tres componentes se tiene la radiación global, dada la fórmula:

$$G = B + D + R$$

4.4.3 Irradiación solar

“La irradiación es la energía que recibe una unidad de superficie en un tiempo determinado”. Las unidades con las cuales se mide son $Wh/m^2/día$, o $kW/m^2/día$. Para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, se refiere a la irradiación solar como Hora Solar Pico (HSP), que equivale a las horas del día en que la irradiación es $1000W/m^2$.

4.4.4 Sistemas solares fotovoltaicos

El principal propósito de un sistema solar fotovoltaico es aprovechar la energía irradiada por el sol en forma de ondas electromagnéticas y convertirla en energía eléctrica. Estos sistemas están compuestos por varios elementos, ver Figura 1:



Figura 1 Componentes de un sistema solar fotovoltaico
Fuente: (Inarquia, 2022).

Tipos de sistemas solares fotovoltaicos

La implementación de sistemas fotovoltaicos se puede dar de diferentes maneras, entre esas, las siguientes: conectada a la red (On-Grid) o aislado a la red eléctrica (Off-Grid). Los primeros sistemas son más sencillos y menos costosos de implementar, estos pueden tener o no baterías de respaldo, cuando no las poseen la energía eléctrica generada es consumida automáticamente por los equipos conectados o su sobrante entregado a la red. Ahora, si posee baterías esta energía es almacenada y utilizada en horarios donde el sol no está disponible

(noche). Además, esta sirve como respaldo en caso de que la red falle cubriendo la demanda existente (Molina, 2012), ver Figura 2.



Figura 2 Sistema solar fotovoltaico conectado a la red eléctrica

Fuente: (peña, 2023)

Los sistemas aislados (off-Grid) son utilizados como respaldo o para aislar todos o cierta parte de los equipos de la red eléctrica, lo cual requiere de un banco de baterías que almacene esta energía, para luego entregarla en periodos de no incidencia solar (Molina, 2012). A diferencia de la instalación (On-Grid) este tipo de instalación requieren de los módulos solares, inversor, regulador de carga y baterías recargables, ver Figura 3.

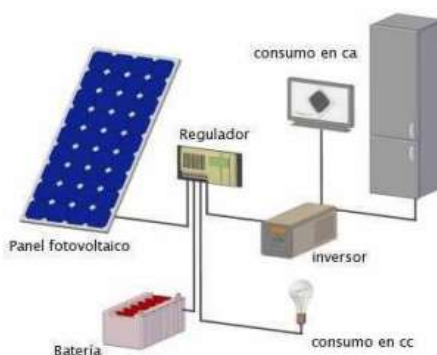


Figura 3 Sistema solar fotovoltaico autónomo o independiente.

Fuente: (Molina, 2012).

Estos sistemas son muy utilizados para: alumbrado público, telecomunicaciones, zonas rurales aisladas, señalización, sistemas de bombeo, telemetría (mheducation, 2014).

Elementos que componen un sistema solar fotovoltaico:

- Celdas solares fotovoltaicas: Dispositivos que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.
- Tipos de paneles solares: Los más comunes son monocristalinos, policristalinos y de capa delgada, cada uno con diferentes eficiencias y costos.
- Baterías: Almacenan la energía generada por los paneles solares para su uso cuando no hay luz solar.
- Regulador: Controla la carga y descarga de las baterías, evitando sobrecargas y daños.
- Optimizadores: Maximizan la producción de cada panel solar individualmente, mejorando la eficiencia del sistema.
- Inversores de corriente: Convierte la corriente continua (DC) generada por los paneles en corriente alterna (AC) para su uso en la red eléctrica o dispositivos.
- Soportes: Estructuras que aseguran los paneles solares en su posición, orientándolos para maximizar la captación de luz solar.
- Equipos de seguridad y conexión a tierra: Dispositivos que protegen el sistema solar contra sobrecargas, cortocircuitos y aseguran la conexión a tierra para evitar accidentes eléctricos.
- Cableado eléctrico: Conecta los distintos componentes del sistema solar, transportando la electricidad generada por los paneles.

4.4.3.5 Cargas eléctricas

Las cargas eléctricas desempeñan un papel fundamental en el diseño y funcionamiento de los sistemas eléctricos, influyendo directamente en la eficiencia, estabilidad y calidad de la energía suministrada, para sistemas de generación de energía solar fotovoltaica, este tipo de cargas debe tener una especial consideración, ya que el tipo de carga que serán suplidas por el sistema definen, en gran medida, los costos y el dimensionamiento del diseño del sistema. Estas cargas se clasifican principalmente en tres tipos: resistivas, inductivas y capacitivas, cada una con características particulares que afectan el comportamiento de los circuitos eléctricos de manera diferente. A continuación, expondremos brevemente cada una de ellas y sus implicaciones dentro de los sistemas fotovoltaicos de generación eléctrica.

4.4.5.1 Cargas inductivas

Las cargas no lineales o inductivas son ondas no sinusoidales o distorsionadas generadas por diodos, transistores, tiristores, conmutadores, rectificadores, reguladores de luz, variadores de velocidad, entre otros. Hoy en día los equipos eléctricos poseen un alto rendimiento, pero tienen incorporados este tipo de elementos, los cuales consumen una forma de onda de corriente no sinusoidal, las cuales generan varios tipos de distorsiones, entre ellas se destacan (Atienza & Ortiz, 2022): huecos de voltaje, impulsos de voltaje, alteraciones por armónicos, desequilibrios del voltaje, alteraciones de frecuencia, variaciones lentas del voltaje, fluctuaciones de tensión (flicker).

A continuación, se visualizan imágenes que se relacionan con este tipo de distorsiones:

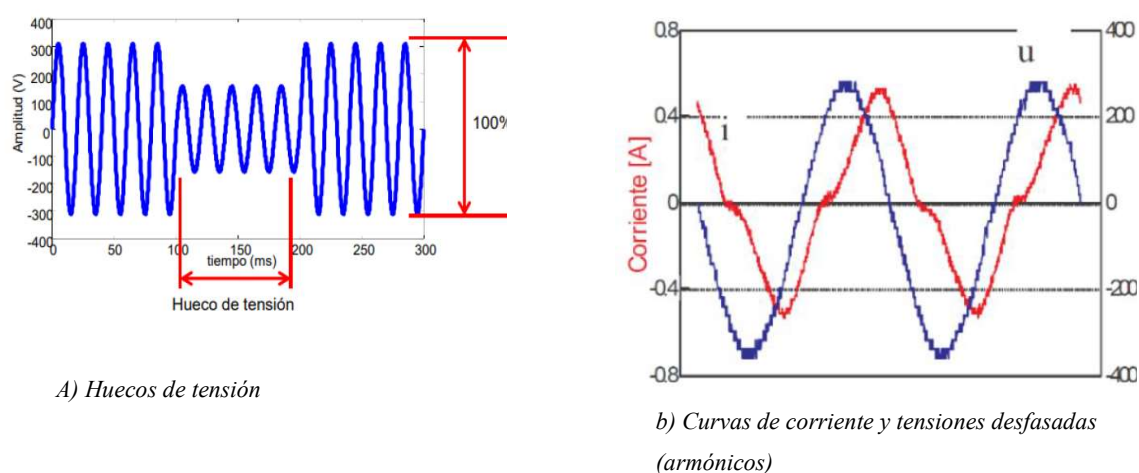


Figura 4 Distorsiones presentes en sistemas con ondas no Sinusoidales A) Huecos de tensión; b) Curvas de corriente y tensiones desfasadas (armónicos).

Fuente: (Atienza & Ortiz, 2022).

En consecuencia, es importante mencionar que este tipo de cargas son poco recomendadas en sistemas de generación fotovoltaica debido a los problemas de arranque en motores y compresores, de uso común en la agroindustria, ya que la corriente de arranque es mayor a su corriente nominal de funcionamiento, lo que puede llegar a sobrecargar los inversores del sistema especialmente en épocas de baja irradiación solar. Adicionalmente los huecos de tensión y las curvas de corriente pueden afectar la calidad y estabilidad de la energía y causar problemas en los equipos conectados (Hayt & Kemmerly, 2019; Kouro et al., 2010).

4.4.5.2 Cargas capacitivas

Las cargas capacitivas, caracterizadas por su capacidad de almacenar energía en forma de un campo eléctrico, son elementos que presentan un comportamiento particular en sistemas de corriente alterna (CA). Este tipo de carga está presente en dispositivos como condensadores, circuitos de corrección del factor de potencia y ciertos equipos electrónicos. En cuanto a la generación fotovoltaica, la integración de cargas capacitivas tiene implicaciones importantes en la eficiencia y estabilidad del sistema, debido a su influencia en el ángulo de fase y el factor de potencia de la red eléctrica (Hayt & Kemmerly, 2019). Este tipo de cargas, como los condensadores, almacenan energía en un campo eléctrico que se encuentra entre dos placas conductoras separadas por un aislante (Hayt & Kemmerly, 2019).

Esta capacidad de almacenamiento les permite actuar como fuentes alternas de energía y estabilizadores de la red eléctrica (Chapman, 2012). Adicionalmente, este tipo de cargas se usan para corregir el factor de potencia de las cargas inductivas al compensar el efecto de la inductancia estas cargas reducen la pérdida de energía y mejoran la estabilidad del sistema (Patrick et al., 2021). En cuanto a su utilidad dentro de la generación fotovoltaica de energía la capacidad de estas cargas para generar un factor de potencia líder las convierte en una herramienta valiosa para mejorar el factor de potencia de los sistemas fotovoltaicos, especialmente en aquellos que incluyen cargas inductivas, como motores y transformadores, es decir, este tipo de cargas son fundamentales dentro de nuestro proyecto (Teodorescu et al., 2011).

4.4.5.3 Cargas resistivas

Las cargas resistivas se caracterizan por su capacidad para convertir la energía eléctrica en calor de manera directa, desempeñan un papel importante en el diseño y operación de los sistemas eléctricos, incluida la generación de energía fotovoltaica. Este tipo de cargas, como resistencias, bombillas incandescentes y calentadores eléctricos, transforman la energía eléctrica en calor debido a la oposición que ofrecen al flujo de corriente. Esta conversión se rige por la Ley

de Joule, que establece que el calor generado es proporcional a la resistencia, al cuadrado de la corriente y al tiempo de circulación de la misma. Además, La relación entre voltaje y corriente en una carga resistiva es lineal, siguiendo la Ley de Ohm ($V = IR$), lo que facilita la predicción de su comportamiento en diferentes condiciones de operación y simplifica el diseño de circuitos (Hayt & Kemmerly, 2019).

Por ello resulta de mucha facilidad su integración dentro de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica, puesto que son cargas predecibles y su factor de potencia es unitario, reduciendo así la necesidad de elementos de compensación de potencia reactiva (Eltawil & Zhao, 2010).

Así pues, en el contexto de los sistemas fotovoltaicos, estas cargas son consideradas una opción eficiente y de bajo impacto debido a su comportamiento lineal y predecible (Patrick et al., 2021).

Habiendo descrito los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos y de cargas eléctricas, es importante contextualizar cómo estas cargas se aplicarán en un entorno industrial específico. En este caso, la energía generada por el sistema solar será utilizada para alimentar el proceso de producción de panela. Este proceso, que requiere una cantidad considerable de energía, involucra diversas etapas que se benefician directamente del suministro constante y sostenible de energía eléctrica. A continuación, se describen las etapas clave del proceso de producción de panela:

El proceso de producción de panela es sencillo, este comienza con el corte de la caña de azúcar en la plantación, la cual es trasladada en caballos, mulas o camiones hasta la planta de procesamiento para su molienda. La molienda se realiza en un trapiche, el cual comprime la caña extrayendo todo su jugo, este es depositado en un tanque o recipiente para ser pre limpiado.

El bagazo de caña es secado para ser reutilizado como combustible (leña) o se utiliza directamente para alimentar a los animales. El jugo de caña pre limpiado es transferido a otro tanque donde es mezclado con un agente natural (baba de cadillo) y calentado haciendo que las impurezas suban a la superficie para ser extraídas con una cuchara. El jugo de caña limpio es ahora depositado en pailas donde este es llevado a una temperatura entre 70 y 90 °C para aumentar su concentración evaporando la humedad contenida. Por último, este melado de caña es

vertido en un tanque y por medio de una cuchara vaciado en un molde para la formación de su geometría final (Cortez, 2009), ver Figura 5.

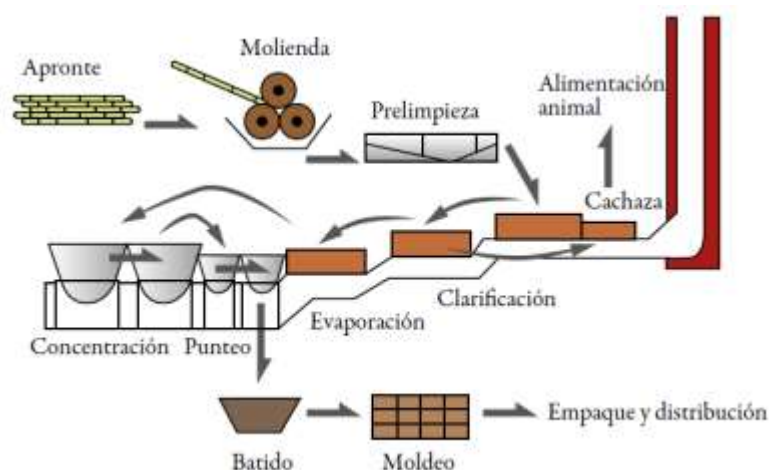


Figura 5 Etapas del proceso de producción de panela.

Fuente: (Ordoñez & Rueda, 2017).

4.5 Marco legal

4.5.1 Resolución CREG 030 de 2018

Emitida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), enfocada en la “autogeneración a pequeña escala y generación distribuida” establece normas para regular la prestación del servicio público de energía eléctrica. Esta resolución busca promover el acceso a fuentes de energía sostenible en regiones donde no llega el sistema eléctrico nacional, incentivando el uso de tecnologías renovables, como sistemas solares fotovoltaicos, para mejorar la calidad de vida de comunidades alejadas. La resolución también establece lineamientos sobre la financiación, tarifas, y condiciones de operación para asegurar la viabilidad y continuidad del servicio en estas áreas.

4.5.2 El Código Eléctrico Colombiano (RETIE)

Regula la instalación y operación de sistemas eléctricos en el país, promoviendo la seguridad y la protección del medio ambiente. Su objetivo es establecer requisitos mínimos para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas, garantizando la seguridad de las personas, los animales y el entorno. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, el RETIE exige que sean instalados por profesionales capacitados y que todos los componentes, como paneles solares, inversores y estructuras de montaje, cumplan con especificaciones técnicas para asegurar su fiabilidad. También establece lineamientos para su inspección y mantenimiento.

4.5.3 La Ley 1715 de 2014

En Colombia busca promover el desarrollo y uso de energías renovables no convencionales en el sistema energético nacional, en especial aquellas provenientes de fuentes renovables como la solar, eólica, biomasa y geotérmica. Esta ley establece incentivos fiscales y tributarios, como exenciones de IVA y deducciones en el impuesto de renta, para proyectos de energías limpias, fomentando la eficiencia energética y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. También impulsa la diversificación de la matriz energética y el acceso a fuentes de energía sostenible, en particular para las zonas no interconectadas (ZNI), promoviendo así un desarrollo energético más equitativo y sostenible en el país.

5. Descripción técnica del proyecto

A continuación, se relacionan los equipos y componentes del sistema, la infraestructura y las tecnologías y herramientas que se emplearán para el proyecto de la finca panelera La Palmera 2; con esto se dará solución a la problemática actual existente en relación con las fallas recurrentes del servicio eléctrico debido a la gran cantidad de conexiones fraudulentas que ocasionan su suspensión y por ende detienen el proceso de producción de panela haciendo que esta pierda ingresos y clientes debido al incumplimiento de las entregas de producto final.

Para poder determinar la cantidad de energía que debía producirse en el trapiche se identificaron las cargas de cada uno de los dispositivos que serían conectados a la red, en la siguiente tabla se definen:

Tabla 1.

Análisis de cargas

| Dispositivo | Carga total en W | Tipo de carga |
|-------------------------------|------------------|---------------|
| Motor de 7.5 HP | 5.595 | Inductiva |
| Selladora para plástico | 1.250 | Resistiva |
| Pistola de calor (2 unidades) | 3.000 | Resistiva |
| Ventiladores (2 unidades) | 500 | Inductiva |
| Bombillas (10 unidades) | 400 | Resistiva |
| Carga total instalada | 10.745 W | |

Fuente. Propia

Una vez identificadas las cargas, se determina el suministro de energía necesario para la red y la cantidad de paneles solares requeridos para alimentar el sistema, así como las baterías y otros componentes que garantizarán el abastecimiento de energía, tanto durante el día como en la noche o cuando los niveles de radiación sean bajos.

5.1 Componentes del sistema de energía solar

5.1.1 Panel solar

Para el proyecto se emplearán paneles solares de silicio mono cristalino con eficiencia, según ficha técnica del fabricante del 21% aproximadamente. Los paneles seleccionados están diseñados para soportar condiciones ambientales extremas, como alta radiación solar, temperaturas extremas y alta humedad, características fundamentales para asegurar el funcionamiento eficiente en las condiciones climáticas de la finca, donde en el día se pueden alcanzar temperaturas de hasta 27 grados centígrados y en la noche de 8 grados centígrados, adicionalmente esta una zona de alta pluviosidad y de vientos de hasta 100km/h. Por ello, los paneles deben asegurar su eficiencia y durabilidad durante el tiempo mínimo estimado por el fabricante.



Figura 6 Celda solar fotovoltaica común.

Fuente: (Wikipedia, 2024).

5.1.2 Inversor

El inversor PV3000 LVHM series es una opción económica y eficiente para proyectos solares en entornos residenciales y rurales, con salida de onda senoidal pura que garantiza la compatibilidad con equipos que requieren un flujo de energía constante.

Con un sistema de carga en tres etapas y protección contra sobrecargas y cortocircuitos, este inversor está diseñado para condiciones de suministro energético variables, brindando seguridad y estabilidad en el funcionamiento de los equipos. Su cargador MPPT de 80A optimiza la captación de energía solar en condiciones de luz fluctuante, y el inversor incluye opciones de ajuste de voltaje de salida y frecuencia, lo cual facilita su adaptación a diferentes requerimientos locales. Su compatibilidad con baterías de ácido y de litio, junto con la función de comunicación BMS (Battery Management System, por sus siglas en inglés) para baterías de litio, añade flexibilidad para gestionar el almacenamiento de energía, optimizando la seguridad y monitoreo del sistema.

En el contexto de la finca, el inversor PV3000 LVHM se adapta adecuadamente a las condiciones locales, ya que permite configurar tanto la frecuencia como el voltaje para cumplir con los requisitos específicos de la empresa, garantizando la estabilidad de equipos con cargas inductivas y resistivas. La alta radiación solar en YALÍ hace que la función de prioridad solar sea especialmente eficaz, maximizando la energía captada y optimizando el consumo. Además, la función de ahorro energético y las protecciones integradas aseguran una operación confiable y duradera, mientras que la opción de seleccionar el tipo de batería permite ajustarse al presupuesto disponible.



Figura 7 Inversor de corriente.

Fuente: (Ecozaque, 2024).

5.1.3 Baterías

Para el sistema de almacenamiento de energía, se ha seleccionado la batería VRLA KAISE 12V 250 AH F12 debido a su capacidad, durabilidad y facilidad de mantenimiento, lo cual es crucial en sistemas solares residenciales o comerciales. Esta batería de ciclo profundo tiene una capacidad de 250 amperios-hora (AH) a 12V, diseñada específicamente para soportar descargas y recargas prolongadas sin comprometer su rendimiento, un factor determinante para asegurar un suministro continuo en entornos donde la energía solar es la fuente principal de electricidad.

Entre sus principales características, destaca la tecnología VRLA (Valve Regulated Lead Acid), que evita la necesidad de mantenimiento frecuente, ya que es una batería sellada de plomo-ácido. Esto la hace ideal para instalaciones en zonas rurales o de difícil acceso. Además, sus dimensiones compactas (25 cm de alto, 20 cm de ancho y 62 cm de largo) facilitan la integración en espacios limitados sin sacrificar capacidad de almacenamiento.

Su elección se fundamenta en su capacidad de soportar los ciclos de carga y descarga del sistema solar, su resistencia estructural, y su compatibilidad con el inversor PV3000 LVHM, que permite aprovechar al máximo el suministro solar sin interrumpir el servicio en caso de días nublados o baja irradiación.



Figura 8 Batería de plomo-acido

Fuente: (intralogistica.es, 2024).

5.1.4 Regulador de carga

Para el sistema de control de carga se ha seleccionado el Regulador SC 4880 80AMP debido a su capacidad de regulación, precisión y compatibilidad con sistemas de energía de 12V y 24V, según ficha técnica. Este controlador es capaz de manejar una corriente de hasta 80 amperios, lo que lo hace adecuado para controlar y distribuir eficientemente la energía generada por los paneles solares hacia las baterías de almacenamiento y los equipos conectados. Esta capacidad es ideal para el tamaño y tipo de sistema de la finca, garantizando una administración eficiente de la energía en cualquier momento.

El Regulador SC 4880 80AMP ha sido elegido por su capacidad y diseño compacto (15 cm de alto, 10 cm de ancho y 5 cm de largo), lo que facilita su instalación. Este regulador ofrece estabilidad y una larga vida útil, adaptándose bien a las condiciones de la instalación en cuestión. Además, su facilidad de instalación y configuración permite un ajuste rápido y eficiente, optimizando la captación y almacenamiento de energía solar y asegurando que el sistema mantenga un rendimiento constante, incluso en condiciones de carga elevada o fluctuante.



Figura 9 Optimizador utilizado en sistemas solares fotovoltaicos.

Fuente: (Ciao, 2022).

5.2 Estructura de montaje

Para el montaje de los paneles solares en la finca la Palmera 2 se utilizarán estructuras fabricadas en acero galvanizado por su resistencia a la corrosión y durabilidad en condiciones de alta humedad, como YALÍ, pues, la exposición continua a la intemperie y las lluvias en esta región hacen necesario emplear materiales que garanticen una vida útil prolongada, minimizando el mantenimiento y asegurando la integridad del sistema.

La orientación de los paneles se establecerá en función de la ubicación geográfica de la finca, apuntándolos hacia el norte y con una inclinación optimizada según la latitud de YALÍ, para maximizar la captación de radiación solar a lo largo del año. Adicionalmente, las estructuras se anclarán al suelo mediante bases de concreto reforzado, diseñadas para soportar los posibles factores ambientales, como fuertes vientos y lluvias intensas. Las bases, en este sentido, brindarán estabilidad y asegurarán que el sistema de paneles permanezca firme en su lugar, sin riesgos de desplazamiento o daños, incluso en condiciones climáticas adversas.

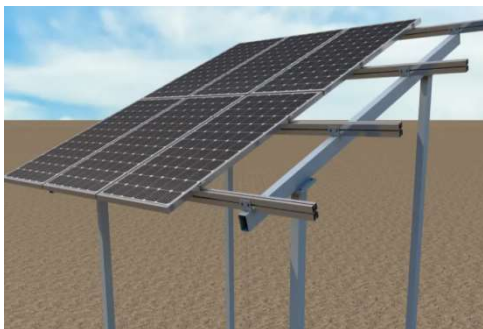


Figura 10 Soportes para celdas solares

Fuente: (SotySolar, 2023).

5.3 Cables y Conectores

Para el sistema se utilizarán cables de alta resistencia con aislamiento de XLPE (polietileno reticulado), que ofrecen una excelente protección contra la intemperie, la humedad y los cambios de temperatura, condiciones comunes en el clima tropical de YALÍ; este tipo de aislamiento es especialmente adecuado para instalaciones exteriores, ya que resiste la radiación UV y tiene baja emisión de humos en caso de incendio, lo cual es clave para garantizar la seguridad del sistema. Estos cables cumplen con las normativas vigentes en cuanto a transmisión de corriente y protección frente a daños mecánicos, asegurando una conductividad óptima y resistencia a tracción para soportar tensiones mecánicas.

Se elegirán conectores MC4 utilizados en sistemas solares por su alta capacidad de corriente y resistencia al agua y polvo, los cuales cuentan con certificación IP67, que garantiza su funcionamiento en entornos húmedos. La combinación de cables XLPE y conectores MC4 asegura que el sistema solar mantenga un rendimiento constante y seguro frente a los factores ambientales adversos en la ubicación de la finca.

5.4 Montaje e infraestructura

La infraestructura necesaria para la implementación del sistema incluye instalaciones tanto para los equipos como para la distribución eficiente de la energía, las mismas se expondrán a continuación.

5.4.1 Área de instalación de paneles solares

Se dispone de un espacio de 35 metros cuadrados, suficiente para la instalación de los paneles solares, en una zona que debe mantenerse libre de sombras durante todo el día.

5.4.2 Cuarto para el inversor, el acumulador y las baterías

Para garantizar la seguridad frente a cualquier riesgo se adecuará un espacio que actualmente funciona como bodega donde se ubicarán las baterías y el inversor. Este espacio se encontrará ubicado a una distancia prudente de los paneles solares para minimizar las pérdidas de energía dadas en la transmisión. Así mismo se garantizará la ventilación adecuada y la protección contra la lluvia.

5.4.3 Herramientas

Para la instalación y mantenimiento, se utilizarán herramientas esenciales para la instalación, mantenimiento y monitoreo del sistema. Entre ellas se incluyen taladros, destornilladores, multímetros, medidores de radiación solar y sistemas de monitoreo remoto. Además, se contará con equipos de seguridad como guantes, gafas, cascos y arneses. Todo el conjunto de herramientas asegurará una instalación eficiente y segura, garantizando el correcto funcionamiento del sistema solar durante su vida útil.

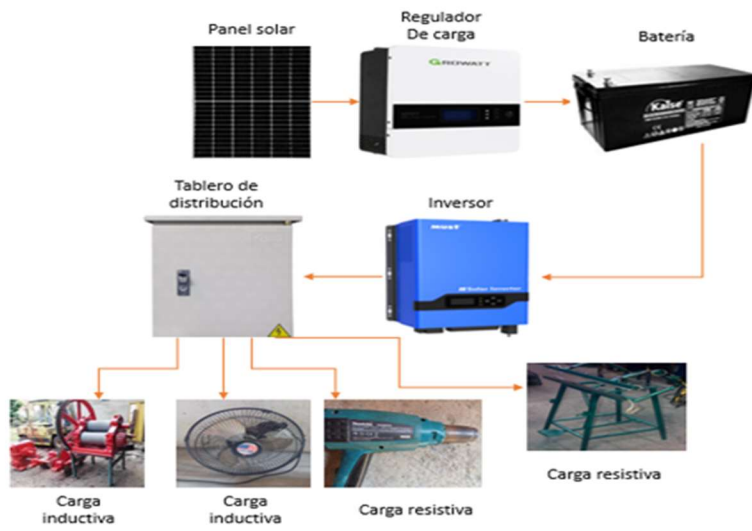


Figura 11 Diagrama de bloques del sistema

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados

El diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para la finca panelera La Palmera 2, ubicada en YALÍ, Antioquia, tiene como propósito garantizar un suministro constante y sostenible de energía eléctrica para la producción de panela. Este sistema busca solucionar las fallas recurrentes en el suministro eléctrico, que impactan negativamente en la productividad, y alinearse con principios de sostenibilidad ambiental, disminuyendo los costos energéticos y mejorando la competitividad del producto en mercados ecológicamente conscientes.

Para comprender mejor las necesidades energéticas del proceso, se describirá el ciclo de producción de la panela. La primera etapa consiste en la extracción del jugo de la caña, proceso que se lleva a cabo mediante una máquina trituradora de caña, conocida comúnmente como trapiche. Esta máquina cuenta con un sistema de engranajes rectos que, al ser accionados, mueven los rodillos encargados de triturar y aplastar la caña de azúcar para extraer su jugo.

Una vez extraído el jugo, este es limpiado de impurezas y llevado a una tolva donde es calentado a 90 °C mediante un proceso de combustión donde se utiliza madera y residuos de la misma caña. Ahora para avivar el fuego se utiliza un ventilador, el cual mejora el proceso de combustión. Para ayudar al proceso este jugo de caña es mezclado con un agente natural llamado baba de cadillo, que ayuda a que las impurezas suban a la superficie para ser extraídas con facilidad.

Posteriormente, el jugo concentrado se vierte en moldes y se deja enfriar para iniciar el proceso de empaclado. Durante este proceso de empaclado se utiliza una envoltura de plástico, la cual es calentada a 40 °C y sellada por una máquina selladora. Por último, se utiliza una pistola térmica para extraer el aire atrapado en el plástico durante el proceso de sellado y obtener una envoltura hermética del producto.

El proceso de producción de panela, tal como se ha descrito, depende de un suministro eléctrico constante y confiable para el funcionamiento de los equipos involucrados, como la máquina trapiche, los ventiladores para la combustión y las máquinas selladoras del empaçado. Sin embargo, las frecuentes interrupciones en el suministro eléctrico en la región provocan paradas en la producción, lo que afecta la eficiencia del proceso y aumenta los costos operativos. Esto resalta la necesidad de contar con un sistema energético autónomo que garantice la operación continua y optimice el uso de los recursos energéticos disponibles.

La independencia energética es clave para la finca panelera, ya que permite mantener la operación sin interrupciones y proporciona un control total sobre el proceso productivo. Con este proyecto, se busca aprovechar el alto potencial de radiación solar de la región para optimizar la eficiencia energética y generar un impacto positivo tanto económico como ambiental.

Dado que el proceso de producción de panela depende de equipos eléctricos fundamentales, como la máquina trituradora de caña, ventiladores para la combustión y selladoras para el empaçado, se hace necesario identificar las cargas energéticas específicas de estos equipos. Esta identificación permite dimensionar adecuadamente el sistema fotovoltaico para cubrir las necesidades energéticas de la finca de manera eficiente y confiable.

En este contexto, la producción de panela en la finca La Palmera 2 depende de un conjunto de equipos eléctricos fundamentales que serán abastecidos por el sistema solar fotovoltaico. Estos equipos han sido evaluados en términos de sus características técnicas, estado operativo y contribución al consumo energético total, como se detalla a continuación:

6.1.1. Motor eléctrico de 7.5 HP

- Potencia: 5595 W.
- Tipo de carga: Inductiva.
- Voltaje: 220V.
- Corriente nominal 23.3A

- Corriente de arranque 207A
- RPM: 1800.
- $\text{Cos } \Phi = 0,86$.
- Uso: El motor eléctrico se utiliza para mover los engranajes y a su vez extraer el jugo de la caña.
 - Estado: En buen funcionamiento, pero con un alto consumo energético debido a la corriente de arranque, que puede superar significativamente su carga nominal. Esto lo convierte en un elemento crítico a considerar en el diseño, ya que los picos de demanda pueden afectar la estabilidad del sistema fotovoltaico si no se dimensiona adecuadamente, por lo que requiere un sistema de gestión energética que compense las fluctuaciones de arranque y operación prolongada.



Figura 12 Motor eléctrico.

Fuente: Propia.

6.1.2. Selladora plástica

- Potencia: 1250 W.
- Tipo de carga: Resistiva.
- Voltaje: 110V.
- Corriente: 10.4 A.

- Tiempo de calor: 0- 2.5s.
- Uso: Se utiliza para el sellado del plástico después de empacar el producto.
- Estado: Funcional, con consumo estable y predecible durante su operación.



Figura 13 Selladora plástica.

Fuente: propia.

6.1.3. Pistolas de calor (2 unidades)

- Potencia total: 3000 W (1500 W cada una).
- Tipo de carga: Resistiva.
- Voltaje: 120V.
- Corriente: 12.5A.
- Temperatura de trabajo: entre 50 y 600 °C
- Uso: Se utiliza para termo encogido del plástico después de empacar y sellar el producto se encuentra en buenas condiciones de uso.
- Estado: Operativas, con un uso frecuente durante los ciclos de empacado.

6.1.4. Iluminación (10 bombillas)

- Potencia total: 400 W (40 W cada bombilla).
- Tipo de carga: Resistiva.
- Voltaje: 85-265V.
- Corriente: 0.33A.
- Lúmenes 3800.
- Uso: Iluminan las áreas de trabajo, garantizando condiciones óptimas de operación en los horarios requeridos.
- Estado: Funcionales, pero su eficiencia podría mejorarse reemplazándolas por bombillas LED de menor consumo.
- Comentario: Su bajo consumo las convierte en una carga complementaria, aunque existe margen para reducir aún más su impacto energético.



Figura 16 Luces led.

Fuente: Propia

6.2. Análisis del estado de los equipos

En general, los equipos presentan buen estado operativo, lo que asegura su compatibilidad inicial con el sistema fotovoltaico. Sin embargo, se identificaron algunos aspectos críticos:

- **Cargas inductivas (motor y ventiladores):** Representan un desafío técnico debido a los picos de corriente asociados con los arranques, por ello se

consideró un inversor con capacidad para manejar sobrecargas temporales y bancos de baterías que permitan estabilizar el flujo de energía.

- **Cargas resistivas (selladora, pistolas de calor, iluminación):** Las pistolas de calor representan una demanda alta en su uso simultáneo, por lo que es fundamental optimizar el tiempo de uso para reducir el impacto total.

Esta caracterización detallada de los equipos permite no solo calcular con precisión la demanda energética del sistema, sino también anticipar posibles retos en su operación. El objetivo es garantizar que el diseño del sistema fotovoltaico proporcione un suministro constante y confiable, asegurando la continuidad de la producción de panela sin interrupciones por fallos eléctricos.

Para ello, es fundamental traducir la caracterización técnica de los equipos en cálculos concretos de consumo energético para poder establecer un vínculo claro entre la evaluación inicial de las necesidades y el dimensionamiento preciso del sistema fotovoltaico. Así, se garantiza que cada componente esté alineado con las demandas reales de operación y que el diseño final responda eficazmente a los requerimientos energéticos de la producción.

En este sentido, el análisis del consumo eléctrico de los equipos utilizados en la empresa permite establecer los requerimientos energéticos necesarios para diseñar un sistema fotovoltaico eficiente. A continuación, se presentan los cálculos detallados de consumo para cada equipo, siguiendo las especificaciones técnicas y el tiempo de uso promedio diario.

6.3.1. Cálculo del consumo eléctrico por equipo

6.3.1.1. Motor eléctrico (7.5 HP, carga inductiva)

- Potencia nominal (P_n): 5595 W.
- Factor de potencia ($\cos \phi$): 0.85.
- Tensión (V): 220V.
- Tiempo de arranque (T_a): 5s.
- Tiempo de uso diario: 2 horas.
- Corriente nominal (C_n): 23.3A.
- Corriente de arranque (C_a): 207A.

- Consumo en operación nominal: $(5595W * 2h) / 1000 = 11.19kWh$.
- Consumo de arranque: $0.0609kWh$.
- Consumo total diario: $11.26kWh$.
- Consumo durante el arranque:

$$Potencia\ de\ arranque\ (Pa) = Pn * \frac{Ca}{Cn} = 5595 * \frac{207}{23.3} \approx 49706.6W$$

$$Tiempo\ de\ arranque\ (Ta) = \frac{5}{3600} h \approx 0.00139h$$

$$Consumo\ de\ arranque = Pa * Ta = 49706.6 * 0.00139 \approx 0.0609kWh$$

$$Consumo\ total\ diario = 11.19 + 0.0609 \approx 11.26KWh$$

- Comentario: Principal consumidor energético debido a su alta potencia y uso crítico en la operación del trapiche. Así mismo, es importante tener presente que para el cálculo se estimó que el motor solo se encendería una vez por jornada.

6.3.1.2. Ventiladores (2 unidades, carga inductiva)

- Potencia por unidad: 250 W.
- Potencia total: 500 W.
- Tiempo de uso diario: 2 horas.
- Corriente de trabajo: 2.9A.
- Corriente de arranque: 26A.
- Consumo nominal: $(500W * 2h) / 1000 = 1kWh$.
- Consumo total diario: $1.031kWh$.
- Consumo durante el arranque:

$$Pa = 500 * \frac{26}{2.9 * 2} \approx 2241.38W$$

$$Tiempo\ de\ arranque\ \frac{5}{3600} h \approx 0.00139h$$

$$Consumo\ de\ arranque = 2241.38 * 0.00139 \approx 0.0311kWh$$

$$\text{Consumo total diario} = 0.0311 + 1 \approx 1.031 \text{ kWh.}$$

- Comentario: A pesar de ser una carga inductiva, tiene una demanda energética moderada.

6.3.1.3. Selladora para plástico (carga resistiva)

- Potencia: 1250 W.
- Tiempo de uso diario: 2 horas.
- Consumo diario: $(1250\text{W} * 2\text{h}) / 1000 = 2.5\text{kWh}$.
- Comentario: Demanda energética estable y predecible durante el empacado de panela.

6.3.1.4. Pistolas de calor (2 unidades, carga resistiva)

- Potencia por unidad: 1500 W.
- Potencia total: 3000 W.
- Tiempo de uso diario: 2 horas.
- Consumo diario: $(3000\text{W} * 2\text{h}) / 1000 = 6\text{kWh}$.
- Comentario: Uso conjunto incrementa la demanda durante la etapa final del proceso productivo.

6.3.1.5. Bombillas LED (10 unidades, carga resistiva)

- Potencia por unidad: 40 W.
- Potencia total: 400 W.
- Tiempo de uso diario: 2 horas.
- Consumo diario: $(400\text{W} * 2\text{h}) / 1000 = 0.8 \text{ kWh}$.
- Comentario: Tiene baja incidencia en el consumo global del sistema.

6.3.2. Consumo eléctrico total

Con base en la información anterior se procedió a calcular el consumo eléctrico total.

- Consumo total diario: $11.26+2.5+6+1.03+0.8 = 21.59\text{kWh}$
- Consumo mensual estimado: $21.59\text{kWh} * 30 \text{ días} = 647.7\text{kWh}$.

El sistema fotovoltaico debe estar diseñado para generar, al menos, 700 kWh al mes para cubrir el consumo total con un margen de seguridad; adicionalmente, es importante anotar que el motor eléctrico y las pistolas de calor representan más del 75% del consumo diario del sistema, destacándose como los equipos prioritarios para la estabilidad del sistema.

El diseño del sistema solar fotovoltaico para la finca La Palmera 2 busca satisfacer el consumo energético diario de 21.59 kWh necesario para la producción de panela, asegurando un suministro estable, incluso en condiciones de baja radiación solar o durante la noche. Este sistema incluye 9 paneles solares, un banco de baterías con respaldo para 2 días, un regulador, y un inversor, todos dimensionados para garantizar eficiencia y continuidad operativa.

6.4.1. Cálculo de los componentes del sistema

6.4.1.1. Capacidad del sistema y energía real

El consumo diario de los equipos es de 21.59 kWh (21590 W). Sin embargo, debido a las pérdidas inherentes al sistema, que incluyen pérdidas por calor, resistencia en los cables, eficiencia de los inversores y otros factores técnicos, se considera un rendimiento global del 80.9%. Este rendimiento refleja la eficiencia general del sistema, es decir, la cantidad de energía útil que realmente se entrega a los equipos en relación con la energía total suministrada. Dado que no todos los componentes operan al 100% de su capacidad, se requiere una mayor cantidad de energía para cubrir estas pérdidas. Por lo tanto, al aplicar este rendimiento global, la energía real necesaria para compensar las pérdidas y garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos asciende a 26.56 kWh (26564 W), lo que asegura que el sistema proporcione la potencia necesaria para operar eficientemente sin riesgo de subalimentación o fallos operativos.

6.4.1.2. Baterías para almacenamiento

- Formula: *Capacidad requerida =*

$$\frac{\text{Energía real} * \text{Días de respaldo}}{\text{Voltaje del sistema} * \text{Porcentaje de descarga}}$$

- Datos: Energía = 26564 W, Días = 2, Voltaje = 24 V, Descarga = 70%.
- Resultado: Se requieren 3162 Ah, lo que equivale a 13 baterías de 250 Ah cada una. No obstante, para mayor seguridad del sistema se tendrán 14 baterías. Esto asegura 2 días de respaldo en caso de condiciones climáticas adversas.

6.4.1.3. Número de paneles solares

- Formula: $\text{Número de paneles} = \frac{\text{Energía real}}{\text{Potencia por panel} * \text{Horas solares pico} * 0.9}$
- Datos: Potencia por panel = 585 W, Horas solares pico = 5.7, Factor de rendimiento = 0.9.
- Resultado: Se necesitan 9 paneles solares de 585 W cada uno para cubrir la demanda total.

6.4.1.4. Regulador de carga

- $\text{Capacidad del regulador} = I_{cc} * \text{número de paneles}$.
- Datos: Corriente de cortocircuito = 14 A, Paneles = 9.
- Resultado: El regulador debe soportar 126 A para manejar la corriente del sistema.

6.4.1.5. Inversor

El sistema incluirá un inversor de 6 kW a 24 V, diseñado para manejar picos de demanda y compatibilidad con cargas inductivas y resistivas.

6.4.2. Diseño de instalación

La instalación se realizará de la siguiente manera: Los 9 paneles solares se instalarán en una plataforma de concreto a nivel del suelo, utilizando estructuras de aluminio resistentes a la corrosión, orientados hacia el sur con un ángulo de inclinación de 15° para maximizar la captación de radiación solar durante el día y garantizar la auto-limpieza de los paneles. La

instalación se realizará en un área despejada y libre de sombras para garantizar un rendimiento óptimo. Las 13 baterías estarán ubicadas en un espacio protegido y ventilado cerca de los equipos eléctricos, minimizando pérdidas de energía por distancia. Por su parte, el regulador y el inversor se instalarán en un cuarto técnico, protegido contra las condiciones climáticas adversas y diseñado para facilitar el monitoreo y mantenimiento del sistema.

Los resultados obtenidos muestran que el diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico para la finca panelera La Palmera 2 es adecuado para cubrir las necesidades energéticas identificadas. La evaluación detallada de las cargas eléctricas, como el motor, la selladora plástica y las pistolas de calor, ha permitido definir las especificaciones técnicas necesarias para garantizar la estabilidad y eficiencia del sistema fotovoltaico. Asimismo, Esta propuesta resolverá las interrupciones recurrentes en el suministro eléctrico y optimizaría los recursos energéticos disponibles, mejorando la sostenibilidad y competitividad de la producción de panela en la finca.

6.5. Inversión y retorno de la inversión

6.5.1. Análisis financiero del sistema fotovoltaico

A continuación, se realiza un análisis financiero detallado del sistema fotovoltaico propuesto para determinar su viabilidad económica. Se evaluaron tres métricas clave: el CAPEX (Capital Expenditure), el ROI (Return on Investment) y el Payback Time, cuyos resultados se describen a continuación:

Tabla 1. Componentes del sistema fotovoltaico y sus costos

| Cantidad | Artículo | Valor unitario | Valor total |
|----------|--------------------|----------------|------------------|
| 1 | Inversor | \$5.079.963,00 | \$5.079.963,00 |
| 9 | Panel solar | \$631.393,00 | \$5.682.537,00 |
| 13 | Batería | \$1.787.878,00 | \$ 23.242.414,00 |
| 1 | Regulador de carga | \$1.552.853,00 | \$1.552.853,00 |
| 30 | Conector | \$5.600,00 | \$168.000,00 |
| 12 | Ángulos | \$280.000,00 | \$3.360.000,00 |
| 2 | Perfiles | \$80.000,00 | \$160.000,00 |
| 1 | Soldadura | \$25.000,00 | \$25.000,00 |

| | | | |
|--------------|----------------------|----------------|------------------------|
| 1 | Pintura | \$50.000,00 | \$50.000,00 |
| 16 | Bultos cemento | \$28.000,00 | \$448.000,00 |
| 2 | Arena | \$50.000,00 | \$100.000,00 |
| 1 | Malla | \$115.000,00 | \$115.000,00 |
| 100 | Tornillos | \$320,00 | \$32.000,00 |
| 100 | Cable solar | \$6.250,00 | \$625.000,00 |
| 100 | Cable solar | \$6.736,00 | \$673.600,00 |
| 6 | Breaker | \$56.698,00 | \$340.188,00 |
| 1 | Mano obra | \$8.000.000,00 | \$8.000.000,00 |
| 1 | Cuarto para baterías | \$2.650.000,00 | \$2.650.000,00 |
| 1 | Tablero | \$650.000,00 | \$650.000,00 |
| Total | | | \$52.954.555,00 |

6.5.1.1. CAPEX

El CAPEX representa el costo total inicial del proyecto, incluyendo los equipos, materiales y mano de obra para la instalación del sistema. Según el desglose presentado en la tabla anterior, el costo total asciende a: \$52.954.555,00.

6.5.1.2. ROI (Retorno de la inversión)

El ROI mide la rentabilidad del sistema en relación con el ahorro generado a lo largo de su vida útil, estimada en 25 años, teniendo en cuenta la vida útil de los elementos principales del sistema. Se calcula considerando el ahorro anual en energía y el beneficio neto total del proyecto.

- Consumo mensual de energía: 647.7 kWh.
- Costo actual del kWh: \$854,74.
- Ahorro anual: \$6.639.760,00.
- Ahorro total en 25 años: \$6.639.760,00 * 25 = \$165.994.000,00.
- Beneficio neto total: \$165.994.000,00 - \$52.954.555,00 = 113,039.445,00.
- $ROI = \frac{113.039.445,00}{52.954.555,00} * 100 = 215.6\%$.

Así pues, el ROI del proyecto es del 215.6% a lo largo de 25 años, lo que indica una rentabilidad significativa.

6.5.1.3. Periodo de recuperación

La recuperación de la inversión determina el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial mediante los ahorros generados por el sistema. Se calcula como:

$$\textit{Periodo de recuperación} = \frac{\textit{CAPEX}}{\textit{Ahorro anual}} = \frac{\$52.954.555,00}{\$6.639.760,00} \approx 7.9 \textit{ años.}$$

Por lo tanto, la recuperación de la inversión inicial se logra en 7.9 años. A partir de este punto, los ahorros generados durante los 17.1 años restantes de vida útil del sistema se consideran beneficios netos.

7. Metodología

7.1 Tipo de proyecto

El proyecto se clasifica como investigación aplicada, ya que busca resolver un problema práctico real en la finca panelera La Palmera 2 mediante la implementación de un sistema solar fotovoltaico autónomo. Este enfoque permite la aplicación de conocimientos técnicos para mejorar la eficiencia energética y garantizar un suministro eléctrico sostenible.

El desarrollo se llevó a cabo mediante la búsqueda y análisis de información técnica y práctica relacionada con sistemas solares fotovoltaicos, identificando las necesidades específicas del entorno y evaluando su viabilidad económica y técnica. Este tipo de investigación permite aplicar la ciencia a los problemas de la sociedad y su principal fin es de crear conocimientos que puedan ser aplicados para resolver problemas (Arias, 2020)

7.2 Método

La metodología empleada en este proyecto incluye los siguientes pasos:

- Revisión bibliográfica: Investigación de conceptos y tecnologías relacionadas con sistemas solares fotovoltaicos, incluidas sus configuraciones, componentes y costos.
- Caracterización de equipos eléctricos: Evaluación técnica del consumo energético de los dispositivos utilizados en la producción de panela.
- Estudio del entorno de instalación: Identificación del lugar donde se instalará el sistema, considerando factores como espacio disponible y condiciones climáticas.
- Diseño del sistema fotovoltaico: Selección y dimensionamiento de los componentes necesarios para cumplir con la demanda energética estimada.
- Análisis de factibilidad técnico-económica: Evaluación del retorno de la inversión y beneficios a largo plazo.

7.3 Instrumentos de recolección de información.

7.3.1. Fuentes primarias. Datos obtenidos directamente de documentos técnicos, manuales de los equipos utilizados, y observación directa en la finca panelera.

7.3.2. Fuentes secundarias. Consulta de material de referencia, como artículos científicos, enciclopedias, normativas legales aplicables (Ley 1715 de 2014, RETIE), y estudios de caso relacionados con energía solar en entornos rurales.

8. Recursos

8.1 Humanos

Para la instalación y operación del sistema solar fotovoltaico autónomo, se requiere un equipo técnico especializado con las siguientes funciones y roles:

Ingeniero Electricista

- Responsabilidades: Diseñar, coordinar y supervisar la instalación del sistema solar fotovoltaico, asegurando el cumplimiento de normativas como el RETIE y estándares de seguridad.
- Experiencia necesaria: Conocimiento en dimensionamiento de sistemas solares y manejo de software especializado en simulación eléctrica.

Tecnólogo Electricista

- Responsabilidades: Apoyar en la instalación de los componentes del sistema solar, como paneles, reguladores, y cableado, bajo la dirección del ingeniero.
- Experiencia necesaria: Instalación de sistemas eléctricos y manejo de herramientas técnicas.

Técnico Electricista

- Responsabilidades: Realizar la instalación física de los paneles solares, conexiones eléctricas y ensamblajes, siguiendo las especificaciones del proyecto.
- Experiencia necesaria: Trabajo en sistemas eléctricos y manipulación segura de componentes fotovoltaicos.

8.2 Técnicos

Se requiere la adquisición de materiales y equipos para la implementación del sistema. A continuación, se detallan los recursos técnicos necesarios:

- Paneles solares: 9 unidades de paneles de 585 W monocristalinos, con alta eficiencia y durabilidad.
- Inversor: Modelo PV3000 LVHM con capacidad de 6 kW para manejo de picos de demanda y compatibilidad con cargas inductivas y resistivas.
- Baterías: 14 baterías de 250 Ah VRLA para almacenamiento de energía y respaldo durante 2 días.
- Regulador de carga: Regulador de 80 amperios para administrar la distribución de energía hacia baterías y equipos.
- Cables y conectores: Cables XLPE resistentes a la intemperie y conectores MC4 con certificación IP67.
- Estructuras de montaje: Soportes de acero galvanizado para los paneles, diseñados para resistir condiciones climáticas adversas.

8.3 Recursos Físicos y Logísticos

Área de instalación:

- Un espacio de 35 metros cuadrados sin sombras para la instalación de los paneles solares.
- Cuarto técnico para alojar inversores, baterías y reguladores, con ventilación adecuada y protección contra humedad.

Herramientas:

- Taladros, destornilladores, multímetros y sistemas de monitoreo remoto para garantizar una instalación precisa y segura.
- Equipos de seguridad, como guantes dieléctricos, gafas de protección, cascos y arneses.

Materiales de construcción:

- Cemento, bases de concreto y perfiles de aluminio para el montaje seguro de los paneles.

8.4 Presupuesto

Tabla 2

| Cantidad | Recurso | En dinero | En especie | Total |
|----------|---|--------------|------------|--------------|
| 9 | Panel solar 585w | \$5.682.537 | | \$5.682.537 |
| 13 | Batería Plomo-acido 200 Ah / 24 V | \$23.242.414 | | \$23.242.414 |
| 1 | Controlador Regulador De Carga 126A 12/24V SC 4880 solar | \$1.552.853 | | \$1.552.853 |
| 1 | Inversor PV3000 LVHM | \$5.079.963 | | \$5.079.963 |
| 30 | Conector pareja Mc4MH | \$168.000 | | \$168.000 |
| 12 | Ángulos galvanizados 3/4x1/8 | \$3.360.000 | | \$3.360.000 |
| 2 | Perfiles en C de 3" | \$160.000 | | \$160.000 |
| 1 | Soldadura 60-13x3/32 | \$25.000 | | \$25.000 |
| 1 | Cuarto de pintura metalizada | \$50.000 | | \$50.000 |
| 16 | Bultos de cemento | \$448.000 | | \$448.000 |

| | | | |
|-----|--|-------------|-------------|
| 2 | 2mt de arena | \$100.000 | \$100.000 |
| 1 | Malla electrosoldada | \$115.000 | \$115.000 |
| 100 | Tornillos auto perforante | \$32.000 | \$32000 |
| 100 | 100mt Cable solar negro 6Mmq 1800Vdc-Fg21M21 | \$625.000 | \$625.000 |
| 100 | 100mt Cable solar Rprysun6Mmq Cu Sn Hffr Ls0.6/1Rojo | \$673.600 | \$673.000 |
| 6 | Breaker Solar Dc Projoy 2P 40 ^a | \$340.188 | \$340.188 |
| 1 | Mano de obra para estructura y montaje del sistema | \$8.000.000 | \$8.000.000 |
| 1 | Cuarto para baterías | \$2.650.000 | \$2.650.000 |

Tablero de
distribución

| | | |
|---|-----------|-----------|
| 1 | \$650.000 | \$650.000 |
|---|-----------|-----------|

| | | |
|-------|--------------|--------------|
| Total | \$52.954.555 | \$52.954.555 |
|-------|--------------|--------------|

Tabla 3

Otras actividades

Presupuesto del proyecto

| Actividad | Humanos | Físicos | Subtotal |
|--------------------------------|---------|---------|----------|
| Diseño de la estructura de ... | 100000 | 20000 | 120000 |
| Selección | 300000 | 50000 | 350000 |
| Construcción de la plataforma | 270000 | 45000 | 315000 |

Fuente. Diseño propio

9. Cronograma de actividades

A continuación, se expone un cronograma general para la instalación de un sistema fotovoltaico, en el mismo se incluye el tiempo ya invertido en esta investigación del estudio de viabilidad, las dimensiones del sistema y la selección de componentes.

Estudio de viabilidad (1 mes).

Dimensionamiento del sistema (2 semanas).

Selección y compra de componentes (1 mes).

Instalación del sistema (2 semanas).

Monitoreo del sistema (6 meses).

Tabla 4

Cronograma de actividades del trabajo de grado

| Actividad | Mes1 | Mes2 | Mes 3 | Mes 4 | Mes5 | Mes6 |
|---------------------------------|------|------|---------|-------|------|------|
| Estudio de viabilidad | x | | | | | |
| Dimensionamiento del sistema | | x | x | | | |
| Diseño de la estructura de ...x | | | | | | |
| Selección y compra elementos | | | | x | x | x |
| Instalación del sistema | | | | x | x | x |
| Monitoreo del sistema | x | x | x x x x | | | |

Fuente. Diseño propio

9. Referencias bibliográficas

- Acosta-Silva, Y., Torres-Pacheco, I., Matsumoto, Y., Toledano-Ayala, M., Soto-Zarazúa, G., Zelaya-Ángel, O., y Méndez-López, A. (2019). Applications of solar and wind renewable energy in agriculture: A review. *Science Progress*, 102(2), 127-140.
<https://doi.org/10.1177%2F0036850419832696>
- Altamar Pérez, N. (5 de Septiembre de 2023). Las tasas más altas en crédito, para ingresos superiores a dos salarios mínimos, esta Tuya con 39,91% y Banco Falabella (39,37%). *La República*.
 Obtenido de <https://www.larepublica.co/finanzas/tasas-de-interes-de-bancos-que-estan-mas-cercanas-y-lejos-de-la-usura-actual-de-42-05-3695563>
- Arias, E. (11 de NOVIEMBRE de 2020). economipedia. (Economipedia, Editor) Recuperado el 2 de OCTUBRE de 2024, de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-aplicada.html>
- Arias, E. R. (10 de Diciembre de 2020). Economipedia. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones/investigacion-aplicada.html>
- Atienza, S. M., & Ortiz, L. F. (2022). Recuperado el 25 de febrero de 2024, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23571/1/UPS-GT003975.pdf>
- Bernal-Guzmán, L. (2018). Minería de oro en el Nordeste antioqueño: una disputa territorial por el desarrollo. *Gestión y Ambiente*, Supl. 2(21), 74-85. doi:10.15446/ga.v21n2supl.77865
- Caballero, M. y Collantes, G. (2022). Energías Renovables: Alternativas para el Sector Agropecuario de Panamá. *Revista Científica Semilla del Este*, 3(1), 43-53.
<http://portal.amelica.org/ameli/journal/343/3433504002/>
- Chapman, S. J. (2012). *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill Medical Publishing.
- Ciao, A. (18 de diciembre de 2022). Obtenido de <https://fr.miniminipower.com/blogs/mini-blog/was-ist-pv-leistungsoptimierer?shpxid=27968643-83ec-4b4f-9ed0-0a3fa9dde0b8>
- Cortez, C. G. (2009). Obtenido de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/628/1/TCA_GonzalezCristian_2009.pdf

- Eltawil, M.A. and Zhao, Z. (2010) Grid-Connected Photovoltaic Power Systems: Technical and Potential Problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 112-129.
- Enel. (agosto de 2023). Obtenido de <https://www.enel.com.co/es/historias/a202308-consecuencias-por-hurto-de-energia-electrica.html>
- Estrada, N. I. (28 de Febrero de 2023). <https://repository.usta.edu.co/>. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48647/2023MoralesNayibe.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- García Marín, L. (2019). Uso de la energía solar en la agricultura. Artículo de reflexión para optar al título de especialización en alta gerencia, Universidad Militar Nueva Granada.
- García-Peñalvo, F. J. (2019). Inteligencia Artificial. Una perspectiva desde la ficción a la realidad. <https://bit.ly/2Q0jap0>. doi: 10.5281/zenodo.2818903.
- Guzmán-Hernández, T., Araya Rodríguez, F., Castro-Badilla, G., & Obando-Ulloa, J. (2016). Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(8), 46-56.
doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2984>
- Hayt, J., & Hayt, W. H. (2019). *Análisis de circuitos en ingeniería* (9a. ed.).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.015>
- Inarquia. (2022). Obtenido de <https://inarquia.es/como-funciona-una-instalacion-solar-fotovoltaica-en-una-vivienda/>
- intralogistica.es. (2024). Obtenido de <http://intralogistica.es/?p=135>
- Kouro, S., Malinowski, M., Gopakumar, K., Pou, J., Franquelo, L. G., Wu, N. B., Rodriguez, J., Pérez, M. A., & Leon, J. I. (2010). Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 57(8), 2553-2580.
<https://doi.org/10.1109/tie.2010.2049719>
- Llano, L. N. (2015). Plan Municipal de Gestión del desastre municipio de YALÍ. Obtenido de http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28365/PMGRD_YaliA

ntioquia_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=El%20resto%20de%20la%20jurisdicci%C3%B3n,La%20Playa%2C%20La%20Clarita%2C%20El

Mateus-Osorio, S., & Melo-Acosta, N. (2023). Implementación de un sistema solar fotovoltaico para la planta agroindustrial AGRONAIME. Bucaramanga.

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (1991). Caña de Azúcar. En Aspectos Técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Obtenido de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658cana.pdf>

Modi, V., & Figueroa, H. (15 de AGOSTO de 2023). Naciones Unidas. Recuperado el 11 de SEPTIEMBRE de 2024, de NACIONES UNIDAS -CRONICAS: <https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-de-desarrollo-sostenible-para-la-energia-y-la-tecnologia-de-la-informacion-y-lasacciona>. (2020). Obtenido de https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894

Molina, D. C. (2012). Obtenido de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063150.pdf>

Municipio de YALÍ. (2015). Plan Municipal de Gestión del Riesgo y Desastres. Obtenido de http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28365/PMGRD_YaliA
ntioquia_2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Ordoñez, M., & Rueda, L. (2017). Evaluación de los impactos socioambientales asociados a la producción de panela en Santander (Colombia). *Cielo*, 18(2).
doi:https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:637

Peña, L. (21 de Abril de 2023). *ilumin*. Obtenido de <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-conectado-a-la-red-on-grid-interactivo/>

República, L. (10 de Marzo de 2023). *Diario la Republica*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/el-apagon-de-1992-1993/cerca-de-97-de-los-colombianos-tiene-acceso-a-la-energia-electrica-segun-minenergia-3565120>

Revista Semana. (20 de Marzo de 2023). ¿A qué se debe la caída del consumo de panela en Colombia? *Revista Semana*. Obtenido de <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/a-que-se-debe-la-caida-del-consumo-de-panela-en-colombia/202203/>

- Serrano-Guzmán, M. F., Pérez-Ruiz, D. D., & Sierra, M. L. (19 de Agosto de 2016). Análisis prospectivo del uso de energía solar: Caso Colombia. Universidad Autonoma de Aguas Calientes, 25, 85-93. Recuperado el 2 de mayo de 2023, de <https://www.redalyc.org/journal/674/67452917011/html/>
- SotySolar. (2023). Obtenido de https://sotysolar.es/blog/soportes-placas-solares#mcetoc_1hf79ak3mg
- Teodorescu, R., Liserre, M., & Rodriguez, P. (2011). *Grid converters for photovoltaic and wind power systems*. John Wiley & Sons.