

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Ingeniería Industrial

Estudio de Factibilidad Técnica y Económica para la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la planta cazaderos, ubicada en la ciudad de Piñas.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Industrial

Autor:

Carlos Andrés Guzmán Loayza

Director:

Pablo Andrés Flores Sigüenza

ORCID:  0000-0002-8038-2912

Cuenca, Ecuador

2024-09-03

Resumen

En la actualidad las empresas buscan innovación e implementación de alternativas sostenibles en sus procesos productivos para cumplir con regulaciones, añadir ventajas competitivas y aportar a su comunidad. Esta investigación se enfoca en evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red en la planta Cazaderos en Piñas. A través de un análisis completo, se investigan diversos aspectos, comenzando por un examen detallado de la situación actual de la planta, incluyendo sus procesos de producción y demanda energética. Posteriormente, se realiza un análisis técnico exhaustivo, evaluando la disponibilidad de recursos solares en la región, la infraestructura para la instalación de paneles solares y las posibles optimizaciones para maximizar la eficiencia energética. Además, se lleva a cabo un análisis económico minucioso, que abarca desde los costos de inversión iniciales hasta los ingresos proyectados derivados de la venta de energía excedente a la red eléctrica. Los resultados obtenidos indican que la planta cuenta con recursos solares favorables y un área adecuada para la instalación de paneles y que el proyecto es financieramente rentable a lo largo del tiempo. En conclusión, este estudio proporciona una sólida evidencia de que la implementación del sistema fotovoltaico en la planta Cazaderos es una medida viable y beneficiosa, no solo desde el punto de vista técnico y económico, sino también en términos de sostenibilidad ambiental y contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras clave del autor: eficiencia energética, costos de inversión, energía solar, producción energética renovable



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

Currently, companies seek innovation and the implementation of sustainable alternatives in their production processes to comply with regulations, add competitive advantages, and contribute to their communities. This research focuses on evaluating the technical and economic feasibility of implementing a grid-connected photovoltaic system at the Cazaderos plant in Piñas. Through a comprehensive analysis, various aspects are investigated, starting with a detailed examination of the current situation of the plant, including its production processes and energy demand. Subsequently, an exhaustive technical analysis is carried out, assessing the availability of solar resources in the region, the infrastructure for the installation of solar panels, and possible optimizations to maximize energy efficiency. Additionally, a thorough economic analysis is conducted, covering everything from initial investment costs to projected revenues derived from the sale of excess energy to the power grid. The results obtained indicate that the plant has favorable solar resources and an adequate area for the installation of panels, and that the project is financially profitable over time. In conclusion, this study provides solid evidence that the implementation of the photovoltaic system at the Cazaderos plant is a viable and beneficial measure, not only from a technical and economic standpoint, but also in terms of environmental sustainability and contribution to sustainable development goals.

Author Keywords: energy efficiency, investment costs, solar energy, renewable energy production



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Introducción.....	9
2. Estado del Arte y Fundamentos teóricos.....	10
2.1. Estado del Arte	10
2.2. Fundamentos Teóricos.....	13
2.2.2. Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	13
2.2.3. Sistema fotovoltaico aislado.....	15
2.2.4. Radiación Solar	15
2.2.5. Celda Fotovoltaica	17
2.2.6. Modulo Fotovoltaico.....	17
2.2.7. Planta de beneficio o recuperación mineral	17
2.2.8. Factibilidad	18
3. Metodología.....	18
4. Desarrollo del estudio	20
4.1. Fase 1: Análisis de Estado Actual y potencial energético.....	20
4.1.1. Estado actual de la planta.....	20
4.1.1.1. Área de trituración	21
4.1.1.2. Trituración Primaria.....	21
4.1.1.3. Trituración Secundaria	22
4.1.1.4. Área de Molienda	22
4.1.1.5. Área de Flotación	23
4.1.2. Potencial Energético.....	24
4.2. Fase 2: Área Disponible y condiciones de Instalación.....	26
4.2.1. Área disponible	26
4.2.1.1. Distribución de paneles	26
4.2.2. Condiciones de Instalación	27
4.2.2.1. Cálculo de inclinación de paneles solares en invierno.....	27
4.2.2.2. Base para montaje de los paneles solares.....	29
4.2.2.3. Sistema de seguridad.....	30
4.3. Fase 3: Análisis de Demanda Energética	31
4.4. Fase 4: Diseño y análisis económico.....	33
4.4.1. Diseño	33
4.4.1.1. Paneles solares.....	33
4.4.1.2. Potencia del sistema y cálculo del inversor	35
4.4.1.3. Sección del inversor	35

4.4.1.4.	Selección del Contador	37
4.4.1.5.	Cableado.....	38
4.4.1.6.	Perdidas del sistema.....	42
4.4.1.7.	Diagramación de montaje de los paneles solares	45
4.4.1.8.	Diagramación de cableado.....	46
4.4.2.	Análisis Económico.....	47
4.4.2.1.	Ingresos del sistema fotovoltaico	48
4.4.2.2.	Índices Económicos	51
5.	Resultados y Discusión	52
6.	Conclusiones	57
7.	Recomendaciones	58
8.	Referencias.....	¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras

Figura 1 Elementos de un sistemas conectado a la red	14
Figura 2 Tipos de radiacion	16
Figura 3 Fases de la metodología	19
Figura 4 Distribucion general de la planta	20
Figura 5 Distribucion de los elementos en el área de trituración	21
Figura 6 Distribución de los elementos en el área de molienda	23
Figura 7 Distribución de los elementos en el área de flotación.....	24
Figura 8 Variación de la irradiación solar durante todos los meses en comparativa con otros años.....	25
Figura 9 Área de la cubierta en la planta cazaderos	26
Figura 10 Condiciones óptimas de instalación	27
Figura 11 Análisis de perdidas con las condiciones de planta con el software PVGIS	28
Figura 12 Análisis de perdidas con las condiciones de planta con el software PVsyst.....	29
Figura 13 Base para montaje de paneles solares.....	30
Figura 14 Comparación de la producción y la demanda mensual a lo largo de un año.....	33
Figura 15 Panel Solar JKM420N-54HL4-V	34
Figura 16 Inversor MAC25KTL3-XL	36
Figura 17 Medidor AC40.0-300.0	37
Figura 18 Conexión de paneles en serie	38
Figura 19 Conexión de paneles en paralelo.....	39
Figura 20 Distribución de los paneles solares sobre la cubierta de la planta cazaderos.....	46
Figura 21 Canciones de los paneles solares hacia cada inversor.....	47

Índice de tablas

Tabla 1 Irradiación Solar en la Planta Cazaderos	25
Tabla 2 Análisis de la producción y demanda.....	32
Tabla 3 Cableado del inversor 2	39
Tabla 4 Cableado del inversor 3	39
Tabla 5 Cableado del inversor 4	41
Tabla 6 Cableado del inversor 5	41
Tabla 7 Resumen del cableado total	42
Tabla 8 Pérdidas totales del sistema.....	45
Tabla 9 Costos de los elementos del sistema fotovoltaico	47
Tabla 10 Ingresos mensuales del sistema fotovoltaico	48
Tabla 11 Ingresos durante el periodo de vida del sistema.....	49
Tabla 12 Ingresos netos del sistema durante su vida útil	51
Tabla 13 Índices económicos del proyecto	51
Tabla 14 Análisis de factores determinantes para la factibilidad del sistema.....	51

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia especialmente a mis padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional y amor constante han sido mi mayor fortaleza a lo largo de este camino académico.

Asimismo, deseo extender mi gratitud al gerente de la empresa Coreacorp, el ingeniero Cristhian Romero Duran, y al ingeniero Gabriel Romero, por su generosidad al proporcionarme los datos necesarios para el desarrollo de este trabajo. Su colaboración fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

No puedo dejar de mencionar el invaluable acompañamiento y orientación brindados por mi tutor, el PhD. Pablo Andrés Flores Zeguenza. Su experiencia, paciencia y dedicación fueron fundamentales para enriquecer este proceso de titulación y llevarlo a buen término.

A todos ellos, mi más profundo agradecimiento por su contribución y apoyo en este importante logro académico.

1. Introducción

La necesidad imperante de abordar el cambio climático y promover la sostenibilidad ha impulsado la búsqueda de soluciones innovadoras en el ámbito energético (Michael Grubb, 2023). En este contexto, la energía solar fotovoltaica se ha posicionado como una alternativa clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (Sarayu Vunnam et al., 2023). La planta Cazaderos, ubicada en la ciudad de Piñas, se erige como un punto focal en esta búsqueda, representando un sector industrial donde la energía desempeña un papel crucial en sus procesos de producción. Ante este escenario, surge la necesidad de evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en dicha planta.

Además, según Nickolas Pappas (2023), los países latinoamericanos están priorizando cada vez más la implementación de sistemas de energía renovable dentro de las empresas para abordar las preocupaciones ambientales y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Por otro lado, La Ley Orgánica de Competitividad Energética en Ecuador contempla la implementación de incentivos para promover la eficiencia energética y la generación de energía renovable, dichos incentivos a futuro podrían tener más rentabilidad para la empresa en su proyecto.

Los estudios de factibilidad según Deepak Kumar (2022) son esenciales como herramientas para la toma de decisiones, ayudando a los inversores a determinar la viabilidad de sus proyectos. Estos estudios ayudan a evaluar diversos aspectos, como consideraciones financieras, requisitos de inversión, posibles limitaciones e impactos sociales.

Por otra parte, promover iniciativas de energía renovables contribuye a los ODS, especialmente a los números 7 “Energía asequible y no contaminante” y 13 “Acción por el clima”. Los cuales se han convertidos en herramientas agregadas de valor para las empresas que buscan mejorar sus procesos productivos, competitividad, sostenibilidad.

El presente estudio aspira a adentrarse en esta evaluación exhaustiva, explorando diversos aspectos que van desde la disponibilidad de recursos solares en la región hasta el análisis detallado de los costos y beneficios asociados con la instalación de la infraestructura fotovoltaica. En primer lugar, se abordará la situación actual de la planta Cazaderos, examinando sus procesos de producción y consumos energéticos para comprender plenamente sus necesidades y potenciales áreas de mejora. A continuación, se profundizará en el análisis técnico, evaluando el potencial solar del lugar, la infraestructura disponible para

la instalación de paneles solares y la optimización de su disposición para maximizar la eficiencia energética.

Por otro lado, se llevará a cabo un análisis económico minucioso, que incluirá la estimación de costos de inversión, los ahorros potenciales en la factura energética. Este análisis no solo considerará los aspectos financieros a corto plazo, sino que también proyectará los beneficios a lo largo del ciclo de vida útil del sistema fotovoltaico, proporcionando una visión integral de su rentabilidad a largo plazo. En última instancia, el estudio buscará integrar estos hallazgos para ofrecer recomendaciones concretas sobre la viabilidad y potencialidades de implementar la energía solar fotovoltaica en la planta Cazaderos, contribuyendo así a un futuro más sostenible y resiliente en la industria de Piñas y más allá.

1.1. Objetivo General

- *Desarrollar* un estudio para evaluar la Factibilidad Técnica y Económica de la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la planta Cazaderos, ubicada en la ciudad de Piñas.

1.2. Objetivos Específicos

- *Analizar* la situación actual de la planta de beneficio Cazaderos junto con los niveles de radiación Solar que se han tenido en la zona donde se ubicara el sistema fotovoltaico.
- *Determinar* el área disponible para la instalación de los paneles y las condiciones de instalación.

2. Estado del Arte y Fundamentos teóricos

2.1. Estado del Arte

En la investigación realizada por Sánchez y Gil (2016) en la Universidad Tecnológica de Pereira, se explica cómo se puede producir energía con un gasto reducido mediante un mecanismo fotovoltaico. Este examen enfatiza que los sistemas fotovoltaicos interconectados con la red funcionan de manera efectiva tanto a pequeña como a gran escala. Según García Rodríguez (2019), en el estudio de evaluación se determinó que el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial de una iniciativa fotovoltaica vinculada a la red en la institución COINGEL, con una producción de energía de 180 kW/h al mes y un capital inicial de 2514,77 dólares sin incluir los gastos de instalación, se estima en 11,6 años. Además, la investigación

indica que la vida operativa del proyecto se estima en unos 25 años (Sánchez Guevara y Franco Gil, 2016).

El estudio anterior destaca que estas iniciativas no solo son factibles desde un punto de vista técnico y financiero, sino que también tienen una influencia favorable en la preservación del medio ambiente. Una investigación particular llevada a cabo en Colombia, que se centró en la viabilidad técnica y financiera de implementar sistemas fotovoltaicos conectados a la red, subraya que, a pesar de que la energía solar ha sido objeto de estudio durante muchos años, su aplicación práctica es relativamente reciente. Esta forma de energía se distingue por su respeto al medio ambiente y su capacidad para reducir notablemente los gastos relacionados (Rodríguez Sánchez y Serrano Botello, 2021). Los expertos observaron que las condiciones climáticas representan un desafío para estas empresas. Además, realizaron una evaluación financiera que arrojó un beneficio claro de 2392,55 dólares durante un período de 7 años después de la instalación. Es fundamental destacar que este proyecto específico es de pequeña escala y consta de 15 paneles, cada uno con una potencia nominal individual de 415 W (Rodríguez Sánchez y Serrano Botello, 2021).

Carrillo Soto (2018) analiza la viabilidad técnica y económica de implementar un sistema fotovoltaico debido al alto costo de la electricidad. Los factores clave a considerar en este tipo de proyectos incluyen la temperatura, el área, el polvo, la suciedad, el clima y el brillo solar. La investigación indica que el nivel de producción de energía depende del espacio disponible para montar los paneles solares (techo o techo), lo que cubre el 50% del consumo de energía de la planta. El análisis financiero reveló ahorros por valor de 13096,54 dólares, con un retorno de la inversión de alrededor de 6 años.

En la Universidad Francisco de Paula Santander (Colombia), se hace hincapié en la necesidad de determinar la ubicación precisa de la instalación del sistema a fin de adquirir datos meteorológicos específicos para las simulaciones. Se recomienda calcular el ángulo de inclinación del panel, utilizando el programa PVSol para verificar los datos meteorológicos (Jaimes Santander, 2019).

En Cuba, un estudio realizado por (Babkir Sm Ali et al., 2023)Gallego Landera (2018) destaca las energías renovables como la alternativa futura, debido a que estas reducen las emisiones de CO₂ disminuyen la dependencia de los productos derivados del petróleo para la generación de electricidad. El sistema analizado incluía 3.780 módulos fotovoltaicos de silicio (mono o policristalinos) con una potencia de 250 Wp y tolerancia positiva, 60 inversores SMA con 17 kW de potencia, un rango operativo de 400 a 800 V o una eficiencia similar, además,

de componentes adicionales para la conectividad y el funcionamiento del sistema. El sistema ocupa una superficie de 5.703 metros cuadrados y recibe una radiación media de 5 kW h/m² al día, lo que se traduce en una producción de energía de 1.561 MW.h/año.

Por otro lado, Caicedo y Torres (2020) coinciden con los autores antes mencionados sobre la evaluación técnica ambiental, ya que, este tipo de sistema reduce la emisión de CO₂ y que la mayor cantidad de energía que pueden captar los paneles solares se dan cuando estos se encuentran ubicados de forma perpendicular a los rayos del sol, esto indica que es un factor importante la ubicación y los grados de inclinación de los mismos, igualmente, expresan que la durabilidad de estos sistemas de aproximadamente de 25 años.

En la planta de San Gabriel de la empresa Alpina Ecuador, situada en la ciudad de Ibarra, se considera la viabilidad de introducir un sistema de energía fotovoltaica. Según la información proporcionada, la implementación de este sistema ha generado un ahorro del 50 % en el consumo de energía eléctrica, que antes constituía uno de los costos diarios más elevados para la empresa. A partir de estos resultados, se ha llegado a la conclusión de que existe una sólida viabilidad y factibilidad financiera para la ejecución del sistema, lo que permitiría la recuperación de la inversión inicial realizada (Pambi Toapanta, Gustavo Andrés, 2023).

Mientras tanto, Sánchez y Cabrera (2016) expresan que la viabilidad de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el edificio 15A de la FIEC de la ESPOL (Ecuador), mostró resultados negativos, es decir, el proyecto no es viable debido a que la tarifa para abonados especiales es muy baja en comparación a la tarifa industrial para el resto del país. Este proyecto tiene un período de recuperación de 22 años, lo cual es menor que la vida útil promedio de un sistema fotovoltaico. Sin embargo, no se considera viable debido a que la tasa interna de retorno es inferior al 7%.

En la provincia de El Oro, se han llevado a cabo investigaciones similares en diversas áreas de producción, como la industria camaronera. De manera análoga a los hallazgos de Carrillo y Alonso, estos estudios concluyen que la implementación de sistemas fotovoltaicos no solo reduce costos, sino que también potencia la competitividad de los sectores productivos. Los resultados de estas investigaciones indican que los sistemas fotovoltaicos son capaces de generar una proporción significativa de la energía eléctrica requerida por las industrias. Además, señalan que el costo de inversión por cada kW de esta tecnología es de \$415,8, lo cual se traduce en un precio competitivo. Este aspecto, junto con la madurez alcanzada por esta tecnología en los últimos años, se revela como un factor crucial para la pronta recuperación de la inversión (Pesantez et al., 2021). Por otro lado, la potencia de los paneles

fotovoltaicos depende de la radiación solar incidente sobre los mismos, en el cantón Santa Rosa provincia de El Oro donde fue realizado este estudio se tiene una radiación promedio a cierta temperatura la cual es de 1000 W/m^2 y 25°C .

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1. Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica se refiere a la energía eléctrica que se genera mediante la conversión de la radiación solar utilizando células fotovoltaicas. Estas células, compuestas de materiales semiconductores como el silicio, emiten electrones cuando se exponen a la luz. Posteriormente, estos electrones se aprovechan para generar electricidad dentro de un circuito cerrado (Yang Shuo et al., 2020). Existen dos tipos de sistemas fotovoltaicos, conectado a la red y el sistema aislado que necesita un subsistema de almacenamiento de energía (baterías). Los sistemas de energía fotovoltaica están compuestos principalmente por módulos fotovoltaicos, inversor, contador de entrada y salida y finalmente concesiones (Ronald Ezequiel, 2022).

2.2.2. Sistema fotovoltaico conectado a la red

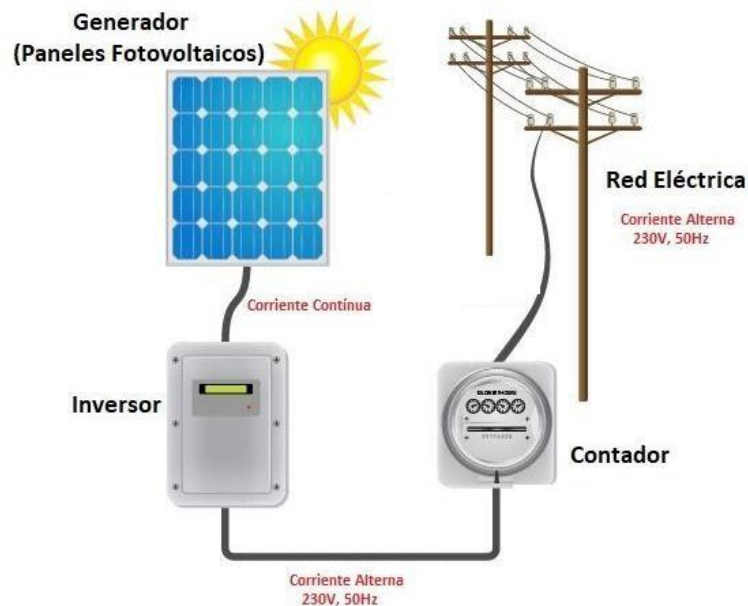
Un sistema fotovoltaico que está conectado a la red eléctrica es una técnica que produce energía eléctrica a partir de la luz solar mediante el uso de paneles fotovoltaicos y la introduce en la red eléctrica. El sistema comprende varios elementos, como paneles fotovoltaicos, un convertidor CC/CC, un inversor CC/CA y una conexión a la red (Shaofei Zhu y Chao Hu, 2022).

Elementos del sistema

En la Figura 1 se observa los elementos que conforman un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Figura 1

Elementos de un sistemas conectado a la red



Nota. Fuente: (López y Guerrero, 2023)

Paneles Solares

Un panel solar es un mecanismo que transforma la luz solar en energía eléctrica mediante el uso del fenómeno fotovoltaico. Por lo general, implica un marco que incorpora numerosos niveles, donde se colocan los paneles solares (Emerson Eric J, 2020). Ciertos paneles solares utilizan células fotovoltaicas concentradas (CPV) fijadas a una placa base, junto con concentradores ópticos, para transformar la luz directa en energía eléctrica. Además, estos paneles incorporan células fotovoltaicas (PV) para convertir la luz indirecta en electricidad (Arcand Sébastien, 2020).

Inversor

En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos (PV), la utilización de un inversor es esencial para convertir la corriente continua producida por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna que puede introducirse en la red eléctrica. El papel de los inversores es de suma importancia, ya que, son responsables de garantizar la calidad de la energía y la eficacia general de los sistemas fotovoltaicos. Estos dispositivos aportan energía a la red en presencia de una fuente renovable, pero permanecen inactivos durante períodos

intermitentes o cuando no hay generación de energía, lo que reduce el rendimiento del sistema (Manuel Flota-Bañuelos et al., 2023).

Contador

En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos, la utilización de un regulador o medidor de corriente es imprescindible para regular eficazmente el intercambio de energía entre la red y el inversor fotovoltaico, resumidamente se encarga de contar cuanta energía entra o sale del sistema. Para garantizar un control óptimo de la corriente dentro de estos sistemas se emplean una variedad de métodos y tecnologías de control. Entre estos métodos se encuentra la implementación del control resonante proporcional (PR), que es capaz de alcanzar una ganancia infinita a una frecuencia específica, lo que resulta en la erradicación total del error de estado estacionario (Peng Mao et al., 2021).

Red eléctrica principal

La red eléctrica principal funciona como el sistema fundamental que transporta y difunde energía eléctrica a viviendas residenciales y establecimientos comerciales. Su función principal consiste en garantizar la accesibilidad, la fiabilidad y la constancia del suministro eléctrico, en un sistema fotovoltaico sirve para descargar la energía producida por el sistema fotovoltaico (Guosheng Li et al., 2021).

2.2.3. Sistema fotovoltaico aislado

Un sistema fotovoltaico independiente es un sistema autónomo diseñado específicamente para entregar energía confiable y económicamente eficiente a ubicaciones distantes. Se compone de varios convertidores de potencia, como un convertidor elevador entrelazado aislado, un convertidor de corriente bidireccional de baja ondulación y un inversor de fijación de punto neutro tipo T de 3 niveles (Leandro Carretero et al., 2022).

2.2.4. Radiación Solar

La radiación solar que emana el Sol impregna la atmósfera terrestre con una intensidad significativamente menor de aproximadamente 1360 vatios por metro cuadrado, lo que puede atribuirse a la considerable distancia entre el Sol y la Tierra. Una vez que la radiación antes mencionada es sometida a la atenuación por parte de la capa atmosférica, se estima que la radiación presente en la superficie terrestre es de alrededor de 1000 W/m (Aparicio, 2020).

Se delinean tres categorías distintas de radiación solar en función de la manera en que los rayos solares se cruzan con la extensión de la Tierra:

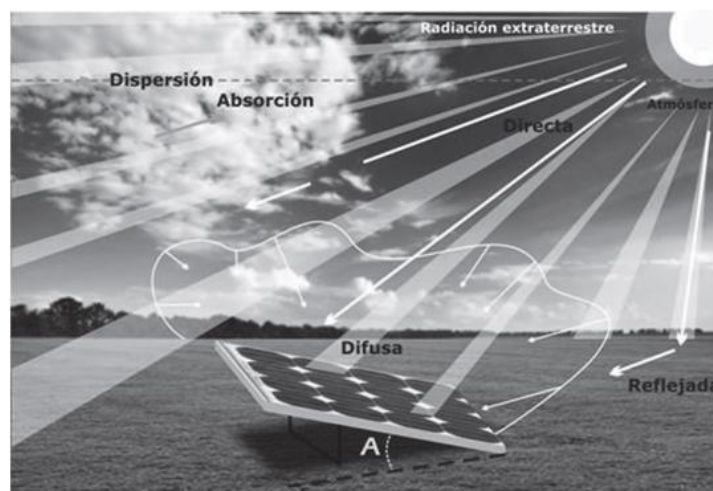
- Radiación directa: Este tipo de radiación se recibe directamente del sol sin ninguna desviación a medida que penetra en la atmósfera.
- Radiación difusa: Esta variante sufre alteraciones en su trayectoria debido principalmente a los fenómenos de reflexión y difusión dentro del dominio atmosférico.
- Albedo o radiación reflejada: Abarca la radiación solar directa y difusa que se recibe al reflejarse en el suelo u otras superficies proximales.

Entre estas tres clasificaciones, la radiación directa tiene una importancia capital en los ámbitos de las aplicaciones fotovoltaicas y fototérmicas. Sin embargo, incluso en los días nublados, cuando la radiación directa está ausente o está obstruida por diversos impedimentos la radiación solar sigue llegando a la superficie de la tierra debido a la presencia de radiación difusa. Estos días específicos se denominan días de radiación solar disminuida (Aparicio, 2020).

En consecuencia, la cantidad total de radiación solar es la culminación de todos los tipos de radiación antes mencionados. En Ecuador debido a que existen altos niveles de irradiación con un promedio diario de 4,2 kWhm⁻² (Velasco y Cabrera, 2014). En la Figura 2 se muestra los tipos de radiación que llega a la tierra y cual absorbe el panel solar.

Figura 2

Tipos de radiacion



Nota. Fuente: (Aparicio, 2020)

2.2.5. Celda Fotovoltaica

Las células solares están compuestas por la misma categoría de materiales semiconductores, como el silicio, que se utilizan en la industria de la microelectrónica. En el caso de las células solares una rejilla semiconductor delgada se procesa específicamente para generar un campo eléctrico, positivo por un lado y negativo por el otro. Al llegar la energía luminosa a la célula solar, los electrones impactan y se desprenden de los átomos que pertenecen al material semiconductor. Al colocar conductores eléctricos en los polos positivos y negativos de la red constituyen un circuito eléctrico, los electrones pueden capturarse en forma de corriente eléctrica, es decir, electricidad. Posteriormente, esta electricidad se puede emplear para proporcionar energía a una carga, por ejemplo: iluminando una luz o activando un dispositivo (Gil Knier, 2013).

2.2.6. Modulo Fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico se refiere a una configuración de múltiples células solares que están interconectadas eléctricamente y fijadas a una estructura o marco de soporte. Estos módulos están diseñados específicamente para ofrecer un nivel de voltaje específico, similar al de un sistema típico de 12 voltios. La magnitud de la corriente generada depende del grado de iluminación que penetra en el módulo (Gil Knier, 2013).

2.2.7. Planta de beneficio o recuperación mineral

Es un establecimiento destinado a la recuperación de minerales valiosos de materiales de desecho o minerales no deseados (Sunita Routray et al., 2021). Estos establecimientos emplean una variedad de pasos para la recuperación mineral como:

- **Trituración.**

En la disminución del tamaño de la roca provenientes de la minería, este proceso se la realiza mediante trituradoras (Gobierno de México, 2017).

- **Molienda**

Este proceso se encarga de la reducción del tamaño de partículas relativamente gruesas proporcionas después del proceso de trituración, esto se efectúa mediante un molino de bolas (Gobierno de México, 2017).

- **Flotación**

El tratamiento de flotación cumple con la función de separar minerales mediante un proceso físico-químico complejo utilizando reactivos, esta técnica se la realiza con un acondicionador, celda circulares y celdas Denver (Gobierno de México, 2017).

2.2.8. Factibilidad

La factibilidad abarca la medida en que el logro de un objetivo particular está dentro del ámbito de lo posible, o la probabilidad de lograr con éxito dicho objetivo.

- **Factibilidad Técnica**

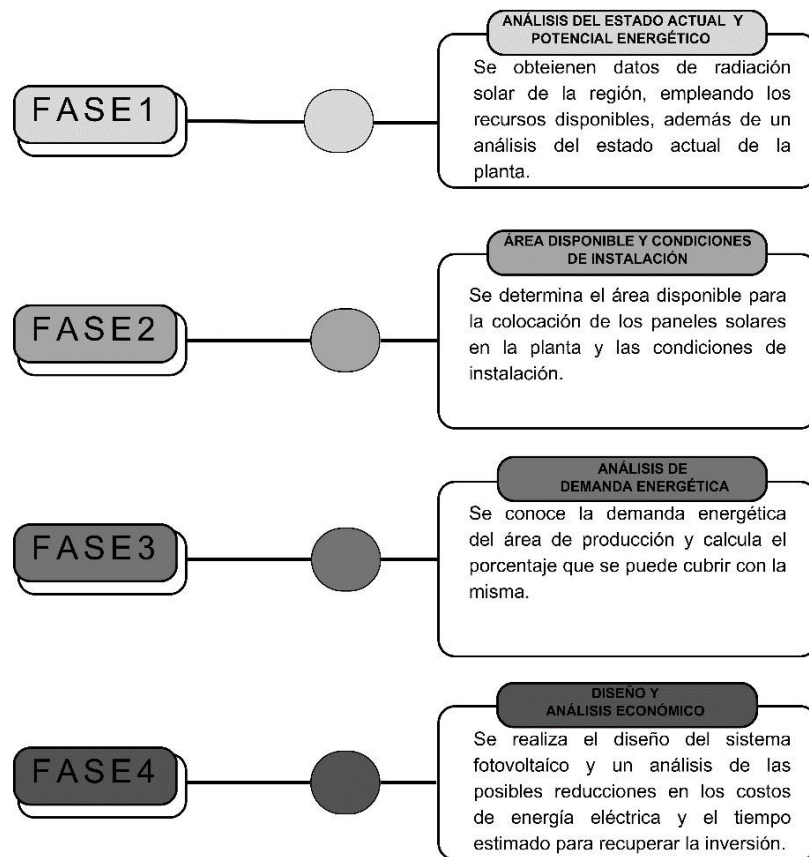
El concepto de viabilidad técnica se refiere, a la evaluación de si una tecnología o procedimiento específico puede ejecutarse y operarse de manera efectiva. Esto implica la evaluación de la practicidad, la funcionalidad y la viabilidad de una resolución o innovación propuesta (Israel Rodríguez-Fernández et al., 2021).

- **Factibilidad Económica**

El concepto de viabilidad económica menciona a la evaluación de la viabilidad financiera y la rentabilidad de una empresa o negocio en particular. Este proceso implica analizar los gastos y las ventajas vinculados a dicha empresa y determinar si las posibles ganancias justifican la asignación de recursos (Jean Bosco Samon, 2022).

3. Metodología

Para la implementación de este proyecto, se utilizará la metodología delineada en la Figura 3, que ilustra las diversas facetas que se incorporarán en el desarrollo del proyecto.

Figura 3*Fases de la metodología*

Nota. Fuente: Autor

Para evaluar la factibilidad de implementar un sistema fotovoltaico en la Planta de Benéfico Cazaderos, que se dedica a la recuperación mineral, teniendo en cuenta la siguiente metodología. Se inicia con el análisis del estado actual de la planta y del potencial energético de la zona, en donde, se obtendrán datos de radiación solar de la región empleando los recursos disponibles como los de irradiación que nos brinda la NASA o con el software PVSol o Censol 5. A continuación, se determinará el área disponible para la colocación de los paneles solares en la planta y las condiciones de instalación como: grados de inclinación y ubicación respecto al sol que tendrá el estudio, para ello, se debe analizar la cubierta de la planta y conocer las dimensiones de la misma, así como la inclinación que tiene la cubierta y la dirección respecto al sol de su inclinación. El siguiente paso es analizar el consumo de energía en el área de producción de la Planta Cazaderos, a partir de esto, calcular el porcentaje de demanda energética que podemos cubrir con el sistema fotovoltaico. Luego, se procederá al diseño del sistema fotovoltaico, incluyendo el cálculo del número de paneles

solares necesarios, el modo de conexión óptimo y la selección del inversor más adecuado. Finalmente, se realiza un análisis de las posibles reducciones en los costos de energía eléctrica y el tiempo estimado para recuperar la inversión, concluyendo con la evaluación de la factibilidad de implementar este sistema en la Planta Cazaderos. Además, se analizará los factores más importantes para determinar la factibilidad del proyecto.

4. Desarrollo del estudio

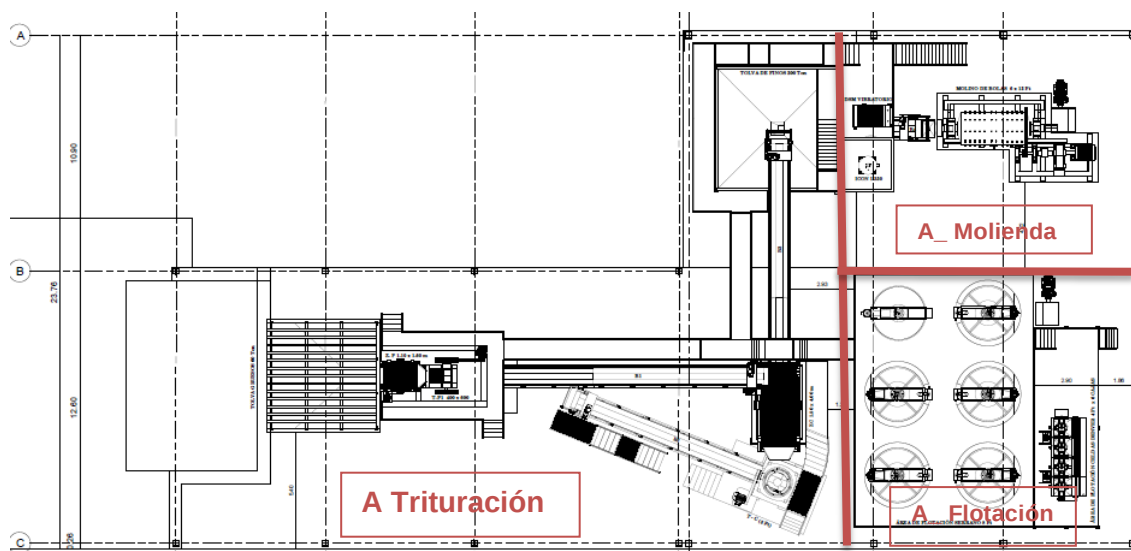
4.1. Fase 1: Análisis de Estado Actual y potencial energético

4.1.1. Estado actual de la planta

La planta de Cazaderos es una empresa que se centra en la recuperación de minerales y emplea una metodología holística para el procesamiento efectivo de los minerales. El marco operativo de la organización gira en torno a tres procedimientos clave: trituración, trituración y flotación, como se ilustra en la planta de producción de la empresa en la Figura 4. Cada uno de estos procedimientos inicia una secuencia de medidas particulares que mejoran la eficiencia general de la operación.

Figura 4

Distribucion general de la planta



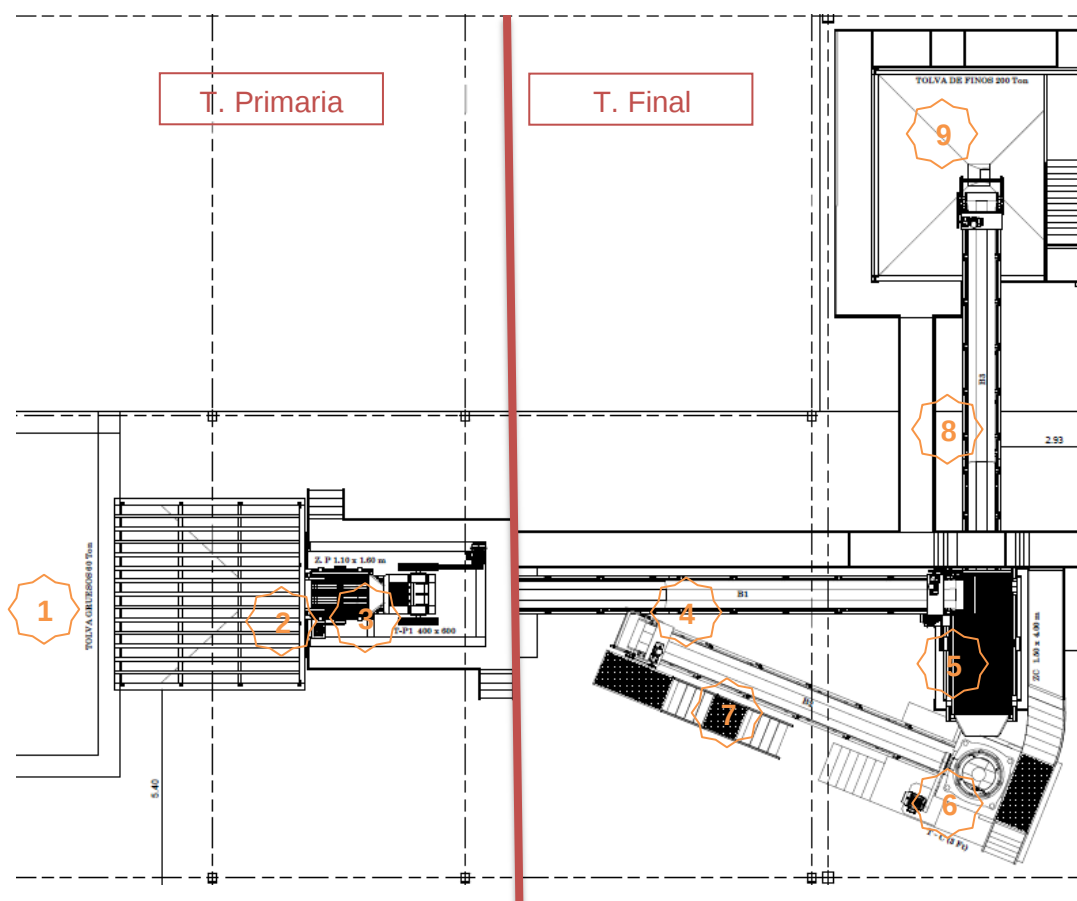
Nota. Fuente: Coreacorp, Autor

4.1.1.1. Área de trituración

El área se divide en dos subregiones, a saber, la trituración primaria y la trituración final, que comprenden el procedimiento de trituración completo. Dentro de este procedimiento, su función consiste en disminuir las dimensiones de las rocas obtenidas de la minería.

Figura 5

Distribucion de los elementos en el área de trituración



Nota. Fuente: Coreacorp, Autor

4.1.1.2. Trituración Primaria

El proceso comprende tres componentes, tal como se indica en la Figura 5. El componente inicial, denominado número 1 en la etiqueta de la Figura 5, incluye una tolva de grano grueso con una capacidad de almacenamiento de 60 toneladas. Se utiliza para el almacenamiento de rocas que contienen minerales que se transportan desde la mina. Posteriormente, el segundo componente es la criba principal, que se encarga de clasificar las rocas aptas para su transferencia a la máquina siguiente. Estas rocas tienen un tamaño máximo de 350 mm

representando el límite superior de la capacidad de alimentación de la trituradora. Por último, la trituradora de mandíbulas es responsable de reducir el tamaño de la roca a un rango entre 35 y 85 mm.

4.1.1.3. Trituración Secundaria

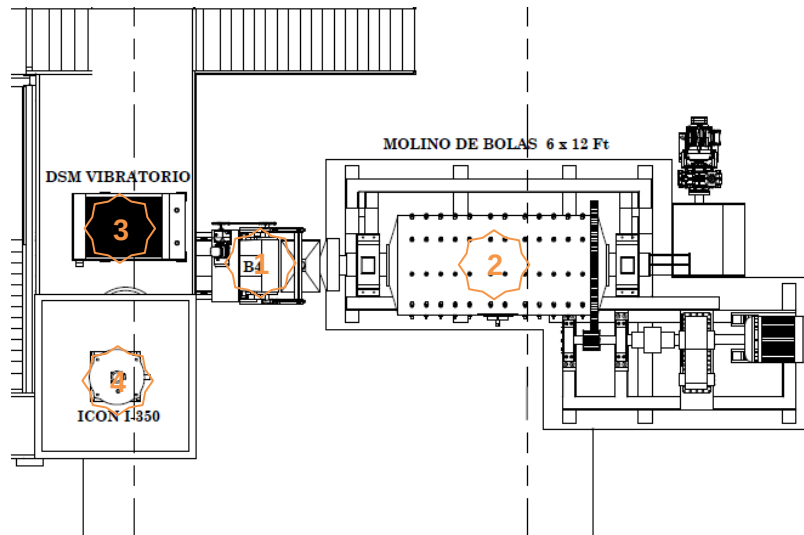
Este proceso se compone de 6 elementos que desempeñan un papel crucial dentro del proceso general. El elemento número 4, como se muestra en la Figura 5, funciona como una banda transportadora que se encarga de transportar las rocas descargadas desde la etapa de trituración primaria hasta la criba final, denominada elemento 5 en la Figura 4. Este último solo permite el paso de rocas con un espesor inferior a 20 mm, que luego se acumulan en el elemento 9 el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 200 toneladas, que sirve para almacenar las rocas clasificadas para facilitar la alimentación de la zona de molienda. Las rocas que no cumplan los criterios de selección descenderán al elemento 6, identificado como una trituradora cónica responsable de disminuir el tamaño de las rocas no calificadas a las medidas requeridas. Tras el proceso de trituración, estas rocas pasan por el elemento 4, la cinta transportadora principal, para pasar otra ronda de cribado por la zaranda antes de ser almacenadas en la tolva finos.

4.1.1.4. Área de Molienda

En la zona de molienda, ilustrada en la Figura 6 con 4 aparatos, destaca el molino de bolas con una capacidad diaria de 200 toneladas al día. Este molino es alimentado con la cinta transportadora que se muestra con el número 1, se encarga de transportar los materiales desde la tolva de finos hasta el elemento 2 para molerlos hasta obtener arena. Posteriormente, el fluido resultante que es la arena combinada con agua, el cual pasa al ICON que está marcado con el número 4, este funciona como un concentrador centrífugo de oro para refinar oro libre muy fino. Tras esta operación, una parte del oro se segrega y el fluido restante va hacia la parte número 3, donde existen 2 hidrociclones y un DCM vibratorio para los cuales se encargan de clasificar el material, el fino va hacia una caja recolectora que lo almacena hasta ser bombeado para el siguiente proceso y grueso regresa hacia el molino.

Figura 6

Distribución de los elementos en el área de molienda



Nota. Fuente: Coreacorp, Autor

4.1.1.5. Área de Flotación

Esta área desempeña un papel crucial en la separación de los minerales valiosos de los materiales no deseados. El procedimiento fisicoquímico implica la creación de burbujas de aire para facilitar la flotación de los minerales seleccionados y, al mismo tiempo, descartar los no deseados sementándolos en el fondo de las celdas de flotación (Cui y Chen, 2021). En la Figura 7 se muestra la distribución del área de flotación.

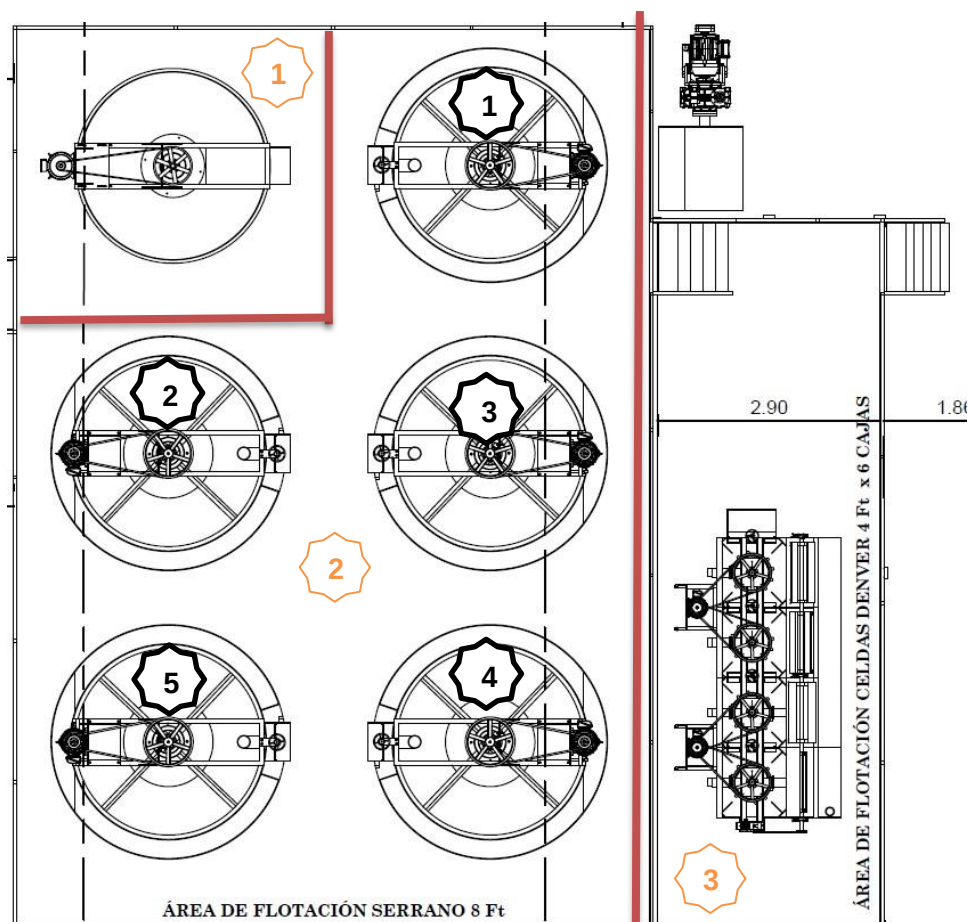
Esta región tiene 3 partes las cuales están conformadas por un proceso de preparación, el cual se encarga de homogenizar el fluido. Además, se agregan químicos para luego pasar a las celdas donde el material es flotado mediante. La segunda parte esta conforma por 5 celdas serranas las de las cuales la número 1 recibe directamente el material del tanque acondicionador, en esta celda se agregan químicos que provocan que los metales preciosos reaccionen flotando, dando a si la salida al concentrado que es una mezcla de arena y materiales preciosos, por otra parte la celda descarta la arena residual llamada relave hacia la celda 2 y esta repite el proceso dando como resultado un relave con menos minerales, luego este relave es flotado nuevamente en la celda 3, donde se obtiene un relave con pocos minerales por lo es transferido hacia las celdas Denver.

Estas realizan el mismo proceso, pero son más eficientes debido su tamaño, el relave de la primera celda es descartado mientras que el de la última es regresado hacia la celda serrana 4 para repetir el proceso de flotación, el relave de esta celda va hacia la última celda donde

se obtiene un el ultimo concentra y un relave de descarte casi sin minerales. El relave es almacenado en piscinas para ser desechado y el concentrado es bombeado hacia el proceso de secado y empaquetado para ser vendido.

Figura 7

Distribución de los elementos en el área de flotación



4.1.2. Potencial Energético

Según la Power una página de la NASA, en la ubicación de la planta cazaderos con coordenadas -3.700222; -79.637183, se presenta un valor promedio anual de irradiación en el año 2020 de 4.18 kWhm⁻², en el año 2021 una irradiación de 4.01 kWhm⁻² y en el año 2022 4.09 kWhm⁻² de irradiación. Esto sugiere que la irradiación solar experimentó cierta variabilidad interanual, pero en general se mantuvo dentro de un rango cercano.

En la Figura 8 se puede observar los datos de irradiación promedio durante 3 años, esto indica como varia la irradiación según los meses del año. En la Tabla 1 se muestra en HSP

más elevado del año 2020 que es en el mes de agosto con un promedio de 4.84 kWhm-2, al año siguiente el más elevado se produce en el mes de septiembre con un HSP de 4.39 kWhm-2 en él es menos al año anterior, en el año 2022 el HSP asciende a 4.8 kWhm-2.

Tabla 1

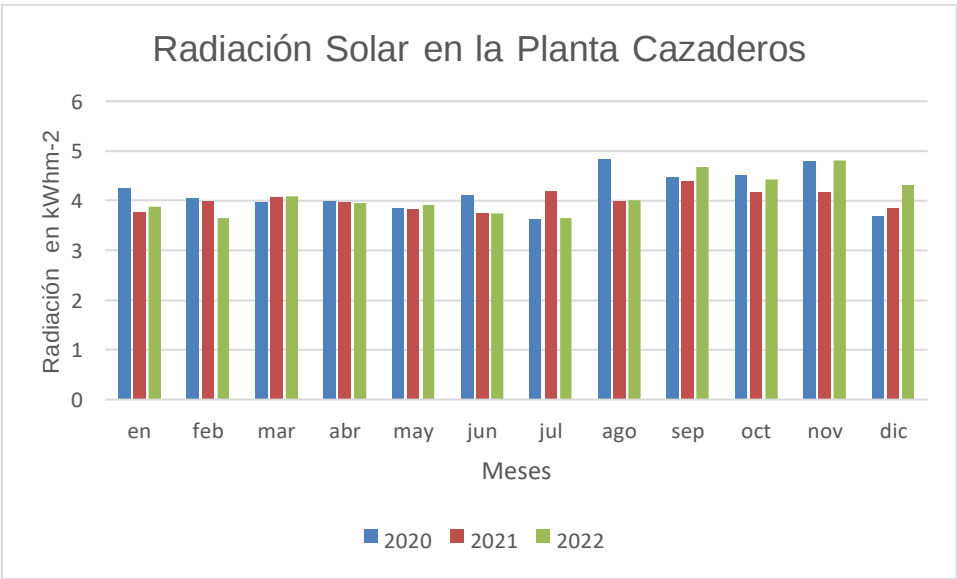
Irradiación Solar en la Planta Cazaderos

Irradiación Solar en la Planta Cazaderos													
Mes	en	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	AVG. Anual
2020	4.26	4.04	3.97	3.98	3.85	4.11	3.63	4.84	4.46	4.53	4.79	3.69	4.18
2021	3.77	3.98	4.06	3.97	3.84	3.75	4.2	3.98	4.39	4.18	4.17	3.86	4.01
2022	3.87	3.65	4.08	3.95	3.92	3.75	3.65	4	4.68	4.42	4.8	4.31	4.09

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Variación de la irradiación solar durante todos los meses en comparativa con otros años.



Nota. Fuente: Elaboración propia

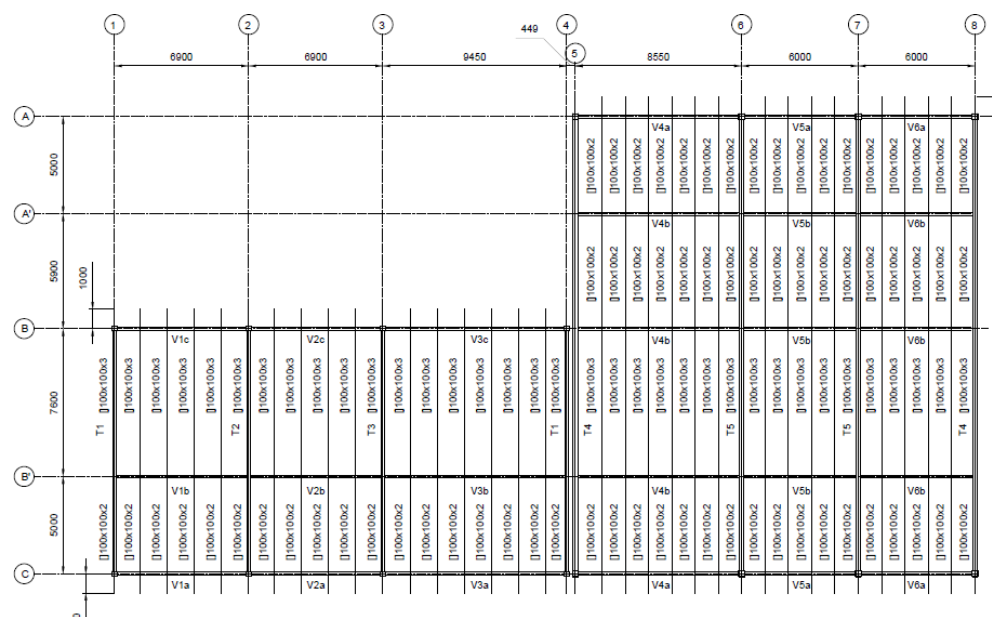
4.2. Fase 2: Área Disponible y condiciones de Instalación

4.2.1. Área disponible

En el techo de la planta cazaderos existe un área disponible de 1322 metros cuadrados para el montaje de paneles solares con una inclinación de 4 grados al Noreste. En la Figura 9 se puede observar las dimensiones correspondientes de la cubierta para realizar una correcta distribución de los paneles, así como el número de panel que se pueden colocar sobre la cubierta.

Figura 9

Área de la cubierta en la planta cazaderos



Nota. Fuente: Autor

4.2.1.1. Distribución de paneles

Los paneles solares se distribuirán en tres grupos. El grupo inicial constará de 77 paneles dispuestos en filas de 11 por 7 columnas, con un espacio de 1 metro entre las columnas para fines de mantenimiento. De los dos grupos siguientes el más grande constará de 11

paneles por 6 columnas y el más pequeño de 6 columnas por 8 paneles dando un total combinado de 191 paneles que cubrirán toda el área del techo.

4.2.2. Condiciones de Instalación

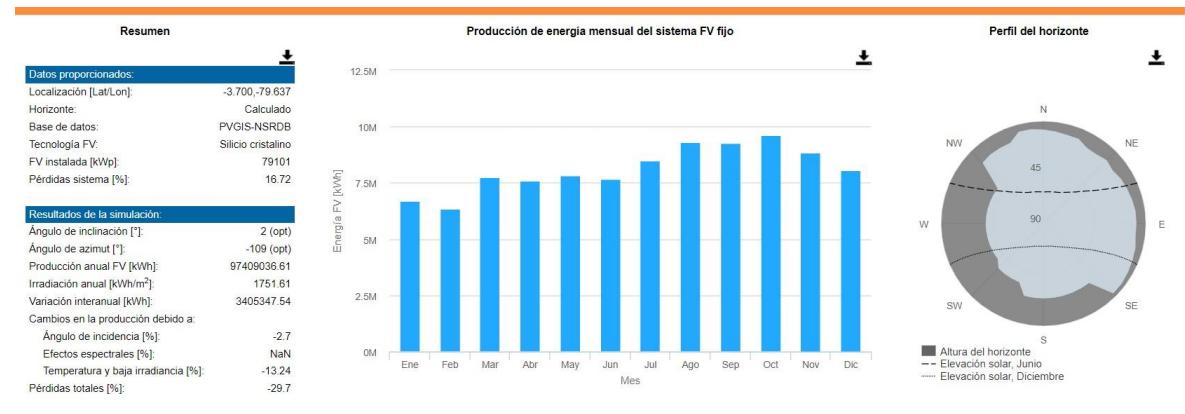
Se debe tener en cuenta principalmente la inclinación de los paneles solares. La planta cazaderos se ubica en hemisferio sur, por este motivo los expertos recomiendan que los paneles tengan una inclinación hacia el Norte. Según Aqeel R. Salih, si los paneles no varían el ángulo de inclinación durante el año, es más ventajoso tener bien ajustada para el período invernal. Esta preferencia se basa en el hecho de que el ángulo de inclinación de los paneles solares durante los meses de invierno suele ser de menor magnitud en comparación con la estación de verano, lo que lleva a una mayor adquisición de energía solar durante todo el año (Aqeel R. Salih, 2023).

4.2.2.1. Cálculo de inclinación de paneles solares en invierno.

Para determinar el ángulo de inclinación óptimo de los paneles solares en una posición fija durante todo el año se usa el software PVGIS, este nos permite observar cual sería la inclinación óptima para nuestro sistema, a continuación, en la Figura 10 se muestra los datos obtenidos.

Figura 10

Condiciones óptimas de instalación



Nota. Fuente: Autor

Según este nos indica que el ángulo de inclinación óptimo es de 2 grados de inclinación y un ángulo de azimut de -109 grados indica que la dirección del punto observado se encuentra en el cuadrante suroeste del observador.

Debido a que el techo de la planta ya está construido, este posee una inclinación de 15 grados y un ángulo azimut de 150 grados. Se calcula las perdidas por la ubicación e inclinación del techo. En la Figura 11 se observa los resultados de dicho calculo.

Figura 11

Análisis de perdidas con las condiciones de planta con el software PVGIS

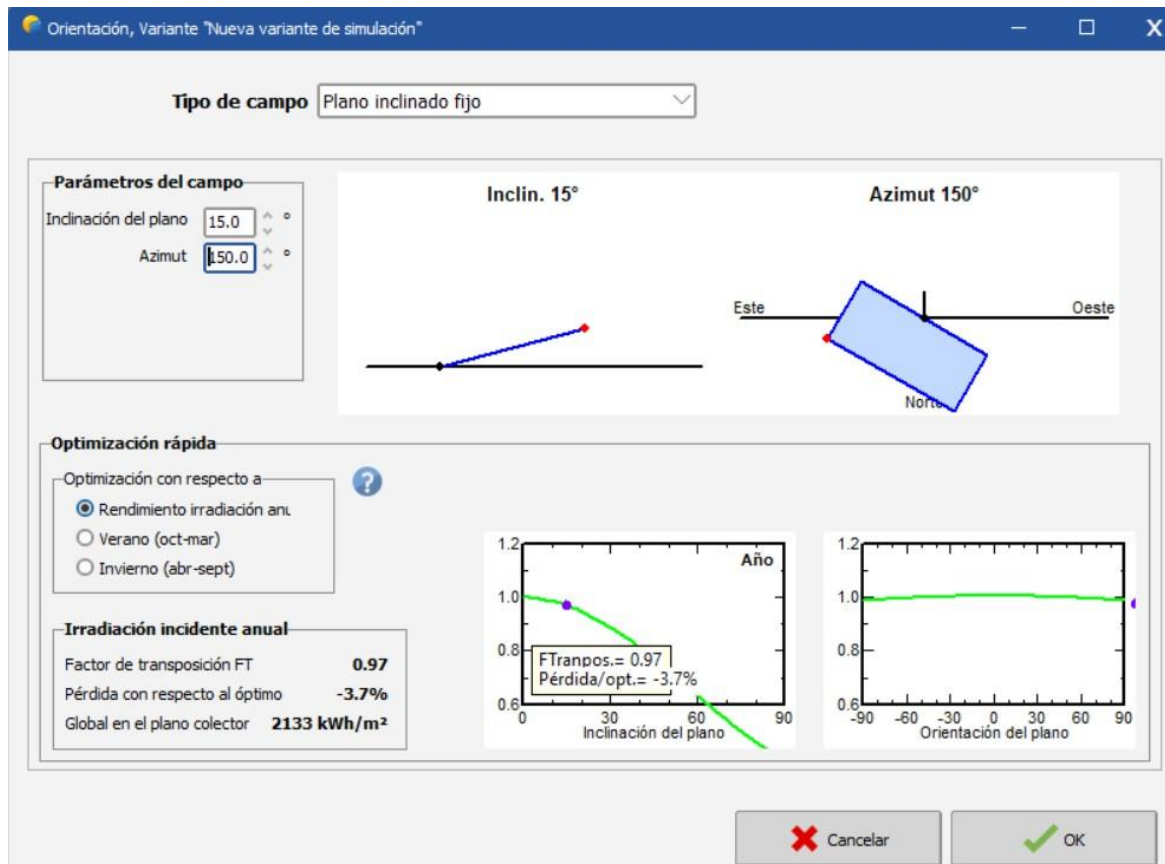


Nota. Fuente: Autor

Con los datos obtenidos de este software se observa una pérdida de 3 % por el ángulo de incidencia, debido a que el techo no tiene la orientación adecuada, además tendremos otra pérdida de 13.21% por temperatura e irradiación. Se debe mencionar que la pérdida del 3% por la orientación de los paneles solares no es un impedimento significativo para la implementación del sistema fotovoltaico, ya que se considera una pérdida relativamente baja. Según Hernández Callejo et al. (2019), las pérdidas por orientación menores al 5% generalmente se consideran aceptables y no comprometen la viabilidad de los proyectos fotovoltaicos.

Figura 12

Análisis de pérdidas con las condiciones de planta con el software PVsyst



Nota. Fuente: Autor

Realizando simulaciones de orientación con otros softwares, PVsyst indica una pérdida de 3.7 %. Esto indica que la diferencia entre un software y otro no es significativa en términos de pérdidas en un sistema fotovoltaico, esto según Hernández Callejo et al. (2019).

4.2.2.2. Base para montaje de los paneles solares

Se han diseñado varias configuraciones para permitir la instalación de paneles solares y, al mismo tiempo, garantizar que los paneles permanezcan intactos. Entre estas configuraciones se encuentran los sistemas prefabricados que contienen componentes de soporte verticales y horizontales, componentes de extensión de la superficie lateral y componentes de seguridad (Pan Zhoulín et al., 2020). En esta ocasión se elige la estructura adecuada para montar paneles sobre el techo esta tiene un precio de 71.90 dólares y se puede montar 2 panes por

cada estructura dando un costo total de 6,901.4 dólares de costo en estructuras, esta estructura se puede observar en la Figura 13.

Figura 13

Base para montaje de paneles solares



Nota. Fuente: (Autosolar, 2023)

4.2.2.3. Sistema de seguridad

Los pararrayos constituyen un componente esencial de la infraestructura de seguridad de un sistema fotovoltaico, ya que ofrecen medidas de protección durante las tormentas eléctricas. Debido a las condiciones climáticas imperantes en el lugar específico, la utilización de pararrayos se considera innecesaria (Rimbawati et al., 2022). La falta de tormentas eléctricas frecuentes en la región especificada hace innecesaria la utilización de tales medidas de seguridad. Sin embargo, está previsto implementar un mecanismo de conexión a tierra, que incluye una protección contra rayos para cada inversor, valorada en 46 dólares por unidad. Para instalar esta protección, también se necesitan cuatro varillas de cobre conectadas a tierra, con un precio de 25 dólares cada una, lo que supone un gasto acumulado de 284 dólares para este sistema.

Otro mecanismo de protección eléctrica que se encuentra dentro del sistema es la implementación de fusibles. El objetivo principal de un fusible es proteger los circuitos y aparatos eléctricos contra los daños inducidos por las sobre corrientes. Los fusibles están

diseñados estratégicamente para detener la transmisión de corriente cuando se producen niveles de corriente excesivos, evitando así cualquier deterioro de los componentes operativos del circuito (Nigel P. M. Nurse et al., 2022). La determinación de la capacidad requerida del fusible requiere un procedimiento de cálculo meticuloso que incorpore los parámetros de potencia y voltaje de entrada.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de fusibles} &= \frac{\text{Potencia de entrada}}{\text{Voltaje de entrada}} \\ \text{Capacidad de fusibles} &= \frac{100991 \text{ W}}{220 \text{ V}} \\ \text{Capacidad de fusibles} &= 459 \text{ A} \end{aligned}$$

Reconociendo que los fusibles estarán interconectados en serie, se tomó la decisión de optar por el fusible de 30 A y soportar una tensión de 220 V. Por lo tanto, se considera necesaria la presencia de 16 fusibles, incluso en los casos en que se supere la capacidad, ya que esto no altera la integridad del sistema. Cada fusible tiene un precio unitario de 7.50 dólares, lo que resulta en un costo acumulado de 120 dólares. Además, una carcasa adicional para su instalación conlleva un coste adicional de 20 dólares por caja es necesario al menos 4 cajas lo quedaría un total de 80 dólares.

Por último, es imprescindible poseer disyuntores de corriente continua y alterna, por lo que se necesitan 4 de cada categoría, cada uno adaptado a sus requisitos específicos de alimentación de corriente alterna. Los disyuntores de corriente alternan requieren 220 voltios a 87 amperios, por lo que se eligió el modelo MCB-2p de la reconocida marca Tuya Smart, con un precio de 75 dólares por unidad. Por el contrario, para los disyuntores de corriente continua, se optó por el modelo de 50 ADC, con un precio de 40,45 dólares por unidad, con un requisito de 2 por inversor para cumplir con las especificaciones de 87 amperios. En consecuencia, el coste total asciende a 622 dólares. Además, una unidad de vivienda es esencial para albergar todos estos componentes, ya que el costo unitario de esta caja es de 185 dólares, lo que arroja una suma acumulada de 1,362 dólares.

4.3. Fase 3: Análisis de Demanda Energética

El consumo de electricidad de la planta Cazaderos fue de 232717 kW en el mes de abril. La empresa se factura según la tarifa conocida como MTCGCD32 - MT con Demanda Hora Diferente, que aplica una tarifa de 0,09 USD por kW/hora. En consecuencia, el coste total mensual del consumo eléctrico asciende a 20,944,53 dólares. Una quita parte corresponde

al consumo del área de producción el cual va hacer estudiado en esta ocasión el cual corresponde a un valor promedio mensual de 4,189 dólares.

A continuación, en la Tabla 2 se muestra un análisis de la demanda y la producción de energía por mes, donde se puede observar el porcentaje de la demanda cubierta por el sistema fotovoltaico.

Tabla 2

Análisis de la producción y demanda

Meses	Días	HSP	Producción mensual kWh	Demanda mensual kWh	Producción bruta mensual kWh	Porcentaje cubierto de demanda
Enero	31	3.87	9692.7362	48094.847	7302.507461	15%
Febrero	28	3.65	8257.0446	43440.507	6220.857402	14%
Marzo	31	4.08	10218.699	48094.847	7698.767555	16%
Abril	30	3.95	9573.9705	46543.4	7213.029375	15%
Mayo	31	3.92	9817.9654	48094.847	7396.855102	15%
Junio	30	3.75	9089.2125	46543.4	6847.812698	15%
Julio	31	3.65	9141.728	48094.847	6887.377838	14%
Agosto	31	4	10018.332	48094.847	7547.811329	16%
Septiembre	30	4.68	11343.337	46543.4	8546.070246	18%
Octubre	31	4.42	11070.257	48094.847	8340.331518	17%
Noviembre	30	4.8	11634.192	46543.4	8765.200253	19%
Diciembre	31	4.31	10794.753	48094.847	8132.766707	17%
TOTAL	365	45.21	120652.23	566278.03	90899.38748	16%

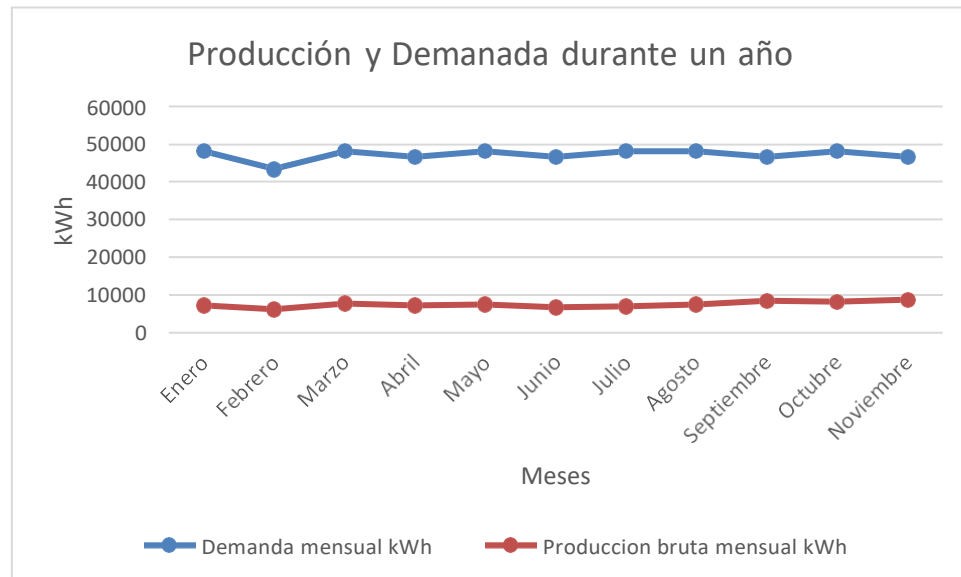
Nota. Fuente: Autor

En la Tabla 2 se muestra un análisis de la demanda mensual y la producción mensual de nuestro sistema, los meses con menor porcentaje cubierto de la demanda se debe a que en eso meses las horas solar pico son las más bajas por lo tanto nuestro sistema producirá menos energía. En total se cubre el 16 % de la demanda anual.

La Figura 14 proporciona una comparación gráfica de la producción y la demanda mensualmente a lo largo de un año, lo que nos permite estimar gráficamente la producción en relación con la demanda.

Figura 14

Comparación de la producción y la demanda mensual a lo largo de un año



Nota. Fuente: Autor

4.4. Fase 4: Diseño y análisis económico

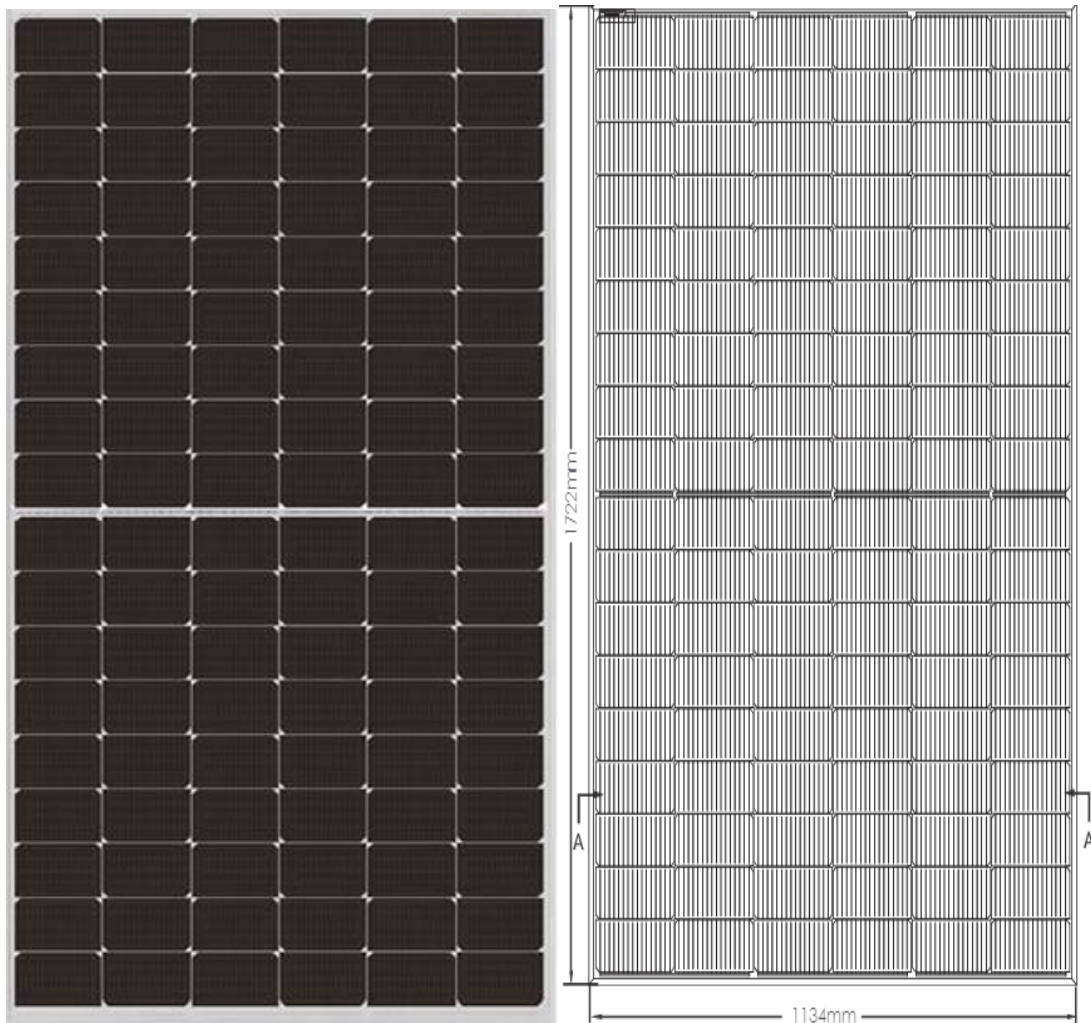
4.4.1. Diseño

Para el diseño del sistema, los componentes esenciales se elegirán cuidadosamente para la integración, incluidos los paneles solares, los inversores, los medidores y los elementos complementarios, como las estructuras de montaje y el cableado. El análisis económico considerará la inversión de capital procedente de la empresa.

4.4.1.1. Paneles solares

Para el estudio actual, está prevista la utilización del panel solar Tiger Neo JKM420N-54HL4-V de JINKO SOLAR, con una potencia máxima de 423 W en condiciones prácticas de funcionamiento. Además, el fabricante especifica una vida útil de 30 años para este panel en particular, durante los cuales su eficiencia disminuye gradualmente hasta el 87,4%, lo que equivale a una tasa de reducción anual de la eficiencia del 0,42% (Jinkosolar, 2024). El diagrama que representa el panel solar se presenta en la Figura 15.

Figura 15

Panel Solar JKM420N-54HL4-V

Nota. Fuente: Jinko Solar

Características del panel en condiciones reales dadas por el fabricante:

Nombre: Tiger Neo N-type JKM420N-54HL4-V

Potencia máxima: 423 W

Voltaje máximo: 29.34 V

Intensidad máxima: 10.76 A

Dimensiones: 2722×1134×35mm

Normativa: IEC 61215, IEC 61730

Peso: 22 kg

Precio: \$ 170.46

Cantidad: 191 unidades

4.4.1.2. Potencia del sistema y cálculo del inversor

El inversor funciona como un dispositivo que transforma una fuente de alimentación de corriente continua en una fuente de alimentación de corriente alterna. Para seleccionar el tipo de inversor adecuado, es esencial determinar la potencia máxima de salida del sistema y, a continuación, aplicar un margen de seguridad de 1.25 para garantizar un rendimiento óptimo de la maquinaria. El cálculo de la potencia máxima del sistema implica multiplicar la potencia máxima de salida de los paneles solares por la cantidad de paneles, y luego seleccionar un inversor que se ajuste a los requisitos especificados (Ñauñay Puente Diego Fernando, 2022).

Cálculo de la potencia máxima del sistema

$$Potencia\ maxima = factor \times Numero\ de\ paneles \times Potencia\ maxima\ del\ panel$$

$$Potencia\ maxima = 1.25 \times 191 \times 423\ W$$

$$Potencia\ maxima = 100991\ W$$

4.4.1.3. Sección del inversor

Con respecto a la capacidad máxima de potencia del sistema, se seleccionará un inversor adecuado en función de su nivel de potencia, que debe ser igual o superior a la potencia máxima de salida de los sistemas en cuestión. En este caso, se eligió el inversor Delta Pro, con una capacidad de 25 kW. Aunque este valor cae por debajo del nivel de potencia requerido, es necesario tener en cuenta otros factores, como el voltaje y la intensidad de entrada. Posteriormente, se tomó la decisión de optar por el inversor MAC25KTL3-XL producido por la marca Growatt, con una potencia máxima de 25 kW. Este inversor en particular cuenta con una capacidad de entrada de 1000 voltios y 87 amperios, lo que requiere el uso de 5 inversores para cubrir adecuadamente todo el sistema. Además, ofrece una salida de 220 voltios y una intensidad máxima de 87 amperios. Además, cabe señalar que el inversor antes mencionado es suministrado por la organización Renova en Ecuador, con un precio de \$ 4136,93 dólares. La representación visual de este inversor se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Inversor MAC25KTL3-XL



Nota. Fuente: Growatt

Características del inversor dadas por el fabricante:

Nombre: MAC25KTL3-XL

Potencia máxima: 25 kW

Voltaje máximo de salida: 189 V - 270 V

Voltaje máximo de entrada: 448 V - 1000 V

Voltaje mínimo de arranque: 560 V

Intensidad máxima: 87.5 A

Dimensiones: 680×508×281mm

Normativa: IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, IEC60529/IEEE1547, UL1741

Peso: 52kg

Precio: \$ 4136,93

Cantidad: 5 unidades

4.4.1.4. Selección del Contador

El objetivo del contador o también llamado medidor es cuantificar la utilización de energía de un sistema determinado. Específicamente, medirá la energía generada por el sistema fotovoltaico, exigiendo el cumplimiento de las especificaciones descritas por el inversor. Estas especificaciones incluyen un voltaje de 220 V y una intensidad de 87.5 amperios (Li Peilin et al., 2020). El marco de instalación también es crucial en esta configuración.

Con estas condiciones se seleccionó el medidor AC40.0-300.0 de la empresa Emoshayoga el cual puede medir la producción de energía del sistema con una tensión que va desde 220 v, en la Figura 17 podemos observar el contador.

Figura 17

Medidor AC40.0-300.0



Nota. Fuente: Emoshayoga

Características del contador dadas por el fabricante:

Nombre: AC40.0-300.0

Voltaje máximo: 220 v

Dimensiones: 72x71x87.8mm

Normativa: IEC 62052-11, IEC 62053-21/22/23, IEC 61010, IEC 60044-1, ANSI C12.

Precio: \$ 83.65

Cantidad: 4 unidades

4.4.1.5. Cableado

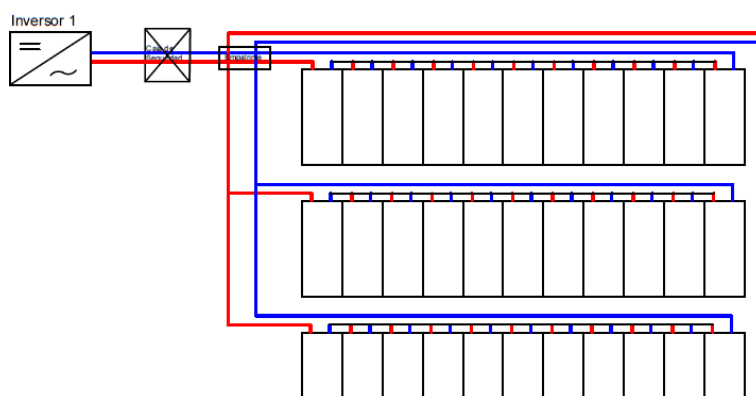
El cable conectado desde los paneles hacia los sistemas de protección, para esta conexión el sistema está dividido en 5 partes cada parte llega hacia una caja de empalmes y luego hacia una caja de seguridad donde se colocarán los Breaker y Fusibles, por último, irán hacia el inversor y luego a la red principal.

Conexión del primer inversor

En este inversor están conectados 33 paneles en serie y 8 en paralelo. Los 33 paneles conectados en serie se muestran en la Figura 18, mientras que los que están conectados en paralelo se muestran en la Figura 19.

Figura 18

Conexión de paneles en serie

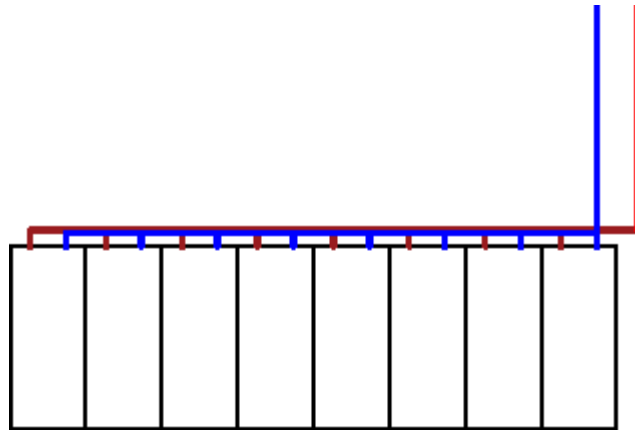


Nota. Fuente: Autor

Para esta primera parte de instalación se requiere un cable AWG 8, la cual resiste una intensidad de corriente de 40 Amperes los cuales cumplen con los requerimientos que es de 29 A. lo metros totales a utilizar en la concesión hasta el empalme en de 150 metros.

Figura 19

Conexión de paneles en paralelo



Nota. Fuente: Autor

Para esta conexión los requerimientos cambian, se necesita un cable AWG 3, el cual resiste hasta 90 A. El amperaje aumenta debido a que los paneles están conectados en paralelo y el amperaje se suma dando como amperaje máximo 86 amperios. Para la conexión primaria donde se une a los paneles a la red principal de AWG 3, son necesarios 16 metros de AWG 8, y para posteriormente llevar esta energía hacia la caja de empalmes donde se unirá con los paneles conectados en serie se necesita 106 metros de cable AWG 3.

Conexión de empalmes a Caja de Seguridad

Para esta parte del sistema requerimos el mismo tipo de cable anterior AWG 3 el cual se adapta a las condiciones requeridas. Son necesarios 30 metros de cable del techo hacia la ubicación de la caja de seguridad, por lo tanto, se necesita 60 metros ya que es cable negativo y positivo.

Conexión de caja de seguridad a inversor

La distancia de la caja de seguridad hacia el inversor es de 40 metros incluyendo ida y vuelta. Para esta sección se utilizará el cable AWG 3.

Conexión a tierra

Para esta conexión es necesario utilizar un cable AWG 8 y son necesarios 125 metros en los paneles de este inversor.

Conexión del segundo inversor

Los requerimientos para este inversor son los mismo, lo que cambia son las longitudes por este motivo en la Tabla 3 se mostrara la cantidad de cable requerido según el tipo de conexión.

Tabla 3

Cableado del inversor 2

<i>Inversor numero 2</i>		
<i>Tipo de conexión</i>	<i>Tipo de cable</i>	<i>Longitud en (m)</i>
<i>Paneles en serie</i>	AWG 8	150
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 3	88
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 8	16
<i>Empalmes - Caja de seguridad</i>	AWG 3	80
<i>Caja de Seguridad Inversor</i>	AWG 8	50
<i>Conexión a tierra</i>	AWG 3	120

Nota. Fuente: Autor

Conexión del tercer inversor

De la misma forma que el inversor 2, las longitudes y tipos de cables del inversor 3 se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4

Cableado del inversor 3

<i>Inversor numero 3</i>		
<i>Tipo de conexión</i>	<i>Tipo de cable</i>	<i>Longitud en (m)</i>
<i>Paneles en serie</i>	AWG 8	140
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 3	60
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 8	16
<i>Empalmes - Caja de seguridad</i>	AWG 3	90
<i>Caja de Seguridad Inversor</i>	AWG 8	48
<i>Conexión a tierra</i>	AWG 3	110

Nota. Fuente: Autor

Conexión del cuarto inversor

Tabla 5

Cableado del inversor 4

<i>Inversor numero 4</i>		
<i>Tipo de conexión</i>	<i>Tipo de cable</i>	<i>Longitud en (m)</i>
<i>Paneles en serie</i>	AWG 8	100
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 3	50
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 8	16
<i>Empalmes - Caja de seguridad</i>	AWG 3	100
<i>Caja de Seguridad Inversor</i>	AWG 8	40
<i>Conexión a tierra</i>	AWG 3	100

Nota. Fuente: Autor

Conexión del quinto inversor

Tabla 6

Cableado del inversor 5

<i>Inversor numero 5</i>		
<i>Tipo de conexión</i>	<i>Tipo de cable</i>	<i>Longitud en (m)</i>
<i>Paneles en serie</i>	AWG 8	80
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 3	70
<i>Paneles en paralelo</i>	AWG 8	16
<i>Empalmes - Caja de seguridad</i>	AWG 3	100
<i>Caja de Seguridad Inversor</i>	AWG 8	60
<i>Conexión a tierra</i>	AWG 3	100

Nota. Fuente: Autor

Los cables para este inversor esta sobredimensionados debido a que solo están conectados 27 paneles 8 en paralelo y 19 en serie esto para lograr que a los 5 inversores llegue el mismo amperaje.

Conexión de inversores hacia la red principal

Los inversores tienen una salida de 220 V y 87 amperios por lo cual el fabricante recomienda un cable con una sección transversal de 70 a 240 mm². Con estos datos se decidió utilizar el cable AWG 350 que tiene una sección transversal de 177 mm² y está dentro del rango sugerido. Para los 4 inversores es necesario 400 metros.

Cableado total

A continuación, se presenta la Tabla 7, la cual corresponde a una Tabla resumen de la cantidad de cable total necesario por tipo y de su costo. Además, se aplicará un factor de corrección para las longitudes de 1.1, lo supone un costo total de \$ 6,156.25

Tabla 7

Resumen del cableado total

<i>Tipo de cable</i>	<i>Longitud total (m)</i>	<i>Factor de corrección</i>	<i>Costo por metro</i>	<i>Costo total</i>
AWG 8	849	934	\$ 1.21	\$ 1,130.02
AWG 3	1114	1225	\$ 2.45	\$ 3,002.23
AWG 350	400	440	\$ 4.60	\$ 2,024.00

Nota. Fuente: Autor

4.4.1.6. Pérdidas del sistema

Las pérdidas en los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en varias formas, como las pérdidas ópticas y eléctricas, que abarcan las pérdidas de sombra, las pérdidas de temperatura, las pérdidas de suciedad y las pérdidas de inversores. Además, elementos como la temperatura elevada, los impactos de las sombras, la resistencia en serie y la resistencia a las derivaciones están implicados en la disminución de la energía en las instalaciones fotovoltaicas, lo que provoca pérdidas que representan hasta el 40% de la producción total (Deceglie et al., 2023).

Pérdidas por Disparidad

El fabricante de los paneles solares nos indica una pérdida anual de 0,42%

Pérdidas por cables de corriente

En el ámbito del cableado eléctrico, las pérdidas se manifiestan como resultado del efecto Joule, que varía en magnitud según los calibres y las dimensiones de los cables empleados. Concretamente en el ámbito de los cables de corriente continua (CC), es habitual observar que estos cables están expuestos a la luz solar sin aislamiento, lo que provoca efectos térmicos notables. Una aproximación aproximada indica una disminución del 1% en la eficiencia.

Pérdidas por empalmes

Para ejecutar una instalación, es imprescindible crear varios tipos de conexiones, incluidos los conectores que unen los paneles a los cables, los que se conectan a las cajas concentradoras y las medidas de protección. Se proyecta una pérdida aproximada del 0,5%.

Pérdidas por inversores

El inversor, similar a cualquier aparato eléctrico que participe en procesos de conversión de energía, presenta imperfecciones que conducen a pérdidas de energía. El fabricante especifica una eficiencia del 98,5%, lo que indica una ineficiencia del 2,5%.

Pérdidas por sombras

La consideración del sombreado de los paneles constituye un factor determinante importante de las pérdidas generales, por lo que es imperativo evaluar la presencia de obstrucciones como árboles, edificios y paredes. En el escenario actual, la ausencia de edificios u objetos que induzcan a la sombra explica la falta de pérdidas observada en este caso.

Pérdidas por reflejo

Este tipo de pérdida se produce por los rayos que son rebotados o reflejados y mucho tiene que ver las superficies de los paneles. En nuestro caso los paneles son monocristalinos estos tienen un color más oscuro, lo que produce una mayor absorción de los rayos solares y por lo tanto una menor pérdida. Debido a la construcción de este panel el fabricante indica un 3 % por reflejo.

Pérdidas por suciedad

En situaciones en las que los paneles solares están expuestos a los elementos, como en ambientes exteriores, existe el desafío de mantener la limpieza. Resulta crucial mantener los módulos de manera constante para eliminar la acumulación de suciedad causada por la precipitación y las partículas suspendidas en el aire. Dado que en la planta se trabaja con rocas y estas generan partículas de polvo en el proceso de trituración se provee una pérdida del 2%.

Pérdidas por irradiación

Las pérdidas reflejas se refieren a la energía solar absorbida por las células solares dentro de un período de tiempo específico. En la aplicación PVGIS, se calcula una pérdida estimada del 10,74% en función de las circunstancias locales, lo que se atribuye a la posición fija de los paneles solares, que limita el ángulo de inclinación óptimo durante todo el año.

Pérdidas por temperatura

La temperatura desempeña un papel crucial en las pérdidas reflejas, derivadas de las condiciones del entorno. Los paneles solares están diseñados específicamente para funcionar de manera óptima a una temperatura de 25 °C. Cualquier aumento más allá de este umbral conduce a una disminución de la generación de electricidad. El fabricante indica que por cada grado de aumento de temperatura se produce una pérdida correspondiente del 0,3%. Durante la temporada de verano, estas pérdidas se intensifican y pueden alcanzar un máximo del 1,5% debido a que las temperaturas suelen alcanzar los 30 grados.

Pérdidas por ángulo de incidencia

El ángulo de incidencia indica el ángulo creado por la radiación solar incidente en la superficie del panel fotovoltaico. Este ángulo es importante, ya que afecta directamente a la capacidad de absorción de la luz solar del panel y a la posterior conversión de electricidad.

Lo ideal es que, para una eficiencia óptima, los paneles fotovoltaicos estén orientados directamente hacia el sol para recibir la luz solar de forma perpendicular a su superficie. Sin embargo, debido a los cambios de posición del Sol a lo largo del día y según las estaciones, el ángulo de incidencia experimenta variaciones. Cuando los paneles están fijos y la inclinación del techo para la instalación de los paneles es inferior a la óptima, las pérdidas atribuidas al ángulo de incidencia pueden alcanzar hasta el 3%.

En resumen, tenemos una pérdida total del sistema equivalente al 24.66% de la producción de energía por el sistema fotovoltaico en la Tabla 8 se observa un resumen de las pérdidas totales del sistema.

Tabla 8

Pérdidas totales del sistema

<i>Perdidas del sistema</i>	
<i>Tipo</i>	<i>Porcentaje</i>
<i>Por disparidad</i>	0.42%
<i>Por cableado</i>	1%
<i>Por empalmes</i>	0.50%
<i>Por inversores</i>	2.50%
<i>Por sombra</i>	0%
<i>Por reflejo</i>	3%
<i>Por suciedad</i>	2%
<i>Por Irradiación</i>	10.74%
<i>Por temperatura</i>	1.50%
<i>Por ángulo de incidencia</i>	3%
<i>Pérdidas totales</i>	24.66%

Nota. Fuente: Autor

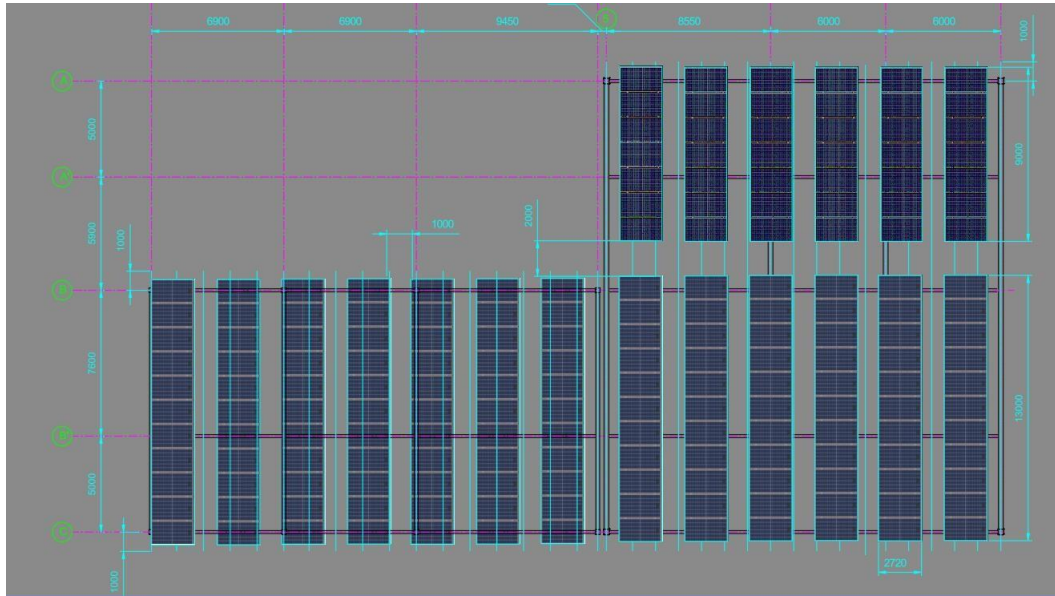
La Tabla 8 ilustra las pérdidas totales sufridas por el sistema, que ascienden al 24,66% en total, y la mayor pérdida corresponde a la irradiación. Según Reich (2012), en climas más cálidos o con condiciones menos favorables, pérdidas de hasta el 25% pueden considerarse dentro del rango aceptable.

4.4.1.7. Diagramación de montaje de los paneles solares

En la Figura 20 se muestra la distribución de los paneles sobre la cubierta de la planta cazaderos. La distribución tiene espacios de un metro por cada columna de paneles para realizar su respectivo mantenimiento.

Figura 20

Distribución de los paneles solares sobre la cubierta de la planta cazaderos.



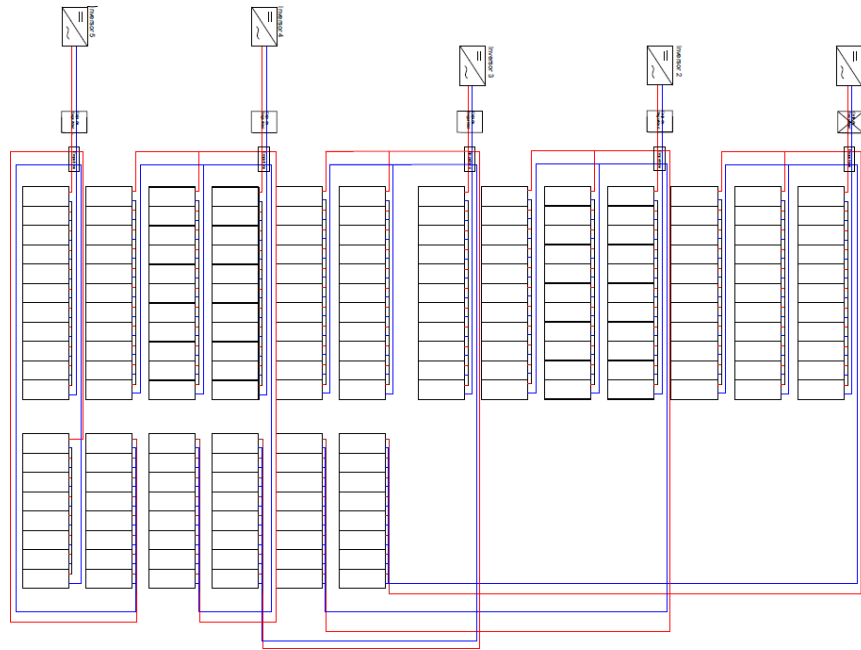
Nota. Fuente: Autor

4.4.1.8. Diagramación de cableado

En la Figura 21 se observa las concesiones de los paneles solares hacia cada inversor, los 4 primeros inversores están constituidos por 33 paneles en serie y 8 en paralelo estos generan un voltaje máximo de 997.56 V y una Intensidad de corriente de 86.08 A. mientras que el ultimo inversor está constituido por 27 paneles 8 en paralelo y 19 en serie, logrando un voltaje de 821.52 V y un amperaje de 86.08 A.

Figura 21

Canecciones de los paneles solares hacia cada inversor.



Nota. Fuente: Autor

4.4.2. Análisis Económico

Para iniciar este análisis económico se debe recopilar todos los cotos que se requieren para el sistema fotovoltaico. Para ello en la Tabla 9 se muestra los costos de los elementos para implementar este sistema sin contar costos de instalación.

Tabla 9

Costos de los elementos del sistema fotovoltaico

<i>Tipo</i>	Costos de elementos		
	<i>Cantidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Total</i>
<i>Paneles solares</i>	191	\$ 170.46	\$ 32,557.86
<i>Estructura de montaje</i>	96	\$ 71.90	\$ 6,902.40
<i>Varilla de cobre</i>	4	\$ 25.00	\$ 100.00
<i>Protector de rayos</i>	4	\$ 46.00	\$ 184.00
<i>Fusibles</i>	16	\$ 7.50	\$ 120.00
<i>Caja de fusibles</i>	4	\$ 20.00	\$ 80.00
<i>Disyuntores CA</i>	4	\$ 75.00	\$ 300.00
<i>Disyuntores CC</i>	8	\$ 40.45	\$ 323.60
<i>Caja Centrar</i>	4	\$ 185.00	\$ 740.00
<i>Inversor</i>	5	\$ 4,136.93	\$ 20,684.65
<i>Contador</i>	4	\$ 83.65	\$ 334.60
<i>Cableado</i>	1	\$ 6,156.25	\$ 6,156.25
<i>Total</i>			\$ 68,483.36

Nota. Fuente: Autor

En la Tabla 9 se muestra los costos de los elementos necesarios para el sistema fotovoltaico, dando un costo total de 68,483.36 dólares estadounidenses.

Adicional a los elementos del sistema la empresa renova en Ecuador, cotizo un precio de 3,967.00 dólares por la instalación del sistema fotovoltaico lo que se sumaría al costo del sistema fotovoltaico dando como resultado un total de 72,450.36 dólares. Dicho valor es asequible para la empresa y puede ser desembolsado de inmediato para este proyecto.

Además de estos costos para iniciar el proyecto, se requiere realizar mantenimiento 2 veces por año en cuento a la limpieza de los paneles este mantenimiento tiene un costo de 100 dólares por cada limpieza. También se debe hacer limpieza a los demás elementos una vez al año lo cual conlleva un costo de 50 dólares anuales y por último se debe realizar una inspección visual cada mes y esta tiene un costo de 100 dólares al año dando un total de 350 dólares al año.

4.4.2.1. Ingresos del sistema fotovoltaico

La vida útil del proyecto fotovoltaico se estima que es de 30 años y tiene una baja de eficiencia de 0.4 % anual debido a la ficha técnica de los paneles solares. Por lo que se tomara en cuenta para la producción esta disminución para la producción anual del sistema. En la

siguiente Tabla se presenta los ingresos mensuales de sistema en base al a producción el sistema.

Tabla 10

Ingresos mensuales del sistema fotovoltaico

Meses	Días	HSP	Producción mensual kWh	Perdidas kWh	Producción bruta mensual kWh	Ingresos generados
Enero	31	3.87	9692.73	2390.22	7302.50	\$ 657.23
Febrero	28	3.65	8257.04	2036.18	6220.85	\$ 559.88
Marzo	31	4.08	10218.69	2519.93	7698.76	\$ 692.89
Abril	30	3.95	9573.97	2360.94	7213.02	\$ 649.17
Mayo	31	3.92	9817.96	2421.11	7396.85	\$ 665.72
Junio	30	3.75	9089.21	2241.39	6847.81	\$ 616.30
Julio	31	3.65	9141.72	2254.35	6887.37	\$ 619.86
Agosto	31	4	10018.34	2470.52	7547.81	\$ 679.30
Septiembre	30	4.68	11343.33	2797.26	8546.07	\$ 769.15
Octubre	31	4.42	11070.25	2729.92	8340.33	\$ 750.63
Noviembre	30	4.8	11634.19	2868.99	8765.20	\$ 788.87
Diciembre	31	4.31	10794.75	2661.98	8132.76	\$ 731.95
TOTAL	365	45.21	120652.22	29752.83	90899.39	\$ 8,180.94

Nota. Fuente: Autor

La Tabla 10 nos indica que el mes con más ingresos es el mes de noviembre, esto se debe a las horas solar pica de este mes son 4.8 horas diarias dando una producción de 8765.20 kWh lo que económicamente significa 788.87 dólares de ingreso en este mes. Además, se tiene un ingreso anual de 8188.94 dólares.

En la Tabla 11 se presenta los ingresos anuales Durante los 30 años de vida útil del sistema incluyendo la perdida de eficiencia de 0.4% anual.

Tabla 11

Ingresos durante el periodo de vida del sistema

<i>Año</i>	<i>Producción bruta kWh</i>	<i>Baja de eficiencia</i>	<i>Demanda bruta kWh</i>	<i>Ingresos generados</i>
1	90899.39	0.0%	90899.39	\$ 8,180.94
2	90899.39	0.4%	90535.79	\$ 8,148.22
3	90899.39	0.8%	90172.19	\$ 8,115.50
4	90899.39	1.2%	89808.59	\$ 8,082.77
5	90899.39	1.6%	89445.00	\$ 8,050.05
6	90899.39	2.0%	89081.40	\$ 8,017.33
7	90899.39	2.4%	88717.80	\$ 7,984.60
8	90899.39	2.8%	88354.20	\$ 7,951.88
9	90899.39	3.2%	87990.61	\$ 7,919.15
10	90899.39	3.6%	87627.01	\$ 7,886.43
11	90899.39	4.0%	87263.41	\$ 7,853.71
12	90899.39	4.4%	86899.81	\$ 7,820.98
13	90899.39	4.8%	86536.22	\$ 7,788.26
14	90899.39	5.2%	86172.62	\$ 7,755.54
15	90899.39	5.6%	85809.02	\$ 7,722.81
16	90899.39	6.0%	85445.42	\$ 7,690.09
17	90899.39	6.4%	85081.83	\$ 7,657.36
18	90899.39	6.8%	84718.23	\$ 7,624.64
19	90899.39	7.2%	84354.63	\$ 7,591.92
20	90899.39	7.6%	83991.03	\$ 7,559.19
21	90899.39	8.0%	83627.44	\$ 7,526.47
22	90899.39	8.4%	83263.84	\$ 7,493.75
23	90899.39	8.8%	82900.24	\$ 7,461.02
24	90899.39	9.2%	82536.64	\$ 7,428.30
25	90899.39	9.6%	82173.05	\$ 7,395.57
26	90899.39	10.0%	81809.45	\$ 7,362.85
27	90899.39	10.4%	81445.85	\$ 7,330.13
28	90899.39	10.8%	81082.25	\$ 7,297.40
29	90899.39	11.2%	80718.66	\$ 7,264.68
30	90899.39	11.6%	80355.06	\$ 7,231.96
Total	2726981.62	11.6%	2568816.69	\$ 231,193.50

Nota. Fuente: Autor

Esta Tabla indica que a lo largo de los 30 años de vida útil del sistema se va recaudar 231,191.50 dólares.

En la Tabla 12 que se presenta a continuación se muestra la recaudación total menos los costos de manteniendo a lo largo de todo el periodo de vida útil del sistema.

Tabla 12

Ingresos netos del sistema durante su vida útil

<i>Ingresos brutos</i>	<i>Costo total de mantenimiento</i>	<i>Ingresos netos</i>
\$ 231,193.50	\$ 10,500.00	\$ 220,693.50

Nota. Fuente: Autor

Como resultado tenemos una utilidad de \$ 220,693.50 a lo largo de toda la vida útil del proyecto.

4.4.2.2. Índices Económicos

Para analizar la factibilidad económica del proyecto a fondo se evaluará indicadores para proyectos de inversión y con esto determinar su factibilidad.

Tabla 13

Índices económicos del proyecto

<i>Indicadores</i>	<i>Valor</i>
<i>VAN</i>	\$ 16,263.48
<i>TIR</i>	10%
<i>ROI</i>	305%
<i>Payback</i>	9 años

Nota. Fuente: Autor

Para el cálculo del VAN se utilizó la tasa de descuento de 8% que es la que actualmente manejan las instituciones bancarias para inversiones.

Valor Actual Neto (VAN):

Un VAN de \$16,263.48 indica que el proyecto generará ese monto en valor adicional después de tener en cuenta el costo de capital invertido al inicio que fue de 72,450.36 dólares. Esto sugiere que el proyecto es rentable y que los beneficios económicos superan los costos asociados con la inversión en el proyecto.

Tasa Interna de Retorno (TIR):

La tasa interna de rendimiento (TIR) se define como la tasa de descuento a la que el valor actual neto (VAN) de un proyecto pasa a ser cero. Cuando la TIR es del 10%, significa que se espera que el proyecto arroje un rendimiento del 10% sobre la inversión de capital inicial. Esto sugiere que la rentabilidad del proyecto supera la tasa de mercado del 8% vigente en las instituciones financieras, lo que indica su viabilidad en relación con la tasa de descuento.

Retorno sobre la Inversión (ROI):

El ROI sirve como una evaluación de la eficacia de una inversión en particular, que refleja el rendimiento obtenido en comparación con su desembolso inicial. Concretamente, un ROI del 305% indica que se prevé que la inversión arroje un valor 3,05 veces mayor que el capital inicial inyectado. En pocas palabras, se espera que cada dólar introducido dé como resultado una rentabilidad de 3,05 dólares.

Payback (Periodo de Recuperación):

La duración de la fase de recuperación es de unos 8 años y 8 meses. En consecuencia, el proyecto necesitará esta duración para recuperar el desembolso de capital primario. Sin embargo, se tomó la decisión de aproximarlos a 9 años debido a la variabilidad en las ganancias anuales como resultado de las pérdidas fluctuantes de eficiencia del sistema.

5. Resultados y Discusión

Los resultados de este estudio se centran en el análisis de cada uno de los objetivos específicos planteados.

Primer objetivo específico: *Analizar* la situación actual de la planta de beneficio Cazaderos junto con los niveles de radiación Solar que se han tenido en la zona donde se ubicara el sistema fotovoltaico:

Actualmente, la planta de Cazaderos en el área de producción está dividida en tres secciones principales. La sección inicial es el área de trituración, que se encarga de triturar el material entrante de las minas para su almacenamiento y posterior procesamiento. La siguiente etapa, conocida como molienda, tiene como objetivo reducir el tamaño de las partículas utilizando un molino de bolas. Por último, el material molido pasa al área de flotación, donde las reacciones químicas hacen que los metales valiosos salgan a la superficie en forma de burbujas, formando un concentrado, el producto final de las operaciones de la planta.

Por otro lado, la exposición solar en la planta de fabricación, según los datos recopilados, ha registrado una radiación solar promedio de 4,09 kWhm⁻² en los últimos tres años. Esta cifra coincide estrechamente con los hallazgos de Velasco y Cabrera, que indican que la irradiancia solar promedio en el Ecuador es de 4,2 kWhm⁻². El autor sugiere que estos niveles de radiación son favorables para las iniciativas fotovoltaicas.

Segundo objetivo específico: *Determinar* el área disponible para la instalación de los paneles y las condiciones de instalación.

El área del techo designada para la instalación de paneles solares mide 1322 metros cuadrados. Este espacio albergará 77 paneles, organizados en filas de 11 por 7 columnas, con un espacio de 1 metro entre las columnas para fines de mantenimiento. El mayor de los dos grupos siguientes ubicados en el mismo techo constará de 11 paneles por fila y 6 columnas, mientras que el grupo más pequeño constará de 6 columnas con 8 paneles cada una. En conjunto, estos grupos sumarán 191 paneles, cubriendo de manera efectiva toda la superficie del techo.

En las condiciones de instalación, el aspecto principal a examinar es el ángulo de inclinación del techo, que se caracteriza por un ángulo de azimut de 150 grados y un ángulo de inclinación de 15 grados. Estos valores no son óptimos para una colocación estacionaria de los paneles solares. No obstante, la reducción de la eficiencia inducida por la inclinación se calcula en un 3% con el software PVGIS y en un 3,7% con PVsyst. Por el contrario, en circunstancias ideales en las que el ángulo de inclinación es de 2 grados y el ángulo de azimut es de -109, las pérdidas de eficiencia derivadas del ángulo de inclinación se registran en un 2,7%. En consecuencia, se puede observar que las pérdidas de eficiencia son un 1%

superiores al valor óptimo según una herramienta de simulación, mientras que la otra herramienta indica una pérdida marginal del 0,03%.

Tercer objetivo específico: *Elaborar* el estudio de consumo de energía que se tiene en el área de producción de la planta cazaderos y conocer el porcentaje de la demanda energética que puede cubrir con la implementación de este sistema fotovoltaico.

En el mes de abril la empresa tuvo un consumo total de 232717 kWh. A esta industria se aplica una tarifa de 0,09 USD por kWh, dicha tarifa se conoce como MTCGCD32 - MT con Demanda Hora Diferente. En consecuencia, el coste total mensual del consumo eléctrico asciende a 20,944.53 dólares. El estudio corresponde a una quita para de la demanda total, la cual se refiera al área de producción de la planta cazaderos y equivale a 4,189 dólares en un promedio mensual. Una quita parte corresponde al consumo del área de producción el cual va hacer estudiado en esta ocasión el cual corresponde a un valor promedio mensual de 4189 dólares. Y un consumo de 46543 kWh. A partir de esta demanda el sistema fotovoltaico cubre un 16% del consumo de la empresa.

Cuarto objetivo específico: *Realizar* el estudio de los equipos necesarios para este proyecto y el costo de los mismos para desarrollar un análisis económico y verificar la viabilidad del proyecto.

El costo total de los elementos para implementar un sistema fotovoltaico es de \$ 68,483.36 adicional a esto el costo de instalación es de 3,967.00 dólares, lo que se sumaría al costo del sistema fotovoltaico dando como resultado un total de 72,450.36 dólares. Además de estos costos para implementar el sistema se tienen costos de mantenimiento con un valor de 350 dólares anuales. Es sistema recaudará \$ 231,193.50, restando los costos de mantenimiento durante los 30 años se tiene un valor de \$ 220,693.50.

Este proyecto muestra una fuerte rentabilidad y viabilidad financiera, como lo indica un Valor Actual Neto (VAN) de \$16,263.48, demostrando que generará valor adicional sobre el costo de capital inicial de \$72,450.36. La Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10% supera la tasa de mercado del 8%, subrayando su rentabilidad. Con un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 305%, se espera que cada dólar invertido genere \$3.05 en retorno. Finalmente, el periodo de recuperación estimado es de aproximadamente 9 años, considerando la variabilidad en las ganancias anuales.

Finalmente, se da respuesta a las preguntas de investigación.

¿Cuáles son los factores más influyentes en el análisis de factibilidad de un sistema fotovoltaico?

Los factores más influyentes en el análisis de factibilidad de un sistema fotovoltaico, son los siguientes:

- **Radiación Solar Disponible:**

La radiación solar promedio en la zona, que es de 4,09 kWh/m², es un factor crucial porque determina la cantidad de energía que los paneles solares pueden generar. La similitud con los valores promedio del país (4,2 kWh/m²) sugiere que las condiciones son favorables para la generación fotovoltaica.

- **Área Disponible para la Instalación**

El área de 1322 metros cuadrados disponible para instalar los paneles solares es un factor significativo. La disposición de los paneles en este espacio afecta directamente la capacidad total del sistema y, por lo tanto, la cantidad de energía que se puede generar.

- **Condiciones de Instalación (Ángulo de Inclinación y Azimut):**

El ángulo de inclinación del techo (15 grados) y el ángulo de azimut (150 grados) no son óptimos, pero son aceptables, con una reducción de eficiencia calculada entre 3% y 3,7%. La orientación y el ángulo de los paneles pueden impactar la eficiencia general del sistema.

- **Consumo de Energía y Tarifas Eléctricas:**

El consumo total de energía (232717 kWh mensuales) y la tarifa aplicada (0,09 USD por kWh) son determinantes para evaluar el ahorro potencial y el retorno de la inversión.

- **Costos de Implementación y Mantenimiento:**

El costo total de instalación del sistema fotovoltaico (72,450.36 dólares) y los costos de mantenimiento anuales (350 dólares) son fundamentales para calcular la viabilidad económica. Estos costos deben ser balanceados con los ingresos generados por la energía producida.

- **Análisis Económico (VAN, TIR, ROI y Periodo de Recuperación):**

Los indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN) de 16,263.48 dólares, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10%, el Retorno sobre la Inversión (ROI) del 305%, y el periodo

de recuperación de aproximadamente 9 años, son esenciales para determinar la rentabilidad y viabilidad financiera del proyecto.

¿Cuál es la demanda de energía eléctrica que se puede cubrir con la implementación de un sistema fotovoltaico conectad a la red?

La implementación de un sistema fotovoltaico en la planta de beneficio Cazaderos permite cubrir aproximadamente el 16% de la demanda anual de energía eléctrica. Con una producción total anual de 90,899.39 kWh y una demanda anual de 566,278.03 kWh, el sistema contribuye significativamente a la reducción de los costos de energía. La cobertura mensual varía entre el 14% y el 19%, con un promedio anual de 16%, demostrando la eficacia y viabilidad del proyecto para mejorar la sostenibilidad energética de la planta.

Tabla 14

Análisis de factores determinantes para la factibilidad del sistema.

<i>Factor</i>	<i>Resultado</i>	<i>Análisis</i>
<i>Radiación Solar Disponible</i>	4.09 kWh/m ² (promedio)	Condiciones favorables para generación fotovoltaica.
<i>Área Disponible para Instalación</i>	1322 m ²	Espacio suficiente para 191 paneles solares.
<i>Condiciones de Instalación</i>	Inclinación: 15°, Azimut: 150°	Reducción de eficiencia aceptable (3-3.7%).
<i>Consumo de Energía Mensual</i>	232,717 kWh	Permite evaluación del ahorro potencial.
<i>Tarifa Eléctrica</i>	0.09 USD/kWh	Impacto en el cálculo de retorno de inversión.
<i>Costos de Implementación</i>	72,450.36 USD	Inversión inicial necesaria.
<i>Costos de Mantenimiento</i>	350 USD anuales	Mantenimiento sostenible.
<i>Producción Anual Fotovoltaica</i>	90,899.39 kWh	Cubre el 16% de la demanda anual de energía.
<i>Análisis Económico</i>	VAN: 16,263.48 USD, TIR: 10%, ROI: 305%, Recuperación: 9 años	Rentabilidad y viabilidad financiera positivas.

Nota. Fuente: Autor

El proyecto del sistema fotovoltaico en la planta de beneficio Cazaderos es altamente factible tanto desde un punto de vista técnico como económico. En términos técnicos, la planta se beneficia de una radiación solar promedio de 4.09 kWh/m², lo que se encuentra en línea con los promedios nacionales, facilitando condiciones óptimas para la generación de energía solar. El área disponible de 1322 m² es adecuada para la instalación de 191 paneles solares, organizados estratégicamente para maximizar la eficiencia, a pesar de una inclinación y un azimut subóptimos que solo reducen la eficiencia en un rango aceptable de 3-3.7%.

Desde el punto de vista económico, el sistema tiene el potencial de cubrir el 16% del consumo energético anual de la planta, lo que representa una contribución significativa a la reducción de los costos energéticos. Con un costo total de implementación de 72,450.36 USD y un mantenimiento anual de 350 USD, el análisis financiero muestra un Valor Actual Neto (VAN) positivo de 16,263.48 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 10%, y un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 305%. Además, el periodo de recuperación es de aproximadamente 9 años, lo que resalta la viabilidad y la rentabilidad del proyecto a largo plazo. Estos factores combinados demuestran que el proyecto es una inversión sólida, sostenible y beneficiosa para la planta.

6. Conclusiones

Tras un análisis detallado de los datos recopilados y los criterios establecidos para evaluar la factibilidad técnica y económica, se muestra como una opción altamente favorable la implementación de un sistema fotovoltaico en la planta Cazaderos ubicada en el Cantón Piñas, es una estrategia viable y beneficiosa en múltiples aspectos. En primer lugar, la abundante radiación solar en la zona, respaldada por datos históricos y análisis específicos, demuestra que existe un recurso solar significativo que puede ser aprovechado para la generación de energía limpia y renovable. Este factor es fundamental, ya que garantiza una producción sostenible de electricidad a lo largo del tiempo, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables y contribuyendo a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, concordando con estudios de Babkir Sm Ali (2023).

En segundo lugar, el estudio detallado de las condiciones de instalación, incluyendo el área disponible en el techo de la planta y los ángulos de inclinación, proporciona una visión clara de cómo se puede optimizar la disposición de los paneles solares para maximizar su eficiencia y rendimiento. Aunque se identificaron ciertas limitaciones en términos de inclinación del techo, los cálculos indican que estas pérdidas de eficiencia son manejables y no

comprometen significativamente la viabilidad del proyecto. Además, se destaca el enfoque en la eficiencia de la instalación, con la disposición cuidadosa de los paneles y la consideración de medidas de mantenimiento que aseguren un funcionamiento óptimo a lo largo del tiempo. Este enfoque proactivo en la planificación y ejecución del proyecto es esencial para garantizar su éxito a largo plazo y maximizar su impacto positivo (Amir Baklouti et al., 2020)

En tercer lugar, el análisis económico detallado revela que el proyecto fotovoltaico no solo es técnicamente factible, sino también financieramente rentable. A pesar de los costos iniciales de inversión y de instalación, el retorno sobre la inversión es significativo, con un Valor Actual Neto positivo y una Tasa Interna de Retorno superior a la tasa de mercado. Esto indica claramente que la implementación del sistema fotovoltaico generará ingresos sostenibles a lo largo de su vida útil, compensando con creces los costos iniciales y proporcionando un retorno significativo para los inversionistas. Además, el análisis económico también destaca la importancia de considerar los costos de mantenimiento a lo largo del tiempo, asegurando así que el proyecto siga siendo rentable y sostenible a lo largo de su vida útil.

7. Recomendaciones

Optimización de la Instalación: Ajustar la inclinación y orientación de los paneles solares para maximizar la eficiencia energética es crucial. Aunque los ángulos actuales (150 grados de azimut y 15 grados de inclinación) son aceptables, acercarse a los valores óptimos, como una inclinación de 2 grados y un azimut de -109 grados, puede mejorar la producción de electricidad para esta locación. Considerar la implementación de sistemas de montaje ajustables que permitan cambiar la inclinación de los paneles según las estaciones del año puede ser una estrategia efectiva para aumentar la captación de energía solar.

Plan de Mantenimiento Preventivo: Desarrollar e implementar un plan de mantenimiento regular y detallado es esencial para asegurar que el sistema fotovoltaico opere a su máxima capacidad durante su vida útil. Esto incluye la limpieza periódica de los paneles para eliminar polvo y suciedad, la inspección de todos los componentes eléctricos, y la actualización de software de monitoreo. La instalación de un sistema de monitoreo en tiempo real permitirá la detección temprana de problemas, facilitando intervenciones rápidas y eficientes para minimizar el tiempo de inactividad.

Capacitación del Personal: Capacitar al personal de la planta en el funcionamiento, mantenimiento y optimización del sistema fotovoltaico es fundamental para el éxito a largo plazo del proyecto. La formación adecuada permitirá al personal identificar y resolver

problemas técnicos de manera eficiente, minimizando el tiempo de inactividad y asegurando una producción de energía constante. Además, se recomienda establecer protocolos de respuesta rápida para abordar cualquier eventualidad que pueda surgir.

Revisión Económica Continua: Llevar a cabo revisiones periódicas del análisis económico del proyecto para asegurar su rentabilidad continua. Esto incluye monitorear los costos de mantenimiento, los precios de la energía y la eficiencia del sistema. También es importante explorar y aprovechar oportunidades de financiamiento, subsidios y otros incentivos que puedan estar disponibles a nivel local, nacional o internacional para proyectos de energía renovable. Estas acciones ayudarán a optimizar los beneficios económicos del sistema fotovoltaico y garantizar su viabilidad.

Investigaciones futuras: Para asegurar la evolución continua y la eficiencia a largo plazo del sistema fotovoltaico, se sugiere enfocarse en investigaciones futuras que aborden áreas clave como innovaciones en tecnologías de paneles solares, sistemas de almacenamiento de energía, optimización del sistema y gestión inteligente de la energía, impacto ambiental y sostenibilidad, evaluación económica y políticas energéticas, así como la integración con redes eléctricas y microrredes. Estas investigaciones permitirán la exploración de nuevas tecnologías y prácticas que mejorarán la eficiencia, la sostenibilidad y la rentabilidad del sistema fotovoltaico, preparándolo para enfrentar los desafíos futuros y maximizar su contribución a la transición hacia una energía más limpia y renovable.

8. Referencias

- Amir Baklouti, Lahcen Mifdal, Sofiene Dellagi, & Anis Chelbi. (2020). An Optimal Preventive Maintenance Policy for a Solar Photovoltaic System. *Sustainability*, 12(10), 4266. <https://doi.org/10.3390/SU12104266>
- Aparicio, M. P. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo.
- Aqeel R. Salih. (2023). *Tilt Angle of Solar Panels for Best Winter, Summer and Year-Round Performances for Different Regions of the World*. <https://doi.org/10.29196/jubpas.v31i2.4691>
- Arcand Sébastien. (2020). *Solar panel assembly*. <https://typeset.io/papers/solar-panel-assembly-2u9ndkkpny>
- Babkir Sm Ali, M. Hedayati-Dezfooli, & Ahmed Abdullah Gamil. (2023). Sustainability assessment of alternative energy power generation pathways through the development of impact indicators for water, land, GHG emissions, and cost. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 171, 113030-113030. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113030>
- Caicedo Vargas, J. S., & Torres Ortega, J. A. (2020). Evaluación técnico ambiental para la implementación de un sistema fotovoltaico. *Publicaciones e Investigación*, 14(1), 3.
- Carrillo Soto, D. A. (2018). Estudio de factibilidad técnica económico para la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la ladrillera arcilobillos s.a.s. (Archivo Electrónico). <http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/1160312.pdf>. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/5231>
- Cui, W., & Chen, J. (2021). Insight into mineral flotation fundamentals through the DFT method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(6), 983-994. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.10.001>

- De Andrés Sánchez, J. J., & Silva Cabrera, W. J. (2016). *Estudio de viabilidad de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el edificio 15A de la FIEC de la ESPOL (Ecuador)* [bachelorThesis, Espol]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/35893>
- Deceglie, M. G., Anderson, K., Fregosi, D., Hobbs, W. B., Mikofski, M. A., Theristis, M., & Meyers, B. E. (2023). Perspective: Performance Loss Rate in Photovoltaic Systems. *Solar RRL*, 7(15), 2300196. <https://doi.org/10.1002/solr.202300196>
- Deepak Kumar. (2022). Feasibility Analysis of an Energy System. *Advances in Geographical and Environmental Sciences*, 189-211. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8456-3_7
- Emerson Eric J. (2020). *Solar panel module*. <https://typeset.io/papers/solar-panel-module-2y4pgagmge>
- Gallego Landera, Y. A., Arias García, R., Casas Fernández, L., & Sosa Plasencia, R. (2018). Analisis de la implementacion de un parque fotovoltaico en la Universidad Central de las Villas. *Ingeniería Energética*, 39(2), 82-90.
- García Rodríguez, C. A. (2019). *Propuesta técnico económica para la implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en las instalaciones de la Cooperativa de Ingenieros Electricistas COINGEL*. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/15858>
- Gil Knier. (2013). *¿Cómo Funcionan las Celdas Fotovoltáicas?* 3.
- Gobierno de México. (2017). *Beneficio y transformación de minerales*. https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html
- Guosheng Li, Xiuyu Zheng, Lei Han, & Xin Shu. (2021). *Construct Power Main Grid into a Railgrid*. 714(4), 042070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/714/4/042070>
- <https://www.areatecnologia.com>. (2018). *Instalacion fotovoltaica*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/instalacion-fotovoltica.html>
- Israel Rodríguez-Fernández, Daniel Castro-Fresno, Irune Indacoechea-Vega1, & Israel Rodríguez-Fernández. (2021). Technical feasibility for the replacement of high rates of

- natural aggregates in asphalt mixtures. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(8), 940-949. <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654102>
- Jaimes Santander, C. M. (2019). Sistema solar fotovoltaico conectado a la red de baja tensión para la instalaciones de la alcaldía del municipio de Durania. <http://alejandria.ufps.edu.co/descargas/tesis/1090596.pdf>.
<http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/3030>
- Jean Bosco Samon. (2022). A Method for Assessing Economic Feasibility in Mechanical Design. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 11(4), 57-61. <https://doi.org/10.35940/ijeat.c3339.0411422>
- Jinkosolar. (2024). Panel Solar JINKO SOLAR Tiger Neo N-type JKM420N-54HL4-V. Renovaenergia S.A. <https://www.renova-energia.com/productos/jinko-solar-tiger-neo-n-type-jkm420n-54hl4-v/>
- Leandro Carrelero, Hugo Gomes, Fabiano Costa, Filipe Antônio da Costa Bahia, Antonio Santos, Jose Renes Pinheiro, & André Pires Nóbrega. (2022). An Isolated Standalone Photovoltaic-Battery System for Remote Areas Applications. *Journal of Energy Storage*, 55, 105568-105568. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105568>
- Li Peilin, Suetterlin Sven, & Zhou Wenbin. (2020). Power meter with fixed segment interactive menu. <https://typeset.io/papers/power-meter-with-fixed-segment-interactive-menu-9s7ihmkqfd>
- Manuel Flota-Bañuelos, M. J. Espinosa-Trujillo, José Cruz-Chan, & Tariq Kamal. (2023). Experimental Study of an Inverter Control for Reactive Power Compensation in a Grid-Connected Solar Photovoltaic System Using Sliding Mode Control. *Energies*, 16(2), 853-853. <https://doi.org/10.3390/en16020853>
- Michael Grubb. (2023). An Overview of Issues and Options for Technology Innovation and Climate Change Policy. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 06(06). <https://doi.org/10.47191/ijmra/v6-i6-80>

- Nickolas Pappas. (2023). Green transition and gender bias: An analysis of renewable energy generation companies in Latin America. *Energy Research and Social Science*, 101, 103151-103151. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103151>
- Nigel P. M. Nurse, Arthur Wright, & Piers Newbery. (2022). *Electric Fuses: Fundamentals and new applications*. <https://doi.org/10.1049/pbpo191e>
- Ñauñay Puente Diego Fernando. (2022). *Diseño de una estrategia de control basada en el control predictivo generalizado aplicado a inversores fotovoltaicos para zonas aisladas* [Universidad de las Fuerzas Armadas]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/30222/1/T-ESPE-052376.pdf>
- Pambi Toapanta, Gustavo Andrés. (2023). *Factibilidad para la implementación de un sistema de energía fotovoltaica para la planta de San Gabriel de la empresa Alpina Ecuador*. [masterThesis, Quito: UCE]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/30035>
- Pan Zhoulin, Liu Jiangjun, & Han Cuiyun. (2020). *Mounting structure for solar cell panel*. <https://typeset.io/papers/mounting-structure-for-solar-cell-panel-4prtveouv>
- Peng Mao, Mao Zhang, Yaru Zhu, & Weiping Zhang. (2021). A novel current controller in photovoltaic grid-connected inverter. *Journal of The Chinese Institute of Engineers*, 44(3), 277-292. <https://doi.org/10.1080/02533839.2021.1884604>
- Pesantez, J. P., Ríos Villacorta, A., Redrován, J. G., Pesantez, J. P., Ríos Villacorta, A., & Redrován, J. G. (2021). Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro. *Revista Politécnica*, 47(2), 7-16. <https://doi.org/10.33333/rp.vol47n2.01>
- Rimbawati, Juli Riandra, Munawar Alfansury Siregar, & Zainuddin Siagian. (2022). *Lightning Arrester Design as a Security System for Photovoltaic Systems in Pematang Johar Village*. 54-59. <https://doi.org/10.1109/ELTICOM57747.2022.10038261>

Rodríguez Sánchez, R. F., & Serrano Botello, H. C. (2021). *VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED DE LA CABAÑA MIRADOR DEL MAR EN LA VEREDA EL MANANTIAL EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARTA.*

<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6994>

Ronald Ezequiel, V. C. (2022). *Simulación de un sistema fotovoltaico conectado a red para abastecer la demanda eléctrica de una vivienda unifamiliar: Simulación de un sistema fotovoltaico conectado a red.* [masterThesis, Quito: EPN, 2022.].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23099>

Sánchez Guevara, S., & Franco Gil, J. (2016). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la Universidad Tecnológica de Pereira.* <https://hdl.handle.net/11059/7010>

Sarayu Vunnam, M. Vanithasri, & RamaKoteswara Rao Alla. (2023). An outline of solar photovoltaic systems impact on environment. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(5), 2635-2642. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i5.5584>

Shaofei Zhu & Chao Hu. (2022). Design of A Grid-connected Control System for Distributed Photovoltaic Power Generation Based on PLC. *Journal of Physics: Conference Series*, 2399(1), 012024-012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2399/1/012024>

Sunita Routray, Raghupatruni Bhima Rao, & Ranjita Swain1. (2021). An Approach to Set Up a Mobile Commercial Mineral Separation Plant for Recovery of Additional Values from Beach Sand Mineral Separation Plant Tailings. *Journal of The Institution of Engineers : Series D*, 102(1), 1-5. <https://doi.org/10.1007/S40033-021-00255-4>

Velasco, G. F., & Cabrera, E. (2014). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura.*

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9350>

Yang Shuo, Zeng Shuang, & Chen Ping. (2020). *Photovoltaic energy system.* <https://typeset.io/papers/photovoltaic-energy-system-xohihwmqnj>