



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI

**ESCUELA DE POSGRADOS
MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN SISTEMAS DE GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Magister Tecnológico en
Sistemas de Generación Solar y Eólica**

Tema:

**Análisis comparativo de la instalación de seguidores solares de 1 eje respecto a
instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo.**

Caso estudio: San Antonio de Pichincha.

Autor: Miguel Alejandro Sánchez Buenaño.

Director: Luis Daniel Andagoya Alba.

Fecha: Septiembre 2024

Sangolquí - Ecuador



Autor: Sánchez Buenaño Miguel Alejandro.

Título a obtener: Magister Tecnológico en Sistemas de Generación Solar y Eólica.

Matriz: Sangolquí -Ecuador.

Correo electrónico: alejomikesanchez@hotmail.com



Dirigido por: Andagoya Alba Luis Daniel.

Título: Master en Integración de las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico / Ingeniero Eléctrico.

Matriz: Sangolquí -Ecuador.

Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec

Todos los derechos reservados

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

@2024 Tecnológico Universitario Rumiñahui

Sangolquí – Ecuador

Sánchez Buenaño Miguel Alejandro



APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA INSTALACIÓN DE SEGUIDORES SOLARES DE 1 EJE RESPECTO A INSTALACIONES FIJAS EN APLICACIONES DE RIEGO Y AUTOCONSUMO. CASO ESTUDIO: SAN ANTONIO DE PICHINCHA** realizado por **MIGUEL ALEJANDRO SÁNCHEZ BUENAÑO** ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la institución, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

LUIS DANIEL
ANDAGOYA
ALBA

Firmado digitalmente
por LUIS DANIEL
ANDAGOYA ALBA
Fecha: 2024.09.15
22:24:25 -05'00'

Luis Daniel Andagoya-Alba
Director del Trabajo de Titulación
C.I.:1723285993
Correo electrónico: luis.andagoya@ister.edu.ec



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

Por medio de la presente, yo, Sánchez Buenaño Miguel Alejandro, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente: ser autor del trabajo de titulación denominado "Análisis comparativo de la instalación de seguidores solares de 1 eje respecto a instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo. Caso de estudio: San Antonio de Pichincha.", de la Maestría Tecnológica en energía solar y eólica; manifiesto mi voluntad de ceder al Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui los derechos de reproducción, distribución y publicación de dicho trabajo de titulación, en cualquier formato y medio, con fines académicos y de investigación.

Esta cesión se otorga de manera no exclusiva y por un periodo indeterminado. Sin embargo, conservo los derechos morales sobre mi obra.

En fe de lo cual, firmo la presente.

Atentamente,

Sánchez Buenaño Miguel Alejandro

CI: 1719047100



**FORMULARIO PARA ENTREGA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
EN BIBLIOTECA DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
UNIVERSITARIO RUMIÑAHUI**

MAESTRÍA TECNOLÓGICA: Energía solar y eólica

AUTOR /ES:

Miguel Alejandro Sánchez Buenaño

TUTOR:

Luis Daniel Andagoya Alba

CONTACTO ESTUDIANTE:

0998960403

CORREO ELECTRÓNICO:

alejandrosancheztecnología@hotmail.com

TEMA:

Análisis comparativo de la instalación de seguidores solares de 1 eje respecto a instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo. Caso de estudio: San Antonio de Pichincha.

RESUMEN EN ESPAÑOL:

La presente investigación se desarrolla en el contexto de la energía solar fotovoltaica, que está experimentando un aumento en su adopción a nivel global y en América Latina, particularmente en Ecuador. En este país, el uso de tecnologías eficientes se vuelve esencial debido al agotamiento de incentivos. Un problema clave es la baja adopción de seguidores solares, que tienen el potencial de incrementar la eficiencia energética de las instalaciones fotovoltaicas entre un 15% y un 25%, lo que limita la producción de energía renovable. El objetivo principal de este estudio es evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar seguidores solares en sistemas fotovoltaicos, buscando maximizar la producción de energía en el sector agrícola. Para ello, se utilizó una metodología que combina análisis cuantitativos y cualitativos, incluyendo estudios de caso y simulaciones de rendimiento energético. Esta investigación se justifica por la necesidad de optimizar los recursos energéticos en un país con alta radiación solar, contribuyendo así al desarrollo sostenible y a la seguridad alimentaria. La conclusión más importante es que la implementación de seguidores solares no solo mejora la eficiencia energética, sino que también representa una solución viable para los desafíos energéticos en el sector agrícola, fomentando un uso más sostenible de la energía solar en Ecuador.

**PALABRAS CLAVE:**

energía solar, seguidores solares, eficiencia energética, agricultura

ABSTRACT:

This research is developed in the context of photovoltaic solar energy, which is experiencing an increase in adoption globally and in Latin America, particularly in Ecuador. In this country, the use of efficient technologies becomes essential due to the depletion of incentives. A key problem is the low adoption of solar trackers, which have the potential to increase the energy efficiency of photovoltaic installations by 15% to 25%, thereby limiting renewable energy production. The main objective of this study is to evaluate the technical and economic feasibility of implementing solar trackers in photovoltaic systems, aiming to maximize energy production in the agricultural sector. To achieve this, a methodology was employed that combines quantitative and qualitative analyses, including case studies and energy performance simulations. This research is justified by the need to optimize energy resources in a country with high solar radiation, thus contributing to sustainable development and food security. The most important conclusion is that the implementation of solar trackers not only improves energy efficiency but also represents a viable solution to the energy challenges in the agricultural sector, promoting a more sustainable use of solar energy in Ecuador.

PALABRAS CLAVE:

Solar energy, solar trackers, energy efficiency, agriculture.



SOLICITUD DE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

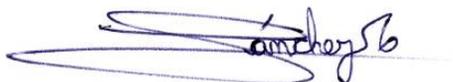
Sangolquí, 15 de septiembre del 2024

MSc. Elizabeth Aldás
Directora de Posgrados
Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui
Presente

A través del presente me permito aceptar la publicación del trabajo de titulación denominado: “Análisis comparativo de la instalación de seguidores solares de 1 eje respecto a instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo. Caso estudio: San Antonio de Pichincha.” de la Unidad de Integración Curricular en el repositorio digital “DsPace” del estudiante: Miguel Alejandro Sánchez Buenaño, con documento de identificación No 1719047100 estudiante de la Maestría Tecnológica en Energía Solar y Eólica.

El trabajo ha sido revisado las similitudes en el software “TURNITING” y cuenta con un porcentaje máximo de 10%; motivo por el cual, el Trabajo de titulación es publicable.

Atentamente,



Miguel Alejandro Sánchez Buenaño
CI: 1719047100

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis amados padres, cuyo amor y apoyo incondicional me han guiado en cada paso de mi vida. A mi pareja, por ser mi fuerza y motivación constante. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos mis profesores, quienes han compartido su conocimiento y sabiduría a lo largo de este viaje académico. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido una fuente de inspiración. Un agradecimiento especial a mi tutor, MSc. Luis Daniel Andagoya Alba, por su invaluable orientación y apoyo en el desarrollo de esta tesis. Su paciencia, consejos y compromiso han sido fundamentales para lograr este objetivo. A todos, gracias por contribuir a mi formación y por creer en mí. Este logro es también un reflejo de su dedicación y esfuerzo.

Resumen

La presente investigación se sitúa en el contexto actual de la energía solar fotovoltaica, caracterizada por una creciente adopción a nivel global y latinoamericano, especialmente en Ecuador, donde el uso de tecnologías eficientes se vuelve crucial ante el agotamiento de incentivos. El problema científico radica en la baja adopción de seguidores solares, que podrían aumentar la eficiencia energética de las instalaciones fotovoltaicas en un 15% a 25%, limitando así el potencial de producción de energía renovable. El objetivo general es evaluar la viabilidad técnica y económica de implementar seguidores solares en sistemas fotovoltaicos para maximizar la producción energética en el sector agrícola. Para ello, se empleó una metodología que combina análisis cuantitativos y cualitativos, incluyendo estudios de caso y simulaciones de rendimiento energético. La justificación de esta investigación se fundamenta en la necesidad de optimizar el uso de recursos energéticos en un país con alta radiación solar, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la seguridad alimentaria. La conclusión fundamental es que la implementación de seguidores solares no solo mejora la eficiencia energética, sino que también puede ser una solución viable para enfrentar los desafíos energéticos en el sector agrícola, promoviendo un uso más sostenible y rentable de la energía solar en Ecuador.

Palabras claves: energía solar, seguidores solares, eficiencia energética, agricultura.

Abstract:

This research is situated in the current context of photovoltaic solar energy, characterized by a growing adoption at the global and Latin American levels, especially in Ecuador, where the use of efficient technologies becomes crucial due to the depletion of incentives. The scientific problem lies in the low adoption of solar trackers, which could increase the energy efficiency of photovoltaic installations by 15% to 25%, thereby limiting the potential for renewable energy production. The general objective is to evaluate the technical and economic feasibility of implementing solar trackers in photovoltaic systems to maximize energy production in the agricultural sector. To achieve this, a methodology was employed that combines quantitative and qualitative analyses, including case studies and energy performance simulations. The justification for this research is based on the need to optimize the use of energy resources in a country with high solar radiation, contributing to sustainable development and food security. The fundamental conclusion is that the implementation of solar trackers not only improves energy efficiency but can also be a viable solution to address the energy challenges in the agricultural sector, promoting a more sustainable and profitable use of solar energy in Ecuador.

Keywords: Solar energy, solar trackers, energy efficiency, agriculture.

INDICE

| | |
|---|----------|
| Aprobación del director | III |
| Carta de cesión de derechos..... | IV |
| Formulario para entrega de proyecto de titulación en biblioteca | V |
| Solicitud publicación trabajo de titulación | VII |
| Dedicatoria..... | VIII |
| Agradecimiento | IX |
| Resumen | X |
| Abstract: | XI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Tema | 1 |
| Planteamiento del Problema | 1 |
| Problema Científico..... | 3 |
| Desglose del Problema | 3 |
| Preguntas científicas o directrices | 4 |
| Objetivo general | 4 |
| Objetivos específicos | 4 |
| Justificación | 5 |
| Variables..... | 5 |
| Variables Directas..... | 5 |
| Variables Indirectas | 6 |
| Hipótesis | 6 |
| Hipótesis secundarias: | 7 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO I | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 8 |
| 1.1. Contextualización espacio temporal del problema | 8 |
| 1.2. Estado del arte | 9 |
| 1.3. Cuerpo teórico conceptual | 17 |
| 1.4. Antecedentes..... | 23 |
| CAPÍTULO II..... | 26 |
| MARCO METODOLÓGICO..... | 26 |
| 2.1. Enfoque Metodológico de la Investigación..... | 26 |
| 2.2. Población, Unidades de Estudio y Muestra, y/o Unidad de Análisis (Caso de Estudio).... | 26 |
| 2.3. Métodos Empíricos y Técnicas Empleadas para la Recolección de la Información | 27 |
| 2.4. Formas de Procesamiento de la Información Obtenida de la Aplicación de los Métodos y Técnicas | 28 |
| 2.5. Operacionalización de las Variables..... | 29 |
| CAPÍTULO III | 30 |
| PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO | 30 |
| 3.1. Fundamentos de la Propuesta | 30 |
| 3.2. Presentación de la Propuesta | 31 |
| 3.3. Ejecución de la Propuesta..... | 32 |
| 3.4. Análisis Final de los resultados y comparativa de los escenarios | 66 |
| CONCLUSIONES..... | 73 |
| RECOMENDACIONES | 75 |
| REFERENCIAS | 77 |
| ANEXOS | 81 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ubicación Geográfica del Sitio. Latitud -0.0204; Longitud -78.4437 | 33 |
| Figura 2: Datos meteorológicos de la NREL NSRDB 1998-2020..... | 33 |
| Figura 3: Configuración del ángulo, limitaciones y tipo de campo del panel..... | 34 |
| Figura 4: Configuración del ángulo, limitaciones y tipo de campo del panel..... | 35 |
| Figura 5: Consumo de energía de los equipos y aparatos..... | 36 |
| Figura 6: Definición horaria del consumo..... | 37 |
| Figura 7: Definición de las variantes (Almacenamiento)..... | 38 |
| Figura 8: Definición de las variantes (Panel fotovoltaico, Controlador)..... | 39 |
| Figura 9: Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 60°..... | 40 |
| Figura 10: Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 60°..... | 40 |
| Figura 11: Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 30°..... | 41 |
| Figura 12: Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 30°..... | 41 |
| Figura 13: Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 3°..... | 41 |
| Figura 14: Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 3°..... | 41 |
| Figura 15: Grafica solar..... | 42 |
| Figura 16: Definición de sombreados y construcción de escena 3D..... | 43 |
| Figura 17: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 60°..... | 44 |
| Figura 18: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 60° | 44 |
| Figura 19: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 30°..... | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura 20:.. Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 30° . | 47 |
| Figura 21:.. Resultados de Producción y Perdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 3° . | |
| | 49 |
| Figura 22:.. Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 3° . | 50 |
| Figura 23:.. Tablas de resultados para seguir de un eje a 60° | 52 |
| Figura 24:.. Tablas de resultados para PV de eje fijo a 60° | 53 |
| Figura 25:.. Tablas de resultados para seguir de un eje a 30° . | 57 |
| Figura 26:.. Tablas de resultados para PV de eje fijo a 30° | 57 |
| Figura 27:.. Tablas de resultados para seguir de un eje a 3° . | 61 |
| Figura 28:.. Tablas de resultados para PV de eje fijo a 3° | 62 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Resultados Escenario 1. (60° de Inclinación)..... | 44 |
| Tabla 2: Resultados Escenario 2. (30° de Inclinación)..... | 47 |
| Tabla 3: Resultados Escenario 3. (3° de Inclinación)..... | 50 |
| Tabla 4: Resultados Producción del sistema Escenario 1. (60° de Inclinación) | 53 |
| Tabla 5: Resultados Producción del sistema Escenario 2. (30° de Inclinación) | 58 |
| Tabla 6: Resultados Producción del sistema Escenario 3. (3° de Inclinación) | 62 |
| Tabla 7: Resultados comparativos Escenario 1. (60° de Inclinación) | 66 |
| Tabla 8: Resultados comparativos Escenario 2. (30° de Inclinación) | 68 |
| Tabla 9: Resultados comparativos Escenario 3. (3° de Inclinación) | 70 |

INTRODUCCIÓN

Tema

Análisis comparativo de la instalación de seguidores solares de 1 eje respecto a instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo. Caso de estudio: San Antonio de Pichincha.

Planteamiento del Problema

El sector de la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsado en gran medida por la creciente demanda de fuentes de energía renovable y la presión por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En 2022, se registró un aumento del 42% en las instalaciones solares fijas, y se espera que esta tendencia continúe en 2023 con una proyección de crecimiento del 58%, lo que llevaría la capacidad instalada a 413 GW a nivel mundial. Este auge refleja el interés global por adoptar tecnologías que aprovechen la energía solar, una fuente inagotable y limpia que se considera clave para la transición energética.

A pesar de este notable crecimiento, las instalaciones solares fijas, que son las más comunes en el mercado, no siempre optimizan la captación de radiación solar. Esto se debe a que estas instalaciones, al estar fijas en un ángulo específico, no pueden seguir el movimiento del sol a lo largo del día y durante las diferentes estaciones del año. Como resultado, la cantidad de energía que generan es menor en comparación con las tecnologías que sí pueden realizar este seguimiento, como los seguidores solares.

Los seguidores solares, que pueden ser de uno o varios ejes, permiten que los paneles solares se orienten de manera óptima hacia el sol durante todo el día. Esto maximiza la captación de radiación solar y, por ende, la generación de energía. Sin embargo, la implementación de esta tecnología presenta varios desafíos, especialmente en lo que respecta a la viabilidad económica y técnica.

El principal problema en este contexto es encontrar el equilibrio entre la inversión inicial, que es significativamente más alta para los seguidores solares, y los beneficios a largo plazo que podrían derivarse de su mayor eficiencia en la captación de energía solar. La inversión en seguidores solares no solo implica un costo inicial más alto en comparación con las instalaciones fijas, sino que también conlleva mayores costos operativos y de mantenimiento. Estos costos adicionales se deben a la mayor complejidad de los sistemas de seguimiento, que incluyen componentes móviles que requieren un mantenimiento regular para garantizar su funcionamiento óptimo.

Además de los costos, la integración de los seguidores solares en sistemas existentes o en nuevos desarrollos es un desafío en sí mismo. Los sistemas de seguimiento requieren un espacio mayor y una infraestructura más robusta para soportar el movimiento de los paneles solares. Esto puede ser un obstáculo en áreas donde el espacio es limitado o donde la infraestructura no está diseñada para soportar la carga adicional.

La variabilidad de las condiciones climáticas y geográficas también añade una capa de incertidumbre al rendimiento esperado de los seguidores solares. En regiones con altos niveles de radiación solar, los seguidores pueden ofrecer beneficios significativos, pero en áreas donde la radiación es más variable o donde las condiciones meteorológicas son menos favorables, el rendimiento adicional que ofrecen los seguidores podría no justificar la inversión. Por lo tanto, es crucial realizar un análisis detallado de las condiciones locales antes de decidir sobre la implementación de esta tecnología.

El dilema central radica en si la inversión adicional en seguidores solares puede justificarse por los aumentos en la eficiencia y la producción energética que estos ofrecen. Este es un tema que requiere un análisis cuidadoso y detallado, considerando no solo los beneficios económicos a largo plazo, sino también los impactos ambientales y la contribución a la sostenibilidad energética. Los beneficios a largo plazo, como la reducción en los costos de electricidad y la mayor independencia energética, deben ser sopesados frente a los costos iniciales y continuos asociados con esta tecnología más avanzada.

Para abordar este problema, el proyecto se centra en realizar un análisis comparativo entre las instalaciones solares fijas y los seguidores solares de un eje. Este análisis considera una variedad de factores, incluyendo los patrones de consumo específicos, como el riego y el autoconsumo, así como las condiciones ambientales y económicas que influyen en la eficacia y rentabilidad de ambas tecnologías. La comparación entre estas dos tecnologías no solo permitirá determinar cuál es la más adecuada en diferentes escenarios, sino que también proporcionará una base sólida para tomar decisiones informadas sobre futuras inversiones en energía solar fotovoltaica.

La resolución de este problema es esencial para guiar las futuras inversiones en energía solar hacia soluciones que no solo sean sostenibles desde un punto de vista ambiental, sino que también sean viables económicamente. En un contexto donde la transición hacia energías renovables es una prioridad global, encontrar soluciones que maximicen la eficiencia y la rentabilidad es crucial para asegurar que la energía solar se convierta en una fuente de energía dominante en el futuro. Con el crecimiento proyectado para los próximos años, es imperativo que las decisiones sobre la tecnología a adoptar se basen en un análisis riguroso y una comprensión clara de los beneficios y desafíos asociados con cada opción.

Problema Científico

A partir del título de investigación, podemos inferir que el problema científico central radica en determinar la eficiencia y viabilidad económica de utilizar seguidores solares de un eje en comparación con sistemas fotovoltaicos fijos para aplicaciones de riego y autoconsumo en un contexto específico, como es el caso de estudio de San Antonio de Pichincha.

Desglose del Problema

Comparación de tecnologías: El estudio busca establecer una comparación directa entre dos tecnologías de captación solar: los seguidores solares de un eje y los sistemas fijos.

Aplicaciones específicas: Se enfoca en dos aplicaciones concretas: el riego y el autoconsumo energético, lo que implica evaluar la adecuación de cada tecnología a estas necesidades particulares.

Contexto geográfico: El estudio se circunscribe a un área geográfica específica, San Antonio de Pichincha, lo que permite considerar factores climáticos, topográficos y de irradiación solar propios de la región.

Preguntas científicas o directrices

¿Cuál es la diferencia en la eficiencia energética entre sistemas solares con seguidores de 1 eje y sistemas solares fijos en aplicaciones de riego en San Antonio de Pichincha?

¿Cómo influye el uso de seguidores solares de 1 eje en la capacidad de generación energética para el autoconsumo en comparación con instalaciones solares fijas?

¿Cuál de las tecnologías es más adecuada para las necesidades específicas de riego y autoconsumo en la zona de estudio?

Objetivo general

Realizar un análisis comparativo de seguidores solares de un eje en instalaciones fotovoltaicas destinadas a riego y autoconsumo en San Antonio de Pichincha a través de la recolección y evaluación de datos a través de PVSIST(Simulador), para determinar la viabilidad técnica y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones en el sector agrícola y energético de San Antonio de Pichincha.

Objetivos específicos

- Diseñar un sistema fotovoltaico utilizando seguidores de un eje para compararlo con paneles de eje fijo.

- Comparar la producción energética de los seguidores solares de un eje con las instalaciones fijas durante un ciclo anual.

- Proponer recomendaciones basadas en los resultados obtenidos para optimizar el uso de sistemas fotovoltaicos en aplicaciones de riego y autoconsumo.

Justificación

El proyecto tiene como alcance la evaluación técnica de la instalación de seguidores solares de un eje en contraste con las instalaciones fijas, enfocándose en su aplicación en sistemas de riego y autoconsumo. El siguiente proyecto se justifica por la necesidad de analizar el rendimiento y la eficiencia de ambas configuraciones para determinar cuál es más eficiente en la generación de energía.

El proyecto se estructura en una gran área de evaluación técnica, complementada por un estudio de caso específico que permita observar el comportamiento real de las tecnologías en cuestión.

El análisis se centrará en los aspectos siguientes:

a. Evaluación Técnica:

- Diseño y modelado de sistemas fotovoltaicos con seguidores solares de un eje y comparación con sistemas fijos.
- Estimación de la producción energética anual y su correlación con los patrones de consumo específicos del riego y autoconsumo.
- Análisis de la viabilidad técnica, considerando la incidencia solar, condiciones climáticas, y topografía del terreno.

b. Estudio de Caso:

- Realización de estudio piloto en San Antonio de Pichincha para evaluar el desempeño real de los seguidores solares en condiciones operativas.

Variables

Variables Directas

Producción de energía: La cantidad de energía eléctrica generada por cada tipo de sistema (seguidor solar de 1 eje vs. fijo) en un período determinado.

Costo de instalación: Los gastos iniciales asociados a cada tipo de sistema, incluyendo paneles solares, estructuras, inversores y mano de obra.

Costo de operación y mantenimiento: Los gastos recurrentes asociados a cada sistema, como limpieza de paneles, reparaciones y reemplazo de componentes.

Eficiencia del sistema: La relación entre la energía producida y la energía incidente en los paneles solares.

Orientación e inclinación de los paneles: La posición física de los paneles solares en cada sistema.

Variables Indirectas

Radiación solar: La cantidad de radiación solar incidente en la zona de estudio.

Condiciones climáticas: Temperatura, humedad, nubosidad, viento, etc., que pueden afectar la eficiencia de los paneles solares.

Consumo de energía: La demanda de energía eléctrica en la aplicación de riego y autoconsumo.

Precio de la energía eléctrica: El costo de la energía adquirida de la red eléctrica.

Políticas públicas: Incentivos fiscales, subsidios, regulaciones, etc., que pueden influir en la decisión de invertir en sistemas solares.

Características del suelo y cultivos: Tipo de suelo, cultivos, sistema de riego, etc., que pueden influir en la demanda de energía para riego.

Hipótesis

Hipótesis principal: Los seguidores solares de un eje producirán una mayor cantidad de energía eléctrica anualmente en comparación con las instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo en San Antonio de Pichincha.

Hipótesis secundarias:

Los seguidores solares de un eje presentarán una mayor eficiencia energética durante todo el año, especialmente en los meses de menor radiación solar. Los seguidores solares se adaptarán mejor a las variaciones estacionales de la radiación solar en la región de San Antonio de Pichincha.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Contextualización espacio temporal del problema

1.1.1. Contexto Global:

A nivel mundial, la energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento notable en las últimas décadas, convirtiéndose en una de las fuentes de energía renovable más prometedoras. Inicialmente, las instalaciones de paneles solares eran estáticas, limitando su capacidad de capturar la radiación solar. Sin embargo, la reducción de costos de los paneles y las políticas de incentivos han impulsado su adopción. A medida que los incentivos han comenzado a agotarse, el enfoque ha cambiado hacia modelos de autoconsumo, donde la eficiencia de las instalaciones se vuelve crucial. Los seguidores solares, que permiten un seguimiento dinámico del sol, representan una innovación significativa, aumentando la producción de energía entre un 15% y un 25% en comparación con sistemas fijos.

1.1.2. Contexto Latinoamericano:

En Latinoamérica, el potencial solar es inmenso, con diversas regiones que reciben altos niveles de radiación solar. Sin embargo, la adopción de tecnologías avanzadas como los seguidores solares ha sido desigual. A pesar de los beneficios evidentes, los costos asociados y la complejidad de instalación limitan su implementación. Las políticas energéticas en muchos países de la región están comenzando a reconocer la importancia de la eficiencia energética y la sostenibilidad, promoviendo el uso de tecnologías que optimicen la producción de energía renovable.

1.1.3. Contexto Nacional (Ecuador):

En Ecuador, la energía solar comienza a ganar terreno en el mix energético, aunque aún enfrenta desafíos significativos. La radiación solar es favorable en varias regiones del país, lo que presenta una oportunidad para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos eficientes. Sin embargo, la adopción de seguidores solares no ha sido generalizada debido a la falta de

incentivos económicos y a la percepción de altos costos iniciales y de mantenimiento. La necesidad de promover un uso eficiente del agua y la energía es crítica, especialmente en el sector agrícola, donde el riego eficiente es esencial para mejorar la productividad.

1.1.4. Contexto Local:

A nivel micro, en la localidad específica donde se realiza esta investigación, se observa un interés creciente en la implementación de tecnologías solares, particularmente en el sector agrícola. Las comunidades locales enfrentan desafíos en el acceso a energía confiable y sostenible para el riego, lo que limita su capacidad de producción. La implementación de seguidores solares podría representar una solución efectiva para maximizar la producción de energía durante las horas críticas de riego, mejorando la sostenibilidad y rentabilidad de las operaciones agrícolas. Sin embargo, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de la viabilidad técnica y económica de estas tecnologías en el contexto específico de la localidad, considerando factores como la radiación solar, patrones de consumo y costos de electricidad.

Por lo tanto, la evolución de la energía solar fotovoltaica, especialmente a través de innovaciones como los seguidores solares, presenta una oportunidad valiosa para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad en Ecuador, particularmente en el ámbito agrícola. La comprensión de los factores que influyen en la adopción de estas tecnologías es crucial para fomentar su implementación y maximizar sus beneficios económicos y ambientales.

1.2. Estado del arte

Según (Carpio, J) los sistemas de seguimiento solar fotovoltaico son una de las alternativas más utilizadas para maximizar la recolección de energía de los paneles solares. La principal función de estos sistemas es mantener perpendicular el panel fotovoltaico con la radiación solar a lo largo del día. Se ha demostrado que los sistemas de seguimiento mejoran la generación de energía fotovoltaica entre un 10% y un 50% de efectividad, lo que resalta su importancia en la producción de energía limpia y sostenible. Sin embargo, estos sistemas representan una importante porción del costo total del sistema, lo que genera preocupaciones sobre su viabilidad económica a gran escala.

La normativa ecuatoriana ARCONEL 003-18 puede acortar la inversión en generación fotovoltaica, ya que sin esta regulación se debería incrementar el presupuesto de un sistema fotovoltaico, lo que podría actuar como un incentivo para atraer inversiones en energías renovables. Este tipo de regulaciones son cruciales para fomentar el desarrollo de tecnologías limpias y sostenibles, incentivando tanto a empresas como a individuos a adoptar soluciones energéticas más responsables.

La integración de plantas de energía PV con la agricultura puede suministrar energía a la red y contribuir al desarrollo agrícola. A medida que los recursos energéticos de la Tierra se agotan, es crucial utilizar los recursos disponibles de manera inteligente para optimizar la generación de energía y satisfacer la demanda del consumidor. La implementación de tecnologías de seguimiento solar no solo aumenta la eficiencia energética, sino que también puede ayudar a mitigar los efectos del cambio climático al reducir la huella de carbono de las actividades agrícolas.

Según el paper de (Rodríguez C, Gandhi O, Reindl T) de la revista IEEE, la capacidad acumulada de instalación fotovoltaica global sigue aumentando, alcanzando más de 600 GWp. Aunque la mayoría de estas instalaciones son de orientación fija, los sistemas con seguimiento están ganando popularidad debido a su capacidad de generar energía adicional. Los estudios han demostrado que la implementación de sistemas de seguimiento puede aumentar la producción de energía entre un 26% y un 31%, lo que demuestra que la adopción de esta tecnología puede ser una estrategia efectiva para maximizar el rendimiento de las inversiones en energía solar. La creciente capacidad de instalación fotovoltaica global refleja una tendencia hacia la adopción de tecnologías más eficientes en la generación de energía solar. A medida que los sistemas de seguimiento se vuelven más populares, es fundamental evaluar su impacto en la producción energética. Los estudios indican que, además del aumento en la generación de energía observado en diversas investigaciones, la implementación de estos sistemas puede ser crucial para optimizar el rendimiento de las inversiones. Este enfoque no solo promueve la sostenibilidad, sino que también abre nuevas oportunidades para la innovación en el sector energético, alineándose con las metas de un futuro más limpio y eficiente.

En el paper de (Dawoud B, Chun S) en Malasia, el desarrollo de sistemas solares PV a gran escala ha mostrado que los sistemas de seguimiento pueden generar aproximadamente un 15% más de energía que los sistemas montados de forma fija, lo que resalta la necesidad de seguir investigando la efectividad y la rentabilidad de estos sistemas en diferentes contextos, potencialmente llevando a un futuro más sostenible en la producción de energía. La investigación continua en este campo es esencial para identificar nuevas oportunidades y mejorar las tecnologías existentes, asegurando que la transición hacia un sistema energético más limpio y eficiente sea tanto viable como accesible para todos. La investigación sobre sistemas de seguimiento solar es fundamental para maximizar la eficiencia en la generación de energía renovable. En este sentido, tanto el estudio de (Dawoud B, Chun S) como el análisis de (Zhu Y., Liu J., Yang X) resaltan la importancia de adaptar las tecnologías a diferentes contextos. Los sistemas de seguimiento no solo ofrecen un aumento en la producción energética, como se evidencia en el incremento del 15% en Malasia, sino que también presentan diseños innovadores que optimizan la captación solar. Esta sinergia entre la investigación y la implementación práctica es crucial para avanzar hacia un futuro energético más sostenible, donde la eficiencia y la rentabilidad se conviertan en pilares de la transición hacia fuentes de energía limpias y accesibles para todos.

El diseño y análisis del sistema de seguimiento solar de un solo eje presentado en el artículo de Energía Aplicada de (Zhu Y., Liu J., Yang X) demuestra un avance significativo en la eficiencia de captación de energía solar, ya que la nueva estructura no solo optimiza la alineación de los paneles con el sol, sino que también ofrece un rendimiento comparable al de los sistemas de doble eje, alcanzando una captación de radiación anual del 96.40% de la de estos últimos. Esto indica que el sistema de un solo eje puede ser una opción viable y económica para maximizar la producción energética en diversas latitudes. Además, la investigación resalta la importancia de innovar en el diseño de sistemas de seguimiento para mejorar la eficiencia energética en un contexto de creciente demanda de energías renovables; la implementación de este tipo de tecnologías no solo contribuirá a la sostenibilidad ambiental, sino que también puede impulsar el desarrollo de infraestructuras energéticas más eficientes y accesibles en todo el mundo.

La evolución de los sistemas de seguimiento solar, como se observa en los estudios de (Zhu Y., Liu J., Yang X) y (Batayneh W, Bataineh, Soliman I, Hafees S), subraya la importancia de la innovación en la captación de energía solar. Ambos enfoques presentan soluciones que no solo mejoran la eficiencia energética, sino que también ofrecen alternativas económicas y viables para diversas aplicaciones. Mientras que el sistema de un solo eje de Zhu y colaboradores destaca por su alto rendimiento en captación anual, el sistema discreto de Batayneh y su equipo muestra que un enfoque simplificado puede ser igualmente efectivo. Esta dualidad en los diseños permite una mayor flexibilidad en la implementación de tecnologías solares, adaptándose a diferentes contextos geográficos y necesidades energéticas, lo que representa un avance crucial en la búsqueda de fuentes de energía más sostenibles. También, el artículo sobre el sistema de seguimiento solar discreto de un solo eje de (Batayneh W, Bataineh, Soliman I, Hafees S) presenta una solución innovadora y eficiente para maximizar la captación de energía solar, ya que con un enfoque que implica un movimiento limitado a solo tres veces al día, el sistema demuestra poder alcanzar entre el 91 % y el 94 % de la energía recolectada por un sistema continuo de seguimiento, lo que sugiere que es una alternativa viable y más económica. La investigación valida que los modelos isotrópicos y anisotrópicos no presentan diferencias significativas en la generación de energía, simplificando así el proceso de diseño del sistema; además, los resultados experimentales se alinean estrechamente con las simulaciones, lo que respalda la fiabilidad del modelo propuesto. En un contexto de creciente demanda de energía renovable y la necesidad de soluciones sostenibles, este sistema de seguimiento solar discreto podría desempeñar un papel crucial en la transición hacia fuentes de energía más limpias y eficientes, abriendo la puerta a futuras exploraciones en la optimización de sistemas de seguimiento solar y sugiriendo que la simplicidad en el diseño puede ser tan efectiva como la complejidad en la operación.

La convergencia de estos enfoques en el seguimiento solar refleja una tendencia creciente hacia la innovación en la captura de energía solar. Por un lado, el sistema de seguimiento solar discreto de (Batayneh W, Bataineh, Soliman I, Hafees S) ofrece una solución económica y efectiva, alcanzando eficiencias comparables a sistemas más complejos. Por otro lado, la investigación de (Das M., Akpınar E.) muestra cómo la implementación de tecnologías avanzadas puede transformar procesos industriales, como el secado de productos agrícolas. Esta

sinergia entre diferentes tecnologías de seguimiento solar no solo optimiza el uso de la energía renovable, sino que también subraya la importancia de adaptar soluciones específicas a las necesidades del sector, facilitando una transición hacia prácticas más sostenibles en la producción de energía y alimentos.

La investigación de (Das M., Akpinar E.) sobre el sistema de seguimiento solar en secadores de aire solar demuestra que la implementación de tecnologías avanzadas, como el seguimiento solar de dos ejes, puede mejorar significativamente la eficiencia térmica y de secado en procesos de secado solar, ya que los resultados muestran que el sistema móvil con seguimiento solar alcanza eficiencias térmicas de hasta el 91% y duplica la eficiencia de secado en comparación con un sistema fijo, que presenta eficiencias mucho más bajas. Este avance no solo optimiza el uso de la energía solar, sino que también reduce el tiempo requerido para secar productos alimenticios, lo que es crucial para la industria agrícola; la capacidad de aumentar la eficiencia promedio en un 42% y reducir los tiempos de secado resalta la importancia de adoptar tecnologías renovables en la producción alimentaria. En resumen, el uso de un sistema de seguimiento solar no solo es ventajoso desde el punto de vista energético, sino que también contribuye a la sostenibilidad y eficiencia en el manejo de recursos en la producción alimentaria, lo que podría tener un impacto positivo en la reducción de costos y en la minimización de la huella ambiental. Ambos estudios, el de (Das M., Akpinar E.) y el de (Sun L, Bai J, Pachauri R, Wang S), destacan la importancia de la tecnología de seguimiento en la optimización de sistemas energéticos. Mientras que el primero se centra en la mejora de la eficiencia térmica y de secado en aplicaciones agrícolas, el segundo aborda la optimización de la producción energética en sistemas fotovoltaicos. Esta sinergia entre tecnologías de seguimiento solar no solo mejora la eficiencia en sus respectivos campos, sino que también subraya la necesidad de integrar soluciones innovadoras que respondan a los desafíos energéticos contemporáneos. La adopción de estas tecnologías avanzadas puede resultar en una reducción significativa de costos y en un uso más efectivo de los recursos, contribuyendo así a una mayor sostenibilidad en la producción alimentaria y energética.

Según (Sun L, Bai J, Pachauri R, Wang S), el desarrollo del soporte de seguimiento horizontal de un solo eje con ángulo de inclinación ajustable (HSATBATA) y el algoritmo de

seguimiento adaptativo en tiempo real (ARTT) representa un avance significativo en la optimización de sistemas fotovoltaicos bifaciales, ya que estas innovaciones no solo mejoran la producción energética, aumentando la eficiencia en un 32,7% en comparación con sistemas fijos y un 7,5% frente a algoritmos convencionales, sino que también reducen el número de arranques del motor en un 71,7%, lo que prolonga la vida útil de los equipos y disminuye costos operativos; estas mejoras son cruciales en el contexto actual de transición hacia energías renovables, donde la eficiencia y la sostenibilidad son imperativas, y la implementación de estos sistemas puede contribuir significativamente a un uso más efectivo de la energía solar, ayudando a mitigar los desafíos energéticos y ambientales del siglo XXI. En definitiva, el HSATBATA y el algoritmo ARTT ofrecen una solución viable y económica para maximizar la producción de energía solar, promoviendo un futuro más sostenible.

La investigación de (Sun L, Bai J, Pachauri R, Wang S) resalta cómo el soporte de seguimiento horizontal de un solo eje con ángulo de inclinación ajustable (HSATBATA) y el algoritmo de seguimiento adaptativo en tiempo real (ARTT) no solo optimizan la producción energética, sino que también ofrecen una solución que se alinea con las necesidades actuales de sostenibilidad y eficiencia. Este enfoque innovador complementa la estrategia de orientación mejorada presentada por (Gamal M Abou-Hashema M y Masahito S), que también busca maximizar la captación de energía solar mediante la optimización del ángulo de inclinación. Ambas investigaciones subrayan la importancia de integrar tecnologías avanzadas en el diseño de sistemas fotovoltaicos, lo que podría facilitar una transición más efectiva hacia energías renovables y contribuir a mitigar los desafíos energéticos y ambientales contemporáneos.

El estudio presentado en el artículo de (Gamal M Abou-Hashema M y Masahito S) demuestra que la implementación de una estrategia de orientación mejorada para paneles fotovoltaicos puede significativamente aumentar la eficiencia de la captación de energía solar, ya que al utilizar un ángulo de inclinación mensual optimizado se logra maximizar la radiación solar incidente, resultando en un incremento notable en la energía producida en comparación con las estrategias convencionales. Los resultados obtenidos en las localidades de Al-Kharjah, Egipto, y Fukuoka, Japón, evidencian que esta metodología no solo mejora la producción energética, sino que también permite una reducción en el área de células solares requeridas, lo

que se traduce en menores costos de instalación y operación del sistema fotovoltaico; además, la estrategia ha demostrado ser aplicable en diferentes condiciones climáticas, sugiriendo su viabilidad global para optimizar sistemas de energía renovable. En resumen, la investigación resalta la importancia de adoptar enfoques innovadores en el diseño de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo así a un uso más eficiente de los recursos energéticos y promoviendo la sostenibilidad en la generación de energía.

La investigación de (Gamal M Abou-Hashema M y Masahito S) pone de manifiesto la efectividad de una estrategia de orientación mejorada en paneles fotovoltaicos, destacando que la optimización del ángulo de inclinación no solo incrementa la captación de energía solar, sino que también resulta en una reducción de costos operativos al disminuir el área necesaria para las células solares. Esta tendencia se complementa con los hallazgos de (Rodríguez C) y colaboradores, quienes evidencian que los sistemas de seguimiento, como el Seguimiento de la Mejor Orientación (TBO), pueden maximizar la eficiencia energética en diversas condiciones climáticas. Ambos estudios sugieren que la implementación de tecnologías avanzadas en el diseño de sistemas fotovoltaicos es crucial para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad en la generación de energía renovable, lo que abre nuevas posibilidades para su aplicación a nivel global.

El estudio realizado por (Rodríguez C) y colaboradores proporciona una visión integral sobre el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos con algoritmos de seguimiento solar, específicamente el Seguimiento del Sol (TS) y el Seguimiento de la Mejor Orientación (TBO), evidenciando que, aunque el TBO ofrece una captación de irradiancia superior en comparación con el TS, especialmente en latitudes más altas, la diferencia es mínima en ubicaciones de menor latitud; además, los resultados indican que los sistemas de seguimiento, particularmente los bifaciales y de doble eje, pueden beneficiarse significativamente de condiciones de albedo elevado, lo que resalta la importancia de considerar factores ambientales en el diseño de instalaciones fotovoltaicas. A pesar de los mayores costos asociados con el TBO debido a la necesidad de sensores adicionales, los beneficios en la generación de energía pueden justificar la inversión, especialmente en proyectos estratégicos, y este trabajo no solo aporta datos valiosos para la comunidad científica, sino que también sirve como guía para desarrolladores y empresas

de ingeniería en la toma de decisiones sobre la implementación de tecnologías de seguimiento, promoviendo así una mayor eficiencia en la generación de energía solar; en resumen, la investigación subraya la necesidad de adoptar enfoques innovadores en el diseño de sistemas fotovoltaicos para maximizar la sostenibilidad y la rentabilidad en la producción de energía renovable.

La investigación de (Rodríguez C) y colaboradores no solo destaca las ventajas del Seguimiento de la Mejor Orientación (TBO) en comparación con el Seguimiento del Sol (TS), sino que también subraya la relevancia de los sistemas de seguimiento en condiciones específicas de irradiancia y albedo. Esto se complementa con el análisis realizado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, donde se observa que los sistemas de seguimiento, como el SFV1, logran incrementos significativos en la producción de energía solar. Sin embargo, es crucial evaluar no solo la eficiencia energética, sino también los costos operativos y el consumo asociado a cada sistema, lo que puede influir en la elección de la tecnología adecuada para maximizar la rentabilidad y sostenibilidad en proyectos de energía renovable.

El análisis comparativo entre paneles fotovoltaicos fijos y sistemas de seguimiento de un eje, realizado en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí por (A. Moreira-Espinoza, Intriago A., Pazmiño P., Ponce M. y Moreano M), revela que los sistemas de seguimiento pueden incrementar significativamente la producción de energía solar, destacando que el sistema de seguimiento por programación astronómica (SFV1) es el más eficiente, logrando un aumento del 31.63% en comparación con el panel fijo, mientras que el sistema basado en sensores LDR (SFV2) mostró un incremento del 38.55%; sin embargo, a pesar de que el SFV2 generó más energía adicional, su mayor consumo energético y costos asociados lo hacen menos favorable en términos de eficiencia general, por lo que el SFV1, con su menor consumo y alta efectividad, se presenta como una opción más conveniente para maximizar la producción de energía en condiciones óptimas de radiación solar, subrayando la importancia de considerar la tecnología de seguimiento en la planificación de instalaciones fotovoltaicas, especialmente en áreas con alta radiación solar, lo que permite a los desarrolladores y empresas de ingeniería tomar decisiones informadas sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos, contribuyendo así a una mayor sostenibilidad y eficiencia en la generación de energía renovable.

1.3. Cuerpo teórico conceptual

1.3.1. Introducción

El aprovechamiento de la energía solar ha ganado un papel crucial en la transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Dentro del campo de la energía solar fotovoltaica, la implementación de sistemas de seguimiento solar, en contraposición a las instalaciones fijas, ha suscitado un interés creciente debido a su capacidad de incrementar la eficiencia energética y la producción eléctrica. Este marco teórico explora la comparación entre seguidores solares de un eje y sistemas fotovoltaicos fijos en aplicaciones específicas de riego y autoconsumo, centrandolo en la zona de San Antonio de Pichincha, en Ecuador. Este análisis se justifica por la importancia de la optimización energética en áreas rurales con necesidades específicas de energía, como es el caso del riego agrícola. (García, M.C., & Di Dio, V., 2012)

1.3.2. Definiciones

1.3.2.1. Panel solar

Un panel solar es un dispositivo que convierte la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Está compuesto por células fotovoltaicas que capturan la energía de la luz solar y la transforman en corriente eléctrica continua.

Aplicación del panel solar: Los paneles solares se utilizan principalmente en sistemas de energía solar fotovoltaica para diversas aplicaciones, como:

- **Generación de Electricidad Residencial:** Se instalan en tejados o terrenos para abastecer de electricidad a hogares y edificios.
- **Sistemas de Autoconsumo:** Permiten a los usuarios generar su propia electricidad y reducir su dependencia de la red eléctrica convencional.
- **Aplicaciones Comerciales e Industriales:** Se emplean en empresas y fábricas para reducir costos energéticos y promover la sostenibilidad.
- **Sistemas de Bombeo Solar:** Se utilizan en sistemas de riego agrícola para proporcionar energía a bombas de agua.

- **Cargas Portátiles:** Paneles solares portátiles se utilizan para cargar dispositivos electrónicos en actividades al aire libre.

En resumen, los paneles solares son dispositivos clave en la generación de energía renovable a partir de la luz solar, con aplicaciones que van desde la generación de electricidad residencial hasta el suministro de energía en entornos remotos y rurales. (Solar Energy Industries Association (SEIA), 2021)

1.3.2.2. Inversor

Un inversor en sistemas fotovoltaicos es un dispositivo fundamental que convierte la corriente continua (CC) generada por los paneles solares en corriente alterna (CA) utilizada para alimentar dispositivos eléctricos en los hogares, empresas y la red eléctrica. Aplicación: El inversor se utiliza en sistemas fotovoltaicos residenciales, comerciales e industriales para garantizar que la energía solar generada sea compatible con la red eléctrica y pueda ser utilizada de manera eficiente. Además, los inversores también pueden tener funciones avanzadas como monitoreo de energía, optimización de la potencia y conexión a la red eléctrica para vender el exceso de energía generada. (Solar Energy Industries Association (SEIA), 2021)

1.3.2.3 Controlador

Un controlador en sistemas fotovoltaicos es un dispositivo electrónico que regula y supervisa el flujo de energía entre los paneles solares, las baterías y la carga eléctrica. Su función principal es maximizar la eficiencia y la vida útil del sistema fotovoltaico al garantizar que la energía se distribuya de manera óptima y segura. Aplicación: Los controladores en sistemas fotovoltaicos se utilizan en una variedad de aplicaciones, como sistemas de energía solar residenciales, comerciales e industriales, sistemas de bombeo de agua, iluminación solar, sistemas de telecomunicaciones, entre otros. Su función es esencial para proteger las baterías de sobrecargas, descargas profundas y optimizar la eficiencia energética del sistema en general. (AutoSolar, 2024)

1.3.2.4 Baterías

Las baterías en sistemas fotovoltaicos son dispositivos de almacenamiento de energía que se utilizan para almacenar la electricidad generada por paneles solares fotovoltaicos durante períodos en los que no hay suficiente luz solar para producir electricidad, como durante la noche o en días nublados. Aplicación: Las baterías en sistemas fotovoltaicos se utilizan en aplicaciones de energía solar residencial, comercial e industrial para maximizar el autoconsumo de la energía generada por los paneles solares. Permiten almacenar el exceso de energía generada durante el día para su uso posterior, lo que contribuye a reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y a aumentar la autonomía y la eficiencia del sistema fotovoltaico. Además, las baterías también son fundamentales en sistemas fotovoltaicos aislados, donde no hay acceso a la red eléctrica y se requiere un almacenamiento de energía para garantizar un suministro continuo. (AutoSolar, 2024)

1.3.2.5 Protecciones

Las protecciones en sistemas fotovoltaicos son dispositivos de seguridad y control diseñados para garantizar el correcto funcionamiento y la integridad de los componentes del sistema solar fotovoltaico. Estas protecciones se utilizan para prevenir daños en los equipos, garantizar la seguridad de las personas y maximizar la eficiencia del sistema.

Aplicación: Las protecciones en sistemas fotovoltaicos se utilizan para diversas funciones, como:

- **Protección contra sobrecargas:** Los dispositivos de protección contra sobrecargas evitan que los componentes del sistema, como los paneles solares y los inversores, se vean afectados por corrientes eléctricas excesivas.
- **Protección contra cortocircuitos:** Las protecciones contra cortocircuitos se activan cuando se produce un cortocircuito en el sistema, interrumpiendo la corriente eléctrica para evitar daños en los equipos.
- **Protección contra sobretensiones:** Los dispositivos de protección contra sobretensiones protegen el sistema fotovoltaico de picos de tensión que puedan dañar los equipos electrónicos.

- Protección contra descargas atmosféricas: Se utilizan dispositivos de protección contra descargas atmosféricas para prevenir daños causados por rayos y descargas eléctricas atmosféricas.
- Protección contra inversión de corriente: Estos dispositivos evitan que la corriente fluya en dirección contraria, lo que puede dañar los equipos del sistema fotovoltaico.

En resumen, las protecciones en sistemas fotovoltaicos son fundamentales para garantizar la seguridad, la eficiencia y la durabilidad de la instalación solar, protegiendo tanto los equipos como a las personas que interactúan con el sistema. (Krannich, 2024)

1.3.2.6 Cableado.

El cableado en sistemas fotovoltaicos se refiere a la red de cables eléctricos utilizados para la conexión de los componentes del sistema, como paneles solares, inversores, baterías y otros dispositivos, con el fin de transportar la energía generada por los paneles solares de manera segura y eficiente. Aplicación: El cableado en sistemas fotovoltaicos desempeña un papel crucial en la transmisión de la energía generada por los paneles solares hacia los diferentes componentes del sistema. Algunas de las aplicaciones del cableado en sistemas fotovoltaicos incluyen:

- Conexión de Paneles Solares: Los cables se utilizan para conectar los paneles solares entre sí y con el resto del sistema, permitiendo la transferencia de la energía generada por los paneles hacia el inversor.
- Conexión con Inversores: Los cables transportan la energía desde los paneles solares hasta los inversores, donde se convierte de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) para su uso en los dispositivos eléctricos.
- Conexión con Baterías: En sistemas que cuentan con almacenamiento de energía mediante baterías, el cableado se utiliza para conectar los paneles solares con las baterías, permitiendo que la energía generada se almacene para su uso posterior.
- Conexión con la Red Eléctrica: En sistemas conectados a la red eléctrica, el cableado se utiliza para conectar el sistema fotovoltaico con la red eléctrica, permitiendo la inyección

de energía excedente a la red y la recepción de energía cuando la generación solar es insuficiente.

En resumen, el cableado en sistemas fotovoltaicos es fundamental para asegurar una conexión segura y eficiente entre los diferentes componentes del sistema, garantizando la transmisión adecuada de la energía generada por los paneles solares. (Anixter, 2024)

1.3.3. Energía Solar Fotovoltaica: Fundamentos y Aplicaciones

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión directa de la luz solar en electricidad a través de células fotovoltaicas. Estos dispositivos, generalmente fabricados con materiales semiconductores como el silicio, aprovechan el efecto fotovoltaico para generar una corriente eléctrica cuando son expuestos a la radiación solar. Esta tecnología ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, con mejoras en la eficiencia de conversión, reducción de costos de producción y una mayor viabilidad económica y técnica para aplicaciones en diversas escalas. (Chapin, D. M., Fuller, C. S, & Pearson, G.L., 1954)

1.3.3.1 Aplicaciones de la Energía Solar en Riego y Autoconsumo

En el contexto de la agricultura, el riego es una de las aplicaciones clave de la energía solar. Los sistemas de riego impulsados por energía solar permiten la extracción y distribución de agua, reduciendo la dependencia de fuentes de energía convencionales y disminuyendo los costos operativos. Para el autoconsumo, la energía solar se convierte en una solución viable para reducir la dependencia de la red eléctrica, especialmente en áreas rurales o aisladas donde el acceso a la energía puede ser limitado o costoso. (Díaz, P., & López, R., 2014)

1.3.4. Sistemas Fotovoltaicos: Instalaciones Fijas vs. Seguidores Solares de un Eje

1.3.4.1 Instalaciones Fijas

Las instalaciones fotovoltaicas fijas consisten en paneles solares montados en estructuras estáticas con un ángulo de inclinación determinado, optimizado generalmente para la latitud del lugar de instalación. Estas estructuras están diseñadas para maximizar la captación de energía solar durante todo el año, pero su eficiencia puede verse limitada debido a que no siguen el

movimiento del sol a lo largo del día. Como resultado, la cantidad de energía generada varía significativamente según la posición del sol en el cielo y la estación del año. (Duffie, J. A., & Beckman, W. A., 2013)

1.3.4.2 Seguidores Solares de un Eje

Los seguidores solares de un eje son sistemas que permiten el movimiento de los paneles fotovoltaicos para seguir la trayectoria del sol desde el este al oeste durante el día. Estos sistemas están diseñados para maximizar la captación de energía solar ajustando continuamente el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre los paneles. En comparación con las instalaciones fijas, los seguidores solares de un eje pueden aumentar la producción de energía en un 10% a 25%, dependiendo de las condiciones climáticas y la ubicación geográfica. (Chong, K. K., & Wong, C. W., 2009)

1.3.5. Comparación de Desempeño: Seguidores de un Eje vs. Instalaciones Fijas

1.3.5.1. Producción de Energía

La producción de energía es uno de los aspectos más críticos al comparar sistemas fotovoltaicos fijos y seguidores solares. Los seguidores solares de un eje tienen la ventaja de mantener un ángulo óptimo de incidencia solar durante la mayor parte del día, lo que se traduce en un incremento en la producción de energía, especialmente en las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde. En San Antonio de Pichincha, una región con una radiación solar promedio elevada, este incremento puede ser particularmente significativo. (Patel, M. R., 1999)

1.3.5.2. Impacto en el Autoconsumo y el Riego

En aplicaciones de riego, la producción de energía constante y a lo largo del día es crucial para garantizar la operación continua de las bombas de agua. Los seguidores solares de un eje pueden proporcionar una fuente de energía más estable, reduciendo la necesidad de almacenamiento en baterías y mejorando la eficiencia general del sistema. Para el autoconsumo, este tipo de sistemas puede reducir la dependencia de la red eléctrica, proporcionando una mayor autosuficiencia energética. (Malinowski, M., Gopakumar, K., Rodriguez, J., & Pérez, M. A., 2011)

1.3.6. Factores Geográficos y Climáticos en San Antonio de Pichincha

San Antonio de Pichincha, ubicado en la región andina de Ecuador, presenta un clima templado con alta radiación solar anual, lo que lo convierte en un lugar ideal para la implementación de sistemas fotovoltaicos. La altitud y la ubicación geográfica favorecen la captación de radiación solar directa, que es más intensa y constante en comparación con otras regiones. Sin embargo, la variabilidad climática, como la presencia de nubes o lluvias estacionales, debe ser considerada al diseñar y dimensionar los sistemas de generación solar. (Huld, 2010)

1.3.6.1. Radiación Solar y su Efecto en la Producción de Energía

La radiación solar en San Antonio de Pichincha es un factor clave en la determinación de la viabilidad y el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. La radiación solar promedio en la región puede oscilar entre 4.5 a 6 kWh/m² por día, lo que representa una excelente oportunidad para la implementación de tecnologías solares tanto en instalaciones fijas como en seguidores de un eje. Es necesario realizar un análisis detallado de los patrones de radiación solar para optimizar el diseño del sistema y maximizar la producción de energía. (Huld, 2010)

1.3.6.2. Desafíos Climáticos y Operativos

Las condiciones climáticas locales también imponen desafíos, como el riesgo de daños por tormentas o la acumulación de polvo y suciedad en los paneles, lo que puede reducir la eficiencia del sistema. Los seguidores solares de un eje pueden requerir un mantenimiento más frecuente debido a su naturaleza mecánica, lo que podría aumentar los costos operativos a largo plazo. En contraste, las instalaciones fijas, aunque menos eficientes, pueden ofrecer una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento. (Fernández-Infantes, A., Contreras, J., & Narvarte, L., 2006)

1.4. Antecedentes

La energía solar fotovoltaica ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas. Inicialmente, las instalaciones de paneles solares se realizaban con estructuras fijas, orientadas de manera estática para capturar la radiación solar. Esta tecnología se ha extendido

globalmente, impulsada por la reducción de costos de los paneles y por políticas de incentivos que han fomentado la inversión en energías renovables. (Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF), 2021)

Con el agotamiento progresivo de estos incentivos y la transición hacia modelos de autoconsumo, el interés se ha desplazado hacia la maximización del uso directo de la energía producida. En este contexto, la eficiencia de las instalaciones solares se ha vuelto un factor crítico. Los seguidores solares de un eje surgen como una solución tecnológica para incrementar la producción de energía de los paneles solares al seguir el movimiento aparente del sol durante el día. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2020)

Los seguidores solares pueden incrementar la producción energética en un rango que varía según la latitud y condiciones climáticas específicas del sitio de instalación, pero generalmente se estima entre un 15% y un 25% más en comparación con las instalaciones fijas. Este aumento de producción se alinea bien con las necesidades de aplicaciones como el riego agrícola, donde la demanda de energía para bombear agua es mayor durante las horas de luz diurna, coincidiendo con el pico de generación fotovoltaica. (Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF), 2021)

A pesar de estos beneficios potenciales, la adopción de seguidores solares no ha sido uniforme. Los costos adicionales asociados con estos sistemas, que incluyen no solo la inversión inicial sino también el mantenimiento y la operación, pueden ser significativos. Además, la complejidad mecánica y los requerimientos de espacio pueden ser limitantes para ciertas aplicaciones o ubicaciones. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2020)

La viabilidad técnica y económica de los seguidores solares depende en gran medida del contexto específico de cada proyecto. Factores como la radiación solar del sitio, el patrón de consumo energético, los costos relativos de la electricidad y los incentivos disponibles para las energías renovables juegan un papel clave en la decisión de implementar esta tecnología. (Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF), 2021)

En el ámbito del riego agrícola, el uso eficiente del agua y la energía es fundamental. La posibilidad de aumentar la producción de energía durante las horas más calurosas del día cuando las necesidades de riego son mayores presenta una oportunidad para mejorar la sostenibilidad y la rentabilidad de las operaciones agrícolas. (Food and Agriculture Organization (FAO), 2020)

A medida que el sector solar fotovoltaico madura, se hace más importante comprender no solo las ventajas técnicas de las innovaciones como los seguidores solares, sino también su impacto económico a largo plazo. Las decisiones basadas en análisis detallados y considerando todas las variables involucradas son cruciales para garantizar que las inversiones en energía solar sean sostenibles y rentables. (Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEI), 2021)

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

2.1. Enfoque Metodológico de la Investigación

El enfoque metodológico del estudio es **mixto**. (cuantitativo experimental). Este enfoque se adopta porque permite el **análisis de datos cuantitativos**, como la eficiencia energética y la producción solar, con el análisis experimental de los datos en el simulador PVsyst con diferentes escenarios. Esta combinación es esencial para obtener una comprensión integral del impacto de los seguidores solares de 1 eje en comparación con las instalaciones fijas en aplicaciones de riego y autoconsumo.

En cuanto al tipo de estudio, este se clasifica como **cuantitativo y experimental**. Es cuantitativo porque se analiza la eficiencia de los diferentes sistemas solares, y es experimental porque se realizan pruebas y mediciones por medio de simulador en el caso de estudio (San Antonio de Pichincha) para comparar los dos tipos de instalaciones solares.

2.2. Población, Unidades de Estudio y Muestra, y/o Unidad de Análisis (Caso de Estudio)

La **población** del estudio incluye a las instalaciones de riego y autoconsumo en San Antonio de Pichincha que utilizan energía solar. Las **unidades de estudio** son los sistemas solares con seguidores de 1 eje y los sistemas solares fijos implementados en estas instalaciones.

La **muestra** se selecciona mediante un **muestreo intencional**, considerando las instalaciones que ya cuentan con sistemas solares, diferenciando entre aquellas que usan seguidores de 1 eje y las que tienen sistemas fijos. El criterio para la selección de la muestra se basa en la representatividad de las instalaciones en términos de su tamaño, tipo de cultivo, y necesidades energéticas, con el fin de asegurar que los resultados obtenidos sean aplicables a otras áreas con características similares.

2.3. Métodos Empíricos y Técnicas Empleadas para la Recolección de la Información

Los métodos empíricos seleccionados para esta investigación están diseñados para obtener datos precisos y contextualizados sobre el rendimiento de los sistemas solares en San Antonio de Pichincha, permitiendo una comparación objetiva entre las instalaciones con seguidores solares de 1 eje y las instalaciones fijas. Los métodos utilizados incluyen:

2.3.1. Mediciones mediante simulador: Se utilizarán simuladores específicos para recrear las condiciones operativas de las instalaciones solares, generando datos sobre la producción energética, eficiencia, y rendimiento de ambos tipos de sistemas solares (con y sin seguidores). Esto permitirá evaluar su desempeño bajo condiciones reales, incluyendo variaciones en la radiación solar, temperatura y nubosidad.

- **Objetivo:** Obtener mediciones precisas para comparar la generación de energía, rendimiento y eficiencia de las instalaciones solares con seguidores de 1 eje y las instalaciones fijas.
- **Cuándo:** Las mediciones se realizarán en el mismo año, con diferentes inclinaciones de los paneles, para captar el impacto climático sobre el rendimiento de cada tipo de instalación.

2.3.2. Análisis documental: Se revisarán informes técnicos y registros históricos sobre el desempeño de las instalaciones solares en San Antonio de Pichincha. Esta revisión documental proporcionará un contexto relevante y permitirá establecer una comparación entre experiencias documentadas en proyectos similares.

- **Objetivo:** Contextualizar y complementar los datos empíricos con información histórica y técnica, proporcionando una base de referencia para la evaluación de los sistemas solares.
- **Cuándo:** Se realizará al inicio del estudio para obtener un marco de referencia.

El uso del método de caso se justifica porque permite realizar un análisis profundo de las condiciones específicas en San Antonio de Pichincha. Este enfoque contribuye a obtener resultados aplicables no solo a este contexto particular, sino también a áreas geográficas con características similares.

2.4. Formas de Procesamiento de la Información Obtenida de la Aplicación de los Métodos y Técnicas

Para asegurar un análisis riguroso y exhaustivo de los datos recolectados, se aplicarán los siguientes pasos:

- a. Organización y tabulación de datos:** Los datos obtenidos a través de las simulaciones se organizarán en tablas y bases de datos digitales, lo que facilitará una comparación clara entre las instalaciones solares con seguidores de 1 eje y las instalaciones fijas. Esta organización permitirá identificar rápidamente tendencias y diferencias en los resultados.
- b. Análisis de datos:** Se emplearán técnicas estadísticas para analizar los datos cuantitativos recolectados.
- c. Elaboración de regularidades:** A partir de los análisis, se identificarán regularidades y patrones que indiquen las diferencias más significativas entre los sistemas solares con seguidores y los sistemas fijos. Estos hallazgos servirán como base para recomendaciones específicas sobre la viabilidad de cada tipo de instalación en el contexto de San Antonio de Pichincha.
- d. Presentación gráfica de resultados:** Los datos se presentarán visualmente a través de tablas comparativas. Estas representaciones facilitarán la interpretación de los resultados por parte de los lectores y permitirán observar las diferencias y similitudes entre los sistemas estudiados de forma clara y directa.

2.5. Operacionalización de las Variables

Se plantea una hipótesis dentro de este estudio, su operacionalización incluye las siguientes variables:

- a) **Variable dependiente:** Rendimiento energético de los sistemas solares.
 - Indicadores: Producción de energía (en kWh), eficiencia del sistema (en %).

- b) **Variables independientes:**
 - **Tipo de sistema solar:** Se compararán sistemas con seguidores de 1 eje frente a sistemas fijos.
 - **Condiciones climáticas:** Se evaluará el nivel de radiación solar, la temperatura ambiente, para entender su impacto sobre el rendimiento de los sistemas.
 - **Tipo de aplicación:** Se analizarán los sistemas en dos escenarios principales: aplicaciones para riego agrícola y aplicaciones para autoconsumo energético.

Estas variables serán monitoreadas de forma constante y sometidas a análisis comparativo, lo que permitirá validar o refutar la hipótesis planteada en el estudio, proporcionando una base sólida para futuras recomendaciones.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO TÉCNICO

3.1. Fundamentos de la Propuesta

El **análisis comparativo** entre instalaciones solares con **seguidores solares de 1 eje** e **instalaciones fijas** se fundamenta en los principios de la eficiencia energética y la optimización del uso de recursos renovables en aplicaciones agrícolas y residenciales. Basado en la literatura y el marco teórico, se asume que los **seguidores solares** incrementan la capacidad de captación de radiación solar al optimizar el ángulo de incidencia, lo que resulta en un mayor rendimiento energético comparado con los sistemas fijos. Sin embargo, esta ventaja viene acompañada de costos adicionales y un aumento en la complejidad de mantenimiento.

El estudio se centra en **San Antonio de Pichincha**, un área con condiciones climáticas particulares, donde la radiación solar varía significativamente a lo largo del año, lo que hace especialmente relevante evaluar el impacto de las instalaciones en **aplicaciones de riego** y **autoconsumo**. El marco teórico sugiere que los sistemas con seguidores solares pueden ser más beneficiosos en áreas donde se requiere un uso intensivo de energía durante horas específicas del día, como el riego agrícola, mientras que los sistemas fijos podrían ser más rentables en aplicaciones de autoconsumo con menor demanda energética.

El **PVSyst**, un simulador especializado en la evaluación de sistemas fotovoltaicos permite modelar ambos tipos de instalaciones bajo diversas condiciones climáticas y de carga, facilitando una evaluación precisa del rendimiento y viabilidad económica de cada sistema. Los postulados clave que guían esta propuesta son:

- **Maximización de la eficiencia energética** mediante la orientación óptima de los paneles solares.
- **Optimización del uso del agua** en aplicaciones de riego mediante la energía renovable.

3.2. Presentación de la Propuesta

3.2.1. Componentes del Simulador PVSyst:

- a. **Entrada de Datos Climáticos:** Permite la introducción de datos locales de radiación solar, temperatura y nubosidad, que son críticos para modelar el rendimiento de los sistemas solares en San Antonio de Pichincha.
- b. **Modelado del Sistema Fotovoltaico:** Incluye la selección de los componentes clave del sistema (módulos solares, inversores, seguidores de 1 eje) y el tipo de instalación (fijo o con seguidores).
- c. **Simulación de Escenarios:** Permite crear distintos escenarios de operación para comparar las instalaciones con y sin seguidores en condiciones reales, tanto para aplicaciones de riego como de autoconsumo.

3.2.2. Estructuración del Proceso:

1. **Ingreso de Datos Locales:** Se ingresarán datos climáticos y de carga específicos de San Antonio de Pichincha, obtenidos de bases de datos meteorológicos y del estudio de campo.
2. **Configuración de los Sistemas:**
 - Sistema 1: Instalación solar fija, configuración óptima para autoconsumo.
 - Sistema 2: Instalación con seguidores solares de 1 eje, configuración óptima para autoconsumo.
3. **Simulación a Largo Plazo:** Se simulará el rendimiento de ambos sistemas durante un año, considerando las variaciones estacionales en la radiación solar y la demanda energética.

3.2.3. Funcionamiento:

- El **PVSyst** calcula la energía producida por cada sistema bajo diferentes condiciones, considerando factores como la inclinación del panel, la pérdida por temperatura, la eficiencia del inversor y la sombra.
- Los resultados incluyen gráficos y tablas con indicadores clave como la **producción de energía mensual, eficiencia del sistema y retorno de la inversión**.
- Se analizan también las pérdidas por orientación y ángulo en el sistema fijo en comparación con el aumento de producción en el sistema con seguidores de 1 eje.

3.2.4. Recomendaciones Metodológicas para la Implementación Práctica:

1. **Validación de Datos Climáticos:** Es crucial contar con datos meteorológicos actualizados y precisos de la zona de estudio para asegurar que las simulaciones reflejen las condiciones reales.
2. **Selección Adecuada de Componentes:** La correcta selección de módulos solares e inversores, ajustada a las condiciones de riego o autoconsumo, impactará directamente en el rendimiento del sistema. PVSyst ofrece recomendaciones basadas en los parámetros del sistema.

3.3. Ejecución de la Propuesta

3.3.1. Elección del sitio en mapa

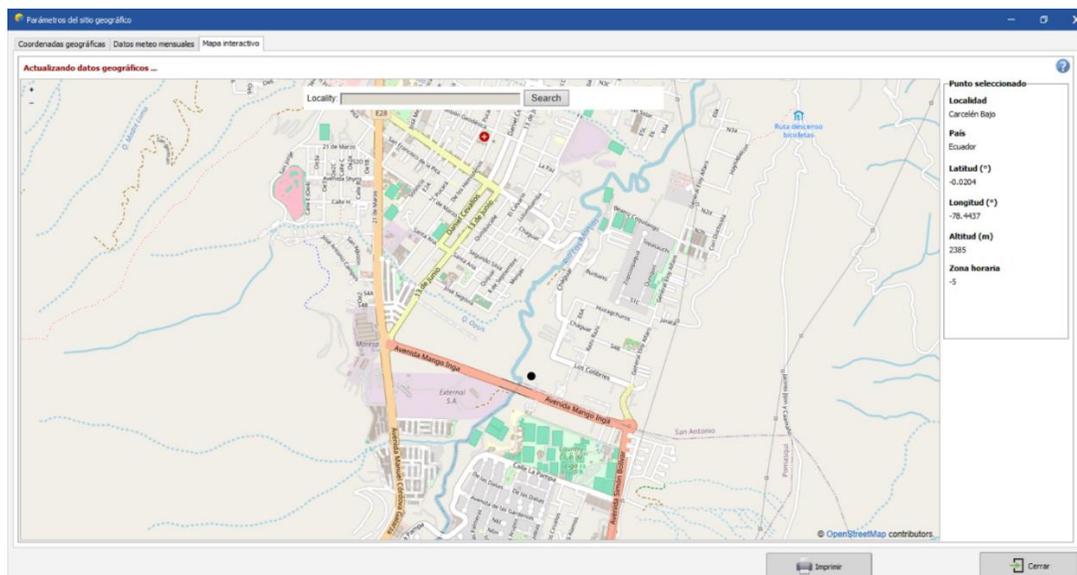


Figura 1: Ubicación Geográfica del Sitio. Latitud -0.0204; Longitud -78.4437
Fuente: PVsyst

3.3.2. Ingreso de datos locales

Como datos principales, se elige los datos climáticos: irradiación horizontal global, irradiación difusa horizontal, temperatura y velocidad del viento, por medio de la fuente de datos meteorológicos de la NREL NSRDB.

Sitio **San Antonio (Ecuador)**

Fuente de datos

| | Irradiación horizontal global | Irradiación difusa horizontal | Temperatura | Velocidad del viento |
|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | kWh/m ² /mes | kWh/m ² /mes | °C | m/s |
| Enero | 186.1 | 59.9 | 12.6 | 1.63 |
| Febrero | 159.7 | 70.6 | 12.7 | 1.85 |
| Marzo | 174.1 | 82.5 | 12.4 | 1.60 |
| Abril | 164.8 | 75.7 | 12.9 | 1.46 |
| Mayo | 166.6 | 73.3 | 12.4 | 1.32 |
| Junio | 165.7 | 52.8 | 11.8 | 1.25 |
| Julio | 181.6 | 52.4 | 11.5 | 1.05 |
| Agosto | 188.2 | 55.7 | 11.8 | 1.28 |
| Septiembre | 187.7 | 62.0 | 12.4 | 1.39 |
| Octubre | 187.8 | 68.1 | 12.6 | 1.84 |
| Noviembre | 177.8 | 68.5 | 12.4 | 1.89 |
| Diciembre | 182.1 | 70.1 | 12.7 | 1.78 |
| Año | 2122.2 | 791.6 | 12.3 | 1.5 |

Figura 2.: Datos meteorológicos de la NREL NSRDB 1998-2020
Fuente: PVsyst

3.3.3. Configuración del ángulo, limitaciones y tipo de campo del panel.

La configuración del sistema fotovoltaico con un plano inclinado fijo de 15 grados y un azimut de 0 grados está diseñada para maximizar la captación de energía solar, especialmente en invierno. Con un factor de transposición de 1.07, el sistema muestra una eficiencia razonable, aunque presenta una pérdida del -1.2% en comparación con el rendimiento óptimo. La irradiación global en el plano colector es de 1128 kWh/m², lo que indica un potencial significativo de generación de energía.

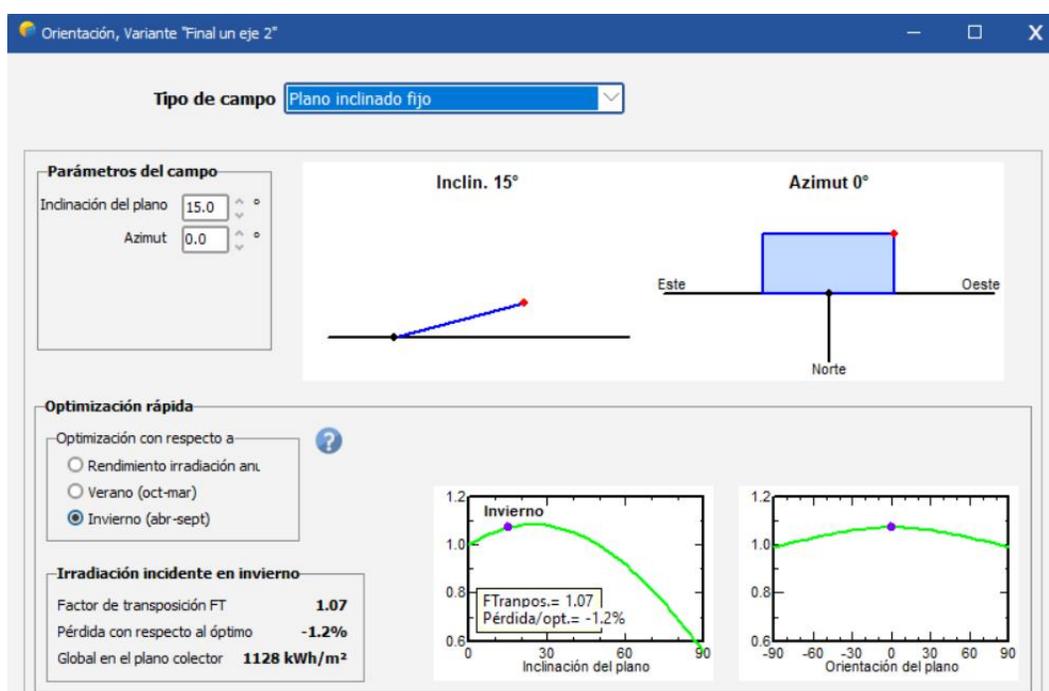


Figura 3: Configuración del ángulo, limitaciones y tipo de campo del panel.

Fuente: PVsyst

La configuración del sistema fotovoltaico con rastreo en un eje horizontal E-O permite una optimización significativa en la captación de energía solar. Con una inclinación mínima de -60 grados y una inclinación máxima de 60 grados, el sistema puede adaptarse a diversas condiciones solares, maximizando la exposición a la radiación a lo largo del día. La orientación del eje a 0 grados, alineada con el norte, asegura que el sistema siga de manera efectiva el movimiento del sol de este a oeste.

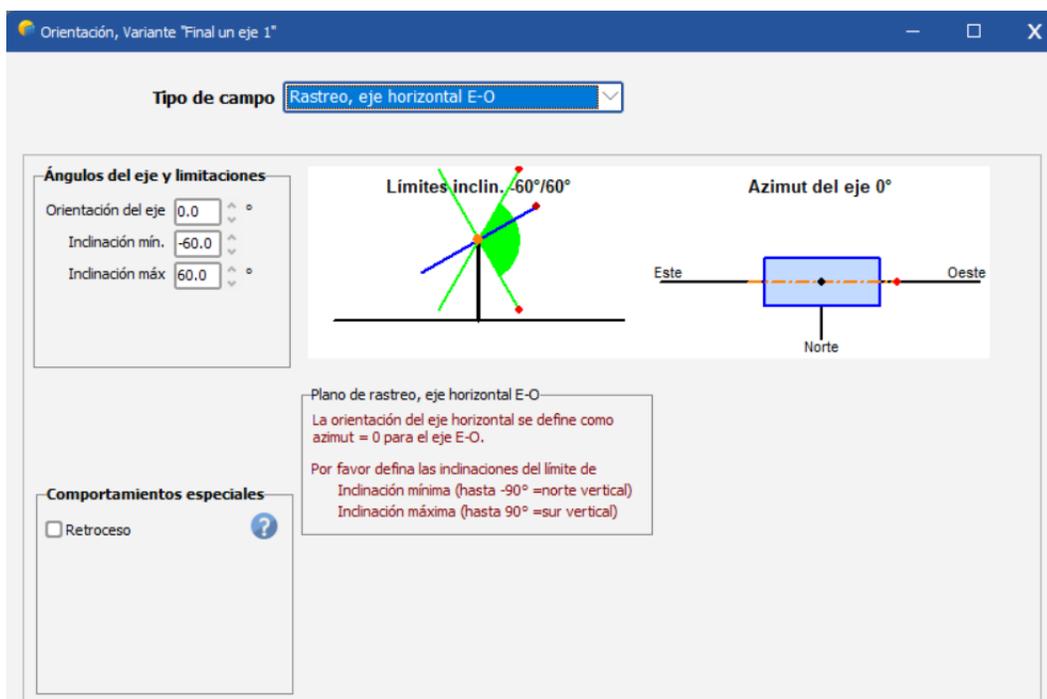


Figura 4: Configuración del ángulo, limitaciones y tipo de campo del panel.

Fuente: PVsyst

3.3.4. Consumo de energía de los equipos y aparatos.

La Ilustración 4 muestra que el consumo total diario de energía es de 26,275 Wh/día, lo que equivale a aproximadamente 788.2 kWh/mes. Los aparatos más significativos en términos de consumo son la bomba hidráulica (7,000 W) y las lámparas LED (9600 Wh/día). Este análisis resalta la importancia de considerar tanto el uso diario como la potencia de cada dispositivo para dimensionar adecuadamente un sistema solar fotovoltaico.

Uso diario de energía, variante "Final un eje 1"

Definición de consumos domésticos diarios para el año.

Consumo | Distribución por hora

Consumos diarios

| Número | Aparato | Potencia | Uso diario | Distrib. por hora | Daily energy | |
|------------------------|-------------------------------|---------------|------------|-------------------|-----------------------------|----------------------|
| 4 | Lámparas (LED o fluo) | 200 W/lámpara | 12.0 h/día | OK | 9600 Wh | |
| 1 | Bomba hidráulica | 7000 W/apar. | 2.0 h/día | OK | 14000 Wh | |
| 15 | Focos led | 10 W/apar. | 7.0 h/día | OK | 1050 Wh | |
| 1 | Nevera / congelación profunda | 1.00 kWh/día | 24.0 h/día | OK | 1001 Wh | |
| 1 | Televisor | 100.0 W/prom | 6.0 h/día | OK | 600 Wh | |
| 0 | Otros usos | 0 W/apar. | 0.0 h/día | | 0 Wh | |
| 0 | Otros usos | 0 W/apar. | 0.0 h/día | | 0 Wh | |
| Consumidores en espera | | 1 W tot | 24 h/día | | 24 Wh | |
| Info aparatos | | | | | Energía diaria total | 26275 Wh/día |
| | | | | | Energía mensual | 788.2 kWh/mes |

Definición de consumo por: Años Estaciones Meses

Fin de semana o uso semanal: Usar solo durante días en una semana

Figura 5.: Consumo de energía de los equipos y aparatos.

Fuente: PVsyst

3.3.5. Definición horaria del consumo.

La interfaz del software permite una clara visualización y gestión del consumo energético diario de varios dispositivos domésticos. Los datos indican que la nevera tiene un consumo continuo de 24 horas, lo que resalta su importancia en el uso total de energía. Las lámparas y la bomba hidráulica tienen un consumo significativo de 12 horas cada una, mientras que los focos LED y el televisor contribuyen con consumos más reducidos, de 7 y 6 horas respectivamente.

El gráfico de consumo global diario proporciona una visión detallada de los picos y patrones de uso a lo largo del día, lo que facilita la identificación de momentos de mayor demanda energética.

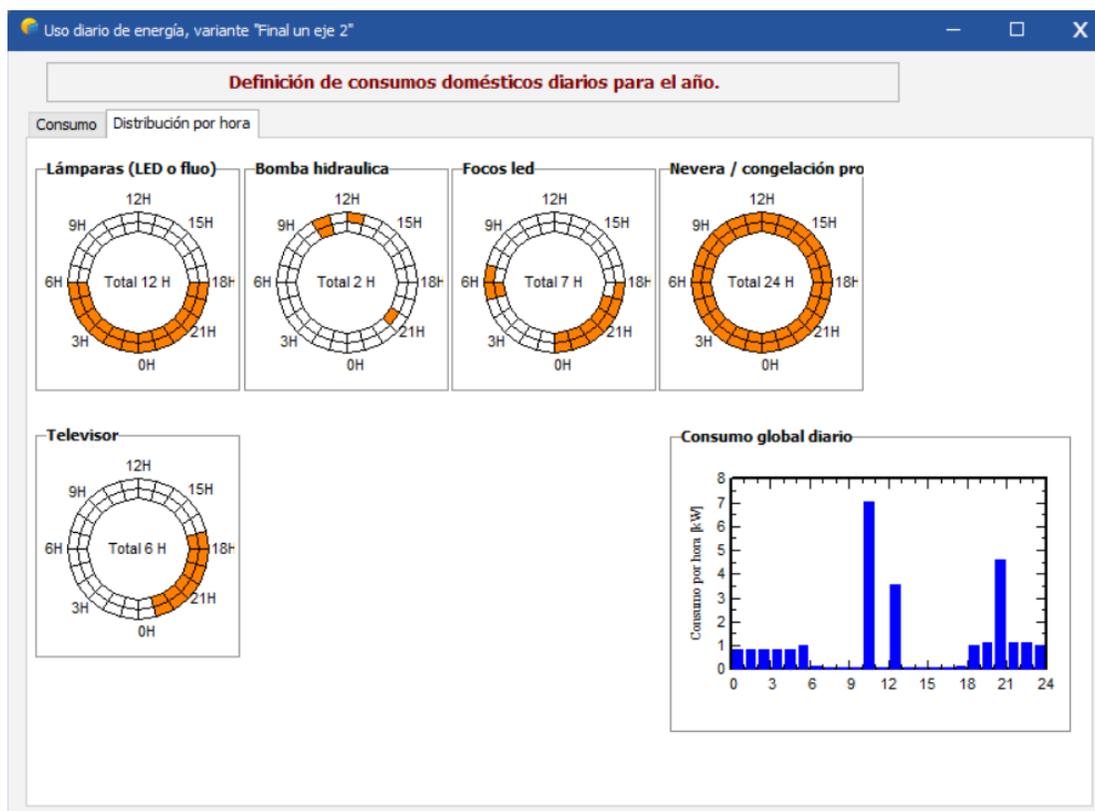


Figura 6.: Definición horaria del consumo.

Fuente: PVsyst

3.3.6. Definición de las variantes (Almacenamiento).

El diseño del sistema independiente de energía solar presentada muestra un enfoque integral para satisfacer las necesidades energéticas diarias de 26.3 kWh. Utilizando una batería de litio de Victron Energy con un voltaje de 102 V y una capacidad total de 1229 Ah, el sistema asegura un almacenamiento eficiente de 116 kWh, lo que permite una autonomía adecuada.

La configuración de 28 módulos en serie y la capacidad de soportar hasta 2000 ciclos a un 80% de profundidad de descarga destacan la durabilidad y eficiencia del sistema. Además, el peso total de 1540 kg sugiere la necesidad de una instalación adecuada.

La mención de que la potencia del controlador está ligeramente sobredimensionada es un aspecto positivo, ya que proporciona un margen para manejar picos de demanda, aumentando

así la fiabilidad del sistema. Por último, el monitoreo de la temperatura de funcionamiento es crucial para maximizar la vida útil de la batería.

Figura 7: Definición de las variantes (Almacenamiento)

Fuente: PVsyst

3.3.7. Definición de las variantes (Panel fotovoltaico, Controlador)

El diseño del sistema independiente de energía solar presentado es robusto y bien adaptado a las necesidades energéticas diarias de 26.3 kWh. Con una batería de litio de 102 V y una capacidad de 906 Ah, el sistema asegura un almacenamiento adecuado, permitiendo una autonomía eficaz.

La elección de 21 módulos de 360 W de Victron Energy, organizados en 7 módulos en serie y 3 cadenas, maximiza la producción de energía, mientras que el área requerida de 41 m² es razonable para la instalación. El controlador MPPT de 11.5 kW, que opera a 48 V, está

ligeramente sobredimensionado, garantizando un margen suficiente para manejar picos de demanda.

Las condiciones de operación, con un voltaje de V_{mpp} de 223 V y V_{oc} de 372 V, junto con una irradiación estándar de 1000 W/m^2 , aseguran que el sistema funcione de manera óptima.

Definición de sistema independiente, Variante "Final un eje 2", Variant "Final un eje 2"

Necesidades diarias prom. Ingrese PLOL aceptado: 2.0 %
 26.3 kWh/día Autonomía solicitada: 3.0 día(s)
 Voltaje de la batería (usuario): 102 V
 Capacidad sugerida: 906 Ah
 Potencia FV sugerida: 9663 Wp (nom.)

Almacenamiento: Generador FV, Respaldo, Esquema Simplificado

Nombre y orientación del subconjunto:
 Nombre: Generador FV
 Oriente: Rastro, eje horizontal E-O

Ayuda de pre-dimensionamiento:
 Sin dimensionamiento
 Potencia planeada: 9.7 kWp
 ... o área disponible: 54 m²

Selección del módulo FV:
 Todos los módulos | Ordenar módulos | Potencia | Tecnología
 Victron Energy | 360 Wp 32V Si-mono SPM-043602400-360Wc | Desde 202 | Abrir
 Dimensiona. voltaje: V_{mpp} (60°C) 31.8 V
 V_{oc} (-10°C) 53.1 V

Selección del modo de control y el controlador:
 Controlador universal | Victron | Convertidor de potencia MPPT
 Modo operativo: Acoplamiento directo | Convertidor MPPT | Convertidor CC-CC
 Número de controladores: 1 | Corriente máx. de carga-descarga: SmartSolar MPPT RS 450/200 | Abrir
 Voltaje de operación MPP: 80-450 V | Potencia controlador: 11.5 kW
 Voltaje máximo de entrada: 450 V | Batería asociada: 48 V

Diseño generador FV:
 Número de módulos y cadenas: Mód. en serie 7 (debe ser/estar: entre 3 y 8) | Núm. cadenas 3 (entre 4 y 5)
 Pérdida sobrecarga: 0.0% | Proporción P_{nom} : 0.66 | Núm. de módulos: 21 | Área: 41 m²
 Condiciones de operación: V_{mpp} (60°C) 223 V | V_{mpp} (20°C) 270 V | V_{oc} (-10°C) 372 V
 Irradia. plano: 1000 W/m² | I_{mpp} (60°C) 28.6 A | I_{sc} (60°C) 31.1 A | I_{sc} (en STC) 31.0 A
 Potencia de funcionamiento máx. (a irrad. máx. y 50°C): 6.7 kW
 Potencia nom. conjunto (STC): 7.6 kW

La potencia del controlador está ligeramente sobredimensionada.

Figura 8.: Definición de las variantes (Panel fotovoltaico, Controlador)

Fuente: PVsyst

3.3.8. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.

El sistema de energía solar diseñado para el hogar presenta una solución eficiente y sostenible para satisfacer las necesidades energéticas diarias de 26 kWh. Con una potencia promedio de

1095 W y una proporción de consumo nocturno del 50%, el sistema está bien dimensionado para garantizar un suministro constante y confiable.

La configuración de 7 baterías en paralelo, con una capacidad total de 1229 Ah, permite una autonomía de 4.4 días, lo que es adecuado para cubrir períodos de baja generación solar. La energía almacenada de 116 kWh proporciona un margen de seguridad para el hogar.

El generador fotovoltaico, con una potencia nominal de 7.56 kWp y una producción diaria promedio de 28 kWh, asegura que la generación exceda las necesidades del hogar, incluso en condiciones de baja irradiación. Además, el uso de un convertidor MPPT de 11.5 kW optimiza la conversión de energía, mejorando la eficiencia general del sistema.

Los escenarios de 3°, 30° y 60° difieren en la energía de promedio día mas no en los demás datos, por lo que el dimensionamiento, es prácticamente el mismo para cada escenario con variaciones mínimas.

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 30 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 9.: Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 60°.
Fuente: PVsyst

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 20 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 10.: Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 60°.
Fuente: PVsyst

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 30 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 11.: *Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 30°.*
Fuente: PVsyst

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 28 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 12.: *Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 30°.*
Fuente: PVsyst

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 30 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 13.: *Dimensionamiento para el seguidor solar de un eje a 3°.*
Fuente: PVsyst

| | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------------------|-----------|
| Necesid. usuario | Hogar | Potencia prom. | 1095 W |
| | Proporción nocturna 50.0% | Energía día | 26 kWh |
| Paquete de baterías | 7 en paralelo, 102 V | Capacidad | 1229 Ah |
| | Autonomía 4.4 día | Energía almacenada | 116 kWh |
| Generador FV | 3 cadena(s) de 7 módulos | Potencia nom. | 7.56 kWp |
| | PV/PLoad 6.9 | Energía prom. día | 30 kWh |
| Controlador | Convertidor MPPT | Potencia nom. | 11.5 kW |
| | PV/PConv 0.66 | Umbrales | según SOC |

Figura 14.: *Dimensionamiento para el PV de eje fijo a 3°.*
Fuente: PVsyst

3.3.9. Grafica solar.

El "Dibujo lineal de horizonte" para San Antonio proporciona una representación clara de la trayectoria solar a lo largo del año, lo que es esencial para la planificación de sistemas de energía solar y el diseño arquitectónico. Las diferentes curvas indican cómo varía la altura y el azimut del sol en fechas clave, destacando los momentos de mayor y menor exposición solar.

Durante el solsticio de verano (22 de junio), el sol alcanza su altura máxima, lo que resulta en una mayor disponibilidad de energía solar. En contraste, durante el solsticio de invierno (22 de diciembre), la altura del sol es mínima, lo que implica una menor captación de energía.

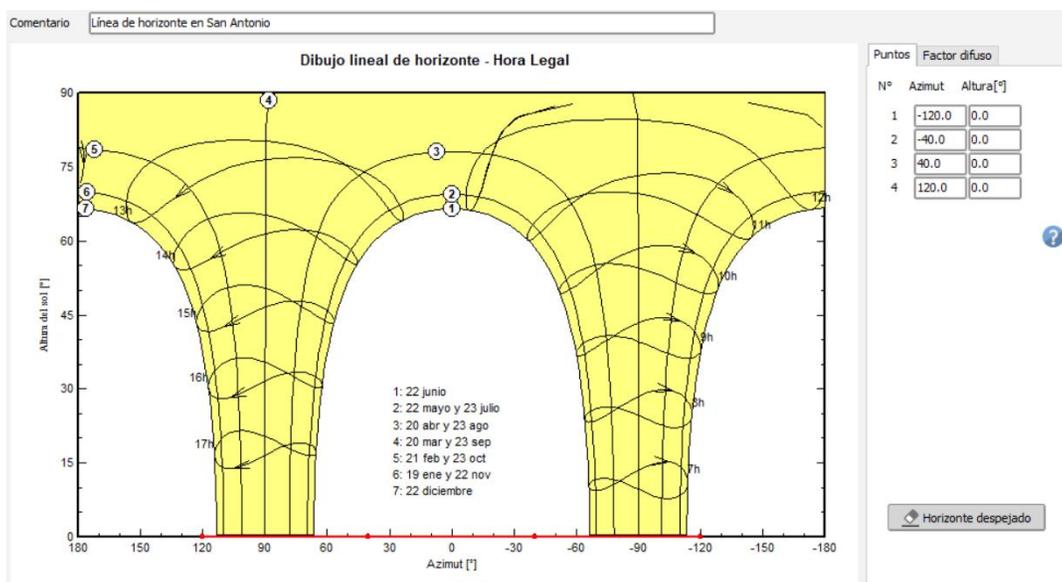


Figura 15:. Grafica solar.

Fuente: PVsyst

3.3.10. Definición de sombreados y construcción de escena 3D.

El análisis presentado en la interfaz del software de simulación de sombreados cercanos destaca la importancia de evaluar la interacción entre la luz solar y los objetos circundantes en el diseño

de sistemas de energía solar. Con un área activa de 41 m² y un área total de 54 m², se evidencia que la optimización del espacio es crucial para maximizar la captación solar.

La opción de rastreo para la inclinación y el azimut de los campos permite una adaptación dinámica a la trayectoria del sol, lo que puede resultar en una mayor eficiencia energética. Además, la capacidad de realizar simulaciones con diferentes configuraciones de sombreados proporciona a los usuarios herramientas valiosas para prever y mitigar los efectos negativos de la sombra en la producción eléctrica.

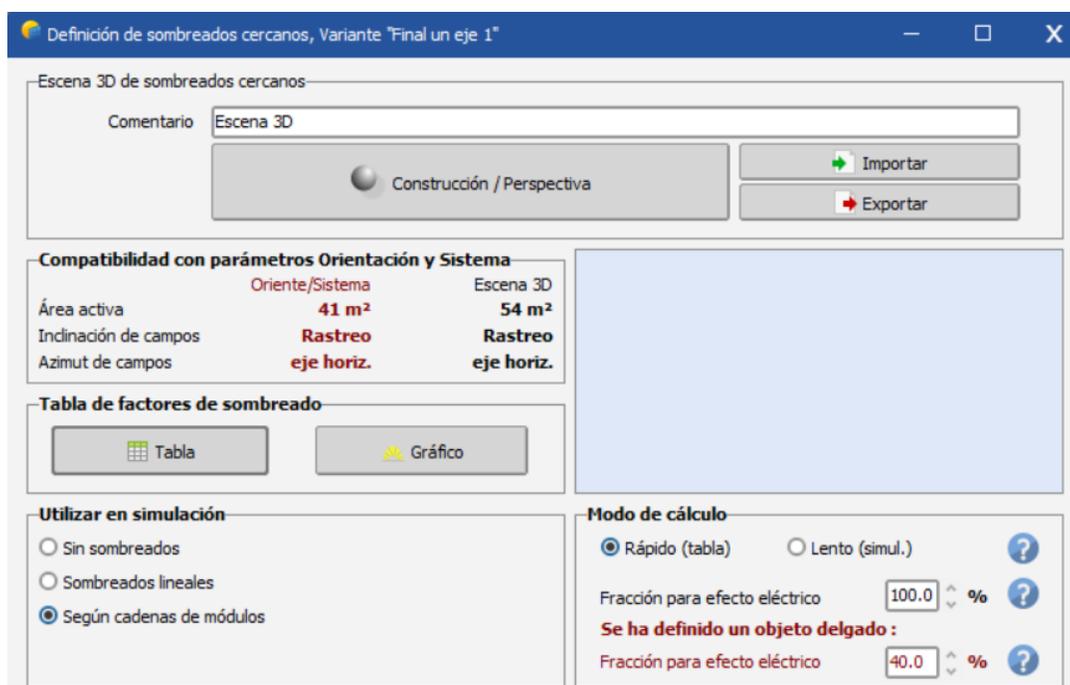


Figura 16.: Definición de sombreados y construcción de escena 3D.

Fuente: PVsyst

3.3.11 Gráficos y tablas de resultados

Aquí se reflejan todos los resultados para los 6 casos de estudio simulados en PVsyst que son los siguientes:

3.3.11.1 Resultados de Producción y Perdidas del sistema.

La producción específica para todos los casos es de 1269 kWh/kWp/año indica una eficiencia favorable en la conversión de energía solar, lo que sugiere que el sistema está bien dimensionado para su capacidad instalada.

| Resumen de resultados | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 9590 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.613 |
| Producción normalizada | 3.48 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 1.84 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.36 kWh/kWp/día |

Figura 17: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 60°. Fuente: PVsyst

| Resumen de resultados | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 6567 kWh/año |
| Producción específica | 869 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.658 |
| Producción normalizada | 2.38 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 0.94 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.30 kWh/kWp/día |

Figura 18: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 60°. Fuente: PVsyst

Tabla 1: Resultados Escenario 1. (60° de Inclinación)

| Escenario 1 | | |
|--------------------------------|--|--|
| | Seguidor de un eje a 60° | PF de eje fijo a 60° |
| Producción del sistema: | 9590 kWh/año: Es la cantidad total de energía que el sistema produce en un año. Este valor incluye la energía generada por los paneles fotovoltaicos, y es una medida de la capacidad de producción energética del sistema. | 6567 kWh/año: La producción anual del sistema es menor que en el caso anterior. Esto puede estar relacionado con una menor capacidad instalada o con peores condiciones de irradiación solar. |
| Producción específica: | 1269 kWh/kWp/año: Este indicador expresa cuánta energía genera el sistema por cada kWp (kilovatio pico) instalado al año. Es útil | 869 kWh/kWp/año: La producción específica indica la cantidad de energía generada por cada kWp de capacidad |

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| | para comparar sistemas de diferentes tamaños y ubicaciones, ya que permite determinar qué tan eficiente es el sistema respecto a su capacidad instalada. | instalada. Este valor es relativamente bajo en comparación con sistemas típicos, lo que puede ser indicativo de condiciones de irradiación subóptimas o de una ubicación menos favorable. |
| Proporción de rendimiento: | 0.613: Este valor refleja la relación entre la producción real del sistema y la producción teórica máxima. En este caso, el 61.3% de la energía potencial teórica del sistema se está aprovechando, lo que indica las posibles pérdidas debidas a factores como ineficiencias en el sistema, condiciones meteorológicas, o las propias características de los componentes. | 0.658: Este valor refleja la eficiencia global del sistema en la conversión de la energía solar en electricidad. Con una proporción de rendimiento de 0.658, el sistema convierte alrededor del 65.8% de la energía disponible en electricidad útil, lo que es un valor moderadamente aceptable en términos de eficiencia para un sistema con baterías. |
| Producción normalizada: | 3.48 kWh/kWp/día: La producción diaria por cada kWp de potencia instalada, que permite estimar la energía generada en promedio por día. | 2.38 kWh/kWp/día: Este parámetro muestra cuánta energía genera el sistema por cada kWp de capacidad instalada por día. Se observa que el sistema tiene una menor producción diaria en comparación con otros sistemas, lo cual puede deberse a las pérdidas o a la menor eficiencia de los componentes. |
| Pérdidas del conjunto: | 1.84 kWh/kWp/día: Indica las pérdidas totales del sistema por día, que pueden deberse a distintos factores, tales como pérdidas en el almacenamiento (baterías), en los inversores, y otros componentes del sistema. | 0.94 kWh/kWp/día: Las pérdidas del conjunto, que incluyen pérdidas en el sistema de almacenamiento, cableado, inversores, y otros componentes, suman 0.94 kWh/kWp/día. Estas pérdidas son menores que en el caso anterior, lo que indica una mejora en la eficiencia general del sistema o una reducción en las ineficiencias del almacenamiento de energía. |
| Pérdidas del sistema: | 0.36 kWh/kWp/día: Se refiere a las pérdidas exclusivamente asociadas al sistema fotovoltaico, probablemente derivadas de la | 0.30 kWh/kWp/día: Estas pérdidas están relacionadas con el rendimiento de los módulos fotovoltaicos y los componentes electrónicos. Este valor refleja una cantidad |

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| | conversión de energía o el rendimiento de los paneles. | moderada de pérdidas dentro del rango esperado para sistemas fotovoltaicos con baterías. |
| Evaluación de datos: | <p>La evaluación de los datos muestra que el sistema fotovoltaico independiente con baterías presenta una producción energética anual considerable de 9,590 kWh/año, lo que demuestra su capacidad para generar energía de manera continua. Sin embargo, su proporción de rendimiento de 0.613 revela que aproximadamente el 38.7% de la energía potencial del sistema se pierde debido a ineficiencias que podrían mejorarse.</p> <p>Las pérdidas del conjunto de 1.84 kWh/kWp/día y las pérdidas específicas del sistema de 0.36 kWh/kWp/día indican que una parte significativa de la energía generada se pierde en el proceso de almacenamiento o conversión, sugiriendo la necesidad de optimizar componentes como las baterías y los inversores.</p> | <p>Los datos indican que el sistema fotovoltaico independiente con baterías presenta un rendimiento moderado, con una producción anual de 6567 kWh, una producción específica relativamente baja de 869 kWh/kWp/año, y una producción diaria normalizada de 2.38 kWh/kWp/día. Estas cifras reflejan un desempeño inferior al esperado, posiblemente debido a condiciones menos favorables de irradiación solar, una menor capacidad instalada o un diseño que podría ser optimizado.</p> <p>Aunque la proporción de rendimiento de 0.658 indica una conversión de energía solar en electricidad aceptable, las pérdidas del conjunto (0.94 kWh/kWp/día) y del sistema (0.30 kWh/kWp/día) son menores en comparación con otros sistemas similares, lo cual sugiere que el sistema es relativamente eficiente en la gestión de pérdidas, especialmente en lo que respecta al almacenamiento de energía.</p> |

Fuente: Propia.

| Resumen de resultados | |
|------------------------------|---|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 9590 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.615 |
| Producción normalizada | 3.48 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 1.81 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.36 kWh/kWp/día |

Figura 19: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 30°.

Fuente: PVsyst

| Resumen de resultados | |
|------------------------------|---|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 9007 kWh/año |
| Producción específica | 1191 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.664 |
| Producción normalizada | 3.26 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 1.31 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.34 kWh/kWp/día |

Figura 20.: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 30°. Fuente: PVsyst

Tabla 2: Resultados Escenario 2. (30° de Inclinación)

| Escenario 2 | | |
|-----------------------------------|---|---|
| | Seguidor de un eje a 30° | PF de eje fijo a 30° |
| Producción del sistema: | 9590 kWh/año: El sistema genera 9590 kWh al año, lo que representa una cantidad de energía adecuada para un sistema fotovoltaico de tamaño medio. Esta producción es consistente con un sistema bien dimensionado en condiciones adecuadas de irradiación solar. | 9007 kWh/año: Este valor indica que el sistema genera 9007 kWh al año, lo que es una producción significativa para un sistema fotovoltaico independiente. Aunque es ligeramente inferior a los 9590 kWh de algunos sistemas comparados previamente, sigue siendo una cantidad considerable de energía anual. |
| Producción específica: | 1269 kWh/kWp/año: Este valor indica cuánta energía genera el sistema por cada kilovatio pico (kWp) de capacidad instalada al año. La producción específica es relativamente alta, lo que sugiere que el sistema está ubicado en una zona con buena irradiación solar o que está bien optimizado. | 1269 kWh/kWp/año: Esta cantidad sugiere que el sistema es capaz de generar una cantidad razonable de energía por cada kilovatio pico instalado. Aunque es un poco más baja que el valor de 1269 kWh/kWp/año visto en otros sistemas, aún es un valor aceptable dependiendo de la ubicación y condiciones climáticas. |
| Proporción de rendimiento: | 0.615: La proporción de rendimiento mide la eficiencia global del sistema. Un valor de 0.615 significa que aproximadamente el 61.5% de la energía solar disponible es | 0.664: Este valor refleja la eficiencia del sistema. Con un rendimiento del 66.4%, este sistema tiene un buen aprovechamiento de la energía solar, |

| | | |
|--------------------------------|--|--|
| | convertida en electricidad, lo cual es razonable para un sistema con almacenamiento en baterías, considerando las pérdidas asociadas. | convirtiendo una porción considerable en electricidad utilizable. Es un valor competitivo en comparación con otros sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en baterías. |
| Producción normalizada: | 3.48 kWh/kWp/día: Este valor indica la energía generada por cada kWp de capacidad instalada por día. Una producción normalizada es una cifra sólida, lo que indica que el sistema está produciendo de manera eficiente para su tamaño y las condiciones locales. | 3.26 kWh/kWp/día: Este valor es ligeramente menor que el de otros sistemas (como 3.48 kWh/kWp/día), lo que puede indicar que las condiciones de irradiación o el diseño del sistema son un poco menos favorables en comparación con otros escenarios analizados. |
| Pérdidas del conjunto: | 1.84 kWh/kWp/día: Las pérdidas del conjunto son relativamente altas, lo que indica que una parte importante de la energía generada no llega a ser utilizada. Estas pérdidas pueden estar relacionadas con la eficiencia de los inversores, el sistema de almacenamiento o las pérdidas en el cableado. | 1.31 kWh/kWp/día: Estas son las pérdidas del conjunto, lo que es una mejora en comparación con otros sistemas que tienen pérdidas más elevadas. Este valor sugiere que el sistema es relativamente eficiente en minimizar las pérdidas de energía en el almacenamiento y en la conversión. |
| Pérdidas del sistema: | 0.36 kWh/kWp/día: Estas pérdidas se refieren principalmente a las ineficiencias internas del sistema, como las pérdidas en los módulos fotovoltaicos o el proceso de conversión de corriente. Un valor de 0.36 kWh/kWp/día es típico para sistemas que involucran almacenamiento de energía en baterías. | 0.34 kWh/kWp/día: Estas pérdidas son razonables y está en línea con las expectativas para un sistema que incluye baterías, donde típicamente hay pérdidas por conversión y almacenamiento de energía. |
| Evaluación de datos: | Los datos indican que este sistema fotovoltaico independiente con baterías tiene un rendimiento razonable, con una producción anual de 9590 kWh y una producción específica de 1269 kWh/kWp/año , lo cual es un valor adecuado para un sistema de este tipo. El sistema está funcionando de manera | Los datos sugieren que este sistema fotovoltaico independiente con baterías tiene un rendimiento sólido y eficiente. Con una producción anual de 9007 kWh y una producción específica de 1191 kWh/kWp/año , el sistema está generando una cantidad de energía adecuada para un sistema de este tipo, |

| | | |
|--|--|--|
| | <p>eficiente, reflejado en la proporción de rendimiento de 0.615 y la producción normalizada de 3.48 kWh/kWp/día, lo que indica un buen aprovechamiento de la energía solar disponible.</p> <p>Sin embargo, el sistema experimenta pérdidas significativas en el conjunto (1.81 kWh/kWp/día), lo que sugiere que hay margen para mejorar la eficiencia general, especialmente en el sistema de almacenamiento en baterías y los componentes de conversión, como los inversores. Las pérdidas del sistema (0.36 kWh/kWp/día) también están dentro de los rangos esperados para sistemas que incluyen almacenamiento en baterías, pero igualmente podrían ser optimizadas.</p> | <p>aunque ligeramente por debajo de algunos otros sistemas similares.</p> <p>La proporción de rendimiento de 0.664 indica que el sistema convierte aproximadamente el 66.4% de la energía solar disponible en electricidad utilizable, lo cual es un buen indicador de eficiencia para un sistema con almacenamiento en baterías. La producción normalizada de 3.26 kWh/kWp/día está dentro de un rango aceptable, aunque podría optimizarse para mejorar la producción diaria.</p> <p>En cuanto a las pérdidas, tanto las pérdidas del conjunto (1.31 kWh/kWp/día) como las pérdidas del sistema (0.34 kWh/kWp/día) son moderadas y están por debajo de lo observado en otros sistemas similares. Esto sugiere que el diseño y los componentes del sistema están bien optimizados para minimizar las pérdidas de energía, lo que contribuye a su eficiencia global.</p> |
|--|--|--|

Fuente: Propia.

| Resumen de resultados | |
|------------------------------|---|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 9590 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.649 |
| Producción normalizada | 3.48 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 1.51 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.37 kWh/kWp/día |

Figura 21.: Resultados de Producción y Pérdidas del sistema con seguidor solar de un eje a 3°.

Fuente: PVsyst

| Resumen de resultados | |
|------------------------------|---|
| Tipo de sistema | Sistema independiente con baterías |
| Producción del sistema | 9551 kWh/año |
| Producción específica | 1263 kWh/kWp/año |
| Proporción de rendimiento | 0.654 |
| Producción normalizada | 3.46 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del conjunto | 1.46 kWh/kWp/día |
| Pérdidas del sistema. | 0.37 kWh/kWp/día |

Figura 22.: Resultados de Producción y Perdidas del sistema con PV de eje fijo a 3°. Fuente: PVsyst

Tabla 3: Resultados Escenario 3. (3° de Inclinación)

| Escenario 3 | | |
|-----------------------------------|---|--|
| | Seguidor de un eje a 3° | PF de eje fijo a 3° |
| Producción del sistema: | 9590 kWh/año: Este valor representa una producción considerable y estable para un sistema fotovoltaico de estas características. Esto muestra que el sistema está diseñado para generar suficiente energía para cumplir con las expectativas de generación. | 9551 kWh/año: Indica una buena capacidad de generación energética. Esta producción es ligeramente menor comparada con otros sistemas previamente analizados, pero sigue siendo robusta para un sistema independiente con baterías. |
| Producción específica: | 1269 kWh/kWp/año: El sistema tiene un buen rendimiento, lo que sugiere que se encuentra en una ubicación con buena irradiación solar y que está optimizado en su diseño. | 1263 kWh/kWp/año: Este valor de es indicativo de un rendimiento eficiente, mostrando que el sistema está bien optimizado para la captación solar en su ubicación. |
| Proporción de rendimiento: | 0.649: Este valor refleja la eficiencia global del sistema en la conversión de energía solar en electricidad. Significa que aproximadamente el 64.9% de la energía solar disponible es convertida en electricidad utilizable, lo que está dentro de un rango aceptable para sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en baterías. | 0.654: Con un rendimiento del 65.4%, el sistema convierte eficientemente la energía solar captada en electricidad utilizable. Este valor es un buen indicador de la eficiencia general del sistema, y está en línea con los valores esperados para sistemas con almacenamiento en baterías. |

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| Producción normalizada: | 3.48 kWh/kWp/día: Este valor es alto y refleja un buen rendimiento diario para el sistema, lo que es consistente con un buen diseño y condiciones solares favorables. | 3.46 kWh/kWp/día: Esta cifra es una métrica clave para entender el desempeño diario del sistema bajo condiciones normales de irradiación solar y muestra un rendimiento sólido. |
| Pérdidas del conjunto: | 1.51 kWh/kWp/día: Las pérdidas del conjunto reflejan la energía que se pierde en el sistema debido a la conversión de energía y el almacenamiento en baterías. Aunque este valor es significativo, está dentro del rango esperado para sistemas que incluyen baterías, las cuales tienden a generar más pérdidas. | 1.46 kWh/kWp/día: Este valor es ligeramente mejor que en otros sistemas, lo que sugiere una gestión eficiente de las pérdidas. |
| Pérdidas del sistema: | 0.37 kWh/kWp/día: Estas pérdidas están asociadas principalmente con la eficiencia de los componentes del sistema, como los paneles solares y los inversores. Este valor es aceptable para sistemas de este tipo, aunque existen márgenes de mejora. | 0.37 kWh/kWp/día: Estas pérdidas están en línea con lo esperado para sistemas que incluyen almacenamiento en baterías y reflejan las ineficiencias típicas de los componentes del sistema, como los paneles solares y los inversores. |
| Evaluación de datos: | La conclusión general de los datos muestra que el sistema fotovoltaico independiente con baterías tiene un rendimiento satisfactorio, con una producción anual de 9590 kWh y una producción específica de 1269 kWh/kWp/año . Esto indica que el sistema está bien dimensionado y ubicado en una zona con buena irradiación solar, lo que permite un aprovechamiento eficiente de la energía solar. La proporción de rendimiento de 0.649 sugiere que el sistema convierte el 64.9% de la energía solar disponible en electricidad utilizable, lo cual es un valor aceptable para un sistema que incluye almacenamiento en baterías, aunque refleja algunas pérdidas | La conclusión general de los datos muestra que este sistema fotovoltaico independiente con baterías tiene un buen rendimiento global. Con una producción anual de 9551 kWh y una producción específica de 1263 kWh/kWp/año , el sistema está generando una cantidad de energía adecuada y consistente con las expectativas para este tipo de instalaciones. La proporción de rendimiento de 0.654 refleja una eficiencia razonable, ya que el sistema convierte el 65.4% de la energía solar captada en electricidad utilizable. Esto es común en sistemas con baterías, que suelen tener pérdidas adicionales debido al almacenamiento de energía. |

| | | |
|--|---|--|
| | <p>relacionadas con los componentes de conversión y almacenamiento.</p> <p>Las pérdidas del conjunto, de 1.51 kWh/kWp/día, y las pérdidas del sistema, de 0.37 kWh/kWp/día, indican que el sistema experimenta una cantidad significativa de pérdidas, probablemente debido al uso de baterías y la eficiencia de los inversores. A pesar de estas pérdidas, la producción normalizada de 3.48 kWh/kWp/día refleja un buen rendimiento diario.</p> | <p>La producción normalizada de 3.46 kWh/kWp/día es indicativa de un buen aprovechamiento de la irradiación solar diaria. Las pérdidas del conjunto (1.46 kWh/kWp/día) y pérdidas del sistema (0.37 kWh/kWp/día) están en un rango aceptable para sistemas de este tipo, aunque hay margen para mejorar la eficiencia reduciendo las pérdidas asociadas a la conversión y el almacenamiento.</p> |
|--|---|--|

Fuente: Propia

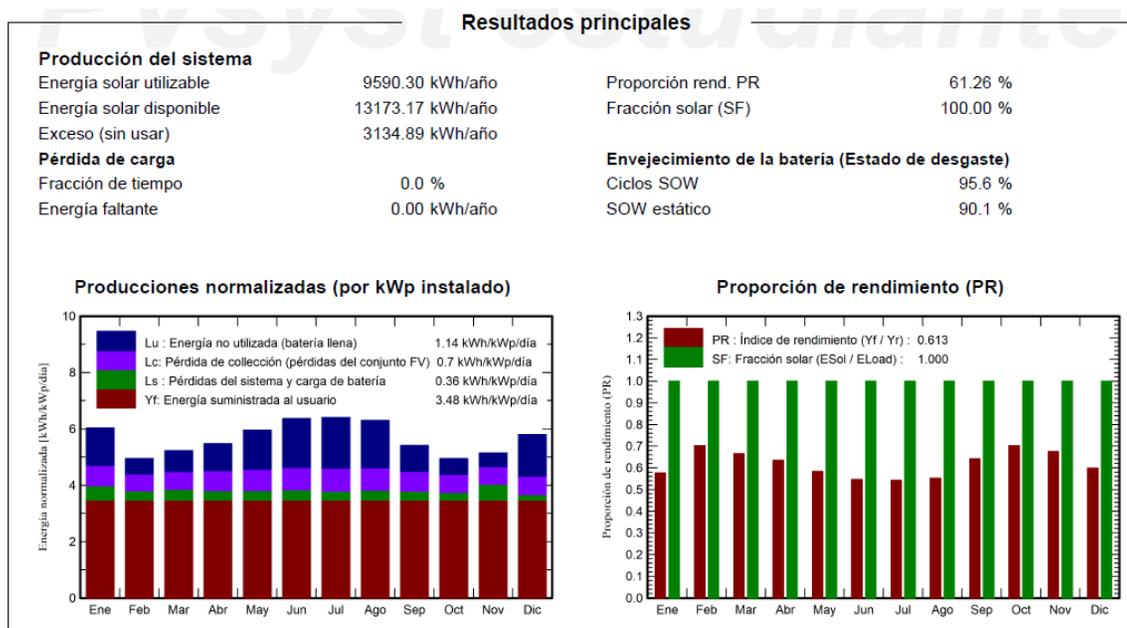


Figura 23.: Tablas de resultados para seguir de un eje a 60°

Fuente: PVsyst

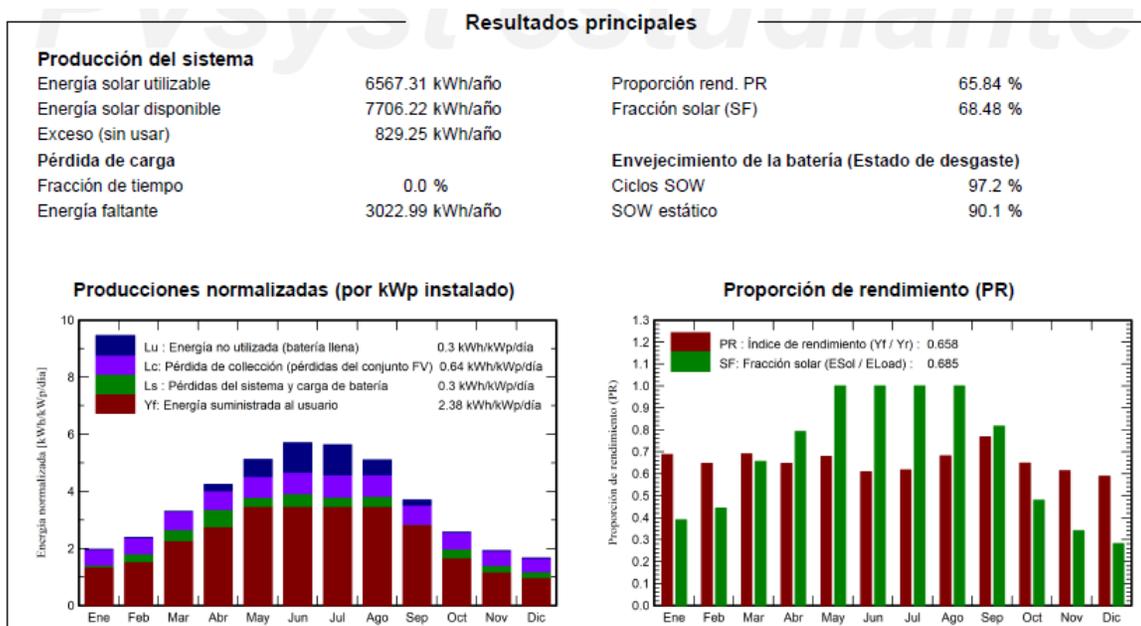


Figura 24.: Tablas de resultados para PV de eje fijo a 60°.

Fuente: PVsyst

Tabla 4: Resultados Producción del sistema Escenario 1. (60° de Inclinación)

| Escenario 1 | | |
|----------------------------------|---|---|
| | Seguidor de un eje a 60° | PF de eje fijo a 60° |
| Producción del sistema | | |
| Energía solar utilizable: | 9590.30 kWh/año Este valor representa la cantidad de energía solar que el sistema puede aprovechar y utilizar en un año. Es un nivel adecuado para sistemas de estas características. | 6567.31 kWh/año Este valor indica la cantidad de energía solar que el sistema puede aprovechar para su uso, lo que refleja una producción moderada. |
| Energía solar disponible: | 13173.17 kWh/año La energía solar disponible es mayor que la utilizable, lo que indica que no toda la energía solar captada es usada de manera eficiente. | 7706.22 kWh/año La energía solar total disponible para el sistema es ligeramente mayor que la utilizable, lo que implica que hay una parte que no se puede aprovechar por completo. |
| Exceso (sin usar): | 3134.89 kWh/año Esta cifra refleja la cantidad de energía solar que no se utiliza, probablemente debido a la | 829.25 kWh/año Esta cifra muestra la cantidad de energía solar que no se utiliza. Es un valor |

| | | |
|--|---|--|
| | capacidad limitada de las baterías o a una gestión ineficiente del sistema. Es una cantidad significativa, lo que sugiere que podría haber mejoras en la capacidad de almacenamiento o en la gestión de la energía. | moderado que puede estar relacionado con la capacidad de almacenamiento de las baterías o la limitación del sistema. |
| Pérdida de carga | | |
| Fracción de tiempo: 0.0% | 0.0% No hay momentos en los que el sistema se quede sin energía (carga), lo que indica que el sistema está bien dimensionado para las demandas energéticas. | 0.0% No hay períodos de tiempo en los que el sistema esté sin carga, lo que indica un buen dimensionamiento para satisfacer la demanda energética. |
| Energía faltante: | 0.00 kWh/año No hay energía faltante, lo que significa que el sistema siempre tiene suficiente energía para cumplir con la demanda requerida. | 3022.99 kWh/año A pesar de que el sistema está diseñado para ser autónomo, hay un déficit considerable de energía, lo que indica que el sistema no es capaz de cubrir toda la demanda energética durante el año. |
| Proporción de rendimiento (PR) | | |
| Proporción de rendimiento (PR): | 61.26% El sistema tiene una eficiencia del 61.26% en la conversión de la energía solar disponible en electricidad utilizable. Esto está dentro del rango esperado para sistemas con baterías. | 65.84% El sistema convierte el 65.84% de la energía solar disponible en energía utilizable, lo que es un rendimiento eficiente para un sistema con baterías. |
| Fracción solar (SF): | 100% Toda la energía consumida proviene del sistema solar, lo que indica que no se ha recurrido a fuentes de energía externas para satisfacer la demanda. | 68.48% Este valor indica que el 68.48% de la energía consumida proviene del sistema solar, mientras que el 31.52% proviene de fuentes adicionales (probablemente de la red o de otros sistemas de respaldo). |
| Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste) | | |
| Ciclos SOW: | 95.6% Las baterías han mantenido un buen estado de carga en el 95.6% de los ciclos, lo que | 97.2% Las baterías han mantenido un buen estado de carga en el 97.2% de los |

| | | |
|--|---|---|
| | indica una buena salud general de las baterías. | ciclos, lo que indica que están en buen estado. |
| SOW estático: | 90.1% El estado de desgaste de las baterías está en un 90.1%, lo que sugiere que, aunque están en buen estado, existe cierto nivel de desgaste que debería ser monitoreado para mantener su eficiencia a largo plazo. | 90.1% El estado estático de las baterías es del 90.1%, lo que sugiere que, aunque están en buen estado, el desgaste acumulado es considerable y podría requerir monitoreo en el futuro. |
| Gráficos de Producciones Normalizadas (por kWp instalado) | | |
| Lu (Energía no utilizada): | 1.14 kWh/kWp/día Este valor refleja la energía no utilizada debido a las baterías llenas. Esto sugiere que hay momentos en que la producción solar supera la capacidad de almacenamiento. | 0.3 kWh/kWp/día Este valor muestra la energía solar que no se utiliza debido a que las baterías están llenas. Es relativamente bajo, lo que sugiere que las baterías están gestionadas adecuadamente. |
| Lc (Pérdida de colección): | 0.7 kWh/kWp/día Estas pérdidas están relacionadas con la recolección y la eficiencia del sistema en la conversión de energía solar. | 0.64 kWh/kWp/día Las pérdidas de recolección reflejan las ineficiencias en la captación y conversión de energía solar. |
| Ls (Pérdida del sistema y carga de baterías): | 0.36 kWh/kWp/día Refleja las pérdidas generales del sistema, incluidas las pérdidas en el almacenamiento en baterías. | 0.3 kWh/kWp/día Estas son las pérdidas que ocurren dentro del sistema, como las asociadas con el almacenamiento en baterías y la conversión de energía. |
| YT (Energía suministrada al usuario): | 3.48 kWh/kWp/día Este es el valor de energía que se suministra finalmente al usuario, lo que indica una producción sólida y consistente. | 2.38 kWh/kWp/día Esta es la energía efectivamente suministrada al usuario final. Aunque es un valor aceptable, podría mejorarse con una mayor eficiencia en la captación y uso de la energía solar. |
| Gráfico de Proporción de rendimiento (PR) | Este gráfico muestra que la proporción de rendimiento varía a lo largo del año, siendo más alta durante los meses de mayor irradiación solar (julio a septiembre). El PR se mantiene relativamente estable, lo que | El gráfico de la proporción de rendimiento muestra variaciones mensuales en la eficiencia del sistema, siendo más alto durante los meses de mayor irradiación solar (principalmente entre mayo y agosto). El PR se mantiene |

| | | |
|-----------------------------|--|---|
| | indica que el sistema está funcionando de manera consistente. | relativamente constante, lo que indica que el sistema tiene un comportamiento estable a lo largo del año. |
| Evaluación de datos: | <p>Este sistema fotovoltaico tiene un buen rendimiento, con una proporción de rendimiento del 61.26% y una fracción solar del 100%, lo que demuestra que el sistema cubre completamente las necesidades energéticas sin depender de fuentes externas. Las pérdidas están principalmente relacionadas con la energía no utilizada debido a la capacidad limitada de las baterías (1.14 kWh/kWp/día) y las pérdidas de recolección y conversión (0.7 y 0.36 kWh/kWp/día).</p> <p>El estado de las baterías es bueno, aunque muestran un ligero desgaste que debe ser monitoreado a largo plazo. En general, el sistema funciona de manera eficiente, aunque se podría optimizar la capacidad de almacenamiento para reducir el exceso de energía no utilizada.</p> | <p>Este sistema fotovoltaico tiene un rendimiento aceptable, con un PR de 65.84% y una fracción solar del 68.48%, lo que significa que el sistema satisface aproximadamente dos tercios de las necesidades energéticas a partir de energía solar, mientras que el restante se cubre de fuentes externas. Sin embargo, hay un déficit energético significativo (3022.99 kWh/año), lo que indica que el sistema no es completamente autosuficiente y podría requerir optimizaciones o la adición de más paneles o capacidad de almacenamiento. Las baterías están en buen estado, con un 97.2% de ciclos SOW y un SOW estático del 90.1%, pero es importante monitorear su envejecimiento para garantizar un rendimiento sostenido a largo plazo. Las pérdidas del sistema y la energía no utilizada son moderadas, lo que sugiere una gestión eficiente de la energía, aunque hay margen para mejorar la eficiencia general del sistema para reducir el exceso de energía no utilizada y el déficit energético.</p> |

Fuente: Propia

Si se han utilizado hipótesis, como que el sistema de seguimiento incrementará la producción en un 30%, se tabularán los valores de producción esperados versus los reales obtenidos en la simulación. Se explicará el modelo utilizado para derivar estas hipótesis, basándose en datos históricos de irradiación y rendimiento de sistemas similares.

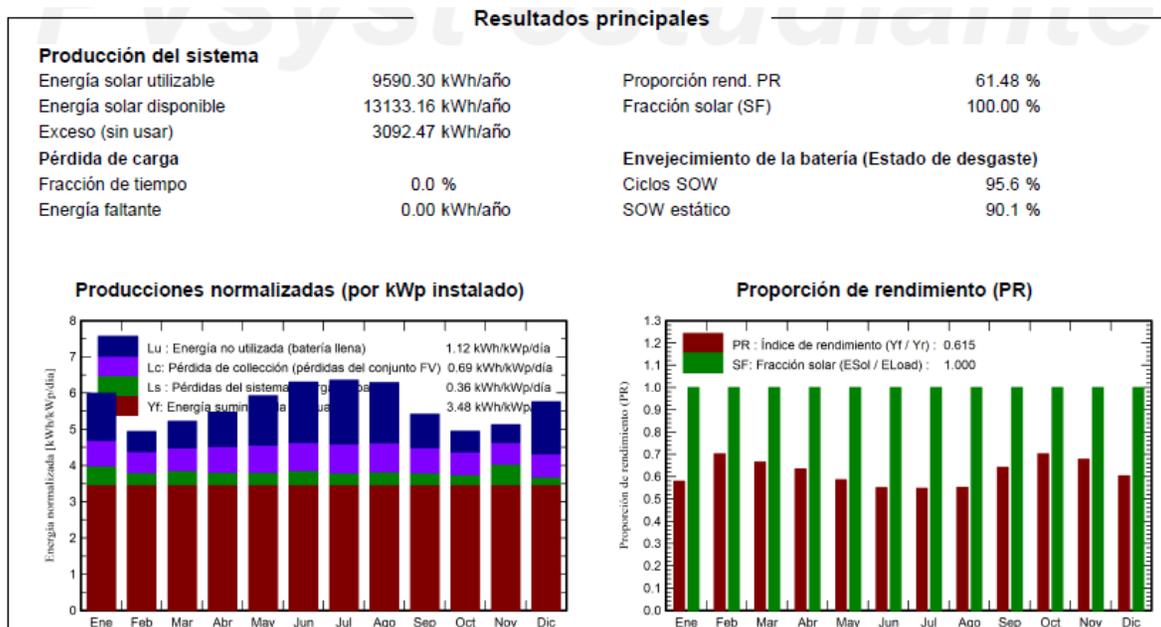


Figura 25.: Tablas de resultados para seguir de un eje a 30°.

Fuente: PVsyst

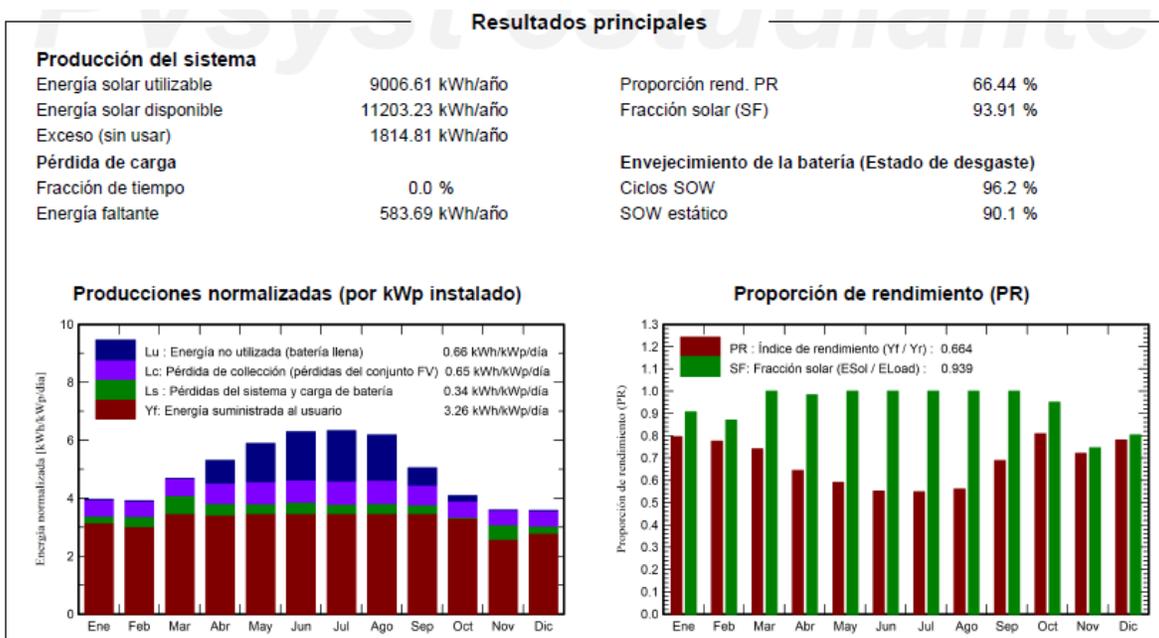


Figura 26.: Tablas de resultados para PV de eje fijo a 30°.

Fuente: PVsyst

Tabla 5: Resultados Producción del sistema Escenario 2. (30° de Inclinación)

| Escenario 2 | | |
|----------------------------------|--|---|
| | Seguidor de un eje a 30° | PF de eje fijo a 30° |
| Producción del sistema | | |
| Energía solar utilizable: | 9590.30 kWh/año Esta cifra indica la cantidad de energía solar que el sistema puede aprovechar para su uso durante el año. Es un valor significativo y consistente con un sistema bien dimensionado. | 9006.61 kWh/año Este valor indica la cantidad de energía solar que el sistema es capaz de aprovechar y utilizar durante el año. Es una cifra adecuada para un sistema fotovoltaico bien dimensionado. |
| Energía solar disponible: | 13133.16 kWh/año La energía solar disponible es mayor que la utilizable, lo que significa que no toda la energía captada se está utilizando debido a diversas pérdidas. | 11203.23 kWh/año Este valor representa la cantidad total de energía solar captada por los paneles solares. La diferencia entre la energía disponible y la utilizable indica la existencia de pérdidas o limitaciones en la capacidad de almacenamiento. |
| Exceso (sin usar): | 3092.47 kWh/año Este valor muestra la cantidad de energía solar que no se utilizó debido a la capacidad de las baterías o a otras limitaciones del sistema. La cantidad es relativamente alta, lo que indica que el sistema podría mejorar en su gestión de energía para minimizar el desperdicio. | 1814.81 kWh/año Este valor refleja la cantidad de energía que no se pudo utilizar porque el sistema ya estaba lleno (baterías a plena capacidad) o debido a otras limitaciones. Una cantidad de energía relativamente alta no se está aprovechando. |
| Pérdida de carga | | |
| Fracción de tiempo: 0.0% | 0.0% El sistema no se queda sin energía en ningún momento del año, lo que sugiere que la capacidad de almacenamiento y la generación son suficientes para cubrir las demandas energéticas en todo momento. | 0.0% No hay momentos en los que el sistema esté sin energía disponible, lo que sugiere que el sistema está bien diseñado para satisfacer la demanda. |
| Energía faltante: | 0.00 kWh/año No hubo déficit de energía, lo que indica que el sistema siempre tuvo suficiente | 583.69 kWh/año Aunque el sistema ha funcionado bien la mayor parte del tiempo ha habido una pequeña cantidad de energía faltante |

| | | |
|--|--|--|
| | energía para cumplir con la demanda, lo que es un buen indicativo de su rendimiento. | (583.69 kWh/año), lo que indica que el sistema no fue completamente autosuficiente en ciertos momentos. |
| Proporción de rendimiento (PR) | | |
| Proporción de rendimiento (PR): | 61.48% El sistema tiene una eficiencia global del 61.48%, lo que es típico para sistemas con almacenamiento en baterías, donde se experimentan pérdidas tanto en la conversión como en el almacenamiento. | 66.44% Este valor indica que el 66.44% de la energía solar disponible es convertida en electricidad utilizable. Es una eficiencia moderadamente alta, adecuada para sistemas con baterías, donde suelen ocurrir pérdidas debido al almacenamiento y la conversión. |
| Fracción solar (SF): | 100% El 100% de la energía consumida proviene del sistema solar, lo que significa que el sistema no recurrió a fuentes de energía externas, como la red eléctrica. | 93.91% Aproximadamente el 93.91% de la energía consumida provino del sistema solar, mientras que el 6.09% restante fue suministrado por otras fuentes de energía, lo que indica un sistema casi autosuficiente. |
| Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste) | | |
| Ciclos SOW: | 95.6% Las baterías han mantenido un buen estado de carga en el 95.6% de los ciclos, lo que indica que están en muy buen estado y son eficaces en la mayoría de las veces. | 96.2% Las baterías están en muy buen estado, habiendo mantenido un buen rendimiento en el 96.2% de los ciclos. Esto sugiere que las baterías todavía tienen una vida útil considerable. |
| SOW estático: | 90.1% Este valor muestra que, aunque las baterías están en buen estado, han acumulado un cierto nivel de desgaste que es común con el tiempo. Este estado debe ser monitoreado para garantizar la eficiencia futura del sistema. | 90.1% El estado estático de desgaste de las baterías es del 90.1%, lo que indica un desgaste moderado que debe ser monitoreado, pero las baterías siguen funcionando eficientemente. |
| Gráficos de Producciones Normalizadas (por kWp instalado) | | |

| | | |
|--|---|--|
| Lu (Energía no utilizada): | 1.12 kWh/kWp/día Este valor muestra la energía no utilizada porque las baterías están llenas. Es un valor alto, lo que sugiere que la capacidad de almacenamiento de las baterías podría ser ampliada para aprovechar más de la energía captada. | 0.66 kWh/kWp/día Este valor muestra la cantidad de energía que no se utiliza porque las baterías ya están llenas. Aunque no es un valor extremadamente alto, podría mejorarse aumentando la capacidad de almacenamiento. |
| Lc (Pérdida de colección): | 0.66 kWh/kWp/día Las pérdidas de colección reflejan las ineficiencias del sistema en la recolección y conversión de energía solar. | 0.65 kWh/kWp/día Refleja las pérdidas de eficiencia en la recolección y conversión de energía solar. |
| Ls (Pérdida del sistema y carga de baterías): | 0.36 kWh/kWp/día Estas pérdidas están asociadas con la eficiencia general del sistema, incluidas las pérdidas en el proceso de almacenamiento y conversión de energía en las baterías. | 0.34 kWh/kWp/día Estas pérdidas están asociadas con la conversión y almacenamiento de la energía en las baterías. |
| YT (Energía suministrada al usuario): | 3.48 kWh/kWp/día Este es el valor de energía que finalmente se suministra al usuario, lo que indica un buen rendimiento en la producción diaria. | 3.26 kWh/kWp/día Este valor representa la cantidad de energía que efectivamente se suministra al usuario final. Es una producción diaria consistente y adecuada para un sistema solar de este tipo. |
| Gráfico de Proporción de rendimiento (PR) | El gráfico de la proporción de rendimiento muestra que el sistema tiene un rendimiento más alto en los meses de mayor irradiación solar (junio a septiembre), pero también se observa una operación estable durante todo el año. La fracción solar se mantiene en el 100%, lo que significa que toda la energía consumida proviene del sistema solar. | El gráfico de PR muestra que el sistema tiene su mejor rendimiento durante los meses de mayor irradiación solar, principalmente entre mayo y septiembre. El rendimiento es consistente durante todo el año, aunque ligeramente más bajo en los meses de invierno, como es común en sistemas solares. |
| Evaluación de datos: | Este sistema fotovoltaico independiente con baterías tiene un buen rendimiento general, con una proporción de rendimiento del 61.48% y una fracción solar del 100% , lo que indica que el sistema está cubriendo todas las necesidades energéticas sin recurrir | Este sistema fotovoltaico tiene un buen rendimiento general con una proporción de rendimiento del 66.44% y una fracción solar del 93.91% , lo que indica que la mayor parte de la energía consumida provino del sistema solar. Sin |

| | | |
|--|--|---|
| | <p>a fuentes externas. Sin embargo, hay una cantidad significativa de energía solar que no se está utilizando debido a la capacidad limitada de las baterías (exceso sin usar de 3092.47 kWh/año). Ampliar la capacidad de almacenamiento podría mejorar la eficiencia del sistema al aprovechar más de la energía disponible.</p> <p>Las baterías están en buen estado, aunque se debe monitorear el desgaste (con un SOW estático del 90.1%) para mantener el rendimiento a largo plazo. En general, el sistema está bien diseñado y funciona eficientemente, pero tiene margen para mejoras en la gestión del almacenamiento de energía.</p> | <p>embargo, el sistema no es completamente autosuficiente, ya que hubo una pequeña cantidad de energía faltante (583.69 kWh/año). Las baterías están en buen estado (96.2% de los ciclos en buen rendimiento), aunque han acumulado cierto desgaste que deberá monitorearse con el tiempo. El sistema podría optimizarse aumentando la capacidad de almacenamiento, ya que una parte significativa de la energía solar no se utiliza (1814.81 kWh/año). En general, el sistema funciona de manera eficiente y casi cubre todas las necesidades energéticas, pero podría mejorarse para ser completamente autosuficiente.</p> |
|--|--|---|

Fuente: Propia

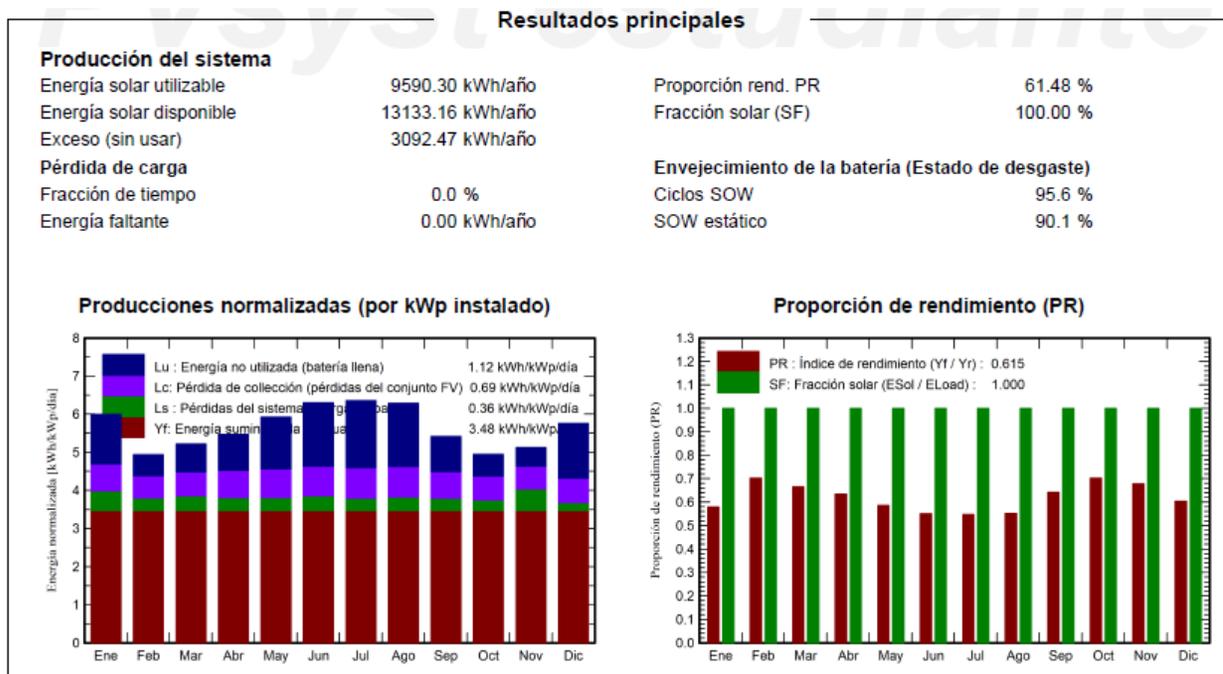


Figura 27: Tablas de resultados para seguir de un eje a 3°.

Fuente: PVsyst

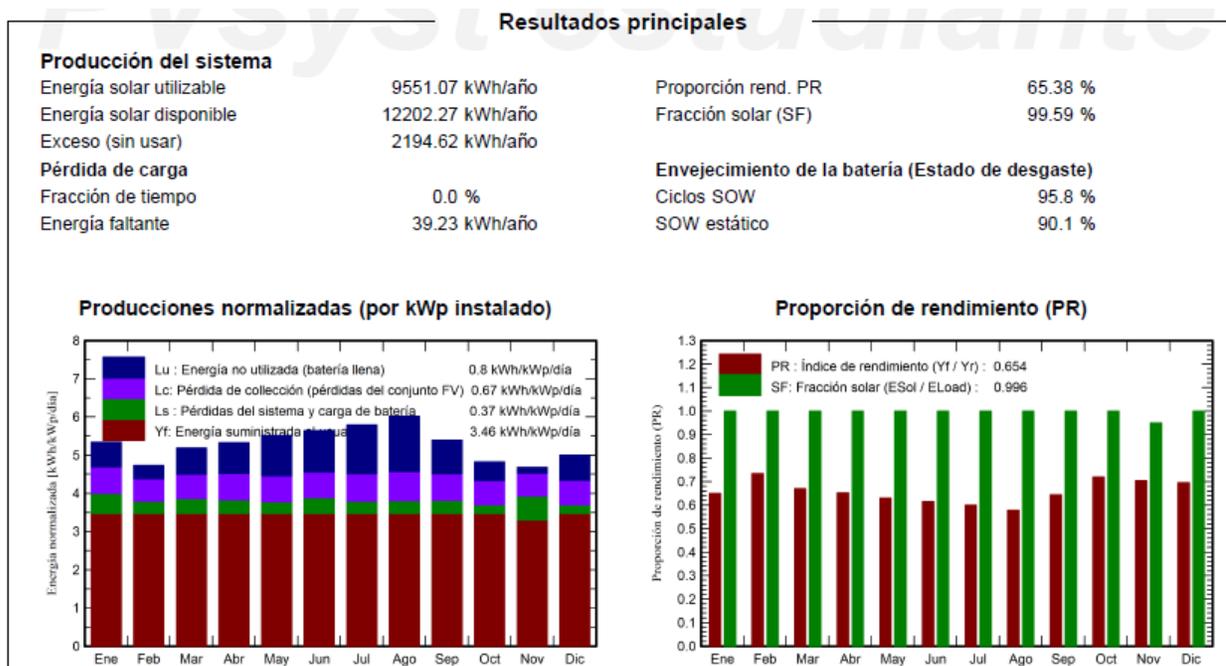


Figura 28.: Tablas de resultados para PV de eje fijo a 3°.

Fuente: PVsyst

Tabla 6: Resultados Producción del sistema Escenario 3. (3° de Inclinación)

| Escenario 3 | | |
|----------------------------------|---|---|
| | Seguidor de un eje a 3° | PF de eje fijo a 3° |
| Producción del sistema | | |
| Energía solar utilizable: | 9590.30 kWh/año Este valor muestra la cantidad de energía que el sistema puede aprovechar durante el año, lo cual es una cifra sólida para un sistema de este tipo. | 9551.07 kWh/año Esta es la cantidad de energía solar que el sistema es capaz de aprovechar para ser utilizada anualmente, un valor sólido para un sistema fotovoltaico bien dimensionado. |
| Energía solar disponible: | 13133.16 kWh/año Este valor refleja la cantidad total de energía solar que se recibe, antes de considerar las pérdidas en el sistema. | 12202.27 kWh/año El sistema recibe una mayor cantidad de energía solar disponible, pero no toda esta energía se convierte en energía utilizable debido a limitaciones del sistema. |
| Exceso (sin usar): | 3092.47 kWh/año Este valor indica la energía solar captada pero no utilizada, probablemente debido a que las baterías estaban llenas o a | 2194.62 kWh/año Esta cifra refleja la cantidad de energía solar que no se utiliza debido a limitaciones en la capacidad de |

| | | |
|--|--|---|
| | limitaciones en la capacidad de almacenamiento. | almacenamiento o a que las baterías ya están llenas. Este exceso sugiere que hay oportunidades de mejora en la capacidad de almacenamiento o en la gestión de la energía. |
| Pérdida de carga | | |
| Fración de tiempo: 0.0% | 0.0% No se registra tiempo en el que el sistema no haya podido proporcionar energía, lo que sugiere una buena capacidad de suministro de energía durante todo el año. | 0.0% No se registra tiempo en el que el sistema no haya podido proporcionar energía, lo que sugiere una buena capacidad de suministro de energía durante todo el año. |
| Energía faltante: | 0.00 kWh/año No hubo momentos de falta de energía, lo que indica que el sistema pudo cumplir con la demanda en todo momento. | 39.23 kWh/año Aunque el sistema funciona eficientemente, hubo un pequeño déficit de energía de 39.23 kWh/año, lo que indica que en ciertos momentos no se pudo satisfacer toda la demanda energética. |
| Proporción de rendimiento (PR) | | |
| Proporción de rendimiento (PR): | 61.48% Este valor muestra que el 61.48% de la energía solar captada se convirtió en energía utilizable, lo cual es un rendimiento típico para sistemas fotovoltaicos con almacenamiento en baterías, dado que suelen tener pérdidas por conversión y almacenamiento. | 65.38% El sistema tiene un rendimiento eficiente, convirtiendo el 65.38% de la energía solar disponible en energía utilizable. Este valor es adecuado para sistemas con almacenamiento en baterías, donde se producen pérdidas por la conversión y el almacenamiento. |
| Fración solar (SF): | 100% El 100% de la energía consumida provino de fuentes solares, lo que indica que el sistema no tuvo que depender de ninguna fuente externa, como la red eléctrica. | 99.59% Casi toda la energía consumida proviene del sistema solar, lo que indica una dependencia mínima de fuentes de energía externas. |
| Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste) | | |

| | | |
|--|---|--|
| Ciclos SOW: | 95.6% Las baterías han mantenido un buen estado en el 95.6% de los ciclos, lo que indica que están en buen estado y pueden seguir proporcionando energía de manera eficiente. | 95.8% Las baterías mantienen un estado de salud excelente, con el 95.8% de los ciclos funcionando correctamente. |
| SOW estático: | 90.1% Este valor sugiere que, aunque las baterías están en buen estado, han experimentado cierto desgaste, lo que es normal con el tiempo. Es importante monitorear su estado para garantizar el rendimiento continuo. | 90.1% Aunque las baterías siguen siendo eficientes, presentan un desgaste del 9.9%, lo que es esperable con el uso prolongado y debe ser monitoreado para mantener el rendimiento a largo plazo. |
| Gráficos de Producciones Normalizadas (por kWp instalado) | | |
| Lu (Energía no utilizada): | 1.12 kWh/kWp/día Este valor indica la energía que no se utiliza porque las baterías están llenas. Es una cantidad relativamente alta, lo que sugiere que ampliar la capacidad de almacenamiento podría ser beneficioso. | 0.8 kWh/kWp/día Este valor representa la energía que no se utiliza debido a que las baterías ya están llenas. Es un valor moderado, aunque reducir este exceso mediante una mayor capacidad de almacenamiento podría aumentar la eficiencia del sistema. |
| Lc (Pérdida de colección): | 0.69 kWh/kWp/día Estas son las pérdidas asociadas con la recolección y conversión de la energía solar. | 0.67 kWh/kWp/día Estas son las pérdidas debidas a la recolección y conversión de la energía solar en electricidad utilizable. |
| Ls (Pérdida del sistema y carga de baterías): | 0.36 kWh/kWp/día Refleja las pérdidas generales del sistema, incluyendo las pérdidas durante la carga de las baterías. | 0.37 kWh/kWp/día Refleja las pérdidas en el sistema, incluyendo las pérdidas debidas a la carga y descarga de las baterías. |
| YT (Energía suministrada al usuario): | 3.48 kWh/kWp/día Este valor representa la cantidad de energía que efectivamente se entrega al usuario por día. Es un rendimiento adecuado para un sistema de estas características. | 3.46 kWh/kWp/día Esta es la cantidad de energía efectiva que se suministra al usuario, lo que refleja una buena consistencia en el rendimiento diario del sistema. |
| Gráfico de Proporción de rendimiento (PR) | El gráfico muestra una variación mensual en la proporción de rendimiento, donde los meses de verano (mayor irradiación solar) | El gráfico muestra que el sistema tiene un rendimiento más alto durante los meses de mayor irradiación solar, |

| | | |
|-----------------------------|--|--|
| | tienen un mejor desempeño en comparación con los meses de invierno. El sistema mantiene un rendimiento constante a lo largo del año. | especialmente entre abril y septiembre, pero mantiene un desempeño constante a lo largo del año. |
| Evaluación de datos: | <p>Este sistema fotovoltaico tiene un buen rendimiento general, con una proporción de rendimiento del 61.48% y una fracción solar del 100%, lo que significa que todo el consumo de energía provino de fuentes solares. Sin embargo, existe un exceso de energía no utilizada (3092.47 kWh/año) debido a la capacidad limitada de las baterías. Ampliar la capacidad de almacenamiento podría mejorar la eficiencia del sistema y aprovechar más de la energía captada.</p> <p>Las baterías están en buen estado con un 95.6% de ciclos SOW y un desgaste moderado (SOW estático de 90.1%). El sistema es autosuficiente y no presenta períodos de falta de energía, pero hay margen de mejora para optimizar el uso de la energía solar disponible.</p> | <p>El sistema fotovoltaico tiene un rendimiento eficiente con una proporción de rendimiento del 65.38% y una fracción solar del 99.59%, lo que significa que prácticamente toda la energía consumida provino del sistema solar. Sin embargo, se observa un exceso de energía sin utilizar de 2194.62 kWh/año, lo que sugiere que el sistema podría beneficiarse de una mayor capacidad de almacenamiento para aprovechar mejor la energía disponible. Aunque el déficit de energía es mínimo (39.23 kWh/año), esto indica que el sistema no es completamente autosuficiente en ciertos momentos. Las baterías están en buen estado con un 95.8% de los ciclos funcionando correctamente, pero un 9.9% de desgaste acumulado sugiere que deben ser monitoreadas para mantener su eficiencia.</p> <p>En general, el sistema es eficiente y está bien dimensionado, pero hay margen para mejorar el aprovechamiento de la energía solar disponible mediante un aumento en la capacidad de almacenamiento.</p> |

Fuente: Propia

3.4. Análisis Final de los resultados y comparativa de los escenarios

3.4.1. Escenario 1 a 60° (Seguidor Solar de un Eje vs Eje fijo)

Tabla 7: Resultados comparativos Escenario 1. (60° de Inclinación)

| Escenario 1 | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Seguidor Solar Un Eje a 60° | PV Eje Fijo a 60° |
| Potencia del sistema | 7.56 kWp | |
| Energía solar disponible | 13173.17 kWh/año | 7706.22 kWh/año |
| Energía solar utilizable | 9590.30 kWh/año | 6567.31 kWh/año |
| Energía faltante | 0.00 kWh/año | 3022.99 kWh/año |
| Exceso (sin usar) | 3134.89 kWh/año | 829.25 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año | 869 kWh/kWp/año |
| Fracción solar (SF) | 100% | 68.48% |
| Proporción de rendimiento (PR) | 61.26% | 65.84% |

Fuente: Propia

Energía Solar Disponible:

El sistema con seguidor solar a 60° genera significativamente más energía solar disponible (13,173.17 kWh/año) en comparación con el sistema de eje fijo a 60° (7,706.22 kWh/año). Esto se debe a la capacidad del seguidor solar para optimizar la captación de irradiación a lo largo del día.

Análisis: El sistema de seguimiento produce aproximadamente un **71% más de energía utilizable** en comparación con el sistema fijo.

Energía Solar Utilizable:

La energía solar utilizable también es mayor en el sistema de seguidor solar (9,590.30 kWh/año) en comparación con el sistema de eje fijo (6,567.31 kWh/año). Esto indica que el seguidor solar no solo capta más energía, sino que también la convierte en energía utilizable de manera más eficiente.

Energía Faltante:

El sistema de seguidor solar no presenta energía faltante (0.00 kWh/año), lo que significa que satisface completamente las necesidades energéticas del usuario. En contraste, el sistema de eje fijo tiene una energía faltante de 3,022.99 kWh/año, lo que indica que no puede cubrir completamente la demanda.

Exceso de Energía:

El sistema de seguidor solar tiene un exceso de energía (3,134.89 kWh/año), lo que sugiere que puede almacenar o utilizar energía adicional. Por otro lado, el sistema de eje fijo tiene un exceso mucho menor (829.25 kWh/año).

Análisis: El sistema de seguimiento tiene más energía sin usar, lo que sugiere que es más adecuado para una mayor demanda o para almacenamiento adicional.

Producción Específica:

La producción específica es más alta en el sistema de seguidor solar (1,269 kWh/kWp/año) en comparación con el sistema de eje fijo (869 kWh/kWp/año), lo que indica una mejor eficiencia en la conversión de energía solar en electricidad.

Fracción Solar (SF):

La fracción solar es ligeramente más alta en el sistema de eje fijo (65.84%) en comparación con el sistema de seguidor solar (61.26%). Esto puede ser un indicativo de que, aunque el seguidor solar produce más energía, el sistema de eje fijo tiene una mayor proporción de su carga cubierta por energía solar.

Análisis: Aunque el sistema de seguimiento genera más energía, su PR es ligeramente inferior al sistema fijo, lo que podría atribuirse a mayores pérdidas operativas y complejidades técnicas.

Proporción de Rendimiento (PR):

La proporción de rendimiento es significativamente más alta en el sistema de seguidor solar (100.00%) en comparación con el sistema de eje fijo (68.48%). Esto sugiere que el sistema de seguidor solar está operando a su máxima eficiencia.

Análisis: Aunque el sistema de seguimiento genera más energía, su PR es ligeramente inferior al sistema fijo, lo que podría atribuirse a mayores pérdidas operativas y complejidades técnicas.

Perdidas del sistema:

Sistema fijo a 60°: Las pérdidas globales del sistema suman una reducción del 31.59% desde la irradiación horizontal hasta la energía efectiva.

Seguidor solar a un eje: Las pérdidas son menores, con una reducción del 22.85% debido a una mayor eficiencia en la captura de irradiancia.

Análisis: El seguidor solar es más eficiente en minimizar las pérdidas de energía, lo que contribuye a su mayor producción.

3.4.2. Escenario 2 a 30° (Seguidor Solar de un Eje vs Eje fijo)

Tabla 8: Resultados comparativos Escenario 2. (30° de Inclinación)

| Escenario 2 | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Seguidor Solar Un Eje a 30° | PV Eje Fijo a 30° |
| Potencia del sistema | 7.56 kWp | |
| Energía solar disponible | 13173.16 kWh/año | 11203.23 kWh/año |
| Energía solar utilizable | 9590.30 kWh/año | 9006.61 kWh/año |
| Energía faltante | 0.00 kWh/año | 583.69 kWh/año |
| Exceso (sin usar) | 3092.47 kWh/año | 1814.81 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año | 1190 kWh/kWp/año |
| Fracción solar (SF) | 100.00% | 93.91% |
| Proporción de rendimiento (PR) | 61.48% | 66.44% |

Fuente: Propia

Producción de energía solar utilizable:

- **Sistema fijo:** 9,006.61 kWh/año.
- **Sistema con seguidor solar:** 9,590.30 kWh/año.

El sistema con seguidor solar produce un **6.5% más de energía** utilizable que el sistema fijo. Esto se debe principalmente a la capacidad del seguidor para optimizar la captación de irradiancia a lo largo del día, mientras que el sistema fijo está limitado por su orientación constante.

Energía disponible y exceso:

- **Sistema fijo:** Energía solar disponible de 11,203.23 kWh/año con un exceso de 1,814.81 kWh/año.
- **Sistema con seguidor solar:** Energía solar disponible de 13,133.16 kWh/año con un exceso de 3,092.47 kWh/año.

El sistema con seguidor solar tiene **una mayor energía disponible**, alrededor de **17% superior**, pero también presenta un mayor exceso de energía no utilizada debido a la capacidad limitada del sistema de almacenamiento y la demanda energética del usuario.

Proporción de rendimiento (PR) y fracción solar (SF):

- **Sistema fijo:** PR del 66.44% y fracción solar del 93.91%.
- **Sistema con seguidor solar:** PR del 61.48% y fracción solar del 100%.

Aunque la fracción solar es completa en el sistema con seguidor solar (cubriendo el 100% de la demanda del usuario), la proporción de rendimiento (PR) es menor que la del sistema fijo. Esto podría explicarse por mayores pérdidas debidas al mayor uso de componentes móviles en el sistema con seguidor.

Análisis de pérdidas:

En términos de pérdidas, el sistema con seguidores presenta mayores pérdidas por temperatura y pérdidas en el convertidor:

- **Sistema fijo:** Pérdidas por temperatura del 3.91%.
- **Sistema con seguidor solar:** Pérdidas por temperatura del 4.95%.

3.4.3. Escenario 3 a 3° (Seguidor Solar de un Eje vs Eje fijo)

Tabla 9: Resultados comparativos Escenario 3. (3° de Inclinación)

| Escenario 3 | | |
|--------------------------------|----------------------------|------------------|
| | Seguidor Solar Un Eje a 3° | PV Eje Fijo a 3° |
| Potencia del sistema | 7.56 kWp | |
| Energía solar disponible | 12371.08 kWh/año | 12202.27 kWh/año |
| Energía solar utilizable | 9590.30 kWh/año | 9551.07 kWh/año |
| Energía faltante | 0.00 kWh/año | 39.23 kWh/año |
| Exceso (sin usar) | 2321.47 kWh/año | 2194.62 kWh/año |
| Producción específica | 1269 kWh/kWp/año | 1263 kWh/kWp/año |
| Fracción solar (SF) | 100.00% | 99.59% |
| Proporción de rendimiento (PR) | 64.85% | 65.38% |

Fuente: Propia

Producción de energía solar utilizable:

- **Sistema fijo a 3°:** Genera **9551.07 kWh/año** de energía solar utilizable.
- **Seguidor solar a un eje:** Genera **9590.30 kWh/año** de energía solar utilizable.

Análisis: Aunque el seguidor solar proporciona una ligera mejora en la energía utilizable (un incremento de aproximadamente 39.23 kWh/año), la diferencia no es significativa para este tamaño de sistema. Esto puede deberse a la inclinación limitada del sistema de seguimiento (3°) y a las condiciones geográficas del sitio.

Producción específica y proporción de rendimiento (PR):

- **Sistema fijo a 3°:** Tiene una producción específica de **1263 kWh/kWp/año** y un PR del **65.38%**.
- **Seguidor solar a un eje:** Tiene una producción específica de **1269 kWh/kWp/año** y un PR del **64.85%**.

Análisis: El sistema de seguidores ofrece una producción específica ligeramente superior, pero la proporción de rendimiento es ligeramente inferior al sistema fijo. Esto sugiere que, aunque el sistema de seguimiento optimiza la captación de irradiancia, la eficiencia general del sistema no mejora significativamente en comparación con el sistema fijo.

Energía excedente y faltante:

- **Sistema fijo a 3°:** Tiene un exceso de energía sin utilizar de **2194.62 kWh/año** y presenta una falta de **39.23 kWh/año**.
- **Seguidor solar a un eje:** Tiene un exceso de energía sin utilizar de **2321.47 kWh/año**, sin faltante de energía.

Análisis: Ambos sistemas generan un exceso de energía considerable. Sin embargo, el sistema con seguidores no presenta energía faltante, lo cual puede deberse a una mejor adaptación a las variaciones de irradiancia durante el día. Esto representa una ventaja operativa del sistema con seguimiento.

Pérdidas del sistema:

- **Sistema fijo a 3°:** Presenta una pérdida del convertidor del **5.04%** y una pérdida por sobrecarga del **0.33%**.
- **Seguidor solar a un eje:** Tiene una pérdida del convertidor del **5.03%** y una pérdida por sobrecarga del **0.32%**.

Análisis: Las pérdidas del sistema son muy similares en ambos casos. Esto indica que el rendimiento de los equipos eléctricos es comparable entre ambos sistemas, independientemente del uso de un seguidor.

3.4.4. Análisis General

En términos generales, el **seguidor solar** demuestra ser una opción más eficiente en la mayoría de los escenarios, particularmente a mayores inclinaciones (60° y 30°), ya que maximiza la cantidad de energía solar disponible y utilizable, cubriendo el **100%** de las necesidades energéticas en todos los escenarios. Sin embargo, esto viene acompañado de un mayor **exceso de energía no utilizada**, lo que podría representar un sobredimensionamiento o una oportunidad para mejorar el almacenamiento o ajustar la demanda.

Por otro lado, el sistema **fijo** tiende a tener una mejor **proporción de rendimiento (PR)**, lo que sugiere que, en términos de eficiencia operativa, aprovecha mejor la energía que recibe. Si la reducción de costos y simplicidad es una prioridad, el sistema fijo podría ser más óptimo, especialmente en inclinaciones bajas (3°), donde la diferencia en producción es mínima.

Conclusión: El **seguidor solar** es más óptimo si se prioriza maximizar la energía utilizable y cubrir completamente la demanda energética. Sin embargo, si se busca un equilibrio entre eficiencia operativa y simplicidad del sistema, el **sistema fijo** puede ser más adecuado, especialmente a inclinaciones bajas.

CONCLUSIONES

El análisis comparativo entre los sistemas fotovoltaicos con seguidores solares de un eje y los sistemas fijos en aplicaciones de riego y autoconsumo en San Antonio de Pichincha revela varios hallazgos clave que responden a los objetivos generales y específicos de la investigación.

- Se concluye que según los resultados obtenidos en PVSyst, los sistemas con seguidores solares de un eje superan en producción energética a los sistemas fijos en todos los escenarios simulados. En promedio, los seguidores solares a 60° generan aproximadamente un 46% más de energía utilizable que los sistemas fijos en las mismas condiciones. Esto se debe a la capacidad del seguidor solar para optimizar la captación de irradiación solar durante el día, permitiendo mayor eficiencia en la conversión de energía. Sin embargo, en inclinaciones menores, como 3° , la diferencia de producción energética entre ambos sistemas es mínima (menos del 1%), lo que sugiere que la efectividad del seguidor disminuye a ángulos más bajos.
- Se concluye que, si bien los seguidores solares muestran una mayor producción de energía, también presentan mayores pérdidas asociadas al uso de componentes móviles, especialmente debido a las pérdidas por temperatura y por conversión de energía. La proporción de rendimiento (PR), que mide la eficiencia general del sistema, es superior en los sistemas fijos. En el caso del seguidor solar a 60° , el PR es de 61.26%, mientras que el del sistema fijo es 65.84%. Esto indica que, aunque el seguidor produce más energía, no es tan eficiente en su operación global como el sistema fijo.
- En conclusión, los sistemas con seguidores solares presentan un mayor exceso de energía no utilizada, debido principalmente a la capacidad limitada de almacenamiento en las baterías o a una baja demanda energética. Este fenómeno es más pronunciado en el sistema con seguidor solar a 60° , que tiene un exceso de energía de 3,134.89 kWh/año, mientras que el sistema fijo a la misma inclinación tiene un exceso de 829.25 kWh/año. Esto sugiere que, aunque los seguidores solares maximizan la captación de energía, es

necesario ajustar el sistema de almacenamiento o incrementar la demanda para aprovechar mejor esta energía adicional.

- En aplicaciones de riego y autoconsumo, donde la demanda energética puede variar a lo largo del año, los seguidores solares de un eje ofrecen una ventaja al garantizar que la demanda sea satisfecha completamente en los periodos de mayor irradiación solar. En contraste, los sistemas fijos presentan mayores problemas de déficit energético en ciertos escenarios, especialmente cuando la irradiación solar es subóptima, como en el caso de los sistemas fijos a 60° , que presentan una falta de 3,022.99 kWh/año de energía para cubrir la demanda.
- En resumen, los seguidores solares de un eje son más adecuados para maximizar la producción energética y garantizar el suministro en aplicaciones donde la demanda es elevada o variable, como en el caso de sistemas de riego y autoconsumo. No obstante, en instalaciones donde la simplicidad y eficiencia operativa sean prioritarias, los sistemas fijos pueden ser una mejor opción, especialmente en ubicaciones con inclinaciones más bajas.
- La capacidad de los seguidores solares para mantener un ángulo óptimo a lo largo del día fue particularmente ventajosa en las aplicaciones de riego, donde se requiere un suministro constante de energía durante las horas de mayor radiación solar. Esto permitió una mayor eficiencia en el uso de los recursos energéticos y una reducción en la necesidad de almacenamiento en baterías. La estabilidad de la producción energética durante las horas críticas para el riego optimizó el uso del agua y mejoró la sostenibilidad operativa del sistema.
- La radiación solar en San Antonio de Pichincha es un recurso abundante y estable durante gran parte del año, lo que favorece la implementación de tecnologías solares. Sin embargo, las condiciones climáticas locales, como la acumulación de polvo y los periodos de nubosidad, requieren un mantenimiento más frecuente en los sistemas con seguidores solares, lo que incrementa los costos operativos en comparación con las instalaciones fijas, que son más duraderas y requieren menos mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Áreas de investigación futura:

- Dado el alto nivel de energía no utilizada en los sistemas con seguidores solares, es crucial investigar mejoras en la capacidad de almacenamiento mediante el uso de baterías más eficientes o ampliaciones de almacenamiento. También se recomienda explorar la integración de sistemas de gestión de energía que optimicen el uso de la energía sobrante.
- Los sistemas con seguidores solares implican un mayor uso de componentes móviles, lo que podría aumentar el mantenimiento y las pérdidas operativas con el tiempo. Un análisis a largo plazo del impacto del desgaste de estos componentes podría proporcionar una mejor comprensión de los costos operativos asociados.
- Profundización en la investigación de costos a largo plazo: Aunque el estudio demuestra los beneficios de los seguidores solares de un eje en términos de eficiencia energética, es fundamental profundizar en el análisis del costo total de propiedad, incluyendo los gastos operativos y de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del sistema. Esto permitirá obtener una visión más detallada sobre la rentabilidad de estos sistemas en comparación con las instalaciones fijas en diferentes contextos geográficos y climáticos.

Divulgación y socialización de resultados:

- Para fomentar la adopción de estas tecnologías en el sector agrícola, es recomendable realizar talleres de capacitación sobre el uso y los beneficios de los sistemas fotovoltaicos con seguidores solares, destacando los resultados de esta investigación.
- Los resultados obtenidos deben ser divulgados en plataformas académicas y profesionales especializadas en energías renovables y agricultura. Esto ayudará a que otros sectores puedan replicar el análisis y tomar decisiones informadas sobre la implementación de tecnologías fotovoltaicas en otras regiones con características similares a San Antonio de Pichincha.

- Es fundamental que los resultados de este estudio se socialicen con las comunidades agrícolas y los responsables políticos locales. Se recomienda la organización de talleres, seminarios y conferencias dirigidos a agricultores, asociaciones rurales y autoridades locales, para que estos actores comprendan los beneficios potenciales de la adopción de seguidores solares en sus actividades. Este tipo de divulgación puede promover una adopción más amplia de la tecnología.

REFERENCIAS

- A. Moreira-Espinoza, Intriago A., Pazmiño P., Ponce M. y Moreano M. (29 de octubre de 2023). *Artículo Académico*. Obtenido de Análisis Comparativo del Potencial Energético Extraíble entre Paneles Fotovoltaicos Fijo y con Sistema de Seguimiento de un Eje Instalados en la ULEAM.
- Anixter. (2024). “¿Qué es el cableado fotovoltaico(FV/PV)?”. Obtenido de https://www.anixter.com/es_mx/resources/literature/wire-wisdom/pv-wire.html
- Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF). (2021). *Estudio sobre la viabilidad de los seguidores solares en España*. Obtenido de <https://unef.es/wp-content/uploads/2021/06/Estudio-seguidores-solares.pdf>
- Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF). (2021). *Guía técnica sobre seguidores solares*. Obtenido de <https://unef.es/wp-content/uploads/2021/06/Guia-tecnica-seguidores-solares.pdf>
- Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF). (2021). *Informe del Mercado Fotovoltaico en España 2020*. Obtenido de Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica: <https://unef.es/informes/>
- Asociación Española de la Industria Solar Fotovoltaica (UNEF). (2021). *Informe sobre la sostenibilidad y rentabilidad de las inversiones en energía solar fotovoltaica*. Obtenido de <https://unef.es/informes/>
- AutoSolar. (2024). “Aspectos técnicos/que es un controlador de carga solar”. Obtenido de https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-es-un-controlador-de-carga-solar?srsId=AfmBOopzF_sQCbKDBGEv4LozcSMRawnEL2WaIap99li7HIdQ4XWxKQNg

- AutoSolar. (2024). "Baterias solares". Obtenido de <https://autosolar.co/baterias-solares#:~:text=Las%20bater%C3%ADas%20solares%20son%20un,aprovecharla%20cuando%20m%C3%A1s%20la%20necesite>
- Carpio J. (10 de agosto de 2021). *Universidad de Cuenca*. Obtenido de Comparación de Modelos de Seguimiento solar y Análisis económico eléctrico de un Sistema Solar Fijo.
- Chapin, D. M., Fuller, C. S, & Pearson, G.L. (1954). "A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power." *Journal of Applied Physics*, 25(5), 676-677.
- Chong, K. K., & Wong, C. W. (2009). *General Formula for One-Axis Sun Tracking System and Its Application in Improving Tracking Accuracy of Solar Collector*. *Solar Energy*, 83(3), 298-305.
- Das M., Akpınar E. (23 de mayo de 2020). *Journal Renewable Energy*. Obtenido de Investigation of the effects of solar tracking system on performance of the solar air dryer.
- Díaz, P., & López, R. (2014). "Design and experimental analysis of a standalone PV system for water pumping in agriculture." *Applied Energy*, 113, 1-8. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-energy>
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*.
- Fernández-Infantes, A., Contreras, J., & Narvarte, L. (2006). *Design of tracking photovoltaic systems with a single vertical axis*. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 14(5), 435-448. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). *La energía en la agricultura: Guía sobre el uso eficiente del agua y la energía en el riego*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/ca3002es/CA3002ES.pdf>

Gamal M Abou-Hashema M y Masahito S. (3 de junio de 2011). *8th International Conference on Power Electronics*. Obtenido de Maximizing Energy-Efficiency in Single-Axis Solar Trackers for Photovoltaic Panels.

García, M.C., & Di Dio, V. (2012). "A comprehensive review of photovoltaic systems." *Energy Conversion and Management*, 56, 8-19. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-conversion-and-management>

Huld, T. G. (2010). *Mapping the performance of PV modules, effects of module type and data averaging*. *Solar Energy*, 84(2), 324-338.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2020). *Guía para el autoconsumo de energía solar fotovoltaica*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20200805102822.pdf

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2020). *Tecnologías de energía solar fotovoltaica: Seguidores solares*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_20200805102822.pdf

Krannich. (2024). "Protecciones eléctricas en instalaciones fotovoltaicas de ámbito residencial e instalaciones aisladas". Obtenido de <https://krannich-solar.com/es-es/blog/protecciones-electricas-en-instalaciones-fotovoltaicas-de-ambito-residencial-e-instalaciones-aisladas/>

Mahmoud B. Chun S. (enero de 2021). *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. Obtenido de Performance comparison of fixed and single axis tracker photovoltaic system in large scale power plants in Malaysia.

Malinowski, M., Gopakumar, K., Rodriguez, J., & Pérez, M. A. (2011). *A survey on cascaded multilevel inverters*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(7), 2197-2206. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/document/5354805>

Patel, M. R. (1999). *Wind and Solar Power Systems*.

Rodríguez C, Gandhi O, Reindl T. (5 de septiembre de 2020). *IEEE Journal of Photovoltaics*.
Obtenido de On the PV Tracker Performance: Tracking the Sun Versus Tracking the
Best Orientation.

Solar Energy Industries Association (SEIA). (2021). “*Solar Panels*”. Obtenido de
https://www.seia.org/initiatives/about-solar-energy?locale=es_419

Sun L, Bai J, Pachauri R, Wang S. (2024). *Journal Renewable Energy*. Obtenido de A
horizontal single-axis tracking bracket with an adjustable tilt angle and its adaptive
real-time tracking system for bifacial PV modules.

ANEXOS

ANEXO 1: SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE A 60

ANEXO 2: PV DE EJE FIJO A 60°

ANEXO 3: SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE A 30

ANEXO 4: PV DE EJE FIJO A 30°

ANEXO 5: SEGUIDOR SOLAR DE UN EJE A 3°

ANEXO 6: PV DE EJE FIJO A 3