

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS
ANALISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE 150
Wp BAJO LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE
BAGUA, AMAZONAS**

Autor: Bach. Montenegro Diaz Mariano Alex

Asesor: Ing. Gosgot Angeles Wildor

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

DATOS DEL ASESOR

Ing. Wildor Gosgot Angeles

DNI No 70156443

Registro ORCID No 0000-0002-7301-2809

<https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>

Campos de Investigación y el Desarrollo OCDE

[1.05.00 – Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales](#)

[1.05.08 - Ciencias del Medio Ambiente](#)

DEDICATORIA

A Dios mi padre celestial por darme la oportunidad de vida, por su amor, su misericordia y las múltiples bendiciones que ha traído sobre mi vida, y la de mis familiares.

A mis padres Mauro Mariano Montenegro Suarez y Rosa Díaz Santa Cruz, por sus consejos y apoyo económico para lograr este reto de culminar mi carrera.

A mis hermanos José Montenegro Díaz y Raquel Montenegro Díaz, por sus consejos, e incondicional apoyo que me brindaron destacando la responsabilidad y el esfuerzo para lograr este objetivo.

A mi sobrino Anderson Daniel Montenegro Burga, por su apoyo incondicional.

Mariano Alex Montenegro Diaz.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mis padres, por su confianza y apoyo incondicional para poder culminar mi carrera profesional.

A mis hermanos, con quienes puedo contar en situaciones difíciles.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) por la formación profesional que me brindó en sus aulas y laboratorios.

A mi asesor de tesis, Wildor Gosgot Angeles, por el apoyo incondicional y orientación en el desarrollo de la presente investigación.

Mariano Alex Montenegro Diaz.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA**

**DR. POLICARPIO CHAUCA VALQUI
RECTOR**

**DR. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO**

**DRA. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN
VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN**

**DR. RICARDO EDMUNDO CAMPOS RAMOS PH.D.
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y
AMBIENTAL**

VISTO BUENO DEL ASESOR



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM ()/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE 150Wp BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS BOGUS AMAZONAS. MARIANO ALEX MONTENEGRO DÍAZ

del egresado

de la Facultad de *INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL*

Escuela Profesional de *INGENIERÍA AMBIENTAL*

de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, *07* de *Julio* del *2022*

Firma y nombre completo del Asesor

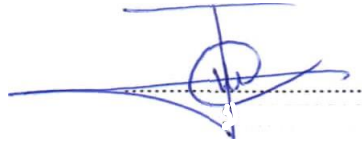
Wildor Gogot Angeles



JURADO EVALUADOR



M.SC GINO ALFREDO BERGARA MEDINA
PRESIDENTE



M.SC JESÚS RASCÓN BARRIOS
SECRETARIO



M.SC JUAN ALBERTO ROMERO MONCADA

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-O

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE COUP BAJO CONDICIONES CLIMÁTICAS DE ZARZA, AMAZONAS

presentada por el estudiante () / egresado ()

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL

con correo electrónico institucional 7384308952@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor () / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 15 de Julio del 2022




SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 24 de AGOSTO del año 2022, siendo las 11:00 horas, el aspirante: MARTIANO ALEX MONTENEGRO DIAZ, defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO ECONÓMICA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO DE PICO WATTS CON CONEXIONES CLIMÁTICAS DE BAJA AMPLIACIÓN teniendo como asesor a WILDER GOSSET ANGELES, para obtener el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: U. SC. GILMO ALFREDO UERGATA MEDINA

Secretario: U. SC. JESÚS RASCON BARRIOS

Vocal: U. SC. JUAN ALBERTO DÍAZ MONCADA



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X)

Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


PRESIDENTE


VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ÍNDICE

DATOS DEL ASESOR.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR	v
JURADO EVALUADOR	vi
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	vii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	14
II. METODOLOGÍA	17
2.1. Área de estudio	17
2.2 Determinación del recurso solar en la zona de estudio.....	18
2.3 Instalación del Sistema fotovoltaico de 150 Wp.....	20
2.4 Procedimiento para analizar el desempeño energético	27
2.5 Procedimiento para evaluar el costo nivelado de electricidad	29
III. RESULTADOS.....	30
3.1 Sistema fotovoltaico instalado	31
3.2 Desempeño energético del sistema fotovoltaico	31
3.3 Costo nivelado de energía	33
IV. DISCUSIONES	34
V. CONCLUSIONES	37

VI. RECOMENDACIONES.....	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinación de cargas.	32
Tabla 2. Costos de producción de energía.....	33
Tabla 3. Costo nivelado de energía	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del sistema fotovoltaico.....	17
Figura 2. Interfaz del PVGIS con los parámetros utilizados.	18
Figura 3. Distribución mensual de la energía solar promedio en la zona de estudio. ..	19
Figura 4. Ficha Técnica del panel	20
Figura 5. Regulador de carga del sistema fotovoltaico.	21
Figura 6. Batería e inversor para el sistema fotovoltaico.	21
Figura 7. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico.....	22
Figura 8. Soporte e instalación del panel solar, con inclinación de 15°	24
Figura 9. Conexión de la batería al regulador de carga del sistema fotovoltaico.....	25
Figura 10. Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga del sistema.....	25
Figura 11. Conexión del inversor al regulador de carga del sistema fotovoltaico.	26
Figura 12. Batería, panel fotovoltaico e inversor conectados al regulador de carga del sistema fotovoltaico.	26
Figura 13. Multímetro digital	27
Figura 14. Foco LED de 12 W, teléfono celular 40 W y radio grabadora de 30 W.....	28
Figura 15. Carga de la batería de teléfonos celulares 70w y funcionamiento del radio grabador de 30w.	28

Figura 16. Sistema fotovoltaico instalado	31
Figura 17. Potencia del sistema fotovoltaico respecto a la energía solar disponible ...	31
Figura 18. Condiciones ambientales con respecto a la radiación solar	32

RESUMEN

El incremento poblacional, el rápido ritmo de industrialización de los combustibles fósiles, han conllevado a buscar alternativas energéticas inmediatas, encontrando en la energía solar fotovoltaica a la más accesible caracterizada en su diversidad, abundancia y aprovechamiento en cualquier parte del mundo, esta fuente energética es la llamada a contrarrestar estas demandas, principalmente en zonas remotas donde es muy difícil acceder a la energía de la red eléctrica convencional. En el caserío Naranjos se instaló un sistema fotovoltaico (SFV) de 150 Wp (Watt Peak) aislado de la red, para abastecer con energía eléctrica de 220 V (Voltios) a una vivienda unifamiliar. El sistema fotovoltaico abasteció energía suficiente para que funcionen: cuatro focos LED de 12 W, carga de batería para un teléfono celular de 40 W, también se puso en funcionamiento un radio grabador de 30 W y una laptop de 70 W durante 4,5 horas de uso. Existiendo en la zona de estudio, un potencial energético solar anual promedio de 120 kWh/m², energía que se aprovechó con el sistema fotovoltaico y permitió compensar la demanda energética de la vivienda. Esta energía se puede aprovechar para iluminación y carga de aparatos eléctricos, los mismos que, ayudan a acceder a noticias e información que son medios de comunicación trascendentales para tiempos actuales. Este sistema instalado ayuda a la mejora en la calidad de vida de la familia, y principalmente contribuye al cuidado del ambiente, por ser energía limpia, renovable, no emite emisiones de CO₂, por ende, ayuda a contrarrestar los efectos del cambio climático.

Palabras clave: Energías renovables, Radiación Solar, Cambio Climático

ABSTRACT

The population increase, the rapid pace of industrialization of fossil fuels, have led to seek immediate energy alternatives, finding in the photovoltaic solar energy the most accessible characterized in its diversity, abundance and use anywhere in the world, this energy source is called to counteract these demands, mainly in remote areas where it is very difficult to access energy from the conventional power grid. A 150 Wp (Watt Peak) photovoltaic (PV) system was installed in the Naranjos farmhouse, isolated from the grid, to supply 220 V (Volts) electrical energy to a single-family house. The photovoltaic system supplied enough energy to operate: four 12 W LED spotlights, battery charge for a 40 W cell phone, a 30 W radio recorder and a 70 W laptop for 4.5 hours of use. In the study area there is an average annual solar energy potential of 120 kWh/m², energy that was harnessed with the photovoltaic system and allowed to offset the energy demand of the house. This energy can be used for lighting and charging electrical appliances, which help to access news and information that are transcendental means of communication for current times. This installed system helps to improve the quality of life of the family, and mainly contributes to the care of the environment, as it is clean, renewable energy, does not emit CO₂ emissions, thus helping to counteract the effects of climate change.

Key words: Renewable energies, Solar radiation, Climate Change.

I. INTRODUCCIÓN

El rápido ritmo de industrialización, el crecimiento de la población y el agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, ha conllevado a buscar alternativas energéticas accesibles, basándose principalmente en el costo de instalación y mantenimiento, que estos no excedan las condiciones económicas de las personas (Moncecchi et al., 2020).

En tal contexto, la energía solar surge como la más apropiada, por su distribución y abundancia en todo el mundo, a tal magnitud que se torna en una de las energías renovables más conocidas. Destacando principalmente su potencial energético, el cual permite priorizar la electrificación doméstica en zonas remotas, el uso de esta tecnología ya está ganando popularidad en la población, y surge como una de las soluciones más factibles al progresivo proceso del uso de energías limpias, ya que, esta genera desde fracciones de W (watt) hasta cientos de MW (mega watt), energía que podemos almacenar y fraccionar su utilización. Con costos menores de operación y mantenimiento, permitiendo la independencia del uso de energías convencionales, las cuales han ocasionado daños significativos al planeta, estos combustibles fósiles no son renovables. Ante ello se busca explorar el diseño adecuado y la viabilidad económica para la instalación de sistemas fotovoltaicos (El-houari et al., 2019).

Esta fuente energética viene siendo un avance significativo hacia la electrificación en las regiones rurales remotas, y es la tecnología que se torna en una de las más convenientes, facilitando su instalación y aprovechamiento, sin embargo el problema estratégico está en identificar el potencial de la energía solar en zonas particulares, y la viabilidad económica para el montaje de sistemas solares (Xu et al., 2019).

Además, Abdul-Wahab, Charabi, Al-Mahruqi, Osman, & Osman, (2019) menciona que, los sistemas solares fotovoltaicos son una de las alternativas más eficientes a la progresiva crisis energética de los últimos años, la instalación de estos sistemas será factible económicamente en la mayoría de los casos, debido a la amplia cantidad de ventajas que estos presentan. Otro aspecto a considerar del sistema fotovoltaico autónomo es el componente de almacenamiento, que vendría a ser la batería ya que es el más crucial, porque en un diseño inadecuado puede afectar la confiabilidad, y los costos finales de instalación pueden variar significativamente causando pérdidas económicas, por ende es

necesario evaluar qué tipo de baterías se va a utilizar en el sistema fotovoltaico (Moncecchi et al., 2020).

Para ello, se viene realizando investigaciones sobre la confiabilidad técnica y económica de sistemas fotovoltaicos, por ejemplo, Tharani, Anand, & Gandhar, (2020), analizaron tres tipos de baterías diferentes, batería de flujo avanzado de plomo, batería de ácido, batería de iones de litio y zinc-bromo, en función de sus prestaciones técnicas y económicas, en donde determinaron que el sistema fotovoltaico fuera de la red tiene una carga doméstica de 250 kWh/día (kilowatt-hora/día) y una carga agrícola de 17,91 kWh/día, determinaron que, las baterías de ion litio son la opción más favorable para su uso con el sistema fotovoltaico aislado, ya que estas permiten almacenar mayor cantidad de energía, son más eficientes y no requieren de mantenimiento periódico.

Por otro lado, Irfan et al., (2019), evaluaron la viabilidad económica de los sistemas solares fotovoltaicos de 200 Watts, donde la generación de electricidad a partir de la energía solar fotovoltaica cuesta 7,15 rupias pakistanés (PKR) por kW/h y es más barata que la electricidad convencional, que cuesta 20,7 PKR por kW/h, en tal sentido determinaron que, la energía solar es económicamente viable para su instalación, mantenimiento y aprovechamiento especialmente en zonas rurales remotas.

Entre tanto Humberto, (2019), evaluó el potencial de energía solar para generación de energía eléctrica, como una alternativa para disminuir el uso de combustibles fósiles, en la región Piura, para exponer el potencial de energía solar en la zona de estudio utilizó el software PVgis. Determinando que, el promedio de energía solar incidente es de 5 kWh/m², equivalente a 3.7 KW/m² al año, con temperaturas que sobrepasan los 25 °C, durante todo el año. Dejando evidenciado la viabilidad para la instalación de sistemas fotovoltaicos en la región Piura y en zonas con altas cantidades de radiación y condiciones climáticas que permiten el montaje de estos sistemas.

Por su parte Bautista, (2018), evaluó un sistema fotovoltaico autónomo, constituido por dos paneles fotovoltaicos de 260 Wp cada uno, regulador de carga, dos baterías de gel de 100 Amph cada una, inversor de carga de 600 W, bajo condiciones climáticas de días soleado (800 – 1000 W/m²), día combinado (400 – 600 W/m²) y nublado (200 – 400 W/m²) en el campus universitario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. El rendimiento del SFV alcanzó una máxima potencia en día soleado de 386,24 Wp (77,25 % de la potencia máxima), en día combinado 350,43 Wp (70,10 % Potmáx) y

en día nublado 250,89 Wp (50,18 % Potmáx); lo que superó en todo momento lo necesario para cargar la batería de cuatro teléfonos celulares, dos laptops y el funcionamiento de un foco LED.

También, Carrasco, (2018), estudio un sistema fotovoltaico (SFV) para abastecer con energía eléctrica de 220 Voltios, para iluminación y equipos básicos de comunicación, para dos viviendas que no tienen energía eléctrica en Chachapoyas, Amazonas, Perú. Cada SFV está constituido por panel fotovoltaico de 100 Wp, regulador de carga, batería de 100 Amph, inversor de carga de 300 W. Con los datos de radiación solar y porcentaje de carga de la batería, se determinó que con el SFV funciona para tres focos LED de 8 W, en simultáneo con la carga de la batería de un teléfono celular o de una radio de 18 W durante 4 horas; asimismo, durante el mismo tiempo funcionan un foco LED de 8 W con un televisor de 70 W. Además, determino que los usuarios pueden financiar en cinco años un sistema como el evaluado que contribuye a mejorar la calidad de vida de la familia y promover el uso de tecnologías limpias que no causan gases de efecto invernadero.

Por su parte, Chtita et al., (2021). Reporta que los SFV usados para electrificación rural son del tipo “Sistema Fotovoltaico Domiciliario”, SFD (en inglés: “solar home system”, SHS), con potencias de 70 - 110 y 150 Watts Pico, operando junto a una batería de plomo acido, un regulador de carga, y 3 a 6 focos fluorescentes de 9 y/o 12 Watts, teniendo un costo del orden de US\$ 500 (incluyendo impuestos e instalación). Sin embargo, estos módulos fotovoltaicos dependen de la energía solar, la cual es variable de acuerdo a la ubicación y las condiciones climáticas del lugar, además de otros parámetros como: sombra, polvo, humedad y temperatura ambiente, los mismos que tiene principal injerencia para la eficiencia, viabilidad y desempeño energético en los sistemas solares.

De acuerdo a lo anterior, es necesario determinar el desempeño energético de los sistemas fotovoltaicos de acuerdo a las condiciones técnicas y climáticas en la región Amazonas, por lo que, la investigación busco analizar la viabilidad técnico económico para un sistema fotovoltaico autónomo, bajo las condiciones climáticas de Bagua. Entonces se instaló un sistema fotovoltaico que consta de un panel policristalino de 150Wp, un controlador de carga de 10 A y 12 V, una batería de 160 Ah/hora y un inversor de 600 W. Posteriormente se determinó la capacidad de suministrar energía para el uso de iluminación y cargas de equipos eléctricos. Por último, se realizó el análisis económico del sistema fotovoltaico, respecto a un grupo electrógeno, como alternativas de cubrir las

demandas eléctricas en zonas rurales y a la vez propiciar el cambio de la transición energética rural.

II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La investigación se realizó en el Caserío Naranjos, ubicado en el distrito de Bagua provincia de Bagua, Región Amazonas, localidad que cuenta con un clima tropical con temperaturas variables entre 20.8°C y 31.7°C y temperatura promedio mensual de 25.3°C. La zona de estudio cuenta con época húmeda que abarca los meses de (enero a junio), y época seca que oscila entre los meses de (Julio a noviembre). Existe un porcentaje promedio de nubosidad de 29% durante el año y presencia de vientos que viajan de 8.6 km/h/día a 13.4 km/h/día, y entre 9 y 11 horas de sol por día, con radiación solar promedio anual de 120 kWh/m² (Senamhi, 2022)

El Caserío Naranjos está ubicado en zona rural, dedicada a la agricultura y ganadería, sin contar con acceso a la red de energía eléctrica convencional.

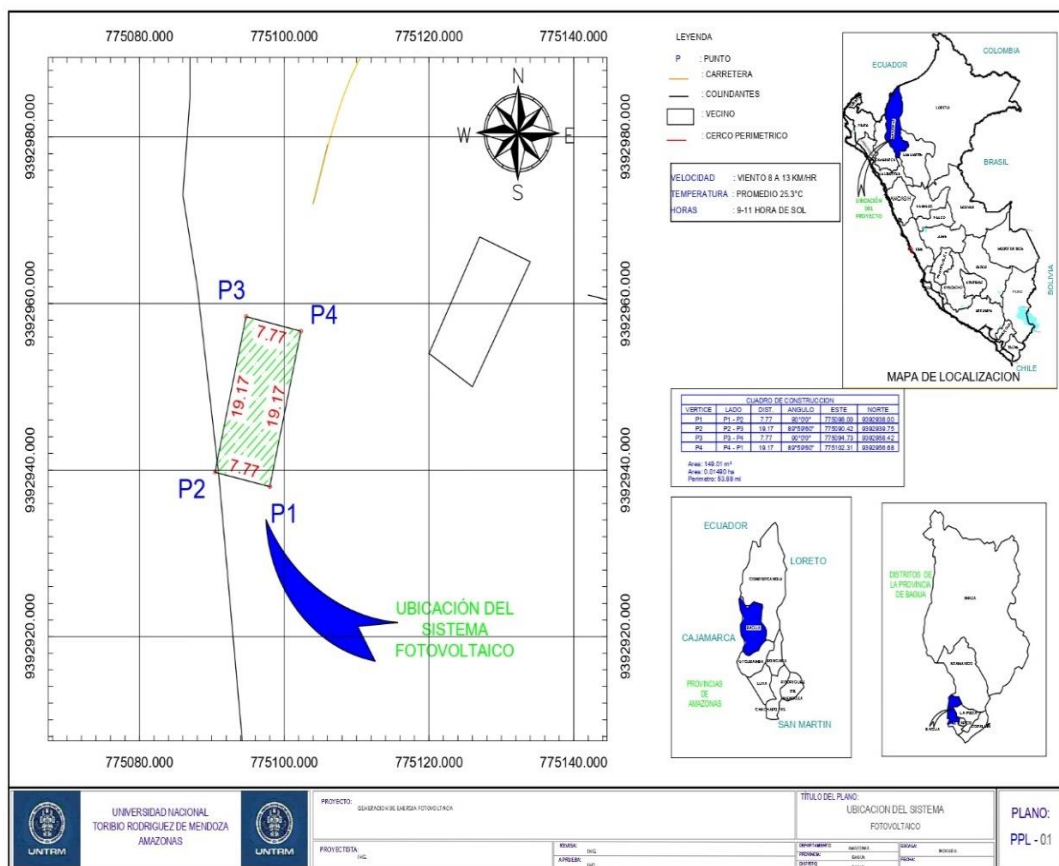


Figura 1. Ubicación del sistema fotovoltaico

2.2 Determinación del recurso solar en la zona de estudio.

Para evidenciar el potencial de energía solar en el área de estudio se utilizó el software Pvgis (https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#api_5.2). El PVGIS es la herramienta en línea gratuita ideal para estimar la energía solar incidente sobre un lugar específico y la producción de electricidad solar de un sistema fotovoltaico (PV) para América, Asia, Europa y África (Figura 2). Los parámetros utilizados para la investigación se describen a continuación:

Ubicación [Latitud, Longitud geográfica]	: -5.499,-78.505
Base de datos utilizados	: PVGIS-ERA5
Irradiación global en ángulo	: 15 °

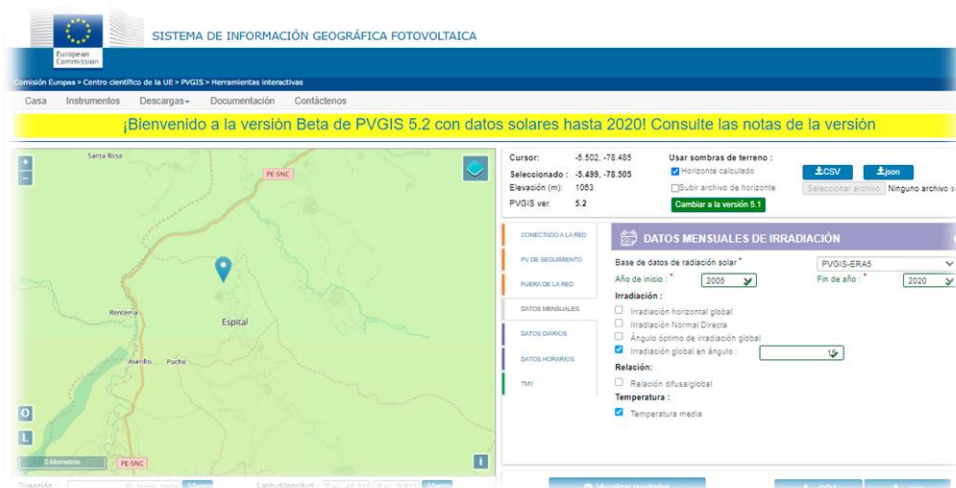


Figura 2. Interfaz del PVGIS con los parámetros utilizados.

En la Figura 3, se muestra la energía solar promedio de acuerdo a la variación mensual, la cual, deja en evidencia que, en los meses de agosto a noviembre es el periodo donde se tiene mayor cantidad de energía solar disponible para aprovechar.

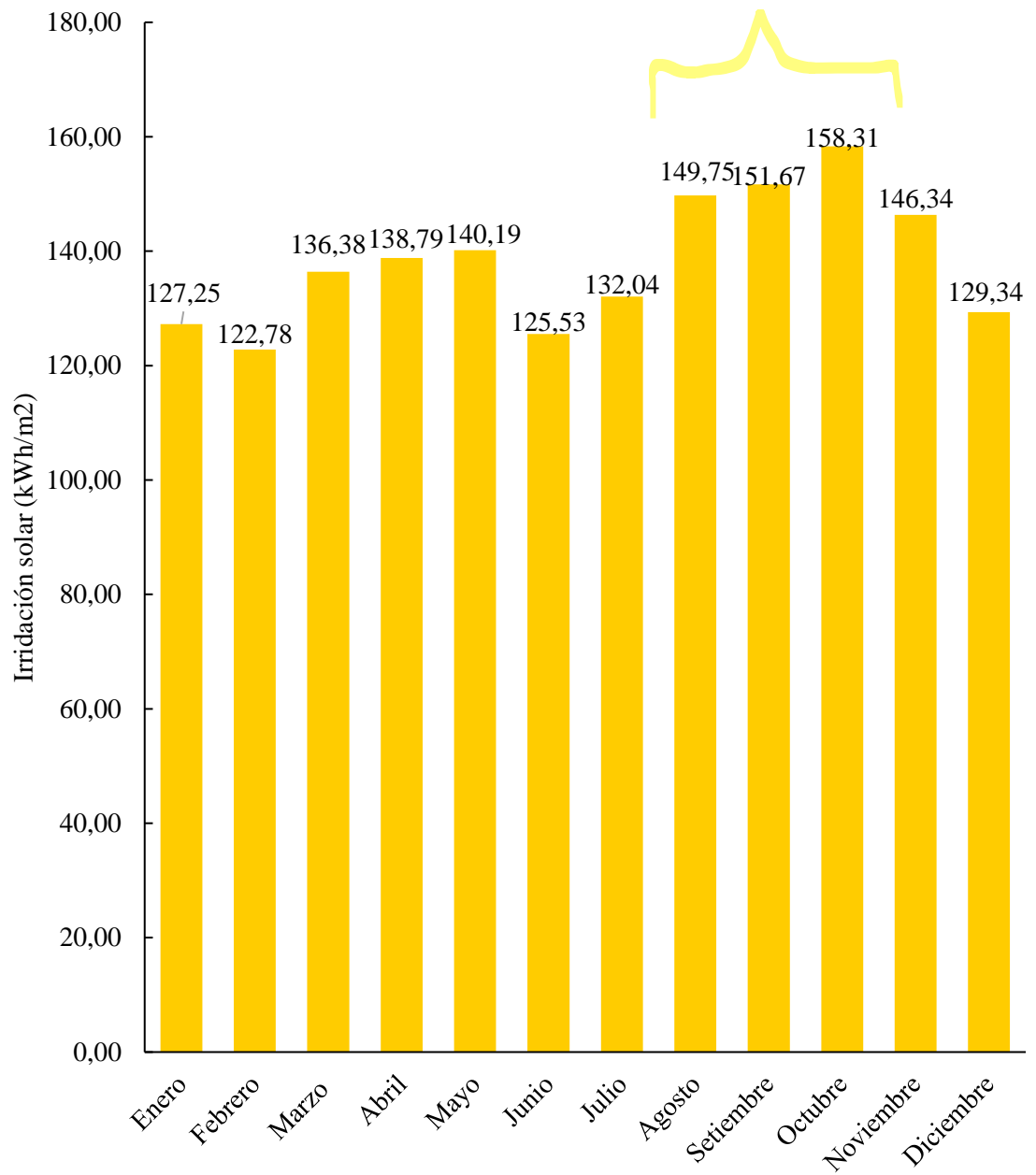


Figura 3. Distribución mensual de la energía solar promedio en la zona de estudio.

2.3 Instalación del Sistema fotovoltaico de 150 Wp.

Se instaló un sistema fotovoltaico de 150 Wp, aislado de la red constituido por un panel solar de 150 Wp (cuyas características técnicas se presentan en la tabla 1 y figura 4), un controlador de carga de 12 V y 10 A cuya marca es phocos, modelo CIS-CU (figura 5), una batería de gel de 160 Ah y 12 V de marca power plus modelo S312-160 F (figura 6a) y un inversor de 600 W marca SEP electronic (figura 6b).

Tabla1. Características del panel solar

Características	Unidades		Medidas
Tipo de panel			Policristalino
Marca			SONELECTRIC
Modelo			BSM150P-36
Clase			B
Potencia máxima	Pmax	W	150W
Amperaje a máxima potencia	Imp	A	8,38
Voltaje a potencia máxima	Vmp	V	17,9



Figura 4. Ficha Técnica del panel

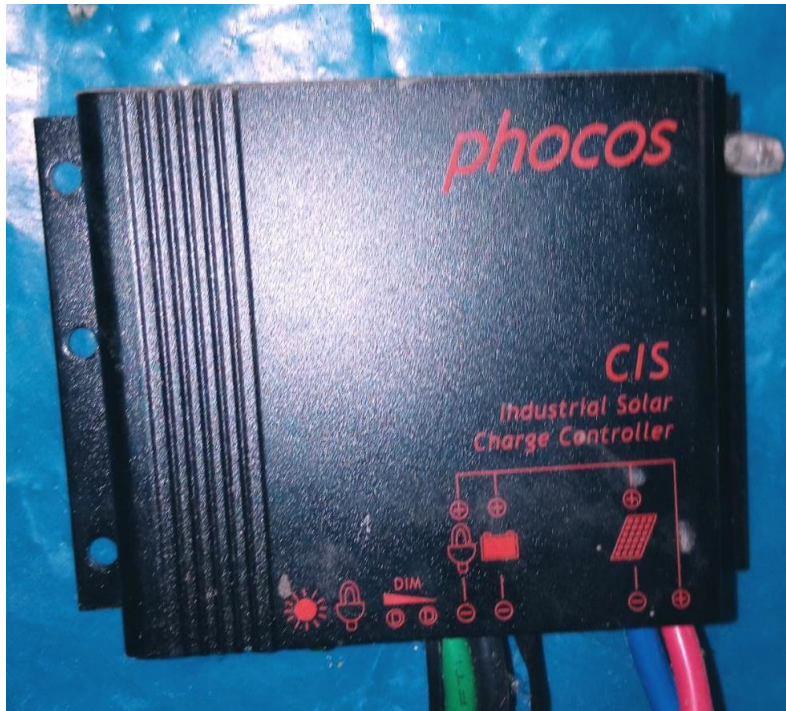


Figura 5. Regulador de carga del sistema fotovoltaico.



Figura 6. Batería e inversor para el sistema fotovoltaico.

Para la instalación de los equipos del sistema fotovoltaico se tuvo como referencia el esquema eléctrico que se muestra en la figura 7. Se conectó la batería al controlador de carga, posteriormente se conectó el inversor para luego insertar los cables del panel fotovoltaico al mismo controlador, y por último el sistema eléctrico domiciliario se conectó al inversor para su funcionamiento. Todas las conexiones se realizaron respetando la polaridad de cada equipo de acuerdo a los colores que se muestra en la imagen (color rojo polaridad positiva y color negro polaridad negativo). Transmitiendo corriente directa (DC) desde el panel hasta el inversor, luego del inversor hasta el circuito de consumo, corriente alterna (AC).

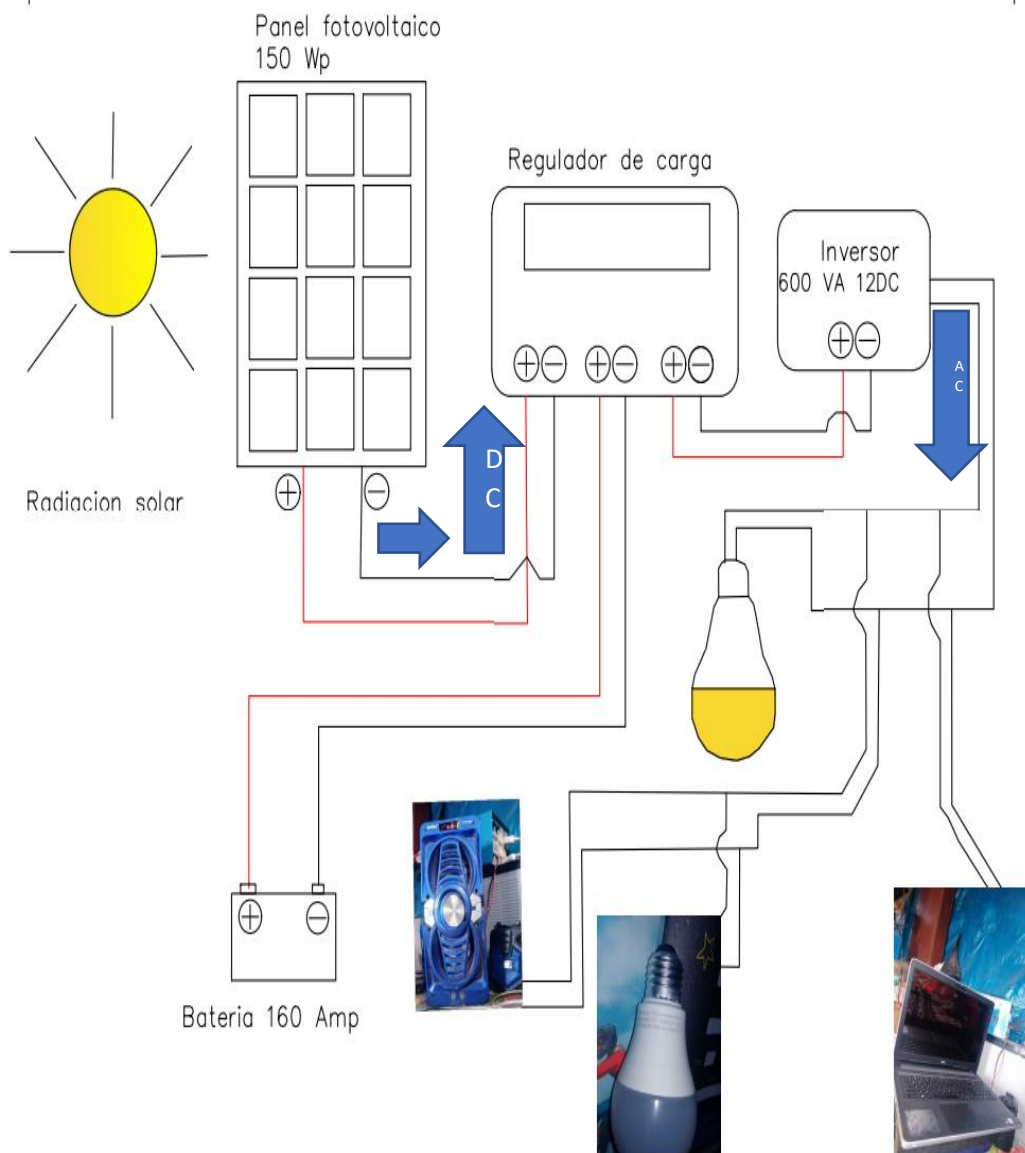


Figura 7. Esquema de instalación del sistema fotovoltaico

El panel solar es el encargado de suministrar energía. El regulador de carga controla la energía que discurre del módulo fotovoltaico. La batería almacena la energía. El inversor transforma la energía de corriente directa (CD) a corriente alterna (CA). De esta forma el sistema puede suministrar energía eléctrica para el consumo en la vivienda.

(Stojanovski et al., 2017), indica que, la electricidad producida en un sistema fotovoltaico, dependerá de la radiación solar incidente en la zona de ubicación e instalación del módulo solar, considerando también, factores climatológicos como: temperatura ambiente, precipitaciones, velocidad del viento y presencia de nubosidad. Condiciones climáticas que influyen ampliamente en el desempeño energético de sistemas solares instalados particularmente en zonas rurales.

El sistema fotovoltaico se instaló en el caserío naranjos en la vivienda del tesista, Mariano Alex Montenegro Diaz. El panel solar tiene una orientación norte-sur, con la parte sur inclinada en un ángulo de 15 °, con la finalidad de compensar la curvatura terrestre y optimizar la incidencia de los rayos solares sobre la superficie del panel, esta inclinación también influirá en el efecto suciedad, existiendo precipitaciones de moderada intensidad en la zona de estudio, dicha inclinación contribuirá en la limpieza natural de la superficie del módulo solar. Para la estructura se utilizaron soportes de madera con una altura mínima de 0.8 metros con la finalidad de poder realizar la limpieza manual del panel fotovoltaico Figura 8.



Figura 8. Soporte e instalación del panel solar, con inclinación de 15°

El sistema fotovoltaico se instaló de la siguiente manera:

- a) Se conectó la batería al regulador de carga, insertando los cables debajo del símbolo de batería en el regulador, de acuerdo a su polaridad: rojo es positivo y negro es negativo (Figura 9).



Figura 9. Conexión de la batería al regulador de carga del sistema fotovoltaico.

- b) Luego se conectó el panel fotovoltaico al mismo regulador de carga, insertando los cables debajo del símbolo del panel en el regulador, de acuerdo a su polaridad: rojo es positivo y negro negativo (Figura 10).



Figura 10. Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga del sistema.

- c) En seguida se conectó el regulador de carga al inversor, insertando los cables debajo del símbolo de carga del regulador, de acuerdo a su polaridad: rojo es positivo y negro negativo (figura 11).



Figura 11. Conexión del inversor al regulador de carga del sistema fotovoltaico.

- d) Finalmente, el sistema fotovoltaico quedó listo para suministrar energía eléctrica alterna de 220 Voltios a la vivienda (Figura 12).



Figura 12. Batería, panel fotovoltaico e inversor conectados al regulador de carga del sistema fotovoltaico.

2.4 Procedimiento para analizar el desempeño energético

Se utilizó un multímetro digital marca Trupper, modelo MUT-33, para determinar las cargas de la batería, también se tomaron datos de amperaje y voltaje del panel, para determinar la cantidad de energía que discurre del módulo solar hacia la batería.

Se insertó los puntales del amperímetro en los Pink/s de la batería, y también en los aisladores de salida de energía en el panel fotovoltaico, de acuerdo a su polaridad (rojo positivo y negro negativo), acción que se realizó durante los 29 días de evaluación del sistema solar.

Una vez obtenidos estos datos de carga y descarga de la batería, amperaje y voltaje del panel, fueron subidos y procesados en el programa estadístico Microsoft Excel, para determinar el desempeño energético del sistema fotovoltaico (se evidencia en el apartado de resultados).



Figura 13. Mulimetro digital

Se evaluó el desempeño de la batería en horas, para el funcionamiento de focos LED de 12 Watt carga de batería para teléfono celular 70 W y funcionamiento de radio grabador 30 W; para hacer las sugerencias de uso en conjunto y en las siguientes combinaciones:

- Cuatro focos LED de 12 W y carga de batería para teléfono celular.
- Cuatro focos LED de 12 W y carga de batería de teléfono celular.
- Cuatro focos LED de 12 W y una radio de 30 W.
- Dos focos LED de 12 W y una laptop de 70 W
- Dos focos LED de 12 W y una laptop de 70 W.
- Dos focos LED de 12 W, una radio de 40W y una laptop de 70 W.



Figura 14. Foco LED de 12 W, teléfono celular 40 W y radio grabadora de 30 W.



Figura 15. Carga de la batería de teléfonos celulares 70w y funcionamiento del radio grabador de 30w.

2.5 Procedimiento para evaluar el costo nivelado de electricidad

El costo nivelado de la electricidad (LCOE) es una importante medida empleada para determinar y comparar el costo de la electricidad producida por varias tecnologías y fuentes energéticas. Da prioridad a numerosas opciones que dependen de la eficacia en función de los costos. Por lo tanto, el estudio ha comparado ambas tecnologías alternativas mediante el costo nivelado estimado de la electricidad en unidades de kWh y se calcula mediante una sencilla fórmula de LCOE.

$$LCOE = \frac{\sum_{\alpha=1}^n \frac{I\alpha + M\alpha + F\alpha}{(1+d)^\alpha}}{\sum_{\alpha=1}^n \frac{e_\alpha}{(1+d)^\alpha}}$$

donde, $I\alpha$ el costo de inversión, $M\alpha$ es el costo de mantenimiento, $F\alpha$ es el costo de combustible al año, e_α es la cantidad de electricidad generada en kWh, y n es la duración de la vida útil de la tecnología alternativa.

Para la investigación y determinación del costo nivelado de energía se comparó la generación eléctrica fotovoltaica con un generador a gasolina GG920 Bukker, con potencia nominal de 950 Watt, y consumo de combustible equivalente a un galón, cuya operación es por 4 horas aproximadamente, lo cual para la demanda eléctrica solo en la noche se requiera alrededor de 3 galones por semana.

III. RESULTADOS.

3.1 Sistema fotovoltaico instalado

El sistema instalado se muestra en la figura 16, el panel fue ubicado en un lugar despejado, con la finalidad de evitar el efecto sombra por arbustos, tener accesibilidad para su limpieza periódica de la superficie la cual permite optimizar la mayor incidencia de radiación solar. La ubicación del controlador de carga, batería e inversor se realizó teniendo en cuenta la protección de humedad y la fácil accesibilidad para su operación y mantenimiento.

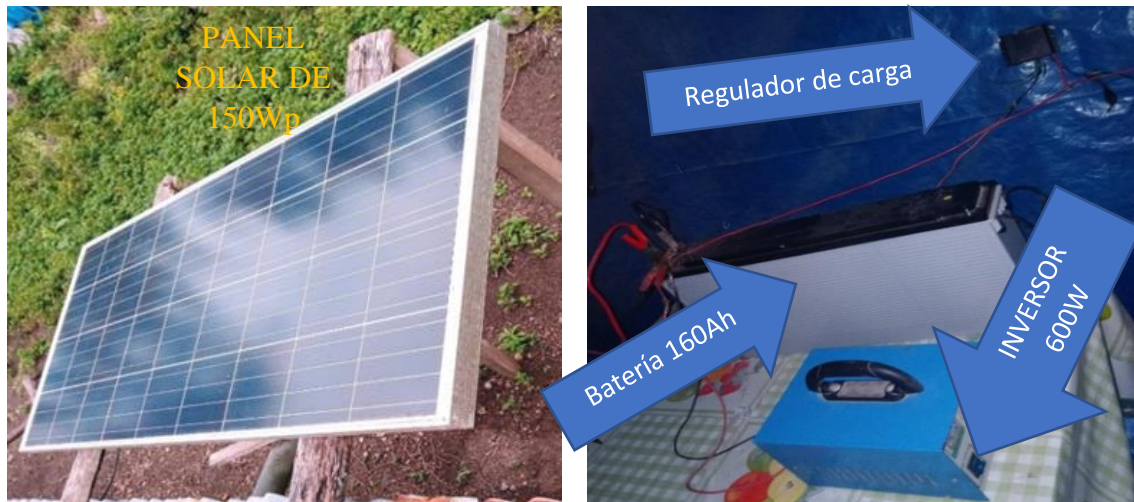


Figura 16. Sistema fotovoltaico instalado

3.2 Desempeño energético del sistema fotovoltaico

La energía solar que el sistema fotovoltaico transforma en electricidad es directamente proporcional a la cantidad de radiación solar incidente, como se puede evidenciar en los días 3, 5 y 11, los cuales muestran la proporcionalidad de la potencia con respecto a la radiación figura 17.

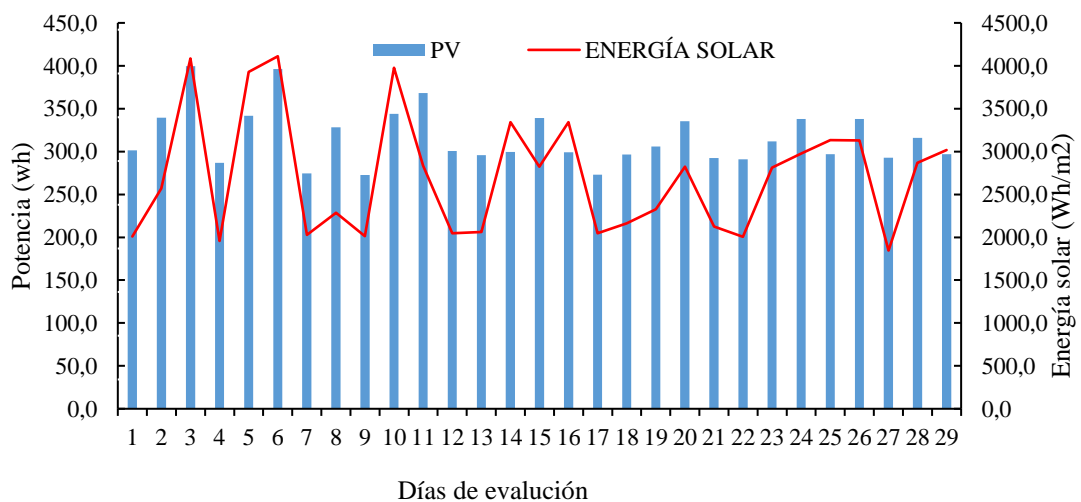


Figura 17. Potencia del sistema fotovoltaico respecto a la energía solar disponible

Las condiciones ambientales con respecto a la radiación solar, se muestran en la figura 18, con una variación de temperatura del panel solar entre un intervalo de 20 C° a 32 C° por lo cual está directamente relacionado con la irradiación solar. Este intervalo de temperatura se encuentra dentro del rango que especifica la ficha técnica del panel.

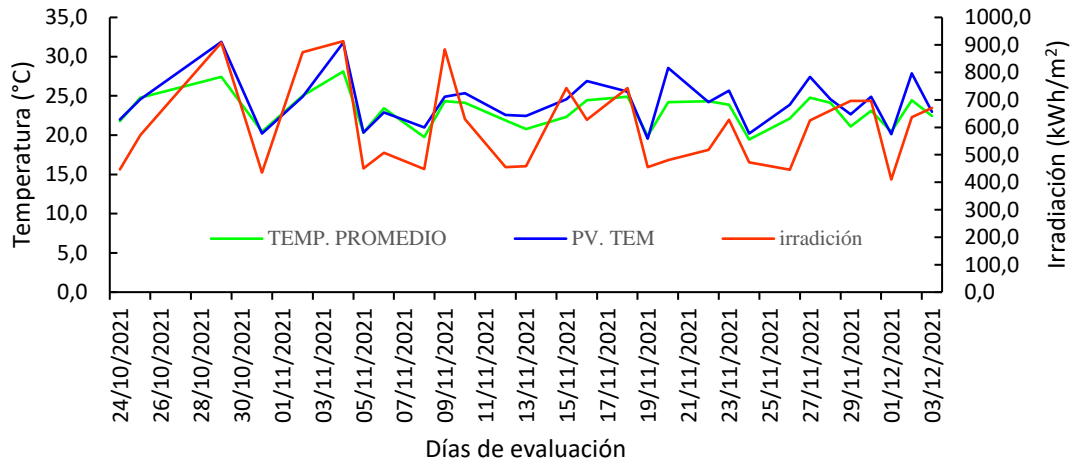


Figura 18. Condiciones ambientales con respecto a la radiación solar

En la tabla 1 se muestra las cargas y combinaciones al que fue sometido el sistema fotovoltaico durante las horas de 6:00 pm a 11.00 pm, distribuido en 4 focos led, en los ambientes de la vivienda como: cocina, cuarto y pasadizos. Se cargo teléfono celular, laptop y se puso en funcionamiento un radio grabador, con intervalos de tiempo de 2 horas hasta 4,5 horas.

Tabla 1. Combinación de cargas.

Cargas	Potencia	Tiempo de la energía usada (6:00 pm – 11 pm)
Cuatro focos LED de 12 W y carga de batería para teléfono celular 40W.	88 W	3 horas
Cuatro focos LED de 12 W y una radio de 30 W	78 W	4,5 horas
Dos Focos LED de 12 W y una laptop de 70 W	94 W	2,5 horas
Un foco LED de 12 W y una laptop de 70 W.	82 W	3,5 horas
Un foco LED de 12 W, una radio de 30W y una laptop de 70 W	112 W	2 horas

3.3 Costo nivelado de energía

Para determinar el costo nivelado de energía se estableció los costos del sistema fotovoltaico como se muestra en la Tabla 2. En la cual se estableció costos del equipo, instalación y operación además del tiempo de garantía de cada uno de los componentes, en donde, el componente con menor garantía viene a ser la batería (3 años de vida útil). Por otro lado, se consideró como alternativa convencional al generador eléctrico que se estuvo utilizando previo a la instalación del sistema fotovoltaico, el cual funciona a gasolina, cuya generación eléctrica es equivalente al sistema fotovoltaico; sin embargo, este equipo tiene un costo de operación de S/. 165 mensuales.

Tabla 2. Costos de producción de energía

Costos	Sistema fotovoltaico	Generador a gasolina
Equipo + instalación	S/. 2,400	S/. 7,000
Operación (mensual)	S/. 0	S/. 165
Tiempo de vida útil	Panel solar, controlador e inversor: 20 años Batería: 3 años	1 año

Entonces para el costo nivelado de energía se muestra en la (Tabla 3), en la cual se evidencia que la energía solar fotovoltaica es 3 veces menor respecto a un generador a gasolina. Este valor se determinó teniendo en cuenta la vida útil de la batería, (3 años), en la cual se determina que, para generar un kWh se debe invertir S/. 6,5 en el sistema fotovoltaico mientras que el generador eléctrico a gasolina se debe invertir S/. 18,1 por cada kWh

Tabla 3. Costo nivelado de energía

Sistema de generación eléctrica	Energía eléctrica demandada por 3 años	Costos de operación y mantenimiento por 3 años	Coste nivelado de energía
Sistema fotovoltaico	367 kWh	S/. 2,400	6.5 S/./ kWh
Generador a gasolina	367 kWh	S/. 6,640	18.1 S/./ kWh

IV. DISCUSIONES

A pesar de las tasas de electrificación global más o menos comparables a los países desarrollados, en Latinoamérica se sitúan, Ecuador y Perú países que muestran enormes desventajas en cuanto al acceso para el servicio eléctrico, particularmente en las áreas rurales de sus cuencas amazónicas, donde aumentar un punto porcentual a electrificación convencional en zona rural genera enormes costos de operación, instalación y mantenimiento, situación que se ve evidenciada en el caserío Naranjos, lugar donde se desarrolló la investigación Domenech et al., (2022).

La energía solar fotovoltaica surge como una alternativa importante debido a su carácter inagotable, in situ y al reciente incremento en su uso, este recurso energético se puede aprovechar en cualquier parte del mundo, como se contrasta en la zona de investigación, la cual posee un potencial de energía solar superior a 120 kWh/m^2 , lo que significa que, se puede aprovechar en sus dos formas, tanto térmica y fotovoltaica. Esta última, tiene gran viabilidad porque presenta las características mencionadas por Abdul-Wahab, Charabi, Al-Mahruqi, Osman, & Osman, (2019), el cual indica que, para una mejor producción de energía solar, los sistemas fotovoltaicos deben utilizarse en regiones con intensidades de radiación solar y valores de índice de claridad, y menores niveles de polvo y humedad, características que se asemejan a la zona de estudio donde se presenta una cobertura vegetal por pastizales los cuales no superan los 4 metros de altura, entonces se disminuye la presencia de sombras, polvo y disminuye el porcentaje de humedad.

La determinación del potencial de energía solar incidente tiene similitud con la investigación realizada por Humberto, (2019), el cual evaluó el potencial de energía solar incidente en la región Piura, utilizando el software PVgis, herramienta digital empleada para esta investigación, lo cual pudo determinar que, el promedio de energía solar incidente es de 5 kWh/m^2 , equivalente a 3.7 KW/m^2 al año, con temperaturas que sobrepasan los $25 \text{ }^\circ\text{C}$, durante todo el año, condiciones climáticas y porcentajes de radiación que se asemejan a las del caserío Naranjos.

Chaibi, Allouhi, Malvoni, Salhi, & Saadani, (2019), Afirma que, la energía solar es generada principalmente por los conjuntos fotovoltaicos, para satisfacer la demanda de carga. Sin embargo, esta energía se ve muy afectada por la variación en las condiciones ambientales como, la radiación solar y la temperatura, también influye las características de la carga, que pueden reducir la eficiencia de conversión de energía, lo cual se evidencio en el estudio, mostrado en la figura 16.

En los sistemas fotovoltaicos autónomos, es fundamental el componente de almacenamiento de energía, como se utilizó en la investigación (Batería de gel 160 Ah). Cuyo, desempeño energético fue variando debido a las condiciones climáticas, y la demanda de carga, las cuales se manifestó en el flujo de energía entregado por la batería. Chtita et al., (2021), manifiesta que; la variación de eficiencia de la batería se evidencia en la combinación de las cargas reales a las que se somete y las condiciones climáticas de una región en particular.

Los resultados de esta investigación, coinciden con los estudios realizadas por Bautista, (2018), y Carrasco, (2018), en la ciudad de Chachapoyas. Donde a pesar de la diferencia de temperatura ambiente promedio entre Chachapoyas y Naranjos, las variables que influyeron fueron la radiación solar y la capacidad de baterías utilizadas las cuales poseen una capacidad de 160 Ah, almacenando energía suficiente para cubrir la demanda eléctrica requerida por las viviendas evaluadas. Permitiendo desarrollar actividades académicas y productivas en un contexto de integración digital. Es decir, que el acceso a la energía es fundamental para reducir la pobreza, acceso a la comunicación, educación, entre otros aspectos que ayudan a las personas a desarrollarse equitativamente Kulworawanichpong & Mwambeleko, (2015).

Además, de los beneficios energéticos que pueden cubrir los sistemas fotovoltaicos autónomos para un lugar rural como Naranjos, contribuye al beneficio económico, como se muestra en el costo nivelado de energía, donde se evidencia que, es menor comparado con un sistema convencional. Sin embargo, muchas personas todavía dependen de los generadores diésel o gasolineras, que liberan niveles significativos de contaminantes y tienen efectos negativos tanto en los seres humanos como en el ambiente Fadlallah & Benhadji Serradj, (2020). Indica que, los sistemas fotovoltaicos se presentan como una de las alternativas ecológicas, que no ocasionan ruido o

malestar a los usuarios y es una iniciativa para un cambio transitorio hacia un rumbo energético limpio, ecológico y amigable con el ambiente, en aras de familiarizar con las energías limpias e impulsar su aprovechamiento.

Por último, Kulworawanichpong & Mwambeleko, (2015) hacen mención que, para optimizar el uso de la energía, se debe utilizar equipos de alta eficiencia, como los utilizados en esta investigación, con la finalidad de tener el mayor porcentaje de aprovechamiento del recurso solar presentado en la zona de investigación, esto conllevará a tener disponibilidad de energía en mayor cantidad, y ver evidenciado el desempeño energético del sistema fotovoltaico instalado en el lugar de estudio Liu et al., (2018).

V. CONCLUSIONES

- La energía solar disponible en la localidad de Naranjos se puede aprovechar todo el año, durante la época seca la radiación solar es constante, para la época húmeda varía su producción de forma mínima por presencia de lluvias y nubosidad.
- Naranjos cuenta con un potencial energético suficiente para satisfacer la demanda presentada en la vivienda, energía que se puede captar y transformar con la instalación de sistemas fotovoltaicos, como el mostrado en esta investigación. Esta vivienda, careció de iluminación de ambientes, carga de celulares, utilización de laptop y radio grabador, equipos que permiten acceder a servicios de educación y comunicación. Demanda energética que fue cubierta por el sistema fotovoltaico instalado, desenlazando en la mejora de la calidad de vida para una familia y generando gastos menores en producción de energía para los beneficiarios.
- El costo nivelado de energía fotovoltaica es 3 veces menor comparada con un generador a gasolina. Por lo que, los sistemas fotovoltaicos tienen una viabilidad económica, técnica y ambiental, este último, con la energía fotovoltaica no se emite CO₂ al ambiente ni se produce ruido al usuario. Por último, para optimizar la energía fotovoltaica acumulada se debe utilizar electrodomésticos clasificados y certificados, los cuales generalmente son más eficientes y su demanda energética es menor a la de otros electrodomésticos.

VI. RECOMENDACIONES

Para mejorar y ampliar la investigación se recomienda lo siguiente

- Evaluar la influencia de sombra y polvo en el rendimiento del panel solar
- Tomar los datos en intervalos de tiempo en cada minuto para mejorar la precisión en los datos.
- Desarrollar investigaciones de sistemas fotovoltaicos autónomos con sensores de seguimiento solar.
- Estudiar el desempeño energético durante todas las épocas del año para determinar el comportamiento por influencia del tiempo atmosférico.
- Estudiar los sistemas fotovoltaicos autónomos con diferentes ángulos de inclinación.
- Capacitar a los usuarios para la limpieza e inspección de los sistemas fotovoltaicos autónomos, para obtener mayor eficiencia y rendimiento.
- Adquirir los sistemas fotovoltaicos en lugares con garantía comercial y de fabricación, ya que en la actualidad son comercializados de forma ilegal y sin instructivo de instalación y mantenimiento.
- Tener cuidado, en las cargas máximas y mínimas a la cual se somete la batería, pues este es el componente de mayor sensibilidad, si se obvia esta recomendación la vida útil de este componente disminuirá exponencialmente.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdul-Wahab, S., Charabi, Y., Al-Mahruqi, A. M., Osman, I., & Osman, S. (2019). Selection of the best solar photovoltaic (PV) for Oman. *Solar Energy*, 188(July), 1156–1168. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.018>
- Bautista, R. (2018). Rendimiento de sistema fotovoltaico de 500 Wp en estar estudiantil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas Chachapoyas, Amazonas. Chachapoyas, Perú
- Carrasco, H. (2017). Rendimiento de sistemas fotovoltaicos de 100Wp, Chachapoyas, Amazonas 2017. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza: Chachapoyas
- Chaibi, Y., Allouhi, A., Malvoni, M., Salhi, M., & Saadani, R. (2019). Solar irradiance and temperature influence on the photovoltaic cell equivalent-circuit models. *Solar Energy*, 188(January), 1102–1110. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.005>
- Chtita, S., Derouich, A., El Ghzizal, A., & Motahhir, S. (2021). An improved control strategy for charging solar batteries in off-grid photovoltaic systems. *Solar Energy*, 220(October 2020), 927–941. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.003>
- Domenech, B., Ferrer-Martí, L., García, F., Hidalgo, G., Pastor, R., & Ponsich, A. (2022). Optimizing PV Microgrid Isolated Electrification Projects—A Case Study in Ecuador. *Mathematics*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/math10081226>
- El-houari, H., Allouhi, A., Rehman, S., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A., & El Amrani, B. (2019). Design, Simulation, and Economic Optimization of an Off-Grid Photovoltaic System for Rural Electrification. *Energies*, 12(24), 4735. <https://doi.org/10.3390/en12244735>
- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & de la Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable Energy*, 136, 414–427. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.003>
- Fadlallah, S. O., & Benhadji Serradj, D. E. (2020). Determination of the optimal solar photovoltaic (PV) system for Sudan. *Solar Energy*, 208(June), 800–813. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.041>
- Humberto, a. m. (2019). Evaluación del potencial de energía solar para la generacion electrica en la region piura. tesis, universidad nacional de piura, Piura. Recuperado el (2022). <file:///C:/Users/Alex/Desktop/carpeta%20de%20tesis/IND-ATA-MON-19>.

- Irfan, M., Zhao, Z., Ahmad, M., & Rehman, A. (2019). A Techno-Economic Analysis of Off-Grid Solar PV System: A Case Study for Punjab Province in Pakistan. *Processes*, 7(10), 708. <https://doi.org/10.3390/pr7100708>
- Kulworawanichpong, T., & Mwambeleko, J. J. (2015). Design and costing of a stand-alone solar photovoltaic system for a Tanzanian rural household. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 12, 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.10.001>
- Liu, Y., Yu, S., Zhu, Y., Wang, D., & Liu, J. (2018). Modeling, planning, application and management of energy systems for isolated areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(June 2016), 460–470. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.063>
- Moncecchi, M., Brivio, C., Mandelli, S., & Merlo, M. (2020). Battery Energy Storage Systems in Microgrids: Modeling and Design Criteria. *Energies*, 13(8), 2006. <https://doi.org/10.3390/en13082006>
- Pal, P., Mukherjee, V., & Maleki, A. (2021). Economic and performance investigation of hybrid PV/wind/battery energy system for isolated Andaman and Nicobar islands, India. *International Journal of Ambient Energy*, 42(1), 46–64. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1525579>
- Stojanovski, O., Thurber, M., & Wolak, F. (2017). Rural energy access through solar home systems: Use patterns and opportunities for improvement. *Energy for Sustainable Development*, 37, 33–50. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.11.003>
- Senami. (2020). Informacion metereologica hidroloica y climatica del Peru <https://www.gob.pe/senamhi>
- Tharani, K. L., Anand, A., & Gandhar, A. (2020). Performance Analysis and Comparison of Batteries Using Off-grid PV System. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 17(2), 23–28. <https://doi.org/10.3233/AJW200016>
- Xu, L., Wang, Y., Solangi, Y. A., Zameer, H., & Shah, S. A. A. (2019). Off-grid solar PV power generation system in Sindh, Pakistan: A techno-economic feasibility analysis. *Processes*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/pr7050308>

