

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

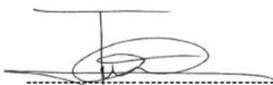


FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA
FOTOVOLTAICO MONOFÁSICO CONECTADO A LA
RED**


M. Sc. Jesús Rascón Barrios
CE: 001483863

Autor: Bach. Ruel Guevara Diaz

Asesor: Ing. Wildor Gosgot Angeles

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2021





DEDICATORIA

A mi padre, Cástulo Guevara Coronel, por el apoyo, económico y moral en todo el proceso de mi formación profesional.

A mi madre, Fredesvinda Diaz Vargas por su paciencia, confianza y consejos en los momentos más importantes para seguir adelante.

A mis hermanos y amigos por el apoyo académico y moral para lograr este sueño.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por permitir formar parte de dicha institución y desarrollar capacidades, habilidades en el marco de mi carrera profesional.

A mi asesor, Ing. Wildor Gosgot Angeles, por sus enseñanzas y apoyo académico incondicional que me ha brindado. Desearlo muchos éxitos en su vida profesional.

Al Proyecto Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas – PROCICIEA, por el financiamiento para realizar la investigación

AUTORIDADES DE LA UNTRM

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dr. FLOR TERESA GARCIA HUAMAN

Vicerrectora de Investigación

M. Sc. ROSALYNN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El Docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado a la realización del proyecto de tesis titulado “ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MONOFÁSICO CONECTADO A LA RED”, del egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

RUEL GUEVARA DIAZ

El Docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, da el Visto Bueno al Informe Final del Proyecto de tesis en mención, dándole pase para que sea sometido a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones.

Chachapoyas 12 de julio del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Wildor Gosgot Angeles', is written over a horizontal line.

Ing. Wildor Gosgot Angeles

Asesor

JURADO EVALUADOR



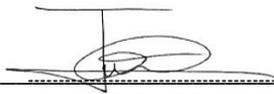
Mg. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión

Presidente



Ing. Eli Morales Rojas

Secretario



M. Sc. Jesús Rascón Barrios

Vocal

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL

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

ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 21 de setiembre del año 2021, siendo las 15:40 horas, el aspirante: Ruel Guevara Diaz, defiende en sesión pública presencial () / a distancia (X) la Tesis titulada: "Análisis costo beneficio del sistema fotovoltaico monofásico conectado a la Red"

....., teniendo como asesor a Ing. Wildor Gosgot 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: Mg. Erick Stevinsonn Arellanos Carrión

Secretario: Ing. Eli Morales Rojas

Vocal: M.Sc. Jesús Rascón Barrios

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 () 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 16:45 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:
.....
.....

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Ruel Guevara Diaz, identificado con DNI N° 71101864, Egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la Tesis Titulada: ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO MONOFÁSICO CONECTADO A LA RED que presento para obtener el Título profesional de INGENIERO AMBIENTAL.
2. La Tesis no ha sido plagiado ni total ni parcialmente, y para su realización se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La Tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La Tesis presentada no ha sido publicado ni presentado anteriormente para obtener algún grado académico previo a título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la Tesis para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la Tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la Tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mi acción se deriven.

Chachapoyas 12 de julio del 2021



Ruel Guevara Diaz

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL



UNTRM

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

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 Costo Beneficio del Sistema Fotovoltaico
Monofásico Conectado a la Red

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Ruel Guevara Diaz

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional ruel.guevara@untrm.edu.pe

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

- La citada Tesis tiene 11 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- 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, 3 de agosto del 2021

[Signature]
Ing. Eli Morales Rojas

SECRETARIO

PRESIDENTE

[Signature]
M. Sc. Jesús Rascón Barrios
CE: 001483863

VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
AUTORIDADES DE LA UNTRM	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	iv
JURADO EVALUADOR	v
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	vi
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Área de estudio	17
2.2. Caracterización energética del sistema	18
2.3. Proyección de energía	21
2.4. Estimación del costo del sistema fotovoltaico conectado a la red	21
2.5. Estimación del beneficio del sistema fotovoltaico conectado a la red	22
III. RESULTADOS	25
3.1. Rendimiento energético del sistema del sistema fotovoltaico conectado a la red ..	25
3.2. Análisis de costos del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)	26
3.3. Análisis de beneficios del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)	26
3.3.1. Análisis de beneficios energético	26

3.3.2. Análisis del beneficio ambiental	28
IV. DISCUSIONES	29
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES.....	33
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
VIII. ANEXOS	38
8.1. Anexo 1: Base de datos de energía producida por el SFCR (kWh) setiembre 2018 – agosto 2020.....	38
8.2. Anexo 2: Base de datos de irradiación (kWh/m ²) setiembre 2018 – agosto 2020 ..	41
8.3. Anexo 3: Datos registrados de irradiación y energía producida desde setiembre del 2018 hasta agosto del 2020.....	44
8.4. Anexo 4: Proyección de energía fotovoltaica generada a lo largo de la vida útil del sistema y su equivalente en soles.....	45
8.5. Anexo 5: Flujos de caja proyectados durante la vida útil del sistema	46
8.6. Anexo 6: Proyección de CO ₂ -eq/año no emitido a la atmosfera	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos.....	18
Tabla 2. Especificaciones técnicas del inversor	19
Tabla 3. Costos de implementación del SFCR	26
Tabla 4. Resultados de los indicadores económicos.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.....	17
Figura 2. Esquema del SFCR.....	20
Figura 3. Energía producida por el sistema fotovoltaico.	25
Figura 4. Producción de ingresos por el SFCR.....	27
Figura 5. kg CO ₂ -eq/año estimado para la vida útil del sistema.	28

RESUMEN

El crecimiento poblacional ha generado escasez del recurso energético, conllevando al agotamiento de los hidrocarburos, por ello se viene implementando los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) como alternativa ante la crisis energética y como fuente de energía limpia. Esta investigación tiene como objetivo analizar energéticamente, económicamente y ambientalmente el SFCR de 3,3 kW instalado en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). Para ello, se determinó la energía producida por el sistema, costos de implementación y los indicadores económicos mediante la energía producida durante la vida útil del sistema (25 años). La energía producida por el SFCR durante el periodo de evaluación (setiembre 2018- agosto 2020) fue de 8,280.61 kWh, con una irradiación promedio anual de 1,453.58 kWh/m². La implementación de un SFCR requiriere de una inversión inicial de S/. 20,582.99 y valor actual de costo (VAC) de S/. 22,770.08; el resultado del beneficio económico fue de un Valor presente neto (VPN) de S/. 31,313.43, tasa interna de retorno (TIR) de 16 %, el periodo de recuperación simple (PRS) 7.13 años y un beneficio costo (B/C) de 2.38, teniendo un costo de energía residencial de S/. 0.8423/kWh y una tasa de descuento 4%. Se logró determinar que la implementación de un SFCR es económicamente viable. La cantidad de CO₂ no emitido a la atmosfera durante el periodo de evaluación fue de 4,405.28 kg CO₂-eq/año. Se deduce que el sistema es respetuoso con el medio ambiente y se puede tener benéficos con los bonos de carbono.

Palabras claves: Irradiancia, Energía, SFCR, Análisis Económico (Costo- Beneficio)

ABSTRACT

Population growth has generated a shortage of energy resources, leading to the depletion of hydrocarbons, which is why grid-connected photovoltaic systems (SFCR) are being implemented as an alternative to the energy crisis and as a source of clean energy. The objective of this research is to analyze energetically, economically and environmentally the 3.3 kW SFCR installed at the Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM-A). For this purpose, the energy produced by the system, implementation costs and economic indicators were determined through the energy produced during the useful life of the system (25 years). The energy produced by the SFCR during the evaluation period (September 2018-August 2020) was 8,280.61 kWh, with an average annual irradiation of 1,453.58 kWh/m². The implementation of a SFCR requires an initial investment of S/. 20,582.99 and present value of cost (VAC) of S/. 22,770.08; the result of the economic benefit was a Net Present Value (NPV) of S/. 31,313.43, internal rate of return (IRR) of 16%, simple payback period (SRP) 7.13 years and a benefit cost (B/C) of 2.38, having a residential energy cost of S/. 0.8423/kWh and a discount rate 4%. It was determined that the implementation of a SFCR is economically viable. The amount of CO₂ not emitted to the atmosphere during the evaluation period was 4,405.28 kg CO₂-eq / year. It can be deduced that the system is environmentally friendly and can benefit from carbon credits.

Keywords: Irradiance, Energy, SFCR, Economic Analysis (Cost-Benefit)

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad cubrir la demanda de energía eléctrica, se ha convertido en un problema a nivel global, ya que mayoría de países utilizan fuentes no renovables (hidrocarburos), lo que conlleva a grandes problemas ambientales como el calentamiento global y el cambio climático (IEA, 2020). Los combustibles fósiles cubren el 80 % de la demanda energética primaria a nivel global, en consecuencia, es responsable de los dos tercios de la emisión de CO₂, si esta tendencia continua en los próximos años, se tendrá consecuencias irreversibles en la flora y fauna, así como en la salud de la población humana, ya que podría incrementar la temperatura media global de 2° C (Naciones Unidas, 2019)

Para mitigar los efectos adversos del uso de combustibles no renovables se viene implementando sistemas de generación eléctrica de fuentes renovables (eólica, solar, hidráulica, biomasa, entre otros biocombustibles solidos o líquidos). En este contexto, en el año 2019, la energía renovable producida a nivel mundial fue de 2,532.866 GW de los cuales 584.842 GW fue de energía solar (IRENA, 2021). El aprovechamiento de la energía solar, se puede realizar a través de sistemas termo solares y fotovoltaicos, los sistemas fotovoltaicos se clasifican en sistemas autónomos y sistemas conectados a red (SFCR). El primer sistema está compuesto por módulos fotovoltaicos, controlador de carga, batería e inversor, mientras que los SFCR cuentan con módulos, inversor y la red eléctrica (Gradella, 2017).

Los SFCR han presentado grandes avances a nivel mundial. Algunos países latinoamericanos, han impulsado la generación de electricidad a través de estos sistemas, como por ejemplo Honduras (460 MW), Chile (1600 MW), Argentina (300 MW), Brasil (1 GW), El Salvador (119,9 MW), Guatemala (91 MW), México (220 MW), Perú (96 MW) y Nicaragua (100 MW). Asimismo, Costa Rica, destaca por contar con un 100% de fuentes renovables para generar su electricidad (Gudemos, 2018).

Para estudiar la viabilidad de un proyecto de energías renovables, los criterios a tener en cuenta es el técnico, económico y ambiental (Zwaan et al., 2016). Los aspectos técnico a tener en cuenta es la ubicación, orientación, irradiación solar, tipo de panel fotovoltaico y tipo de inversor, entre otros aspectos (Gradella, 2017). Para el análisis

económico de un SFCR se utiliza el valor presente neto (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), la inversión inicial, el periodo de recuperación simple (PRS) y la relación beneficio costo (B/C) (Chávez et al., 2020). En el análisis ambiental, se toma en cuenta la cantidad de CO₂ equivalente no emitido a la atmosfera (CO₂-eq), en base a la energía producida por el sistema y el mix energético de cada país (Fontana, 2017).

Existen estudios que han evaluado los SFCR en base a los indicadores económicos antes mencionados, por ejemplo en Japón, Muhammad et al., (2014), estimaron un periodo de recuperación de inversión de 7,70 años, mientras que en Reino Unido es de 7,80 años. Asimismo, en España el periodo de recuperación es de 17,15 años con un costo de energía de 0.125 € /kWh (Talavera et al., 2014). Por otro lado, Khalid y Junaidi, (2013), determinaron que Pakistan, presenta un alto costo de energía fotovoltaica superando en un 30,8 % el precio de la energía convencional. Beltran et al., (2016), realizaron un estudio basado en los indicadores económicos donde evaluaron un sistema fotovoltaico en Arequipa de 3,3 kW, instalado a una latitud de 16,2°S, longitud 71,3°O y altitud 2 374 m.s.n.m., donde obtuvieron un VAN de 10.708 US\$, TIR 10,7% y PRS 11,6 años el cual su costo de la energía producida por el SFCR fue de 0,10 US\$ /kWh.

Por su parte, Romero-Fiances et al., (2019), evaluaron el desempeño energético de un sistema fotovoltaico monocristalino con una capacidad instalada de 3,3 kW en Arequipa, resultando un rendimiento anual de 1770-1992 kWh, mientras que el mismo sistema instalada en Tacna presento un rendimiento anual de 1505-1540 kWh. Por último, en Lima analizaron un sistema fotovoltaico policristalino de 3 kW de potencia instalada obteniendo un rendimiento anual de 736-833 kWh. Espinoza et al., (2019), analizaron económicamente los sistemas antes mencionados obteniendo un VAN 2,165.14 US\$ y TIR de 14.38 % en Arequipa, mientras que en Tacna estimaron un VAN 483.31 US\$ y TIR 12.09 % y en Lima calcularon un VAN 1491.30 US\$ y TIR 9.11 %. Por otra parte, Sánchez (2017), estudio el beneficio ambiental de un SFCR de potencia nominal de 27 kW, cuyo resultado fue una reducción de CO₂ emitido a la atmósfera en una cantidad de 20,18 toneladas de CO₂ equivalente por año (CO₂-eq /año). Por ello, la investigación se basó en analizar el costo beneficio del SFCR policristalino instalado en la UNTRM durante el periodo 2018- 2020, para lo cual se realizó el análisis energético, económico y ambiental.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), ubicada en el Distrito de Chachapoyas, Provincia de Chachapoyas, Región Amazonas ($6^{\circ}14'3.45''S$ y $77^{\circ}51'11.54''O$). (Figura 1). La unidad de estudio se ubica a una altitud de 2335 m.s.n.m., cual presenta una precipitaciones promedio anual de 800 mm. (Rascón et al., 2021). Además, presenta una temperatura ambiente promedio de $15.42^{\circ}C$ y una irradiación promedio diaria de 3.98 kWh/m^2 , según los datos registrados durante el periodo de evaluación del sistema (setiembre 2018 - agosto 2020).

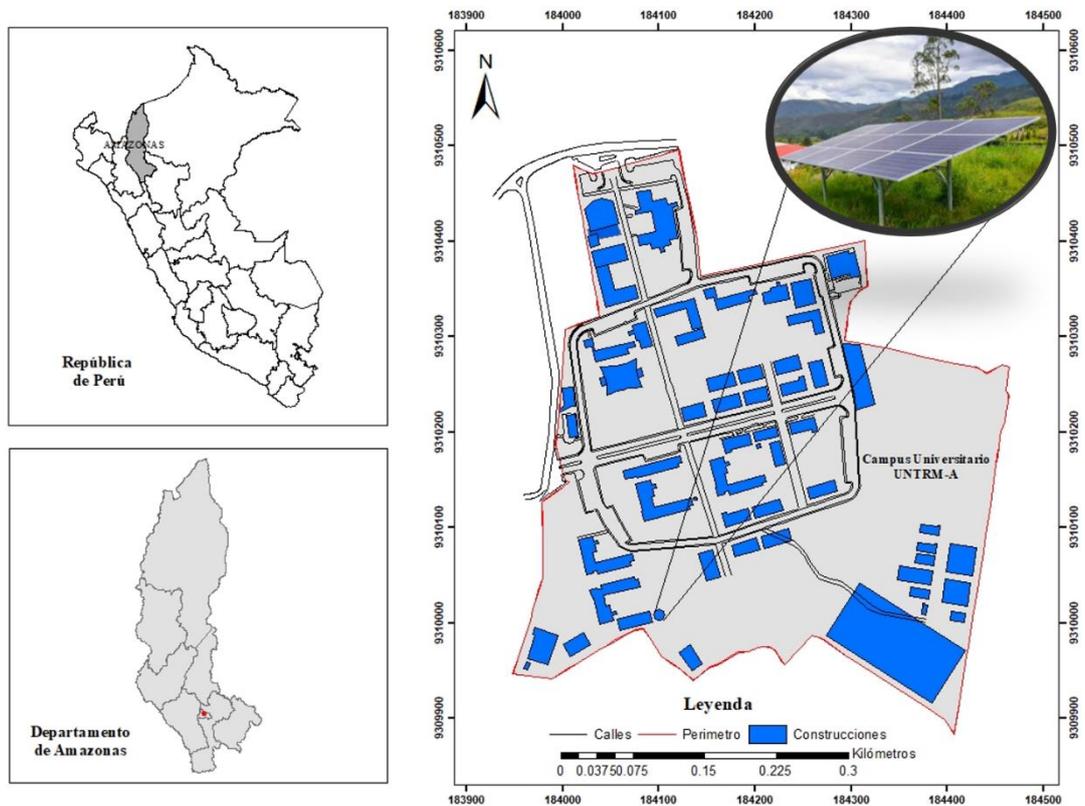


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

2.2. Caracterización energética del sistema

El estudio del SFCR, se realizó con el análisis del comportamiento de las variables como la irradiancia y la energía producida por el sistema durante el periodo de evaluación (septiembre 2018 - agosto 2020). El sistema cuenta con 12 paneles fotovoltaicos policristalinos de marca Yingli Solar, tipo de módulo YL260-29b (Tabla 1), los cuales están instalados en serie (3,3 kW); orientados de norte hacia el sur, levantado la parte sur con un ángulo de 15°. La inclinación de los paneles se determinó con el criterio planteado por Cantos, (2016), donde estipula que el grado de inclinación de los paneles fotovoltaicos (β) es igual a 10° más la latitud del lugar, como Chachapoyas se encuentra en una latitud de 6°, le corresponde 16°, sin embargo por cálculos trigonométricos y con fines prácticos, el ángulo establecido fue de 15° para maximizar la potencia de salida y evitar todo tipo de sombreado. El SFCR cuenta con un inversor de marca SMA, modelo SUNNY BOY SB 5000TL-21 (Tabla 2), el cual tiene una potencia de entrada de corriente continua (CC) de 3,3 kW y una potencia de salida de corriente alterna (CA) 4.6 kW.

El inversor tiene una programación de registro de datos de potencia total en intervalos de 30 minutos, cuyos datos pueden ser visualizados a través del software Sunny explorer. En la figura 2, se muestra el esquema de instalación de los componentes del SFCR.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de los módulos fotovoltaicos

Módulo fotovoltaico	Unidad	Valor
policristalino		
Potencia Máxima	W	260
Voltaje	V	30.3
Amperaje	A	8.59
Temperatura optima	° C	25
Eficiencia	%	18

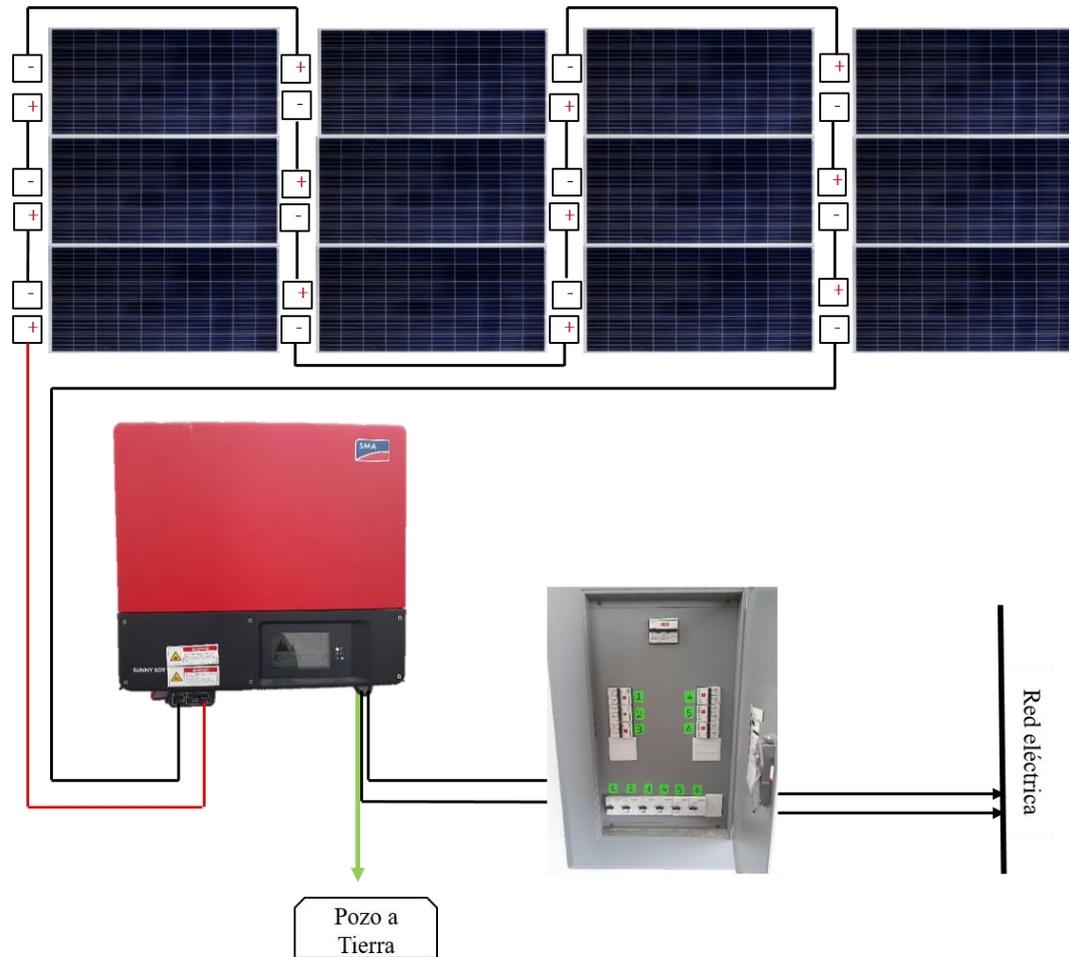
Fuente: Ficha técnica (Yingli Solar).

Tabla 2. Especificaciones técnicas del inversor

Inversor (entrada)	Unidad	Valor
Potencia de entrada (CC)	W	3 000
Voltaje (PMP)	V	175 - 500
Voltaje máximo	V	750
Amperaje máximo	A	15 / 15
Amperaje (SF)	A	20
Inversor (salida)		
Voltaje	V	220/230/240
Potencia de salida (CA)	W	4 600
Amperaje	A	22
Frecuencia	Hz	50 / 60
Eficiencia	%	97

Fuente: Ficha técnica (SMA).

ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED



12 Paneles Fotovoltaicos (Yingli Solar) Conectados en Serie

Ítem	Simbología	Descripción
01		Panel fotovoltaico
02		Inversor
03		Tablero de control de corriente alterna (CA)

Figura 2. Esquema del SFCR.

2.3. Proyección de energía

La proyección de energía se realizó en base a los datos registrados durante el periodo de evaluación (setiembre 2018 - agosto 2020). Del tercer año al décimo se proyectó teniendo en cuenta la ecuación (1) y ecuación (2) (SMA Solar Technology, 2018). Teniendo una cantidad de 4.1 horas solares diarias, durante los 30 días de cada mes, esto debido a la interferencia de nubosidad (Climate-Data.org, 2019). A partir del décimo año hasta el año 25 se consideró como criterio la pérdida de eficiencia del 0.5 % anual del SFCR (SMA Solar Technology AG, 2016).

$$CR = \frac{R_{li}}{H * P_i} \quad (1)$$

Donde:

CR: Coeficiente de rendimiento.

R_{li}: Rendimiento real leído de la instalación en kWh al año.

H: Irradiación kWh/m² al año.

P_i: Potencia instalada (kW).

$$E_a = CR * H_{sa} * P_i \quad (2)$$

Donde:

E_a: Energía anual (kWh)

CR: Coeficiente de rendimiento.

H_{sa}: Hora solares anuales (h)

P_i: Potencia instalada (kW)

2.4. Estimación del costo del sistema fotovoltaico conectado a la red

La estimación de costos se realizó basados en criterios principales como: costos de instalación, costos de materiales (soporte metálico, tuberías, canaletas y kit de cables para la interconexión de unidades) y costos de los componentes del SFCR (panel e inversor) (Chávez et al., 2020). Además, para evaluar económicamente los SFCR se

tuvo en cuenta un costo operación y mantenimiento de S/. 140 anuales e indicadores de los proyectos verdes en Perú, como el caso de la tasa de descuento de 4% (MEF, 2018). El valor actual de costos (VAC), se obtuvo en base a los costos anteriormente descritos, para el cual se utilizó la siguiente ecuación (3).

$$VAC = \sum_{i=1}^n \frac{Qn_-}{(1+r)^n} \quad (3)$$

Donde:

n: periodo de evaluación, años

Qn₋: Flujos de caja (negativos)

r: Tasa de Interés para proyectos verdes (4%)

2.5. Estimación del beneficio del sistema fotovoltaico conectado a la red

Este análisis fue fundamentado en el comportamiento de cuatro parámetros: valor presente neto, tasa interna de retorno, período de recuperación simple y beneficio costo (Beltran et al., 2016). Los beneficios considerados en este estudio son el aporte energético y el aporte ambiental. La cantidad de energía registrada fue expresada en estado monetario, teniendo un costo de energía residencial de S/. 0.8423 por kWh (Electro Oriente, 2021). En el caso del beneficio ambiental se calculó la cantidad de CO_{2-eq} no emitido a la atmosfera con un mix energético de 0,615 kg de CO_{2-eq}/kWh, para sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) y 0,083 kg de CO_{2-eq}/kWh para sistemas fotovoltaicos (Torres, 2019).

El valor actual de beneficio (VAB) del SFCR se realizó en base a la energía suministrará a la red, para lo cual se utilizó la ecuación (4).

$$VAB = \sum_{i=1}^n \frac{Qn_+}{(1+r)^n} \quad (4)$$

Donde:

VAB: Valor Actual de Beneficio

n: periodo de evaluación, años

Qn₊: Flujos de caja (positivos)

r: Tasa de Interés para proyectos verdes (4%)

✓ **Valor Presente Neto (VPN)**

El VPN, mide la rentabilidad del proyecto, trayendo los ingresos futuros hacia el presente y restando el desembolso inicial, dicho resultado es conocido como valor presente neto, el cual se calculó con la ecuación (5).

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (5)$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

I: Inversión o desembolso inicial

n: periodo de evaluación, años

Qn: Flujos de caja neto

r: Tasa de Interés para proyectos verdes (4%)

✓ **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La TIR mide el porcentaje de beneficio o pérdida del proyecto, para el cual hace que el VPN sea igual a cero (VPN=0), la TIR se obtuvo con la ecuación (6).

$$VPN = -I + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+\rho)^n} = 0 \quad (6)$$

Donde:

VPN: Valor Presente Neto

I: Desembolso

n: periodo de evaluación, años

Qn: Flujos de Caja Neto

ρ : es igual a la TIR

✓ **Periodo de recuperación simple (PRS)**

El PRS, permite identificar el tiempo requerido para la recuperación total del desembolso o inversión inicial, Se calculó con la ecuación (7).

$$PRS = |I| \approx \sum Ft \quad (7)$$

Donde:

I: costo inicial total del proyecto

Ft: Flujos futuros acumulados

✓ **Beneficio Costo (B/C) del SFCR**

El análisis beneficio costo se realizó en base al VAC y al VAB, para el cual se utilizará la ecuación (8).

$$\frac{B}{C} = \frac{VAB}{VAC} \quad (8)$$

Donde:

VAB: Valor Actual de Beneficio

VAC: Valor Actual de Costo

✓ **Cálculo del CO₂-eq no emitido a la atmósfera**

El cálculo del CO₂-equivalente (CO₂-eq) que no se ha emitido a la atmósfera se realizó en base al mix energético en Perú para el SEIN (0,615 kg de CO₂-eq/kWh) y 0,083 kg de CO₂-eq/kWh para sistemas fotovoltaicos, utilizando la ecuación (9) planteada por Torres, (2019).

$$CO_{2-eq/año} = Ea * MesP \quad (9)$$

Donde:

Ea: Energía Anual (kWh)

MesP: Mix energético del sistema en Perú (kg de CO₂-eq/kWh)

III. RESULTADOS

3.1. Rendimiento energético del sistema del sistema fotovoltaico conectado a la red

El sistema fotovoltaico conectado a la red transforma en electricidad el 86 %, de toda la irradiación incidente en área de estudio. Por lo que, desde setiembre del 2018 hasta agosto del 2020 se generó 8,280.61 kWh, con una irradiación acumulada de 2,907.15 kWh/m². La producción mínima de energía se registra en el mes de febrero del 2019, ya que en ese mes se presentó una irradiación de 96.38 kWh/m²; mientras que la producción máxima de energía de 432.06 kWh se registra en el mes de mayo del 2020 con una irradiación de 147.11 kWh/m². En la Figura 3, se observa que la irradiación presenta una relación directa a la energía fotovoltaica, además, podemos apreciar que partir del mes de febrero hay un incremento en cuanto a la energía fotovoltaica e irradiación y a partir del mes de julio se presenta un descenso. Para mayor detalle observar los anexos (1-3).

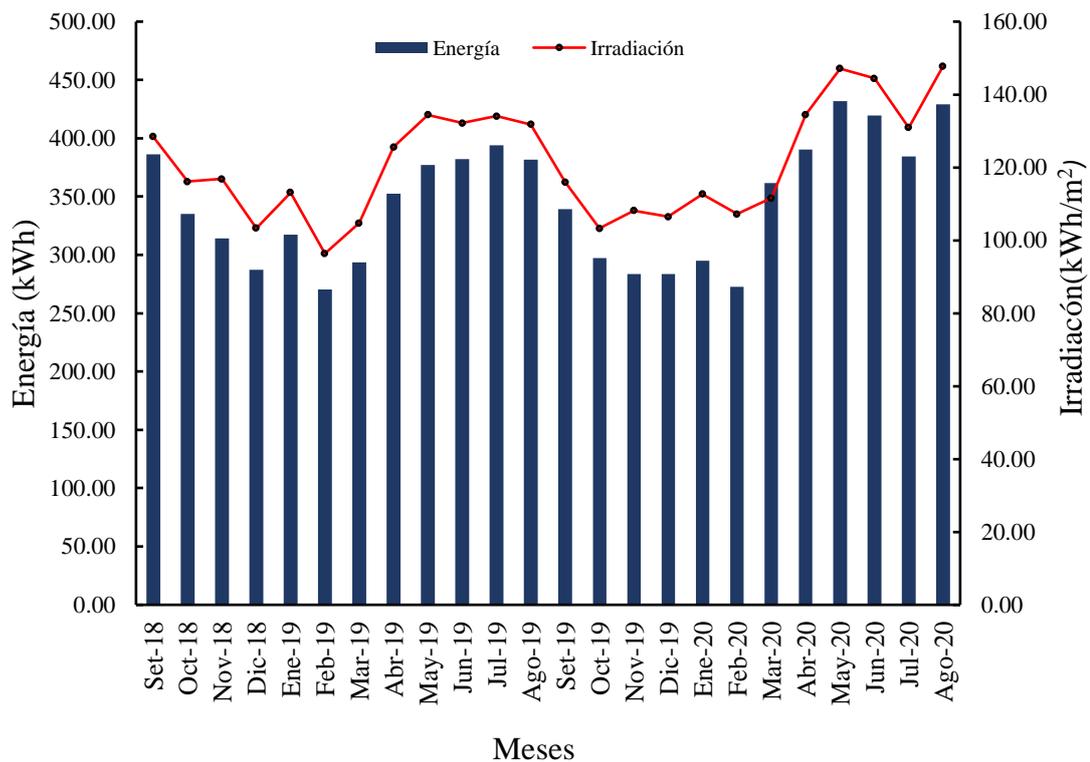


Figura 3. Energía producida por el sistema fotovoltaico.

3.2. Análisis de costos del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

La inversión inicial para la puesta en operación del sistema fotovoltaico conectado a la red de 3,3 kW, fue de S/. 20,582.99. Los paneles fotovoltaicos presentaron el 33 % de la inversión, con una cantidad S/. 6,720.00, seguido por el inversor con un valor de S/. 5,561.21, representando el 27 % del total. El resto de la inversión se concentró en los costos de materiales, así como en el servicio de instalación. Además, los sistemas fotovoltaicos en el Perú no tienen un régimen especial, por lo cual se agregó el 18 % del impuesto general de las ventas según nuestras normativas económicas (Tabla 4). A parte del costo de inversión para la instalación los sistemas fotovoltaicos, estos requieren de un mantenimiento periódico, tanto de la superficie del panel solar, como del sistema eléctrico. El costo de mantenimiento se estima de S/. 140 anuales. Considerando el costo de instalación, operación y mantenimiento, el valor actual de costo (VAC), calculado fue de S/. 22,770.08.

Tabla 3. Costos de implementación del SFCR

Descripción	Costo
Paneles fotovoltaicos	S/. 6,720.00
Inversor	S/. 5,561.21
Instalación	S/. 2,492.00
Materiales (Soporte metálico, Tuberías, Canaletas, Kit de cables)	S/. 2,670.00
I.G.V (18%)	S/. 3,139.78
Total	S/. 20,582.99

3.3. Análisis de beneficios del sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR)

3.3.1. Análisis de beneficios energético

La mayor cantidad de energía fotovoltaica e ingresos se estima en los 10 primeros años del funcionamiento del sistema, a partir del décimo año el sistema presenta un descenso debido al deterioro esto basado en las especificaciones técnicas de degradación tecnológica a una tasa de 0.5 %. La mayor cantidad de energía e ingresos se produjo en el año 2020 con 4,189.14 kWh y S/3,528.51 respectivamente y la

menor cantidad de energía e ingresos se estima para el año 2043 con valores de 3,884.30 kWh y S/. 3,271.75 (Figura 4 y Anexo 4).

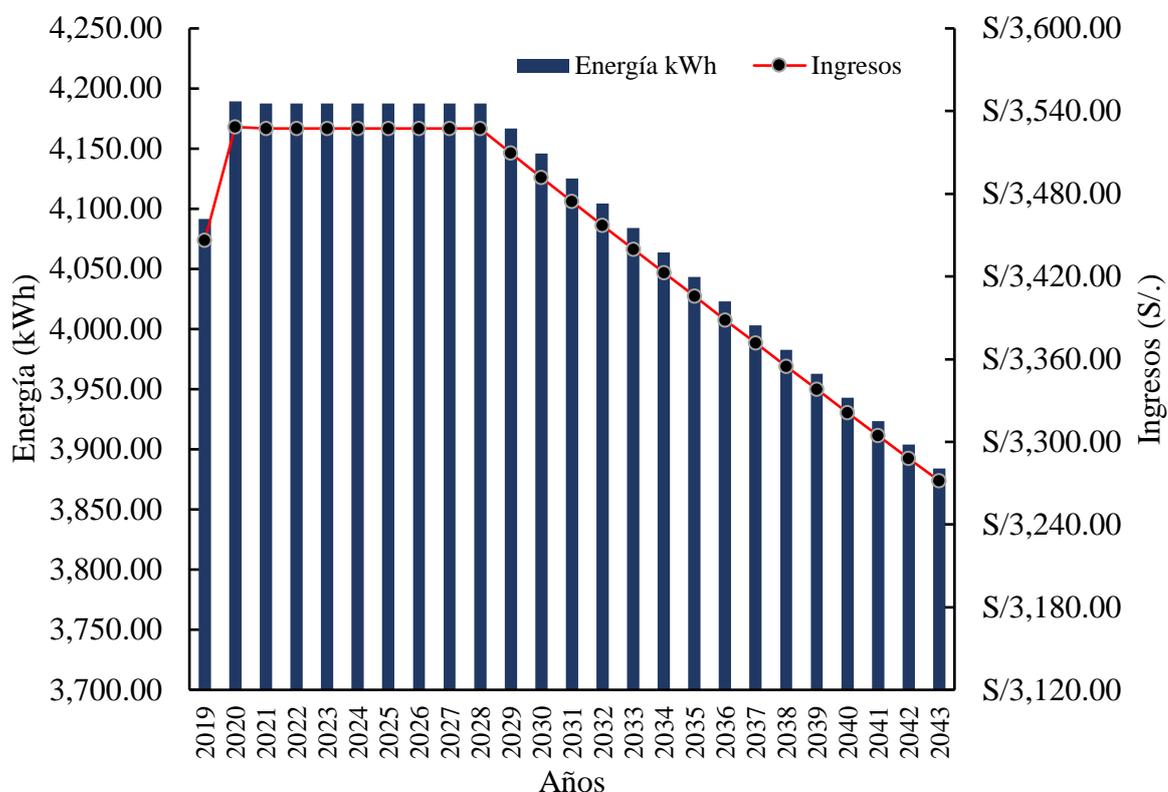


Figura 4. Producción de ingresos por el SFCR

El beneficio generado por el SFCR es de S/. 2.38 por cada sol invertido, además se obtuvo un valor presente neto (VPN) de S/. 31,313.43, un periodo de recuperación simple (PRS) de 7.13 años y una tasa interna de retorno (TIR) de 16 % siendo mayor en comparación de a la tasa social de descuento general (8 %) (MEF, 2017). Lo cual indica que la inversión económica es viable (Tabla 5). Para mayor detalle observar el anexo 5.

Tabla 4. Resultados de los indicadores económicos.

Indicador económico	Unidad	Valor
VAB	Soles (S/.)	54,083.51
VPN	Soles (S/.)	31,313.43
TIR	Porcentaje (%)	16
PRS	Años	7.13
B/C		2.38

3.3.2. Análisis del beneficio ambiental

La cantidad de CO₂-equivalente/año (kg CO₂-eq/año), calculado para SEIN y el SFCR, durante el periodo de evaluación, fue de 5,092.57 y 687.29 respectivamente (figura 5) (a); mientras que el beneficio ambiental es de 4,405.28 kg CO₂-eq/año para dicho periodo (figura 5) (b). La mayor cantidad de CO₂-eq/año para el SEIN, SFCR y beneficio ambiental se presentó en el año 2020 y la menor cantidad se presentó en el año 2043. Para mayor detalle observar el anexo 6.

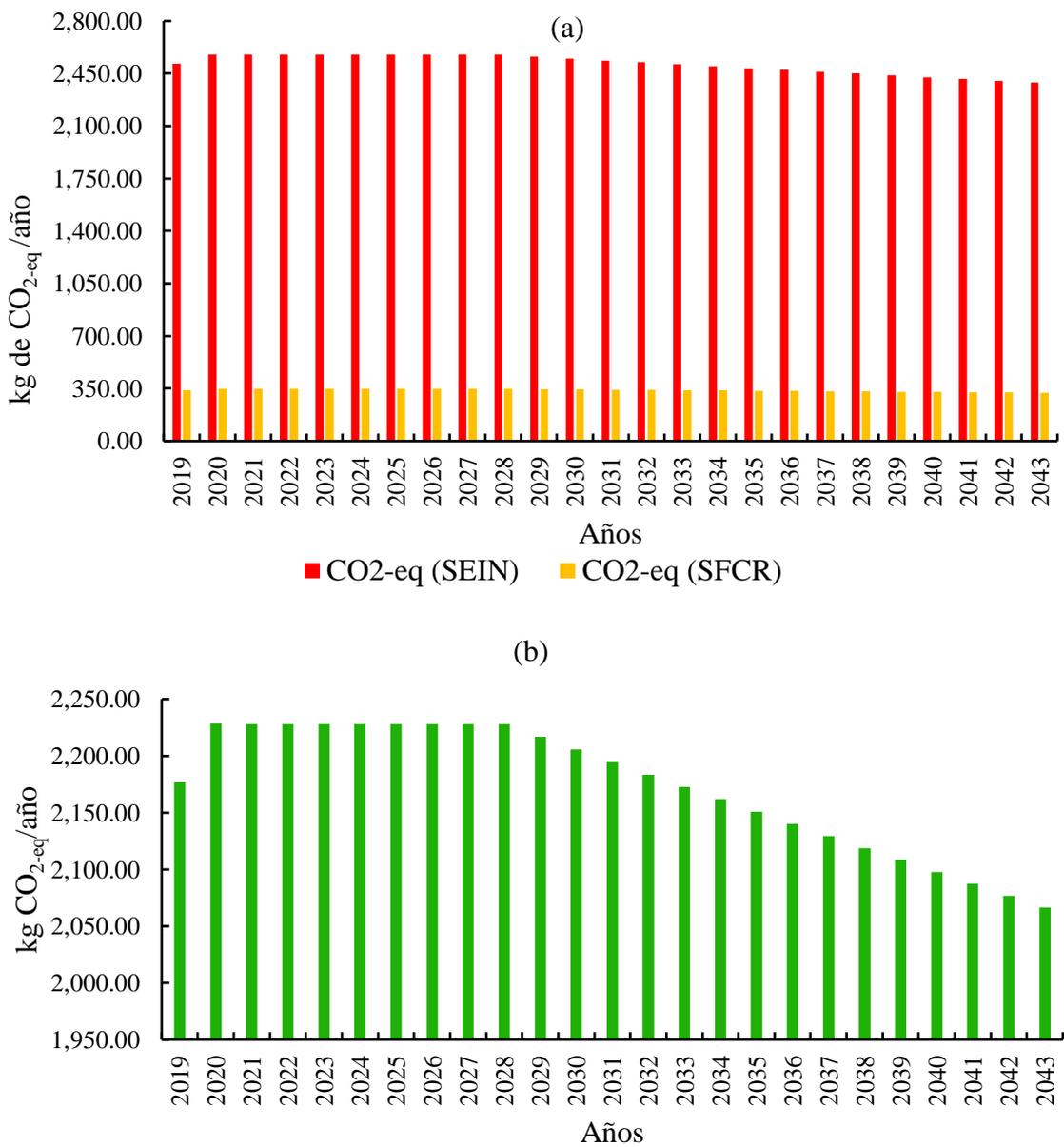


Figura 5. kg CO₂-eq/año estimado para la vida útil del sistema.

IV. DISCUSIONES

La energía producida por el sistema presenta una relación directa con la irradiación solar. La irradiación promedio anual en Chachapoyas se encuentra en un rango de 1,437.05 kWh/m² a 1,470.10kWh/m², mientras que la energía fotovoltaica anual oscila entre 4,091.47 kWh a 4,189.14 kWh, respectivamente. Los meses con mayor irradiación son de mayo - agosto, esto se debe a que en Chachapoyas en ese periodo se encuentra dentro de época seca que se da de abril a septiembre (Rascón et al., 2021). Mientras que el SFCR de 5 MW evaluado por Dastis, (2020), en Sevilla, genero 8,513,593,6 kWh de energía anual. Estos resultados muestran diferencia por la potencia instalada, inclinación e irradiación. Además, el autor en mención, utilizo un ángulo de inclinación de 34°, esto debido a la ubicación geográfica de la instalación ya que se busca compensar la curvatura terrestre, además, registro una irradiación anual de 2,439.35 kWh/m², mientras que el sistema de Chachapoyas, se evaluó con una inclinación de 15° y una irradiación promedio anual de 1453.58 kWh/m². Por lo que la energía generada por el sistema depende del lugar donde se instale, ya que, esto será condicionante para los cálculos técnicos de ángulos de inclinación, condiciones ambientales entre otros aspectos.

El SFCR estudiado por Romero-Fiances et al., (2019), en la ciudad de Arequipa, tiene la misma potencia (3,3 kW), ángulo de inclinación (15°) y lugar de instalación que el sistema evaluado por Beltran et al., (2016). Pese a ello el sistema evaluado Romero-Fiances et al., (2019), presento una cantidad de energía anual producida (1770-1992 kWh) y sistema evaluado por Beltran et al., (2016), determino una cantidad de energía anual de 6,128 KWh. Estos resultados muestran diferencia debido a que por su parte el sistema evaluado Romero-Fiances et al., (2019), fue influenciado por sombra parcial durante los meses de otoño e invierno y suciedad del sistema. Mientras que el sistema evaluado por Beltran et al., (2016), aprovecho los niveles altos de irradiación de agosto originaron una alta productividad de energía. De ahí que, la cantidad de energía fotovoltaica producida depende de la disponibilidad irradiación según las condiciones climáticas del lugar de instalación, y las estaciones del año, como sucede también en Chachapoyas, los determinados en los resultados del presente estudio.

La implantación de un SFCR de 3,3 kW, en la ciudad de Chachapoyas requiere una inversión inicial de S/20,582.99 y presenta un VPN de S/. 31,313.43, una TIR 16%, PRS 7.13 y un B/C de 2.38. En la ciudad de Arequipa, Beltran et al., (2016), estimo que la implementación de un SFCR de 3,3 kW, requiere una inversión inicial de US\$ 3,850 y presento un VAN de US\$ 10,708, una TIR de 10,7% y un PRS de 11,6 años. Estos resultados difieren por la diferencia de costo de energía, tasa de descuento y la cantidad de energía generada. Beltran et al., (2016), evaluaron con un costo de energía de 0.10 US\$/kWh, una tasa de descuento del 5 % (tomando en cuenta un índice medio para inversores pequeños en bancos locales) y una cantidad de energía anual de 6,128 KWh, mientras que el sistema de Chachapoyas, se evaluó con un costo de energía residencial de S/, 0.8423 por kWh, una tasa de descuento para proyectos verdes de 4% y una cantidad de energía anual promedio de 4,140.30 kWh. La viabilidad económica de un SFCR depende de la cantidad de energía producida, tasa de descuento y costo de energía.

El SFCR de 2,96 kW estudiado por Chávez et al., (2020), en la ciudad de Juliaca, tiene el mismo lugar de instalación, costo de energía (S/. 0.6545/kWh) y tasa de descuento (8.58 %) que el SFCR 2,16 kW evaluado por Vilca, (2020). Pese a ello el sistema evaluado por Chávez et al., (2020), requirió de una inversión inicial de S/. 29,417.55 y presento un VPN S/.12, 806.02, TIR 13 %, PRS 12 Años y un B/C de 1.6, mientas que el sistema evaluado por Vilca, (2020), presento un costo de instalación y operación de 25,404.24 soles, además presento un VPN de S/. 8,566.26, TIR de 12% y PRS 8.35. Estos resultados muestran similitud como en el caso de la TIR. Por lo que la viabilidad de dichos sistemas depende del costo de energía y tasa de descuento, lo que también se corrobora en la investigación desarrollada.

La cantidad de CO_{2-eq} no emitido a la atmosfera depende de la cantidad de energía producida del sistema, la cual se considera en comparación a la energía que se tendría que demandar del mix energético del SEIN. Por otra parte, se considera la emisión de CO_{2-eq} con generación fotovoltaica, para luego sacar la diferencia entre la emisión de CO_{2-eq} del SEIN y el CO_{2-eq} que se emite al utilizar energía fotovoltaica, dando como resultado la cantidad de CO_{2-eq} que se evitó emitir al ambiente durante la operación del sistema evaluado. En el año 2019 se produjo 4,091.47 kWh de energía fotovoltaica; en el cual se reduce las emisiones de 2,176.66 kg CO_{2-eq} /año. Por otro lado Sánchez, (2017), determino que con la implantación de un SFRC redujo las emisiones de 20,18

toneladas de CO₂-eq/año, por la producción 78,560 kWh, de energía. Estos resultados muestran diferencia a los encontrados, debido a que por su parte Sánchez evaluó un SFCR de 27 kW, con mix energético del SEIN de 0.4946 kg de CO₂-eq/kWh, mientras que la actual investigación se evaluó con la diferencia del mix energético del SEIN (0,615 kg de CO₂-eq/kWh) y del SFCR (0,083 kg de CO₂-eq/kWh). Del mismo modo Torres, (2019), evaluó el beneficio ambiental de un SFCR, en donde evitó emitir 1,011,784.18 kg CO₂-eq/año por la producción de 1,901,849.96 kWh/año de energía fotovoltaica. Estos resultados muestran diferencia, debido a la potencia instalada. Por su parte Torres, (2019), evaluó un SFCR de 1000.08 kW, con un mix energético igual que la reciente investigación.

El SFCR de 5,09 kW, estudiado por Guevara, (2018), en el caserío Nuevo Eden – Yambrasbamba - Amazonas produjo 17,976.25kWh de energía fotovoltaica, por lo cual redujo las emisiones de CO₂-eq al medio ambiente en una cantidad de 9,833 kg CO₂-eq/año. Mientras que el SFCR de 3,3, kW, instalado en la ciudad de Chachapoyas genero 4,091.47 kWh de energía fotovoltaica en el año 2019, reduciendo en 2,176.66 kg CO₂-eq/año. Estos resultados muestran diferencia debido a la potencia instalada y al mix energético utilizado, el autor, evaluó con un mix energético de 0.54 kg CO₂-eq/kWh, mientras que, en el sistema de Chachapoyas se referenció con el mix energético del SEIN (0,615 kg de CO₂-eq/kWh) y el mix energético del SFCR (0,083 kg de CO₂-eq/kWh). Por lo que el beneficio ambiental generado por el sistema fotovoltaico depende la cantidad de energía producida y el mix energético utilizado.

V. CONCLUSIONES

El Sistema fotovoltaico conectado a la red con tecnología policristalino con una potencia de 3,3 kW, bajo una irradiación promedio anual de 1453.58 kWh/m². Se estimó que la producción promedio de energía entre los años 2019 al 2028 será de 4 MW anual y a partir del año 2029 el sistema tendrá una degradación tecnológica del 0.5 % anual, cuya producción energética depende la inclinación, irradiación, características técnicas de los equipos del sistema, la degradación tecnológica, periodo de mantenimiento del sistema y parámetros climatológicos como: irradiación, temperatura ambiente y hora solares.

El costo de inversión, operación y mantenimiento del SFCR de 3,3 kW es de S/. 22,770.08 a lo largo de la vida útil del sistema (25 años). El beneficio económico del SFCR obtenido a una tasa de descuento del 4 % y un costo de energía residencial de S/. 0.8423/kWh es de S/. 2.38 por cada sol invertido, además, presenta un PRS de 7.13 años, una TIR de 16 % y un VPN de S/. 31,313.43. Por lo que se demuestra que la implantación de SFCR es económicamente viable y esta depender de la zona de instalación ya que, existen deferencias en el costo de la electricidad por regiones en Perú, tasa de descuento, cantidad de energía producida y además son afectados por el impuesto general de las ventas; por lo que se necesario tener una normativa especial económica para estos sistemas fotovoltaicos.

Se ha estimado que el beneficio ambiental (kg de CO_{2-eq}/año) que genera el SFCR de 3,3, kW, en promedio entre los años 2019 al 2028 es de 2,222.78 kg de CO_{2-eq}/año y partir del año 2029 presentara un descenso de 11 kg de CO_{2-eq}/año, debido a la degradación tecnológica del sistema (0.5 %). La cantidad de CO_{2-eq} no emitido a la atmosfera depende de la cantidad de energía producida y el mix energético utilizado, además, se deduce que el sistema es respetuoso con el medio ambiente y se puede tener benéficos con los bonos de carbono y a la vez propicia para el impulso del desarrollo sostenible con una matriz energética renovable.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Para futuras investigaciones, calcular el rendimiento energético del SFCR con parámetros como la temperatura del panel, velocidad del viento, irradiación horizontal, así como el efecto de sombra y suciedad.
- ✓ Implementar una normativa especial económica para los sistemas fotovoltaicos.
- ✓ Realizar un análisis de sostenibilidad del ciclo de vida del SFCR, con otras tasas de descuento y otros costos de energía.
- ✓ Determinar el balance energético neto considerando pérdidas de energía entre los componentes de generación y transmisión al usuario final.
- ✓ Desarrollar un modelo de predicción de irradiación, así como el potencial de la energía solar para la zona de estudio, con mayor precisión.
- ✓ Desarrollar un modelo para llenar datos faltantes de irradiación y energía.
- ✓ Evaluar y comparar el beneficio ambiental con diferentes mix energéticos como hidráulico, eólico, quema de petróleo, quema de carbón, entre otros.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltran, N., Tinajeros, M., & Morante, F. (2016). Análisis Económico de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en Arequipa. *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente, 11(XXIII)*, 14-19.
- Cantos, J. (2016). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas* (1.ª ed.). COPYRIGHT.
- Chávez, V., Condori, R., Puma, P., & Beltrán, N. (2020). Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) de 3 kW con convertidores cc/cc analizado en las condiciones geográficas y climatológicas la ciudad de Juliaca. *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica, 3*(Vol. 3, Num. 1), 13-22. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i1.122>
- Climate-Data.org. (2019). *Clima Chachapoyas: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Chachapoyas*. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/amazonas/chachapoyas-4066/#temperature-graph>
- Dastis, F. (2020). *DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA. ESTUDIO NORMATIVO Y ANÁLISIS ECONÓMICO*. Universidad de Sevilla.
- Electro Oriente. (2021). *Recibo de Luz de la Universidad Nacional Toribio Rodriguez De, Mendoza- Amazonas*. <http://www.elor.com.pe/iscon/imgrecibo.aspx>
- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & Casa, J. (2019). Evaluación de viabilidad de proyectos de autoconsumo fotovoltaico residencial en Perú. *Energía renovable, 136*, 414-427. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.003>
- Fontana, F. (2017). *ANÁLISIS DE COSTES Y DE RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN VIVIENDAS RESIDENCIALES PARA AUTOCONSUMO*.

https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3847/0819_Fontana.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gradella, M. (2017). *Energía Solar Fotovoltaica* (2.^a ed.). érica / Saraiva.

Gudemos, E. (2018). *Plantas Fotovoltaicas y Economía Asociada*. CEDDET.

<https://www.ceddet.org/wp-content/uploads/2018/03/ENERGIA1.pdf>

Guevara, B. (2018). *APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO2 EN EL CASERÍO NUEVO EDEN -YAMBRASBAMBA- AMAZONAS*. UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”.

IEA. (2020). *Agencia Internacional de la Energía*. IEA.

<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>

IRENA. (2021). *Agencia Internacional de Energías Renovables*. <https://www.irena.org/>

Khalid, A., & Junaidi, H. (2013). Estudio de viabilidad económica de la energía eléctrica fotovoltaica para Quetta - Pakistán. *Energía renovable*, 50, 253-258.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.040>

MEF. (2017). *ANEXO N° 11: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN SOCIAL*.

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo11_directiva001_2019EF6301.pdf

MEF. (2018). *Avances y Retos para la Mitigación del Cambio Climático e Implementación del Precio de Carbono*.

Muhammad, F., Abu, S., Munir, A., Mohd, S., Ramirez, R., McMeekin, S., Stewart, B.,

Sarmah, N., Mallick, T., Abdul, R., Karim, E., Ahmad, S., & Mat, R. (2014).

Tarifa de alimentación para energía solar fotovoltaica: el auge de Japón. *Energía renovable*, 68, 636-643. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.03.012>

Naciones Unidas. (2019). *El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible* / Naciones Unidas. United Nations; United Nations.

<https://www.un.org/es/chronicle/article/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>

- Rascón, J., Gosgot, W., Quiñones, L., Oliva, M., & Barrena, M. Á. (2021). Eventos secos y húmedos en poblaciones andinas del norte de Perú: Un estudio de caso de Chachapoyas, Perú. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.614438>
- Romero-Fiances, I., Muñoz-Cerón, E., Espinoza-Paredes, R., Nofuentes, G., & Casa, J. (2019). Análisis del desempeño de diversas tecnologías de módulos fotovoltaicos en Perú. *Energías*, 12(1), 186. <https://doi.org/10.3390/en12010186>
- Sánchez, A. (2017). Planta de Generación Fotovoltaica de 27.0 kW. *FORDECYT*. http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/fotovoltaicas_cemitt_2.html
- SMA. (s. f.). *Ficha Técnica -SUNNY BOY*. Recuperado 7 de julio de 2021, de <https://www.technosun.com/descargas/SMA-SB3000TL-SB4000TL-SB5000TL-ES.pdf>
- SMA Solar Technology. (2018). *Coefficiente de rendimiento—Factor de calidad de la instalación fotovoltaica*. <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-TI-es-11.pdf>
- SMA Solar Technology AG. (2016). *Instrucciones de instalación—Sustitución de equipos de SMA en plantas con productos de comunicación de SMA*. SMA.
- Talavera, D., Casa, J., Muñoz, E., & Almonacid, G. (2014). Paridad de red y autoconsumo con sistemas fotovoltaicos en el marco regulatorio actual en España: El caso del Campus de la Universidad de Jaén. *Revisión de energías renovables y sostenibles*, 33, 752-771. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.023>
- Torres, J. (2019). *ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO CON LA IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS SOLARES CONECTADO A RED PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA - CP SORA 2019 [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]*.

http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14859/Torres_Gamarra_Juan_Ruben.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vilca, M. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFRCs) de 2.16 kW con microinversor analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. [Universidad Nacional de Juliaca].

<http://repositorio.unaj.edu.pe/bitstream/handle/UNAJ/116/Mary%20Cymbel%20Vilca%20Choque%20-%20-%20Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yingli Solar. (s. f.). *ficha tecnica—Panel solar yingli*. Recuperado 7 de julio de 2021, de

<http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8772/ficha%20tecnica%20-%20panel%20solar%20yingli%20250W.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Zwaan, B., Kober, T., Calderon, S., Clarke, L., Daenzer, K., Kitous, A., Labriet, M., Lucena, A. F. P., Octaviano, C., & Di Sbroiavacca, N. (2016). Despliegue de tecnología energética para la mitigación del cambio climático: un estudio multimodelo para América Latina. *Economía de la energía*, 56, 526-542.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.11.019>

VIII. ANEXOS

8.1.Anexo 1: Base de datos de energía producida por el SFCR (kWh) setiembre 2018 – agosto 2020.

Día	2018			
	Set .	Oct.	Nov.	Dic.
01	0	11.97	9.76	14.82
02	0	9.20	11.46	15.10
03	3.53	10.50	12.52	12.45
04	9.47	10.71	2.29	13.35
05	20.62	11.91	11.98	14.73
06	20.71	13.77	13.28	14.84
07	20.36	12.53	9.41	7.09
08	16.51	9.47	9.13	7.96
09	16.82	10.54	11.88	7.10
10	15.55	15.62	12.03	11.72
11	7.58	12.70	12.08	5.63
12	14.20	11.29	8.72	7.88
13	17.66	3.36	10.55	8.35
14	15.37	8.43	9.94	8.06
15	5.78	13.28	9.34	8.43
16	12.88	11.16	12.65	5.28
17	12.53	9.82	8.97	7.10
18	13.58	11.23	11.90	9.56
19	13.15	12.14	7.62	10.98
20	10.95	9.96	7.73	6.92
21	15.02	6.79	11.28	7.10
22	12.18	8.14	9.90	6.76
23	12.40	9.51	11.69	6.28
24	13.27	12.88	14.15	9.27
25	11.92	14.18	5.73	14.43
26	11.60	16.32	7.88	8.63
27	16.80	6.83	13.47	9.40
28	18.63	9.64	9.57	6.21
29	15.33	12.64	12.78	6.05
30	11.85	10.75	14.45	7.60
31		7.84		7.96

Fuente: Inversor de marca SMA, modelo SUNNY BOY SB 5000TL-21

2019												
Día	Ene.	Febre.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
01	7.95	7.45	6.17	9.71	7.45	16.85	12.92	18.23	10.69	5.98	7.86	8.59
02	10.39	3.41	10.02	8.35	9.06	12.15	14.55	18.15	14.52	8.35	11.40	10.84
03	10.44	9.01	9.70	8.15	9.10	9.99	17.28	16.12	12.50	8.67	11.67	5.67
04	10.19	12.31	9.14	16.71	8.53	12.31	11.38	16.39	10.15	9.68	9.37	9.70
05	6.97	13.37	8.83	15.80	6.47	14.96	5.61	18.46	12.11	10.25	7.03	8.04
06	11.79	13.55	10.67	8.23	14.29	17.56	8.58	15.98	12.23	12.66	11.30	8.11
07	9.72	11.78	7.69	7.60	18.43	17.04	7.30	13.47	7.27	9.09	6.80	10.36
08	6.86	9.08	7.25	11.75	15.03	13.03	13.57	13.89	15.06	4.53	9.29	7.38
09	10.79	11.02	13.69	19.02	10.19	12.82	16.14	9.57	13.61	13.54	10.69	7.84
10	12.66	9.18	11.37	13.96	16.99	15.06	15.75	11.49	10.48	13.58	6.86	10.39
11	12.42	8.52	11.59	15.48	15.64	16.60	17.88	11.50	6.75	12.85	7.84	10.04
12	13.29	8.93	12.74	12.85	7.89	15.27	13.67	8.78	12.51	10.12	9.95	7.82
13	11.83	9.14	10.85	10.72	3.74	13.39	9.76	7.60	11.96	7.66	11.63	11.94
14	8.53	11.53	9.88	11.31	10.39	10.33	6.26	8.56	6.53	8.09	7.28	10.77
15	5.70	7.20	7.11	14.57	17.40	12.32	9.08	17.67	15.01	9.51	12.06	8.51
16	9.67	8.17	9.38	8.41	18.60	8.69	10.00	12.68	13.94	9.72	10.73	5.49
17	9.85	8.30	10.15	8.53	17.22	10.79	9.84	18.34	12.62	7.79	13.07	8.42
18	9.54	15.35	9.03	8.98	17.51	13.05	11.73	12.75	18.20	9.04	8.39	7.38
19	11.29	9.41	8.73	9.96	15.81	14.69	15.28	9.56	12.54	8.62	11.61	7.94
20	11.42	8.57	7.72	11.49	9.13	11.13	11.94	9.03	8.27	9.08	9.83	7.53
21	12.22	7.34	6.82	11.61	10.64	15.43	11.79	8.98	8.44	9.44	11.38	8.18
22	9.40	10.95	7.17	9.12	16.24	9.09	10.22	8.94	14.29	11.36	7.42	10.83
23	11.34	11.49	8.25	12.28	10.52	16.55	12.18	16.33	6.47	6.77	7.83	11.06
24	11.50	10.15	0.00	7.81	12.75	10.48	13.31	9.30	7.15	8.50	9.19	10.47
25	9.08	7.69	12.66	13.96	11.61	14.08	10.45	11.64	7.96	11.28	8.45	12.22
26	10.87	7.25	8.48	14.49	10.27	9.77	13.94	7.39	12.65	10.20	6.49	8.08
27	10.97	7.67	9.19	14.46	13.05	8.03	11.23	8.14	9.60	11.01	10.30	12.63
28	11.30	12.53	8.16	8.95	11.25	6.50	17.88	6.24	9.81	7.94	9.43	9.48
29	9.98		13.52	13.91	5.18	9.04	18.11	10.42	13.93	10.78	9.38	9.39
30	8.28		15.35	14.19	12.66	15.36	18.26	11.41	12.00	12.06	8.97	9.82
31	11.00		12.41		14.03		18.32	14.76		9.35		8.93

Fuente: Inversor de marca SMA, modelo SUNNY BOY SB 5000TL-21.

2020								
Día	Ene.	Febre.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Agost.
01	9.63	6.84	6.23	12.80	15.13	13.74	13.40	18.45
02	8.36	7.93	11.25	10.05	9.87	15.02	11.50	20.08
03	10.87	11.10	12.56	12.77	9.70	11.89	10.75	16.63
04	9.73	10.82	10.91	14.26	11.34	9.44	9.00	14.50
05	12.20	10.25	5.82	13.07	16.78	6.01	12.86	19.48
06	13.47	10.65	15.70	9.34	10.51	8.95	12.27	19.57
07	12.38	9.80	18.26	16.33	11.96	12.86	13.51	7.74
08	8.05	8.94	10.54	10.67	14.43	16.61	12.51	12.47
09	11.25	1.23	10.64	14.11	14.23	18.32	11.61	13.25
10	9.02	4.05	12.71	11.24	18.25	15.53	7.16	19.32
11	7.87	3.08	7.63	12.13	15.54	18.92	13.54	17.30
12	9.78	9.30	16.63	10.99	15.52	18.53	15.75	17.21
13	5.73	7.11	19.01	9.04	11.62	17.27	11.18	8.29
14	6.19	6.04	10.55	14.38	16.41	13.63	12.82	13.58
15	4.96	6.73	12.81	17.31	11.34	14.11	7.05	4.15
16	10.76	9.16	13.73	14.35	11.41	10.64	16.42	13.03
17	10.24	7.21	5.09	7.18	11.01	19.25	14.57	15.66
18	12.95	9.83	12.24	10.42	16.18	17.90	13.33	14.23
19	9.45	8.99	12.05	18.23	17.71	14.78	14.01	13.93
20	11.55	9.91	14.87	14.88	11.50	12.83	13.28	4.37
21	11.02	11.79	16.37	18.66	13.66	13.85	12.26	7.79
22	11.61	11.61	15.47	18.94	12.65	12.44	18.92	2.07
23	6.78	17.25	9.21	13.73	11.44	16.86	11.78	17.69
24	13.24	13.22	7.04	14.04	12.58	16.57	10.61	16.62
25	8.66	13.94	14.42	12.02	17.74	12.37	10.69	20.50
26	9.18	13.93	12.87	9.64	14.14	10.07	12.01	15.13
27	12.97	12.13	14.73	9.62	19.51	13.24	14.14	20.25
28	9.01	10.34	8.99	16.03	19.14	12.55	14.46	16.51
29	4.50	9.29	8.51	11.78	18.69	13.54	16.97	19.02
30	8.10		3.91	12.52	11.44	11.79	7.88	0.88
31	5.68		11.03		10.63		8.38	9.39

Fuente: Inversor de marca SMA, modelo SUNNY BOY SB 5000TL-21.

8.2.Anexo 2: Base de datos de irradiación (kWh/m²) setiembre 2018 – agosto 2020

2018				
Día	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
01		4.02	3.31	6.88
02		3.22	4.12	6.92
03	2.16	3.47	4.70	5.03
04	2.59	3.72	3.37	6.29
05	6.84	4.01	4.34	5.96
06	6.88	4.34	5.20	6.76
07	6.74	4.16	3.52	2.44
08	5.47	3.23	2.85	2.54
09	5.41	3.65	4.07	2.32
10	5.24	5.65	3.85	3.95
11	2.44	4.52	4.42	1.67
12	4.98	3.84	3.15	2.36
13	6.23	1.15	3.53	2.69
14	5.20	2.70	3.43	2.37
15	1.88	4.42	3.57	2.70
16	4.03	3.99	4.39	1.75
17	4.15	3.57	3.05	2.48
18	4.29	4.00	4.55	3.10
19	4.27	4.33	2.40	3.60
20	3.45	3.55	2.29	2.14
21	4.87	2.42	3.98	2.22
22	3.79	2.90	3.55	2.25
23	3.74	3.39	4.49	1.94
24	3.98	4.59	5.55	3.25
25	3.87	5.05	1.90	5.80
26	3.80	5.82	2.58	2.72
27	5.89	2.43	5.81	2.95
28	6.80	3.12	3.47	1.75
29	5.16	4.61	5.46	1.95
30	4.30	3.64	5.97	2.25
31		2.63		2.31

Fuente: Estación meteorológica INDES- CES/2018.

2019												
Día	Ene.	Febre.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Agost.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
01	2.84	2.65	2.20	3.46	2.66	5.80	4.53	6.44	3.60	2.07	2.70	2.98
02	3.70	1.21	3.57	2.98	3.23	4.49	5.01	6.34	5.24	2.88	4.46	3.71
03	3.72	3.21	3.46	2.91	3.25	3.18	6.04	5.52	4.21	2.89	4.49	2.08
04	3.63	4.39	3.26	5.96	3.04	4.07	3.74	6.21	3.21	3.56	3.36	3.58
05	2.48	4.77	3.15	5.63	2.30	5.20	1.90	6.20	3.94	3.61	2.74	2.90
06	4.20	4.83	3.80	2.93	5.10	6.01	2.85	5.54	3.96	4.43	4.18	2.91
07	3.47	4.20	2.74	2.71	6.57	6.04	2.58	4.84	2.43	3.04	2.35	3.47
08	2.45	3.24	2.58	4.19	5.36	4.20	4.26	4.85	4.85	2.22	3.35	2.39
09	3.85	3.93	4.88	6.78	3.63	4.28	5.26	3.28	4.44	4.48	3.83	2.89
10	4.51	3.27	4.05	4.98	6.06	5.18	5.32	4.19	3.39	5.13	2.59	4.06
11	4.43	3.04	4.13	5.52	5.58	6.17	5.99	3.92	2.33	4.74	2.80	4.37
12	4.74	3.18	4.54	4.58	2.81	5.40	4.68	3.05	4.06	3.37	3.64	2.70
13	4.22	3.26	3.87	3.82	1.33	4.59	3.36	2.51	3.78	2.61	4.35	4.82
14	3.04	4.11	3.52	4.03	3.71	3.59	2.12	2.56	2.25	2.85	3.01	4.37
15	2.03	2.57	2.53	5.19	6.20	3.95	3.18	6.56	5.16	3.11	4.78	3.08
16	3.45	2.91	3.35	3.00	6.63	3.06	3.20	4.45	4.68	3.23	4.02	2.06
17	3.51	2.96	3.62	3.04	6.14	3.41	3.34	6.34	4.32	2.70	6.45	2.95
18	3.40	5.47	3.22	3.20	6.24	4.16	3.87	4.44	6.54	3.13	3.04	2.63
19	4.03	3.35	3.11	3.55	5.64	4.83	5.29	3.30	4.86	2.84	4.30	2.91
20	4.07	3.06	2.75	4.10	3.26	4.65	3.87	2.83	2.97	3.33	4.40	2.77
21	4.36	2.62	2.43	4.14	3.79	5.53	3.68	2.85	2.97	2.97	4.04	2.73
22	3.35	3.90	2.56	3.25	5.79	4.17	3.68	2.90	4.92	4.40	3.00	4.69
23	4.04	4.10	2.94	4.38	3.75	5.84	4.30	5.62	2.03	2.40	3.06	4.55
24	4.10	3.62	0.00	2.79	4.55	3.44	4.61	3.36	2.49	2.98	3.30	3.84
25	3.24	2.74	4.51	4.98	4.14	4.60	3.49	4.17	2.55	3.58	3.45	5.04
26	3.87	2.59	3.02	5.17	3.66	3.49	5.08	2.49	4.71	3.19	2.35	3.14
27	3.91	2.73	3.28	5.15	4.65	2.55	3.51	2.58	3.45	3.69	4.13	5.57
28	4.03	4.47	2.91	3.19	4.01	2.06	6.12	2.11	3.41	2.66	3.72	3.24
29	3.56		4.82	4.96	1.85	3.06	6.32	3.32	4.88	3.79	3.07	3.35
30	2.95		5.47	5.06	4.51	5.17	6.44	3.82	4.35	4.22	3.16	3.47
31	3.92		4.42		5.00		6.42	5.17		3.18		3.24

Fuente: Estación meteorológica INDES- CES/2019.

2020								
Día	Ene.	Febre.	Mar.	Abri.	May.	Jun.	Jul.	Agost.
01	3.33	2.69	1.93	4.41	5.15	4.73	4.56	6.35
02	3.05	3.12	3.48	3.46	3.36	5.17	3.91	6.91
03	4.57	4.37	3.68	4.40	3.30	4.09	3.66	5.73
04	3.39	4.26	3.21	4.91	3.86	3.25	3.07	4.99
05	5.13	4.03	1.95	4.50	5.71	2.07	4.38	6.71
06	6.71	4.19	4.88	3.21	3.58	3.08	4.18	6.74
07	5.51	3.86	5.89	5.62	4.07	4.43	4.60	2.67
08	2.64	3.52	3.14	3.67	4.91	5.72	4.26	4.29
09	4.81	0.48	3.16	4.86	4.85	6.31	3.95	4.56
10	3.01	1.59	3.82	3.87	6.21	5.35	2.44	6.65
11	2.75	1.21	2.29	4.18	5.29	6.52	4.61	5.96
12	3.21	3.66	5.25	3.78	5.29	6.38	5.36	5.93
13	2.00	2.80	5.94	3.11	3.96	5.95	3.81	2.86
14	2.21	2.38	3.28	4.95	5.59	4.69	4.36	4.68
15	1.69	2.65	3.82	5.96	3.86	4.86	2.40	1.43
16	4.04	3.61	4.05	4.94	3.89	3.66	5.59	4.49
17	4.16	2.84	1.49	2.47	3.75	6.63	4.96	5.39
18	4.45	3.87	3.75	3.59	5.51	6.16	4.54	4.90
19	3.39	3.54	3.70	6.28	6.03	5.09	4.77	4.80
20	4.15	3.90	4.68	5.12	3.91	4.42	4.52	1.51
21	4.11	4.64	5.25	6.42	4.65	4.77	4.17	2.68
22	4.56	4.57	4.98	6.52	4.31	4.28	6.44	0.71
23	2.65	6.79	2.71	4.73	3.89	5.81	4.01	6.09
24	5.25	5.20	2.14	4.84	4.28	5.71	3.61	5.72
25	3.15	5.49	4.42	4.14	6.04	4.26	3.64	7.06
26	3.39	5.48	4.27	3.32	4.81	3.47	4.09	5.21
27	5.23	4.77	4.50	3.31	6.64	4.56	4.81	6.97
28	3.25	4.07	2.77	5.52	6.52	4.32	4.92	5.69
29	1.71	3.65	2.72	4.06	6.36	4.66	5.78	6.55
30	3.19		1.27	4.31	3.90	4.06	2.68	0.30
31	2.00		3.18		3.62		2.85	3.23

Fuente: Estación meteorológica INDES- CES/2020.

8.3. Anexo 3: Datos registrados de irradiación y energía producida desde setiembre del 2018 hasta agosto del 2020

Fecha	Energía (kWh)	Irradiación (kWh/m ²)
Set-18	386.19	128.47
Oct-18	335.08	116.15
Nov-18	314.15	116.86
Dic-18	287.05	103.34
Ene-19	317.23	113.10
Feb-19	270.33	96.38
Mar-19	293.70	104.70
Abr-19	352.36	125.62
May-19	377.08	134.43
Jun-19	382.33	132.17
Jul-19	394.21	134.05
Ago-19	381.75	131.79
Set-19	339.23	115.99
Oct-19	297.46	103.27
Nov-19	283.48	108.12
Dic-19	283.82	106.46
Ene-20	295.18	112.67
Feb-20	272.46	107.22
Mar-20	361.75	111.60
Abr-20	390.51	134.47
May-20	432.06	147.11
Jun-20	419.51	144.46
Jul-20	384.59	130.95
Ago-20	429.09	147.76

8.4. Anexo 4: Proyección de energía fotovoltaica generada a lo largo de la vida útil del sistema y su equivalente en soles.

Años		Energía (kWh).	Costo de Energía Residencial (S./ kWh)	Ingresos (S/.) (Energía x Costo de Energía)
0	2018		0.8423	
1	2019	4,091.47		S/3,446.24
2	2020	4,189.14		S/3,528.51
3	2021	4,187.62		S/3,527.23
4	2022	4,187.62		S/3,527.23
5	2023	4,187.62		S/3,527.23
6	2024	4,187.62		S/3,527.23
7	2025	4,187.62		S/3,527.23
8	2026	4,187.62		S/3,527.23
9	2027	4,187.62		S/3,527.23
10	2028	4,187.62		S/3,527.23
11	2029	4,166.68		S/3,509.59
12	2030	4,145.85		S/3,492.05
13	2031	4,125.12		S/3,474.59
14	2032	4,104.49		S/3,457.21
15	2033	4,083.97		S/3,439.93
16	2034	4,063.55		S/3,422.73
17	2035	4,043.23		S/3,405.61
18	2036	4,023.01		S/3,388.58
19	2037	4,002.90		S/3,371.64
20	2038	3,982.88		S/3,354.78
21	2039	3,962.97		S/3,338.01
22	2040	3,943.16		S/3,321.32
23	2041	3,923.44		S/3,304.71
24	2042	3,903.82		S/3,288.19
25	2043	3,884.30		S/3,271.75

8.5. Anexo 5: Flujos de caja proyectados durante la vida útil del sistema

Año	Energía (kWh)	Inversión	Operación y mantenimiento	Ingresos	Flujo de efectivo	Valor presente
0		S/20,582.99			-S/20,582.99	-S/20,582.99
1	4,091.47		S/140.00	S/3,446.24	S/3,306.24	S/3,179.08
2	4,189.14		S/140.00	S/3,528.51	S/3,388.51	S/3,132.87
3	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/3,011.23
4	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,895.42
5	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,784.06
6	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,676.98
7	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,574.02
8	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,475.02
9	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,379.82
10	4,187.62		S/140.00	S/3,527.23	S/3,387.23	S/2,288.29
11	4,166.68		S/140.00	S/3,509.59	S/3,369.59	S/2,188.82
12	4,145.85		S/140.00	S/3,492.05	S/3,352.05	S/2,093.68
13	4,125.12		S/140.00	S/3,474.59	S/3,334.59	S/2,002.67
14	4,104.49		S/140.00	S/3,457.21	S/3,317.21	S/1,915.61
15	4,083.97		S/140.00	S/3,439.93	S/3,299.93	S/1,832.33
16	4,063.55		S/140.00	S/3,422.73	S/3,282.73	S/1,752.67
17	4,043.23		S/140.00	S/3,405.61	S/3,265.61	S/1,676.48
18	4,023.01		S/140.00	S/3,388.58	S/3,248.58	S/1,603.59
19	4,002.90		S/140.00	S/3,371.64	S/3,231.64	S/1,533.87
20	3,982.88		S/140.00	S/3,354.78	S/3,214.78	S/1,467.19
21	3,962.97		S/140.00	S/3,338.01	S/3,198.01	S/1,403.39
22	3,943.16		S/140.00	S/3,321.32	S/3,181.32	S/1,342.37
23	3,923.44		S/140.00	S/3,304.71	S/3,164.71	S/1,284.01
24	3,903.82		S/140.00	S/3,288.19	S/3,148.19	S/1,228.18
25	3,884.30		S/140.00	S/3,271.75	S/3,131.75	S/1,174.77

8.6. Anexo 6: Proyección de CO₂-eq/año no emitido a la atmosfera

Años	Energía (kWh).	SEIN (kg CO ₂ -eq/año)	Sistema Fotovoltaico (kg CO ₂ -eq/año)	Beneficio ambiental (kg CO ₂ -eq/año)	
0	2018				
1	2019	4,091.47	2,516.25	339.59	2,176.66
2	2020	4,189.14	2,576.32	347.70	2,228.62
3	2021	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
4	2022	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
5	2023	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
6	2024	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
7	2025	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
8	2026	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
9	2027	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
10	2028	4,187.62	2,575.38	347.57	2,227.81
11	2029	4,166.68	2,562.51	345.83	2,216.67
12	2030	4,145.85	2,549.69	344.11	2,205.59
13	2031	4,125.12	2,536.95	342.38	2,194.56
14	2032	4,104.49	2,524.26	340.67	2,183.59
15	2033	4,083.97	2,511.64	338.97	2,172.67
16	2034	4,063.55	2,499.08	337.27	2,161.81
17	2035	4,043.23	2,486.59	335.59	2,151.00
18	2036	4,023.01	2,474.15	333.91	2,140.24
19	2037	4,002.90	2,461.78	332.24	2,129.54
20	2038	3,982.88	2,449.47	330.58	2,118.89
21	2039	3,962.97	2,437.23	328.93	2,108.30
22	2040	3,943.16	2,425.04	327.28	2,097.76
23	2041	3,923.44	2,412.92	325.65	2,087.27
24	2042	3,903.82	2,400.85	324.02	2,076.83
25	2043	3,884.30	2,388.85	322.40	2,066.45