

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



**ESCUELA DE POSGRADO**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO  
DE DOCTOR EN CIENCIAS PARA EL DESARROLLO  
SUSTENTABLE CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE LOS  
RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**TÍTULO DE LA TESIS**

**GENERACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE CON  
PANELES SOLARES MONOFACIALES Y BIFACIALES  
EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO  
RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Autor (a): M.Sc. Fernando Isaac Espinoza Canaza**

**Asesor(a): Dra. Mariel del Rocío Chotón Calvo**

**Registro:**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2022**

# AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS



# UNTRM

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

## ANEXO 6-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS DE MAestrÍA ( )/DOCTORADO (X) EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): ESPINOZA CANAZA, FERNANDO ISAAC  
DNI N°: 00440560  
Correo electrónico: fernando.espinoza@untrm.edu.pe  
Nombre de la Maestría ( ) / Doctorado (X): CIENCIAS PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Nombre de la Maestría ( ) / Doctorado ( ) : \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el grado académico de Maestro ( ) / Doctor ( )

Generación energética sostenible con paneles solares Monofaciales y Bifaciales en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Chotón Calvo, Mariel del Rocío  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 18174540  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>)  
<https://orcid.org/0000-0001-6870-9268>

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: \_\_\_\_\_  
DNI, Pasaporte, C.E N°: \_\_\_\_\_  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>)

#### 4. Campo del conocimiento según Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
1.05.00 - Ciencias de la tierra, Ciencias ambientales.  
1.05.08 - Ciencias del medio ambiente.

#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el( la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 07 de enero de 2023

  
Firma del autor 1

\_\_\_\_\_  
Firma del autor 2

  
Firma del Asesor 1

\_\_\_\_\_  
Firma del Asesor 2



## **DEDICATORIA**

*A Dios, el Ser Supremo que todo lo conoce y todo lo sabe, tanto el pasado, el presente y el porvenir del Universo.*

*A mi esposa e hijos, así como a mis padres por su apoyo espiritual y material en el periodo de la investigación.*

*A los Docentes de la Escuela de Posgrado y a mis compañeros de Doctorado por compartir sus invaluable experiencias en la investigación.*

*Fernando Isaac Espinoza Canaza*

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por compartir su experiencia en la investigación de las energías renovables y sugerencias que permitieron culminar la tesis.

Al Mg. Wildor Gosgot Angeles, por compartir su experiencia y conocimiento en el tema de los paneles solares en la presente investigación científicas que impulsaron a innovar los paneles solares en el aspecto social, económico y ambiental para el desarrollo sustentable en la Región Amazonas y el Perú.

A todas las personas que directa o indirectamente me brindaron su apoyo con sus opiniones y sugerencias en la investigación.

*Fernando Isaac Espinoza Canaza*

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

**Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana**

**Rector**

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

**Vicerrector Académico**

**Dra. María Nelly Lujan Espinoza**

**Vicerrectora de Investigación**

**Dr. Efraín Manuelito Castro Alayo**

**Director de la Escuela de Posgrado**

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



# UNTRM

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

### ANEXO 6-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO ( ) / DOCTOR (X)

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Generación energética Sostenible con paneles Solares Monofaciales y Bifaciales en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza; cuyo autor Fernando Isaac Espinoza Camaza es estudiante del \_\_\_\_\_ ciclo/egresado (X) de la Escuela de Posgrado, Maestría ( ) / Doctorado (X) en Ciencias para el Desarrollo Sustentable, con correo electrónico institucional fernando.espinoza@untrm.edu.pe.



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, 15 de diciembre de 2022

Firma y nombre completo del Asesor  
Dra. MARIEL DEL ROCIO CHOTÓN CALVO.

**JURADO EVALUADOR DE LA TESIS**



---

**Ph.D. Ligia Magaly García Rosero**

**Presidenta**



---

**Dra. María Del Pilar Rodríguez Quezada**

**Secretaria**



---

**Ph.D. Rainer Marco López Lapa**

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



## ANEXO 6-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO ( ) / DOCTOR (X)

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

Generación energética sostenible con paneles solares Monofaciales y Bifaciales en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

presentada por el estudiante ( )/egresado (X) Fernando Isaac Espinoza Canaza.

de la Escuela de Posgrado, Maestría ( ) / Doctorado (X) en Ciencias para el Desarrollo Sostenible.

con correo electrónico institucional \_\_\_\_\_

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

- a) La citada Tesis tiene 18 % 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, 20 de Diciembre del 2022



  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 6-S

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO ( ) / DOCTOR ( )

En la ciudad de Chachapoyas, el día 22 de diciembre del año 2022, siendo las 15:00 horas, el aspirante Fernando Isaac Espinoza Canaza, Asesorado por Dra. Mariel del Rocío Chotón Galvo, defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: Generación energética sostenible con paneles solares monofaciales y bifaciales en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2021 para obtener el Grado Académico de Maestro ( ) / Doctor () en Ciencias para el Desarrollo Sostenible, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, conformado por:  
Presidente: PhDra. Ligia Magaly García Rosero  
Secretario: Dra. María del Pilar Rodríguez Quezada  
Vocal: PhD. Rainer Marco López Lepa



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y método, 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 de Maestría ( ) / Doctorado () en términos de:

A probado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) 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 17:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Grado Académico de Maestro ( ) / Doctor ( ).

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....  
.....

## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS .....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS.....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS .....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS .....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MATERIAL Y MÉTODOS .....	6
III. RESULTADOS .....	20
IV. DISCUSIÓN.....	48
V. CONCLUSIONES.....	53
VI. RECOMENDACIONES.....	55
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
VIII. ANEXOS.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del panel solar Monofacial - QCELLS .....	10
Tabla 2. Especificaciones del panel solar Bifacial - Canadian Solar.....	10
Tabla 3. Especificaciones técnicas del inversor SMA Sunny Tripower. ....	12
Tabla 4. Temperatura en el medio ambiente .....	22
Tabla 5. Temperaturas internas en las celdas fotovoltaicas de los paneles solares .....	23
Tabla 6. Velocidad del viento .....	23
Tabla 7. Nivel de Precipitación .....	24
Tabla 8. Nivel de humedad relativa.....	24
Tabla 9. Radiación solar por tipo de días.....	25
Tabla 10. Estado de la intensidad de la radiación solar .....	25
Tabla 11. Energía eléctrica producida por los paneles solares fotovoltaicos .....	27
Tabla 12. Rendimiento mensualizado de los sistemas de paneles fotovoltaicos. ....	30
Tabla 13. Eficiencia anual de los paneles solares fotovoltaicos Monofaciales. ....	31
Tabla 14. Eficiencia anual de los paneles solares fotovoltaicos Bifaciales.....	32
Tabla 15. Eficiencia energética épocas de lluvia - paneles solares fotovoltaicos Monofaciales .	33
Tabla 16. Eficiencia energética en épocas de lluvia - paneles solares fotovoltaicos Bifaciales...	34
Tabla 17. Eficiencia energética en época seca - paneles solares fotovoltaicos Monofaciales ....	34
Tabla 18. Eficiencia energética en época seca - paneles solares fotovoltaicos Bifaciales.....	35
Tabla 19. Proyección de la generación de energía eléctrica.....	36
Tabla 20. Costo de inversión de los sistemas fotovoltaicos.....	38
Tabla 21. Costo de operación y mantenimiento para los paneles solares fotovoltaicos .....	39
Tabla 22. Proyección de ingresos económicos de los paneles solares Monofacial .....	40
Tabla 23. Proyección de ingresos económicos de los paneles solares Bifaciales.....	41
Tabla 24. Proyección del costo nivelado de energía (LCOE) .....	42
Tabla 25. Valor neto presente en los sistemas fotovoltaicos según la tasa de descuento .....	44
Tabla 26. Mitigación del CO <sub>2</sub> por los sistemas de paneles solares fotovoltaicos.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.....	6
Figura 2. Metodología de estudio. ....	7
Figura 3. Instalación y configuración física y eléctrica de los paneles Monofaciales.....	8
Figura 4. Instalación y configuración física y eléctrica de los paneles solares Bifaciales. ....	9
Figura 5. Inversor SMA – Sunny Tripower 15000TL.....	11
Figura 6. Esquema de monitoreo adquisición de datos energético de los paneles solares .....	13
Figura 7. Diagrama para la adquisición de datos de temperatura (Carhuavilca, 2020) .....	13
Figura 8. Circuito para la adquisición de datos temperatura (Carhuavilca, 2020) .....	14
Figura 9. Interfaz para la visualización completa de datos registrados (LabView). ....	15
Figura 10. Ubicación e instalación de los sistemas de paneles solares – Sede administrativa ...	20
Figura 11. Montaje de los paneles solares y equipos sobre estructuras metálica (parking) .....	21
Figura 12. Instalación de los dos inversores SMA – Tripower 15000TL (parte superior) .....	21
Figura 13. Comportamiento de la energía solar durante los 365 días evaluados. ....	26
Figura 14. Variación mensual en la conversión de la generación eléctrica. ....	28
Figura 15. Cielo con presencia de sombra por nubes y cielo totalmente despejado.....	28
Figura 16. Rendimiento o coeficiente mensualizado de los paneles solares fotovoltaicos. ....	29
Figura 17. Rendimiento o coeficiente energético anual.....	32
Figura 18. Tendencia en la generación de energía eléctrica – paneles Monofaciales (Elaboración propia).....	37
Figura 19. Tendencia en la generación de energía eléctrica – paneles Bifaciales (elaboración propia).....	37
Figura 20. Proyección del costo nivelado de energía (LCOE) .....	41
Figura 21. Valor neto presente de los sistemas fotovoltaicos y tasa de descuento .....	43
Figura 22. Tasa de interés de retorno (TIR) de las inversiones de los sistemas fotovoltaicos. ...	45
Figura 23. Periodo de recuperación de la inversión - PRI .....	45
Figura 24. Mitigación de CO <sub>2</sub> por los sistemas de paneles solares fotovoltaicos .....	46

## RESUMEN

Se tuvo como *objetivos* evaluar la eficiencia energética, la viabilidad económica y el impacto ambiental de paneles solares fotovoltaicos Monofaciales y Bifaciales. *Metodología*, se ha tomado el arreglo de 42 paneles Monofaciales con área total de 81.58 m<sup>2</sup> y de 50 Bifaciales con área de 84.12 m<sup>2</sup> ubicados sobre una estructura metálica, con inclinación de 15° Norte localizado, Chachapoyas, Amazonas, con altura de 2326 m.s.n.m. Las variables atmosféricas y climáticas se extrajeron de la estación meteorológica INDES-CES, el estudio abarcó de mayo 2021 a abril 2022. *Resultados* obtenidos en la generación energética anual en paneles Monofaciales fue 19,185.29 kWh/m<sup>2</sup> y 17,257.83 kWh/m<sup>2</sup> en Bifaciales, con radiación solar acumulada de 1,631.18 kWh/m<sup>2</sup> y HSP de 4.46 kWh/m<sup>2</sup> en promedio; la eficiencia energética en paneles Monofaciales alcanzó 74.68 % y 66.12 % los Bifaciales; en la viabilidad económica, el tiempo de recuperación de la inversión, se estimó 9.45 año para Bifaciales y 8.49 años para Monofaciales, con vida útil de 25 años, y tasa de degradación real de 0.6 % anuales; con respecto al impacto ambiental, por la producción de energía eléctrica útil por 25 años, los Bifaciales mitigarían 195,280.81 toneladas de CO<sub>2</sub> y 194,793.86 toneladas de CO<sub>2</sub> los Monofaciales. *Conclusión*: las condiciones climáticas y atmosféricas de cada lugar geográfico impactan el rendimiento energético en los paneles solares.

**Palabras claves:** Radiación solar, Eficiencia, Viabilidad Económica.

## ABSTRACT

The objectives were to evaluate the energy efficiency, economic viability and environmental impact of Monofacial and Bifacial photovoltaic solar panels. Methodology, the arrangement of 42 Monofacial panels with a total area of 81.58 m<sup>2</sup> and 50 Bifacial panels with an area of 84.12 m<sup>2</sup> located on a metallic structure, with an inclination of 15° North located, Chachapoyas, Amazonas, with a height of 2326 m.s.n.m. The atmospheric and climatic variables were extracted from the INDES-CES weather station, the study covered from May 2021 to April 2022. Results obtained in the annual energy generation in Monofacial panels was 19,185.29 kWh/m<sup>2</sup> and 17,257.83 kWh/m<sup>2</sup> in Bifacials, with radiation accumulated solar of 1,631.18 kWh/m<sup>2</sup> and HSP of 4.46 kWh/m<sup>2</sup> on average; the energy efficiency in Monofacial panels reached 74.68% and 66.12% in Bifacials; in economic roads, the investment recovery time was estimated at 9.45 years for Bifacials and 8.49 years for Monofacials, with a useful life of 25 years, and a real degradation rate of 0.6% per year; Regarding the environmental impact, for the production of energy for 25 years, Bifacials would mitigate 195,280.81 tons of CO<sub>2</sub> and 194,793.86 tons of CO<sub>2</sub> for Monofacials. Conclusion: the climatic and atmospheric conditions of each geographical location impact the energy performance of solar panels.

**Keyword:** Solar radiation, Efficiency, Economic viability.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La energía solar es fuente de energía renovable abundante e inagotable, proveniente del sol. Esta energía se presenta en forma de radiación electromagnética, que llega a la capa exterior de la atmósfera como irradiancia, cuya potencia promedio es  $1,367 \text{ W/m}^2$ , llamada potencia radiante y se reduce en promedio a  $1000 \text{ W/m}^2$ , al llegar a la corteza terrestre; esta atenuación es debido a los gases atmosféricos, el vapor de agua y las partículas de polvo (Cantos Serrano, 2021).

En los últimos años la energía solar ha tenido grandes aplicaciones a nivel mundial, en 2018 la capacidad de energía solar fotovoltaica en el mundo alcanzó los 505 GW (aproximadamente el 2,4 % de la electricidad mundial), siendo los países de China, Estados Unidos, Japón, Alemania e India, líderes en capacidad solar fotovoltaica (REN21, 2021). Además, se ha vuelto muy atractiva por la eficiencia en los paneles solares, gracias a las innovaciones tecnológicas y se proyecta a futuro como energía limpia, sostenible y amigable con el medio ambiente (Burhan, Wakil Shahzad, & Choon, 2017).

La energía solar fotovoltaica, está basada en el efecto fotoeléctrico que convierte la energía solar en energía eléctrica, y ha tenido avances tecnológicos significativos como una alternativa para la generación a gran escala de energía eléctrica en el mundo, muy aparte de las centrales hidroeléctricas; muchos gobiernos de diversos países, apoyan con subsidios para el desarrollo de la capacidad fotovoltaica, tal es así que en el año 2009 la energía acumulada llegó a 23 GW, y en 2019 a 627 GW (Gu, Li, Liu, Chen, & Zhang, 2020).

Por ello, la demanda energética se viene incrementando notablemente a nivel mundial, en parte por el crecimiento poblacional, el desarrollo tecnológico y de la economía global (Kannan & Vakeesan, 2016). Para sustentar la demanda energética mundial, se explota tradicionalmente los recursos energéticos naturales no renovables, como el petróleo, carbono y el gas natural, y que en su proceso de combustión emiten gases de efecto invernadero (GEI) hacia la atmósfera y al medio ambiente, ocasionando que influyan gradualmente al cambio climático (Caliskan, 2017).

Y, como una alternativa para evitar este impacto negativo, se desarrollaron sistemas energéticos con las energías renovables, los cuales demuestran ser amigables con el medio ambiente y contribuir con el desarrollo sostenible (Hevia-Koch & Ladenburg, 2019). Las más prometedores son la energía eólica y la energía solar fotovoltaica, por ser provenientes de fuentes naturales abundantes e inagotables como son los vientos y la energía solar; éstas dos fuentes de energías renovables, podrían sustentar el 30 % de la demanda energética mundial (AIE, 2021).

Por ello, la ciencia y la investigación tecnológica, vienen desarrollando tecnologías desde varios años, en paneles solares fotovoltaicos Monofaciales. Sin embargo, con la investigación tecnológica, desde el año 2018 se viene incrementado la fabricación de los paneles solares Bifaciales, y se pronostica que para el 2021 se incrementará alrededor del 30 % en el mercado mundial. Los paneles solares Bifaciales tienen la particularidad de energía solar por la parte frontal y por el reverso, y la eficiencia energética puede aumentar del 5 % al 30 % en una misma área (Padrón Suárez, Gutiérrez Urdaneta, Hidalgo González, & De la Incera Núñez, 2020).

Por lo que ambas tecnologías de paneles fotovoltaicos, son alternativas para lugares donde la extensión de la red eléctrica pública es costosa y de difícil acceso para la transmisión y distribución eléctrica, además el costo de la generación eléctrica en las centrales hidroeléctricas está asociado con daños al medio ambiente con la emisión de CO<sub>2</sub>; sin embargo, los sistemas fotovoltaicos se presentan como una alternativa tecnológicamente viable, económicamente rentable y amigables con el medio ambiente (Petrakopoulou, Robinson, & Loizidou, 2016).

Existen diferentes tecnologías para la fabricación de las células o celdas solares fotovoltaicas y se clasifican en **primera generación**, basado en silicio monocristalino, policristalino y arseniuro de galio. (GaAs), estas células solares **monocristalinas** llegan a tener eficiencias entre 15 % a 20 % y las células **policristalinas**, en promedio la eficiencia oscila entre el 13 % al 16 %. **Segunda generación (2GEN)**, son películas delgadas de silicio amorfo (a-Si) y silicio microcristalino (μc-Si) cuyas tasas de eficiencia se encuentran entre el 21.7 % al 23.4 %. **Tercera generación (3GEN)**, son innovaciones celulares de tecnologías emergentes, y la tasa de eficiencia para este grupo varía entre el 20.0 %, 40,0 % y superiores al 50,0 %, y la **Cuarta generación (4GEN)**, conocidos también como inorgánico-en-orgánico (Híbrido) porque combina el bajo costo y la

flexibilidad de las películas delgadas de polímero con la estabilidad de las nanoestructuras orgánicas como las nanopartículas metálicas y los óxidos metálicos o los nanotubos de carbono y el grafeno (Neeraj & Pushpendra, 2022).

Una variable muy importante es la radiación de la energía solar, lo que incide de tres formas sobre los paneles solares fotovoltaicos (Hervas Moreira & Moscoso Noroña, 2015), conocidas como: **radiación directa**, es la energía solar que incide directamente sobre el panel solar, viene a ser la mayor cantidad para la conversión a energía eléctrica; **radiación difusa**, es la energía que procede de la atmósfera e incide en los paneles solares como consecuencia de la reflexión y difracción de la radiación solar directa y **radiación del albedo o reflejada**, es la energía reflejada que procede del suelo y de otros objetos, es decir es una proporción de la radiación solar incidente proveniente de las montañas, lagos, suelo y otras superficies (pisos, asfaltos, jardines, nieve, árboles y otros); y la suma de estos tres tipos de radiación solar, da lugar a la radiación solar total recibida por un panel solar fotovoltaico.

Y, según la latitud, es importante considerar la orientación del panel solar fotovoltaico para que reciba la mayor proporción de los rayos solares, lo que facilitará el aumento de la eficiencia energética. Los rayos solares deben incidir de forma perpendicular a la superficie del panel, y los paneles solares deben estar orientados con respecto a la línea ecuatorial (latitud norte o latitud sur, dependiendo siempre del hemisferio terrestre en el que se instalen); para los sitios ubicados en el hemisferio sur, los paneles deben orientarse hacia el norte y para los sitios ubicados en el hemisferio norte, los paneles deben orientarse hacia el sur, es decir el lado norte del panel levantado con cierta inclinación (Salazar Espinoza, 2017). Por lo que los ángulos de *que intervienen*, para la determinación de la irradiación total sobre la superficie de los paneles solares fotovoltaicos (Alvarez Lozano, 2017), son: **ángulo de la hora solar**: que es equivalente a  $15^\circ$  ( $360^\circ/24$  horas), el **ángulo de declinación solar**: se forma entre la trayectoria Sol – Tierra y el plano ecuatorial, siendo el rango límite entre  $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$  (trópico de Cáncer en el hemisferio norte y trópico de Capricornio en el hemisferio sur); el **ángulo azimut**: se considera a partir del norte (N) en sentido de las agujas del reloj formando una circunferencia de  $360^\circ$ , donde  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  que son los puntos cardinales.

Los parámetros fundamentales sobre los que se basan los fabricantes para evaluar la eficiencia de los paneles solares, se denomina *Condiciones Estándares de Medida* (CEM)

o en inglés: *Standard Test Conditions (STC)*, que consiste en aplicar a los paneles solares en el laboratorio:  $1000 \text{ W/m}^2$  de irradiancia (hora solar pico),  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura interna en las celdas de los paneles y una distribución espectral de masa de aire (AM) de 1.5 G.

Para la irradiación solar en las horas solar pico (HSP), equivale a  $1000 \text{ W/m}^2$  constante en un lugar específico, sin embargo, en el campo real (Guevara, 2003), la intensidad de la irradiancia solar, se presenta para los días nublados, con potencias que oscila entre 0 a  $600 \text{ W/m}^2$ , para los días combinados la potencia esta entre 600 a  $800 \text{ W/m}^2$  y para los días soleados, la potencia puede ser mayores a  $800 \text{ W/m}^2$ .

Por lo tanto, los paneles solares pueden disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), considerando que alrededor del 55 % de la población mundial se concentra en las ciudades urbanas y se pronostica que para el año 2050 el crecimiento de la población alcance alrededor del 68 % y para el 2100 la población alcance los 10,9 mil millones de habitantes, esto significa que las zonas urbanas demandarán mayor consumo de electricidad, y se incrementará las emisiones de gases de efecto invernadero (Ahmed Gassar & Cha, 2020), por lo que los paneles solares fotovoltaicos son un alternativa.

En la actualidad, la eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos Monofaciales comerciales, lograron aumentar al 22.8 % (según la empresa Sun Power), y a escala de laboratorio alcanzaron niveles de eficiencia superiores al 40 % (Peng, Herfatmanesh, & Liu, 2017), y para el caso de los paneles Bifaciales, pueden incrementar su rendimiento energético entre el 5 % al 30% en comparación con los módulos Monofaciales (Yin, Zhou, Sun, & Tang, 2021). Por lo tanto, los paneles solares Bifaciales, por el efecto del albedo, ángulo de inclinación y la orientación apropiada, la ganancia puede mejorar en un 7.6 % en hierbas, 15 % en la arena y 29.2 % en la nieve, y la producción de energía total podría incrementarse entre el 12.94 % al 16,94 % más de electricidad que los módulos Monofaciales (Gu, Li, Liu, Chen, & Zhang, 2020).

Otro factor que impacta en la eficiencia del rendimiento energético de los paneles fotovoltaicos Monofaciales y Bifaciales, es la temperatura interna en las celdas fotovoltaicas, muy al margen de la temperatura ambiente en cada zona geográfica en donde estén localizados los paneles, las investigaciones confirman que los paneles solares fotovoltaicas al enfriadas con agua y líquidos refrigerantes pueden mejorar efectivamente la eficiencia de los paneles solares entre el 12 %, 15 %, 17 %, 30 % hasta un 60 % respectivamente (Peng, Herfatmanesh, & Liu, 2017).

Dentro de un estudio realizado para la evaluación de la sostenibilidad económica, se consideraron: *categoría tecno-económica*, *categoría ambiental* y *categoría social*, y para ello se analizaron los sistemas fotovoltaicos solares multi-silicio que consideraron como la opción más sostenible por su alto rendimiento en las categorías tecno-económica y medioambiental; por lo que es importante considerar la selección de las tecnologías de los paneles solares fotovoltaicos para que sean viables desde la perspectiva económica, ambiental y social (Li, Roskilly, & Wang, 2017).

Para la evaluación de la sostenibilidad económica, para los módulos solares fotovoltaicos, se tiene que considerar el costo por kilovatio-hora, y según las nuevas tecnologías se viene reduciendo de \$ 3.50/kWh para las células solares de primera generación a \$ 1.0/kWh para las células solares de segunda generación y se espera que disminuya por lo menos a \$ 0,50/kWh en los próximos años, por la innovación de nuevas tecnologías para los sistema fotovoltaico de red aislada (Off Grid) (Pandey, Tyagi, Jeyraj, & Selvaraj, 2015).

La presente investigación es única en la macro región norte, por lo que contribuirá en la generación de nuevos conocimientos y resultados técnicos para brindará información real y relevante del comportamiento de los paneles solares Monofaciales y bifaciales bajo las condiciones atmosféricas y climáticas de Chachapoyas, por ello los objetivos de la investigación involucran en determinar la eficiencia energética, la viabilidad económica y el impacto al medio ambiente. Asimismo, los resultados que se obtengan en el estudio permitirán a los fabricantes innovar y mejorar el diseño de los paneles solares, y para el caso de los usuarios finales les permitirá seleccionar las mejores opciones para su adquisición e implementación con paneles solares fotovoltaicos de acuerdo a su zona geográfica donde se espera instalar los sistemas de paneles solares.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Diseño experimental

#### 2.1.1 Localización del área de implementación de los sistemas fotovoltaicos

El estudio se llevó a cabo en la ciudad de Chachapoyas, en el campus de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (Figura 1), en el parqueo de vehículos de la sede administrativa donde están localizados los sistemas de paneles solares fotovoltaicos. Las condiciones ambientales presentadas con promedio anual, en la temperatura del medio ambiente fue de 17 °C, humedad relativa de 60 % y con una radiación solar entre 5.5 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup>/día; con elevación de 2,350 m.s.n.m. y las coordenadas geográficas del ámbito de estudio son: 6°13'49.73" S y 77°51'16.8" O.

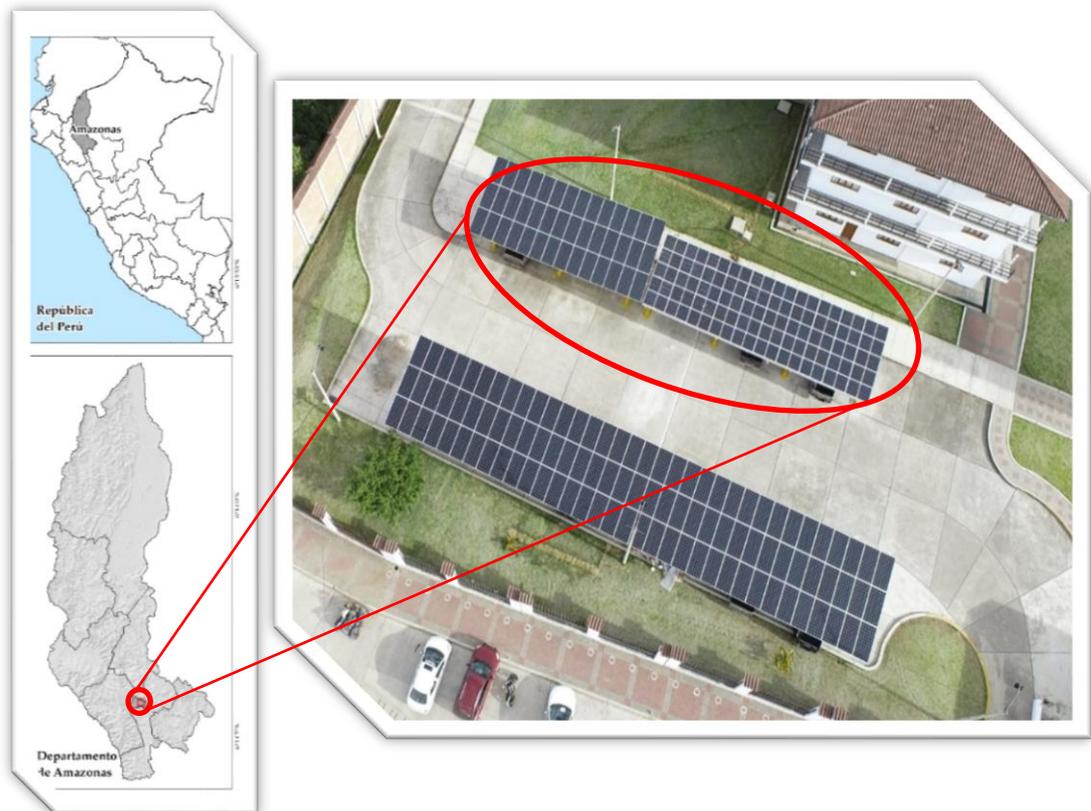


Figura 1. Localización del área de estudio.

Ambos sistemas de paneles solares fotovoltaicos están implementados sobre estructuras metálicas de aluminio, especialmente diseñadas para ello; por lo general esta zona es utilizada para el parqueo de vehículos automotores. Toda la estructura de soporte está asegurada sobre una cimentación de concreto a fin de mantener la estabilidad frente a vientos fuertes o lluvias torrenciales que se puedan presentar durante el año.

## 2.2 Metodología

En el esquema de la Figura 2, se ilustra la metodología seguida, consistente en: el procedimiento para la adquisición de datos, análisis de datos, evaluación de la eficiencia del rendimiento energético, viabilidad económica, costo de nivelado de energía, el valor neto presente, la tasa interna de retorno, el periodo de recuperación de la inversión y el impacto ambiental de los paneles solares; así como los equipos y materiales utilizados.

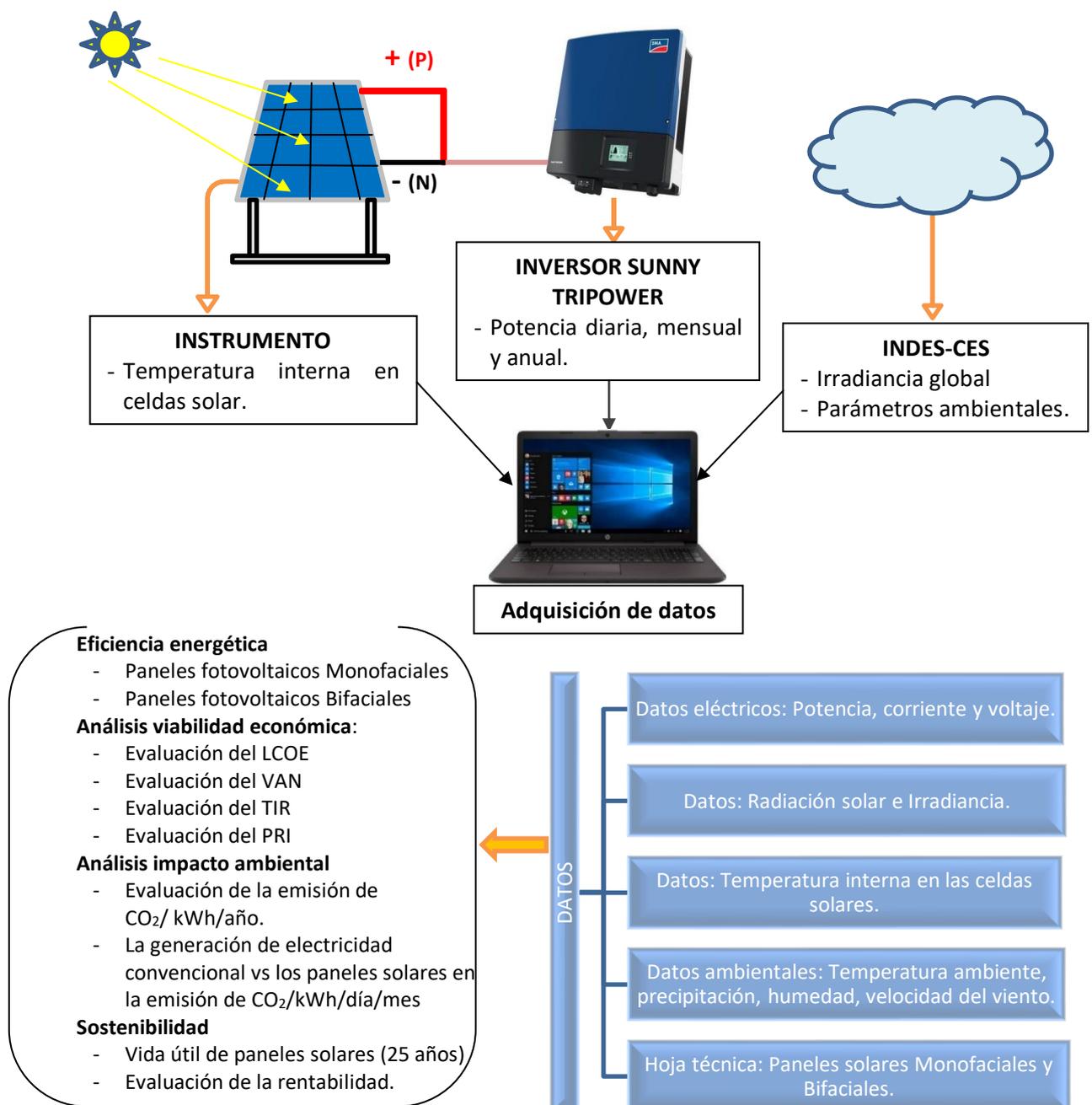


Figura 2. Metodología de estudio.

### 2.2.1 Diseño eléctrico e instalación de los sistemas fotovoltaicos

En los diagramas siguientes que se ilustran en la Figura 3 y Figura 4, se detallan las configuraciones físicas e instalación eléctrica de los paneles solares QCells<sup>1</sup> (Monofaciales) y Canadian Solar<sup>2</sup> (Bifaciales).

#### Sistema de paneles fotovoltaicos Monofaciales

Para el caso del sistema de paneles solares Monofaciales, se utilizaron en total 42 módulos fotovoltaicos, con celdas de tipo monocristalino (Monoperc), cada módulo o panel con dimensiones de 1960 mm x 941 mm x 35 mm y distribuidos en tres arreglos de 14 paneles en serie cada uno; siendo cada arreglo con potencia nominal de 5.25 kW<sub>p</sub>, y totalizando todo el sistema la potencia nominal de 15.75 kW<sub>p</sub>. En la Figura 3, se ilustra la distribución y montaje eléctrico de los 42 paneles solares.

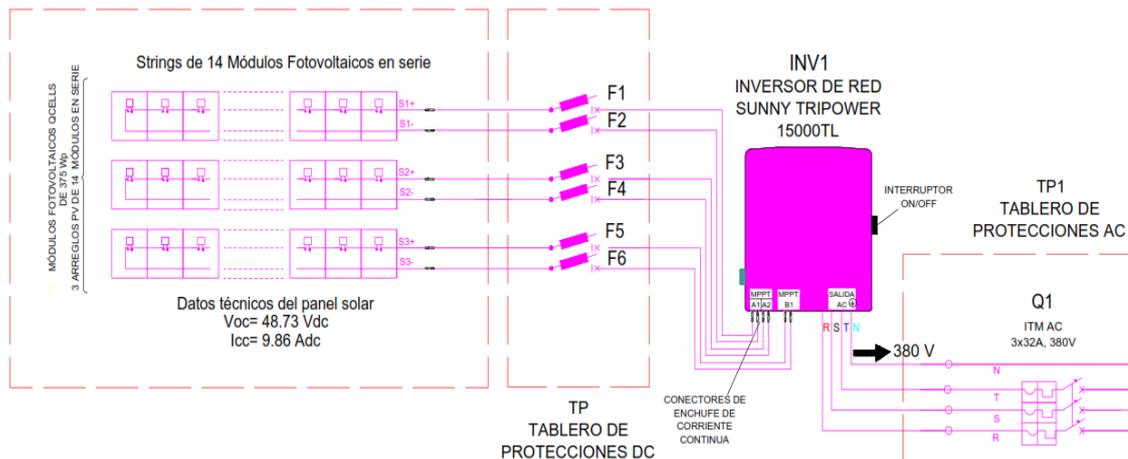


Figura 3. Instalación y configuración física y eléctrica de los paneles Monofaciales.

#### Sistema de paneles fotovoltaicos Bifaciales

Para el sistema de paneles solares Bifaciales, se utilizó en total 50 módulos fotovoltaicos con celdas de tipo monocristalino, cada módulo con dimensiones de 1696 mm x 992 mm x 30 mm, distribuidos en dos arreglos de 13 paneles en serie cada uno, siendo cada arreglo de potencia nominal de 4.16 kW<sub>p</sub>, y otros dos arreglos de 12 paneles en serie, cada uno con potencia nominal de 3.84 kW<sub>p</sub>, totalizando todo el sistema la potencia nominal de 16.0 kW<sub>p</sub>. En la Figura 4, se ilustra la distribución y montaje eléctrico de los 50 paneles solares.

<sup>1</sup> Marca de panel solar del tipo Monofacial de procedencia alemana (<https://es.q-cells.com/>)

<sup>2</sup> Marca de panel solar del tipo bifacial de procedencia alemana. (<https://www.canadiansolar.com/>)

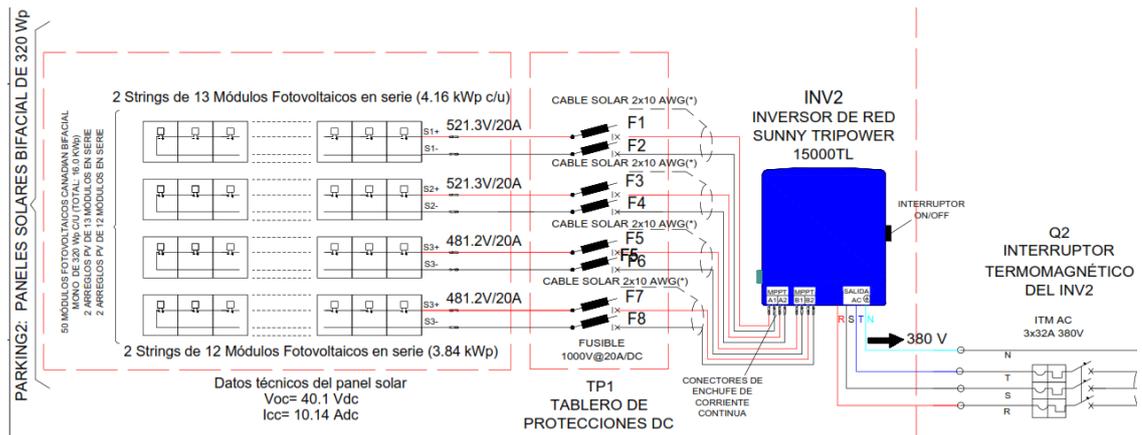


Figura 4. Instalación y configuración física y eléctrica de los paneles solares Bifaciales.

Cada uno de los sistemas de paneles solares fueron instalados de manera separada con sus respectivos inversores SMA<sup>3</sup> de modelo Sunny Tripower de 15000 TL trifásico de 380 VAC conectados a la red eléctrica interna a través de un interruptor termomagnético ubicado dentro de un tablero eléctrico, y nominalmente ambos sistemas aportarían nominalmente la potencia total de 31.75 kWp.

### 2.2.2 Especificaciones técnicas de los componentes de los sistemas fotovoltaico

Para determinar las características o especificaciones técnicas de los valores nominales para los paneles solares, los fabricantes se basan en la norma IEC60904-3 que especifican las condiciones de prueba estándar (STC) en laboratorio, donde la irradiancia se considera de  $1000 \text{ W/m}^2$ , a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  de temperatura interna de las celdas fotovoltaicas que están dentro de los paneles solares y el coeficiente de masa de aire de 1.5 AM (espesor de la atmosfera).

#### Panel solar – Modelo Q. PEAK L-G5.0.G-375 (QCells).

Los paneles solares, tiene las siguientes características técnicas, son paneles solares monocristalino con eficiencia de 19.3 %, con potencia nominal de 375 Wp; al menos se estima la potencia nominal del 97 % durante el primer año, y a partir de entonces habrá una degradación máxima del 0,6 % por año, y proporcionará por lo menos el 92.0 % de su potencia nominal durante los primeros 10 años, y por los 25 años se espera que proporcione al menos el 83.0 % de su potencia nominal. En la Tabla 1, se detallan las especificaciones técnicas del panel solar QCELLS Monofacial.

<sup>3</sup> Compañía proveedora de inversores para paneles solares fotovoltaicos (<https://www.sma.de/>)

Tabla 1. Especificaciones del panel solar Monofacial - QCELLS

<b>Panel solar Monocristalino – Q. PEAK L-G5 375 – QCELLS</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valores nominales</b>	
Potencia máxima (P <sub>máx</sub> )	P <sub>MPP</sub>	375 W
Corriente máxima de operación	I <sub>MPP</sub>	9.42 A
Voltaje máximo de operación	V <sub>MPP</sub>	39.80 V
Voltaje en circuito abierto	V <sub>oc</sub>	48.73 V
Corriente en corto circuito	I <sub>sc</sub>	9.86 A
Eficiencia del panel solar	$\eta$	19.3 %
Voltaje máximo del sistema fotovoltaico	V <sub>sys</sub>	IEC 1000 V
Tasa de degradación de rendimiento/año	-	0.6 %
Rango de temperatura de operación	-	- 40 °C a 85 °C
Tiempo de vida útil según fabricante	-	25 años

Fuente: Datasheet<sup>4</sup> del fabricante QCELLS.

### **Panel solar: Modelo CS3K-310MB-AG (Bifaciales)**

Estos paneles solares son del tipo monocristalino, con eficiencia de 19.02 % y potencia nominal de 320 Wp; el fabricante garantiza que la potencia real no será menor al 97.5 % durante el primer año, y después del segundo año hasta los 25 años la disminución o degradación de la potencia real no será superior al 0.6 % por año. Al final del año 25 la potencia de salida real no será inferior al 83.1 % de la potencia de salida establecida. En la Tabla 2, se detallan las especificaciones técnicas del panel solar Bifacial del tipo monocristalino Canadian Solar.

Tabla 2. Especificaciones del panel solar Bifacial - Canadian Solar

<b>Panel solar Monocristalino – Canadian Solar CS3K-320 MB-AG</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Valores nominales</b>	
Potencia máxima (P <sub>máx</sub> )	P <sub>max</sub>	320 W
Corriente máxima de operación	I <sub>mp</sub>	9.62 A
Voltaje máximo de operación	V <sub>mp</sub>	33.3 V
Voltaje en circuito abierto	V <sub>oc</sub>	40.1 V
Corriente en corto circuito	I <sub>sc</sub>	10.14 A
Eficiencia del módulo panel solar	$\eta$	19.02 %
Ganancia adicional en la parte posterior	-	5 % a 30 %
Voltaje máximo del sistema fotovoltaico	V <sub>sys</sub>	IEC 1500 V
Tasa de degradación de rendimiento/año	-	0.6 %
Rango de temperatura de operación	-	- 40 °C a 85 °C
Tiempo de vida útil según fabricante	-	25 años

Fuente: Datasheet del fabricante Canadian Solar.

Otros parámetros importantes que se consideraron para evaluar el rendimiento energéticos para ambos tipos de paneles solares fueron las condiciones ambientales:

<sup>4</sup> Hoja técnica que detalla las especificaciones y características del producto.

como el nivel de la irradiancia, la temperatura del medio ambiente, la temperatura en el interior en las celdas solares fotovoltaicas, la velocidad del viento, la precipitación y la humedad relativa, estos factores pueden sumar o restar el rendimiento energético en ambos tipos de paneles fotovoltaicos; es así que se observó que a mayor irradiancia aumenta el voltaje y corriente, y a mayor temperatura interna en las celdas solares disminuye la generación de voltaje y corriente.

### **Características del inversor**

La energía solar captada por los paneles solares es convertida mediante el inversor DC/AC de energía eléctrica DC a energía eléctrica AC para ser inyectada en la red eléctrica interna (Scarabelot, Rambo, & Rampinelli, 2018). El tipo de inversor y las pérdidas afectan el rendimiento de toda la planta fotovoltaica, y la eficiencia de conversión CC/CA depende primordialmente de la potencia relativa del inversor, considerando que la potencia relativa es la relación entre la potencia instantánea y la potencia nominal; y cuanto mayor sea la potencia nominal del inversor, menores serán las pérdidas (Yilmaz & Dincer, 2017), y la eficiencia óptima debe estar en alrededor del 98 % de la potencia media. En el presente estudio se utilizó dos inversores independientes del fabricante *SMA Solar Technology AG*, modelo Sunny Tripower 15000TL (Figura 5), y en la Tabla 3, se detallan las especificaciones técnicas.



Figura 5. Inversor SMA – Sunny Tripower 15000TL

Tabla 3. Especificaciones técnicas del inversor SMA Sunny Tripower.

<b>Inversor SMA Sunny Tripower 15000TL</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Valores nominales</b>
<b>Entrada DC – corriente continua</b>	
Máxima potencia DC	15330 W
Máximo voltaje de entrada	1000 V
Rango de voltaje MPP	240 V a 800 V
Voltaje mínimo de entrada	150 V
Voltaje mínimo de inicio o arranque	188 V
Máxima corriente de entrada A / entrada B	33 A / 33 A
Número de entradas independiente de MPP	2
String (arreglo) de entradas por MPP	A: 3 / B: 3
<b>Salida AC – corriente alterna</b>	
Potencia nominal (a 230 V y 50 Hz)	15000 W
Potencia máxima aparente en AC	15000 VA
Voltaje nominal AC	3/N/PE;220V/380V
Rango de voltaje AC	180 V a 280 V
Rango de frecuencia de red / rango	60Hz / 54Hz–65Hz
Máxima corriente de salida / corriente nominal de salida	29 A / 21.7 A
Factor de potencia nominal	1
Fases de alimentación / fases de conexión	3 / 3
<b>Eficiencia</b>	
Eficiencia máxima	98.4 %
<b>Parámetros ambientales</b>	
Rango de temperatura de operación	- 25 °C a 60 °C
Máxima humedad relativa (sin condensación)	100 %

Fuente: Datasheet del fabricante SMA - Sunny Tripower.

## 2.3 Sistema de adquisición de datos: Eléctricos y Meteorológicos

### 2.3.1 Sistema de adquisición de datos eléctricos

Para la adquisición y monitoreo energético de las dos plantas de paneles solares instaladas, se presenta el esquema de la Figura 6, donde el componente principal son los dos inversores *Tripower*; éstos últimos realizan dos funciones: uno es la conversión de la corriente continua (DC) a corriente alterna útil (AC), que pasa a los interruptores electromagnéticos trifásicos, y la otra función es registrar todos los parámetros energéticos de la conversión de la energía solar en electricidad por los paneles solares; los datos de ambas funciones son centralizados en el sistema de monitoreo Home Manager 2.0 para ser visualizado remotamente a través del aplicativo *Sunny Portal* mediante una conexión a internet.

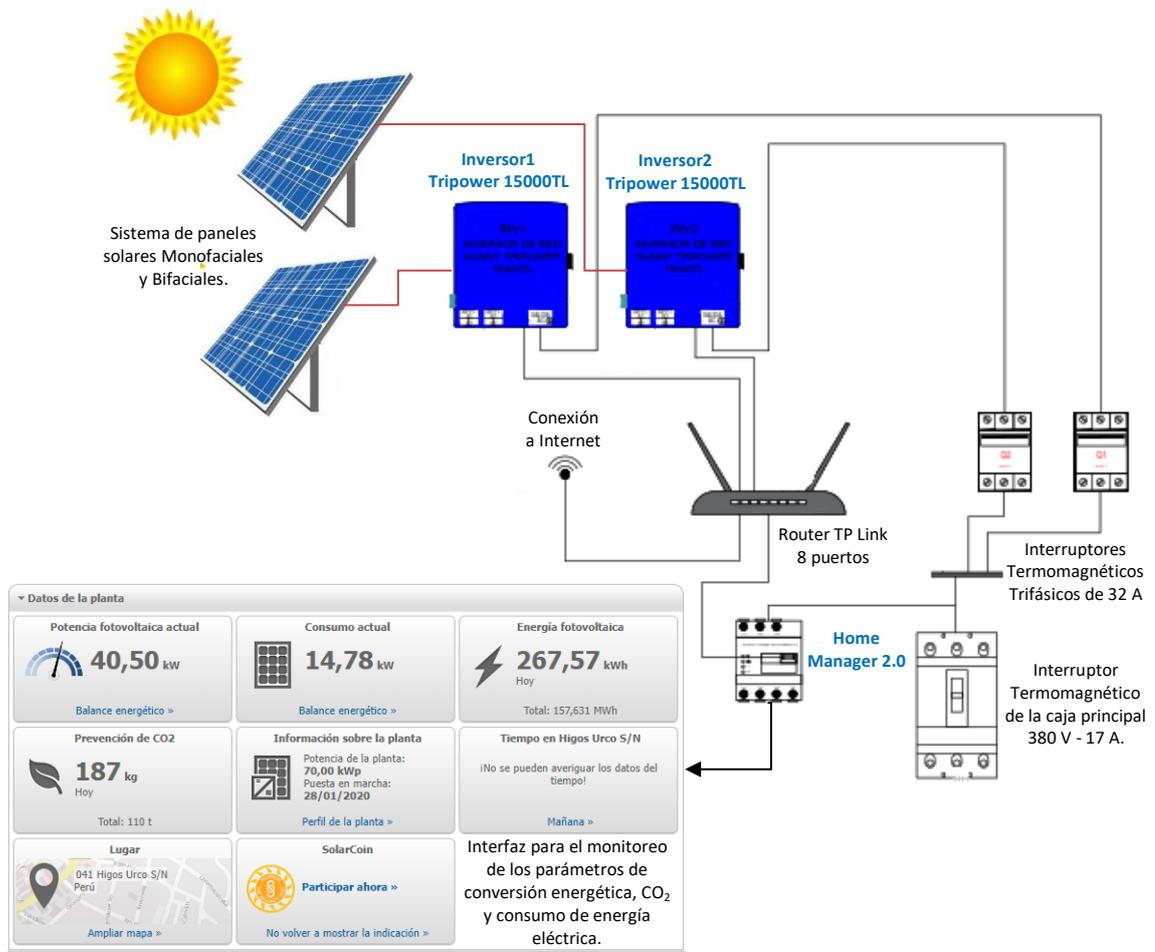


Figura 6. Esquema de monitoreo adquisición de datos energético de los paneles solares Interface Home Manager 2.0 - SMA

### 2.3.2 Sistema de adquisición de datos de la temperatura interna en los paneles

El proceso de adquisición de datos para la temperatura interna de los paneles solares se muestra en las Figuras 7 y 8.

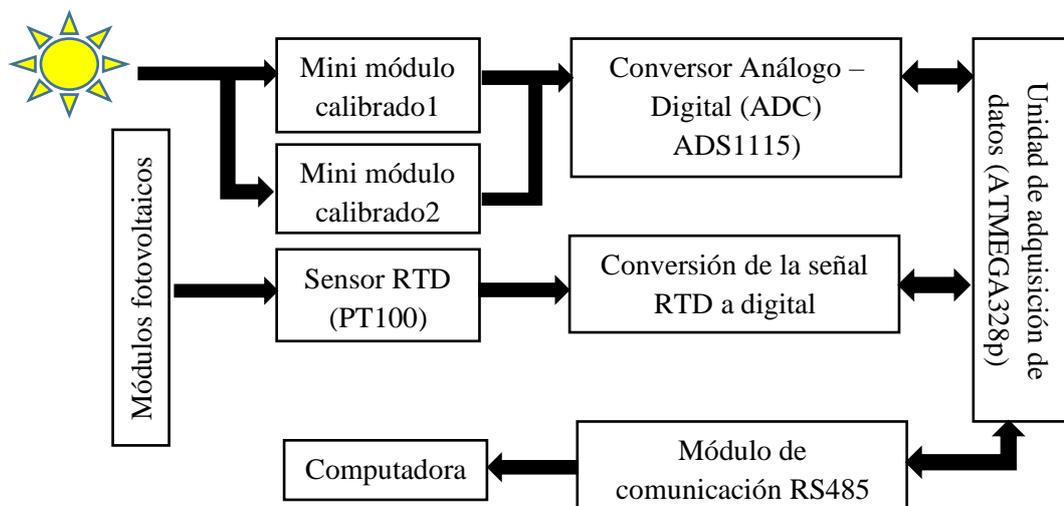


Figura 7. Diagrama para la adquisición de datos de temperatura (Carhuavilca, 2020)

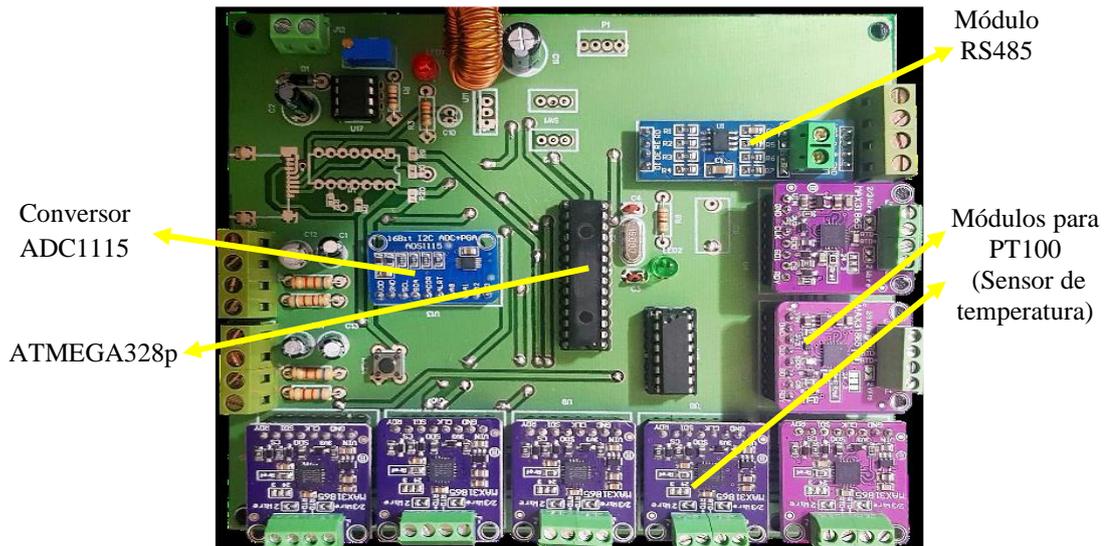


Figura 8. Circuito para la adquisición de datos temperatura (Carhuavilca, 2020)

Dichas figuras detallan el registro de la toma de datos de la temperatura interna de las celdas solares, para ello se emplearon cuatro sensores de temperatura del tipo PT100, los cuales fueron ubicados de la siguiente manera: dos sensores debajo de uno de los paneles solares Monofaciales (un sensor en el punto medio y el otro en uno de los extremos) e igualmente con la misma configuración se ubicaron dos sensores de temperatura para los paneles Bifaciales, estos datos fueron centralizados mediante una conexión serial a través del módulo de comunicación RS485 hacia una computadora en donde se registró y almacenó los datos y a su vez se puede visualizar gráficamente a través de una interfaz con el aplicativo LabVIEW el comportamiento de las temperaturas. Y, para la adquisición de datos de las variables atmosféricas y climáticas (velocidad del viento, precipitación, humedad, temperatura ambiente y radiación solar), se recurrió a la estación meteorológica localizado en las instalaciones del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) en el campus universitario.

En la Figura 9, en la imagen de la izquierda se pueden apreciar la visualización de las curvas generadas sobre el comportamiento de la radiación solar durante el día, para este caso la curva celeste represente la energía ( $w/m^2$ ) de la radiación solar directa que incide sobre los paneles solares, y la curva verde representa la energía ( $w/m^2$ ) de la radiación solar reflejada (albedo) del suelo hacia los paneles posteriores de los paneles Bifaciales, y la imagen del lado derecho representan las temperaturas internas registradas en los paneles solares Monofaciales y Bifaciales, asimismo se puede apreciar el registro de datos numéricos los que son almacenado en un tabla en Excel para su procesamiento y análisis posterior respectivamente.

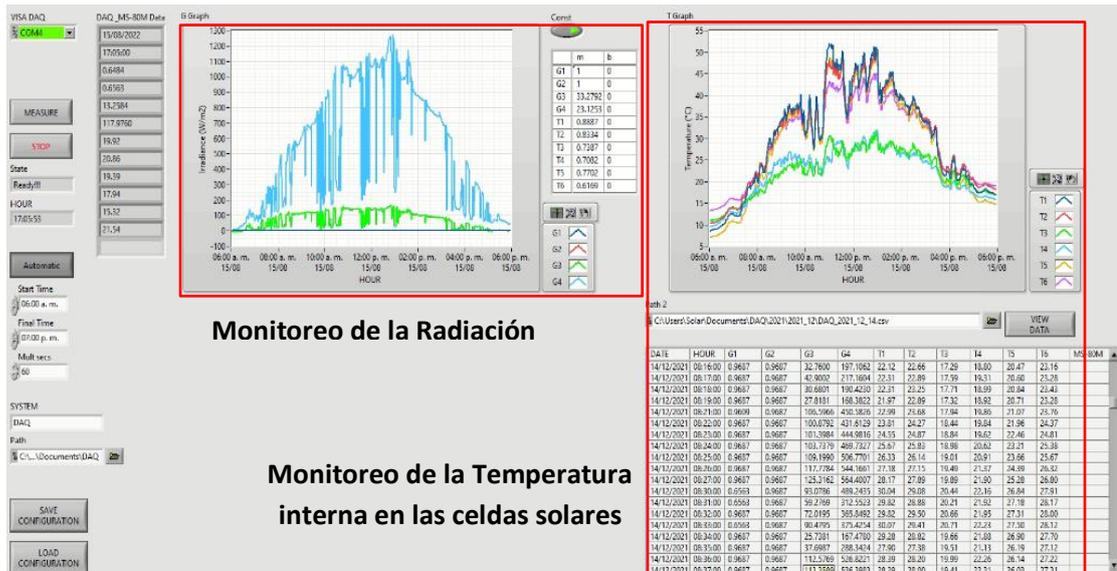


Figura 9. Interfaz para la visualización completa de datos registrados (LabView).

## 2.4 Determinación de la eficiencia energética de los sistemas fotovoltaicos

La metodología que se empleó para determinar la eficiencia o coeficiente energético (PR) para ambos tipo de paneles solares fue el estándar IEC 61724, de la Comisión Electrotécnica Internacional; siendo el estándar para PR uno de los principales indicadores aceptados mundialmente para evaluar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas conectadas a la red; el valor de PR oscila por lo general entre 0 y 1, según lo analizado por (Bouacha, Malek, Benkraouda, & Hadj Arab, 2020), se ha considerado los siguientes parámetros:

La energía alterna de salida mensual del sistema fotovoltaico, está dada por la ecuación:

$$Energía_{(AC,m)} = \sum_{d=1}^N E_{AC,t} (W)$$

Donde, N es el número de días del mes.

El rendimiento de referencia mensual, está dado por la siguiente ecuación:

$$Y_r = \frac{H_t(kWh/m^2)}{G(kWh/m^2)} (h/día)$$

Donde,  $H_t$  ( $kWh/m^2$ ) es la energía total de la radiación solar de plana, y  $G$  ( $kWh/m^2$ ) es la irradiancia de referencia en el plano que es de  $1000 W/m^2$ .

El rendimiento final, está dado por:

$$Y_{(a,d)} = \frac{E_{AC,d}}{P_{pv,nominal}}, Y_{v(f,m)} = \frac{1}{N} \sum_{d=1}^N Y_{F,d}(h/día)$$

Donde,  $E_{(AC)}$  es el valor de la energía medida instantánea y  $P_{pv, nominal}$  es la potencia nominal.

Por tanto, el índice de rendimiento o Performance Ratio (PR), se calculó mediante la siguiente expresión:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} (\%)$$

Donde,  $Y_f$  es el rendimiento final de sistema y  $Y_r$  que es el rendimiento referencial.

Para un sistema fotovoltaico conectado a la red, un buen PR oscila entre 0,8 a 0,85; y en caso que el PR se encuentre entre 0,53 a 0,70, el sistema fotovoltaico requiere un análisis de las posibles causas, que podrían ser la suciedad en los paneles, el efecto sombra, la temperatura interna en las celdas solares, degradación de los paneles, fallas en el inversor, conexiones inapropiadas en los paneles o en la red eléctrica (Mohd Khalid, Mitra, Warmuth, & Schacht, 2016).

## **2.5 Evaluación de viabilidad económica de los sistemas fotovoltaicos**

Para la evaluación de la viabilidad económica se han tomado en cuenta los costos de inversión para la implementación de ambas plantas fotovoltaicas y los beneficios en la producción energética y económica de los sistemas fotovoltaicos; y para ello se evaluaron los siguientes indicadores: el costo nivelado de electricidad (LCOE), el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de retorno simple de la inversión inicial (TIR) realizada.

### **2.5.1 El costo nivelado de energía (LCOE)**

El costo de nivelado de la electricidad (LCOE), es el precio \$/kWh, que se estima por cada kilovatio-hora de energía eléctrica generada por la planta fotovoltaica hasta que alcance el punto de equilibrio al término del tiempo de vida útil de 25 años; por lo que el LCOE llega a ser un indicador de la rentabilidad. Los cálculos de este proceso se han tomado como referencia del estudio realizado en Nigeria (Hamisu Umar, Bora, Chandan, Gupta, & Anjum, 2021); para lo cual el costo de generación energética, se calculó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- *El costo como capital de inversión del proyecto*
- *El costo anual de operación y mantenimiento de la planta fotovoltaica.*

El costo de capital de inversión del proyecto comprende:

- El costo de los módulos fotovoltaicos.
- El costo de los inversores.
- Costos de balance del sistema: cables, medidores, accesorios entre otros.
- Y, el costo de las baterías no se considera en este estudio, porque la planta fotovoltaica está conectada directamente a la red pública interna.

El LCOE, se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{C_t + M_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{E_t}{(1+d)^t}}$$

Donde:

**C<sub>t</sub>**, representa el costo de capital de inversión inicial del proyecto t años; **M<sub>t</sub>**, es el costo de operación y mantenimiento en t años; **E<sub>t</sub>**, es la generación de electricidad durante el año t; **d**, es la tasa de descuento; **N**, es la vida útil de la planta, en este caso por 25 años y el costo de capital (**C**), se define como:

$$C = C_a + C_b + C_c$$

Donde:

**C<sub>a</sub>**, representa el costo total de los módulos fotovoltaicos; **C<sub>b</sub>**, representa el costo del inversor y **C<sub>c</sub>**, representa el costo de balance del sistema, es decir reemplazos de componentes en el periodo de la vida útil del sistema.

### 2.5.2 Valor actual neto - VAN

Para ver la viabilidad del presente proyecto, se evaluó el valor neto actual (VAN), para proyectar si el proyecto es viable o no, y los criterios de decisión de la inversión están dadas por las siguientes condiciones: VAN > 0: generará beneficios con la inversión; VAN = 0: no generará ni beneficios ni pérdidas y cuando el VAN < 0: la inversión generará pérdidas.

El cálculo del VAN, se dio por la siguiente ecuación:

$$VAN = -C + \sum_{t=1}^N \frac{Q_t}{(1+d)^t}$$

$$VAN = -C + \frac{Q_1}{(1+d)} + \frac{Q_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{Q_N}{(1+d)^N}$$

Donde:

**C**, es el costo o capital inicial del proyecto para los sistemas fotovoltaicos; **N**, es la vida útil del sistema fotovoltaico en años; **t**, es el año específico calculado; **d**, es la tasa de descuento y **Q<sub>t</sub>**, es el flujo neto efectivo en el año t, que viene dado por:

$$Q_t = (Ingresos_t - Costos_t)$$

Por lo que el VAN se define finalmente como:

$$VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Ingresos_t - Costos_t}{(1+d)^t}$$

### 2.5.3 Tasa interna de retorno – TIR

La TIR, permitió evaluar el porcentaje de la rentabilidad del proyecto de inversión de capital de los sistemas fotovoltaicos, este valor permitirá ver la rentabilidad de la potencial inversión en el proyecto; para el cálculo del porcentaje o tasa de descuento, se igualó el VAN a cero, por lo que la TIR resulta de la siguiente ecuación:

$$TIR = VAN = \sum_{t=0}^N \frac{Ingresos_t - Costos_t}{(1+d)^t} = 0$$

### 2.5.4 Período de recuperación de la inversión (PRI)

El período de recuperación de la inversión, viene a ser el tiempo requerido para recuperar el costo de capital invertido en los sistemas fotovoltaicos instalados. Para el presente estudio, el período o tiempo de recuperación simple de capital, se determinó mediante la ecuación:

$$PRI = \frac{(Total\ del\ costo\ de\ inversión\ del\ proyecto) - (Impuestos\ y\ subsidios)}{Generación\ anual\ de\ energía\ en\ kWh) \times (Precio\ energía\ red,\ por\ kWh)}$$

### 2.6 Evaluación de sostenibilidad ambiental

La evaluación se realizó en base a estudios realizados para analizar la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub>, comparando con la generación de energía eléctrica de fuentes

convencionales (centrales hidroeléctricas) con las fuentes alternativas (sistemas fotovoltaicos) que generan electricidad. Los sistemas de fuentes alternativas con mayor tiempo de vida útil, mitigan mejor el CO<sub>2</sub>, que aquellos sistemas que tiene menor tiempo de vital útil (Tirupati Rao & Raja Sekhar, 2022); y en un estudio realizado en Korea se estimó que si el 0.45 % de la generación de energía eléctrica convencional se sustituyera con sistemas fotovoltaicos, se produciría una reducción neta equivalente a 69.8 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> (Byung-ju, Ji-yong, Kyung-hwan, & Hur, 2014). Y, para la evaluación, en el presente estudio, se tomó en consideración el factor de emisión de CO<sub>2</sub> en el que cada kWh evita la emisión de 0,4521 tonCO<sub>2</sub>/kWh (Ministerio Economía y Finanzas, 2021) y referenciada por el Sistema Interconectado Nacional del Perú (SEIN), por lo que la mitigación neta de CO<sub>2</sub> durante la vida útil de los sistemas de paneles solares, se calculó con la expresión:

$$\text{Mitigación neta de } CO_2 = E_{input} * \frac{1}{1 - L_a} * \frac{1}{1 - L_{td}} * 0.4521 \frac{kgCO_2}{kWh}$$

Donde, L<sub>a</sub> y L<sub>td</sub> son las pérdidas durante la transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Dentro de las muchas técnicas para la mitigación de las emisiones de CO<sub>2</sub> basadas en principios físicos, químicos o biológicos, son soluciones costosas y con altos costos operativos, estas técnicas o métodos pueden reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> directamente en la atmósfera, sin embargo, con el uso el uso de los paneles solares fotovoltaicos la mitigación de CO<sub>2</sub> es muy reducida, no causando impactos significativos en el ambiente.

### III. RESULTADOS

#### *3.1. Instalación y distribución espacial de los sistemas de paneles solares*

Las estructuras para el montaje de los paneles solares son de aluminio y se ubicaron en la sede administrativa localizado en el campus universitario, libre de sombras aledañas que puedan reducir la captación o incidencia de la radiación solar (Figura 10). Estas estructuras están cimentadas sobre las bases de concreto para asegura la estabilidad frente a la fuerza del viento.



Figura 10. Ubicación e instalación de los sistemas de paneles solares – Sede administrativa

En la Figura 11, se muestra la instalación física de los dos sistemas de paneles fotovoltaicos (A) y (B); así como el mini monitor sensor de radiación solar (C) que está ubicado debajo de los paneles solares; el módulo para la adquisición de datos (D) de radiación y temperatura interna de los paneles; y los sensores de temperatura PT100 (E). Estas estructuras están orientadas de norte a sur y tienen una inclinación hacia la latitud norte de  $15^\circ$  para tener mejor incidencia de la radiación solar sobre los paneles.

En la Figura 12, se muestra la instalación de los dos inversores Tripower 15000TL, los tableros de control eléctrico y el dispositivo de conexión a internet para el monitoreo remoto de la generación energética a través del aplicativo SMA Sunny Portal.

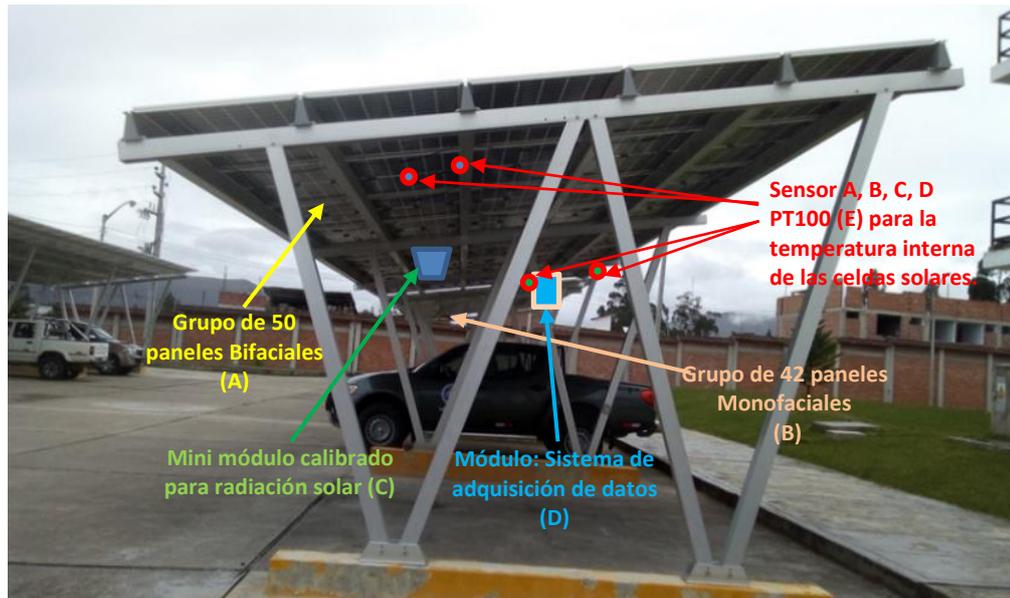


Figura 11. Montaje de los paneles solares y equipos sobre estructuras metálica (parking)



Figura 12. Instalación de los dos inversores SMA – Tripower 15000TL (parte superior)

### 3.2. Eficiencia energética de los paneles solares

Como parte del desarrollo del primer objetivo específico, se evaluó el coeficiente energético o rendimiento energético de los dos sistemas de paneles solares instalados, para el estudio no solo se ha considerado la radiación solar como principal fuente energética para la generación de energía eléctrica a través de los paneles solares, sino la estrecha relación que existe entre las variaciones climáticas y atmosféricas, como la temperatura interna en los paneles solares, la temperatura ambiente, la precipitación, velocidad del viento, la cobertura de nubes que está relacionado con el vapor de agua suspendida en la atmosfera, que es la humedad

relativa; esta última absorbe, dispersa y refleja la radiación solar en diversos grados de intensidad, lo que afecta el coeficiente o rendimiento energético de los paneles solares.

### 3.2.1 Variaciones climáticas y atmosféricas.

Las variables climáticas y atmosféricas se obtuvieron de la estación meteorológica del INDES-CES con el equipo Vantage Pro2, durante 365 días, que comprende desde el mes de mayo de 2021 hasta abril de 2022.

En la Tabla 4, se detalla el comportamiento que tuvo la temperatura ambiente, ésta variable que está relacionado con la temperatura en el aire, lo cual tiene injerencia indirecta en el calentamiento o enfriamiento de las celdas solares, y afecta el rendimiento o coeficiente energético de los paneles solares, siempre y cuando que sobrepase los límites especificados en los paneles solares.

Tabla 4. Temperatura en el medio ambiente

<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	<b>N° eventos</b>	<b>%</b>
De 0 a 10 °C	0	0,00%
De 11 a 15 °C	0	0,00%
De 16 a 20 °C	9	2,47%
De 21 a 25 °C	290	79,45%
De 26 a 30 °C	64	17,53%
De 31 a 35 °C	2	0,55%
De 36 a 40 °C	0	0,00%
<b>Total</b>	<b>365</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos del sistema de monitoreo de la figura 8).

En la Tabla 5, se detalla el comportamiento de la temperatura interna en las celdas de los paneles solares, esta temperatura es referido al calentamiento que tienen las celdas solares por la incidencia de la radiación solar, lo que puede tener efecto directo en el rendimiento energéticos de los paneles solares, esto puede incrementar o disminuir el rendimiento o eficiencia energética; y según las especificaciones técnicas para ambos tipos de paneles solares las temperaturas se encuentran dentro del rango de - 40 °C a 85 °C; por lo que las temperaturas registradas en la Tabla 5, no afectarían el rendimiento en los sistemas de paneles solares.

Tabla 5. Temperaturas internas en las celdas fotovoltaicas de los paneles solares

Mes Año	Sensor A Medio de panel QCells (°C)	Sensor B Extremo de panel QCells (°C)	Sensor C Medio de panel Canadian (°C)	Sensor D Extremo de panel Canadian (°C)
may-21	53,95	51,40	52,00	45,02
jun-21	57,09	55,16	55,25	47,21
jul-21	53,68	49,63	49,85	44,21
ago-21	54,02	51,48	54,38	47,37
sep-21	44,39	42,06	43,21	41,95
oct-21	58,25	53,08	58,46	48,77
nov-21	56,66	50,80	53,20	45,60
dic-21	52,19	47,78	49,82	45,60
ene-22	52,98	49,31	47,58	45,13
feb-22	53,20	49,20	49,04	46,00
mar-22	51,28	48,43	49,69	45,63
abr-22	50,67	46,78	46,22	43,81
<b>Promedio</b>	<b>53,20</b>	<b>49,59</b>	<b>50,73</b>	<b>45,53</b>

Fuente: Elaboración propia (datos del sistema de monitoreo de la figura 8).

En la Tabla 6, se detalla el comportamiento de la velocidad del viento, esta variable está muy relacionado con la refrigeración natural y que favorecen a los paneles solares, permitiendo que las celdas solares se enfríen, lo que ayudará en el incremento del rendimiento energético y a su vez ayudan en la limpieza de polvo o suciedad que están localizadas en la superficie de los paneles solares.

Tabla 6. Velocidad del viento

Tipo de viento	Velocidad (Km/h)	Nº eventos	%
Calma	De 0 a 1	16	4,38%
Ventolina	De 2 a 5	2	0,55%
Brisa débil	De 6 a 11	69	18,90%
Brisa ligera	De 12 a 19	149	40,82%
Brisa moderada	De 20 a 28	92	25,21%
Brisa fresca	De 29 a 38	33	9,04%
Brisa fuerte	De 39 a 49	4	1,10%
<b>Total</b>		<b>365</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos de la estación meteorológica INDES-CES<sup>5</sup>).

En la Tabla 7, se detalla el nivel de precipitación, esta variable está relacionado en cierta manera con la limpieza natural de la superficie de los paneles solares; sin embargo, de acuerdo al nivel de lluvia, la intensidad de la radiación solar puede

<sup>5</sup> Instituto de investigación para el desarrollo sustentable de ceja de selva.

disminuir drásticamente en un determinado instante del tiempo o hasta puede llegar a ser nula, esto no favorece el coeficiente de rendimiento energético de los paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 7. Nivel de Precipitación

<b>Tipo de precipitación</b>	<b>Lluvia (mm/h)</b>	<b>N° eventos</b>	<b>%</b>
Traza precipitación	De 0,1 a 0,4	341	93,42%
Lluvia muy débil	De 0,4 a 1,0	8	2,19%
Lluvia débil	De 1,0 a 2,5	5	1,37%
Lluvia ligera	De 2,5 a 6,5	4	1,10%
Lluvia moderada	De 6,5 a 16,0	3	0,82%
Lluvia fuerte	De 16,0 a 40,0	2	0,55%
Lluvia muy fuerte	De 40,0 a 100,0	2	0,55%
<b>Total</b>		<b>365</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos de la estación meteorológica INDES-CES).

En la Tabla 8, se detalla el nivel de la humedad relativa, esta variable está relacionado con el vapor de agua suspendida en la atmósfera o nubes que producen sombras y el nivel de agua que se encuentra en el medio ambiente, tanto las nubes como la humedad absorben, dispersan y reflejan la intensidad de la radiación solar; ésta variable afectan el nivel de la intensidad de la radiación solar en un determinado instante del tiempo y hasta puede llegar a ser nula, dado que se ha observado que un día por lo general se pueden presentar instantes nublados, combinados y soleados o despejados; y esto afecta directamente en el rendimiento energético de los paneles solares.

Tabla 8. Nivel de humedad relativa

<b>Tipo de humedad</b>	<b>Humedad (HR%)</b>	<b>N° eventos</b>	<b>%</b>
Demasiado seco	0; 10; 20; 30	9	2,47%
Zona de confort	40; 50; 60	347	95,07%
Demasiado húmedo	70; 80; 90; 100	9	2,47%
<b>Total</b>		<b>365</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos de la estación meteorológica INDES-CES).

En la Tabla 9, se detalla el comportamiento de la radiación solar según el tipo de día y los niveles de potencia presentadas ( $w/m^2$ ) por tipo de día. La interrelación de la radiación solar y el tipo de día que se considera en las variables ambientales

y atmosféricas previamente analizadas, tuvo relación directa con el rendimiento o coeficiente energético de los paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 9. Radiación solar por tipo de días

<b>Radiación solar (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tipo de día</b>	<b>N° eventos</b>	<b>%</b>
De 0 a 600	Nublado	26	7,12%
De 600 a 800	Combinado	175	47,95%
Mayores a 800	Soleado o despejado	164	44,93%
<b>Total</b>		<b>365</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia (datos de la estación meteorológica INDES-CES).

En la Tabla 10, se detalla los distintos niveles de potencia de la radiación solar que se presentan en los días del año, y que inciden directamente sobre los sistemas de paneles solares, se puede notar que la mayor potencia energética solar se encuentra en el rango de 600 w/m<sup>2</sup> a 900 w/m<sup>2</sup>.

Tabla 10. Estado de la intensidad de la radiación solar

<b>Intensidad radiación solar</b>	<b>N° eventos</b>	<b>%</b>
De 501 a 600 w/m <sup>2</sup>	26	7,12%
De 601 a 700 w/m <sup>2</sup>	77	21,10%
De 701 a 800 w/m <sup>2</sup>	98	26,85%
De 801 a 900 w/m <sup>2</sup>	102	27,95%
De 901 a 1200 w/m <sup>2</sup>	62	16,99%
<b>Total</b>	<b>365</b>	<b>100,00%</b>

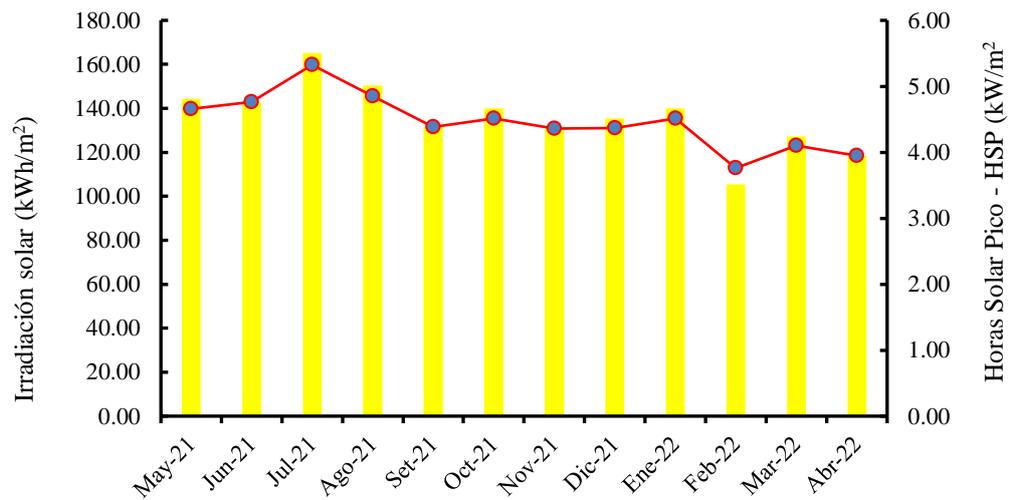
Fuente: Elaboración propia (datos de la estación meteorológica INDES-CES).

### 3.2.2 Recurso solar: Radiación Solar.

Se analizó el comportamiento de la irradiancia solar durante los 12 meses (desde mayo de 2021 a abril de 2022), tal como se muestra en la Figura 13, los resultados corresponden a la energía solar mensual acumulada y a la disponibilidad de las horas solar pico (HSP<sup>6</sup>); se observa que la energía varía debido a que está vinculado con los cambios atmosféricos y climáticos, como la temperatura (en el ambiente, parte externa e interna de los paneles), velocidad del viento, precipitación, humedad y tipo de día, éstas variables intervienen en la disponibilidad neta de las horas solar pico (HSP). Según los resultados registrados,

<sup>6</sup> Horas solar pico: promedio de energía de la radiación solar disponible durante un día.

en el mes de julio se tuvo el máximo promedio de energía solar acumulada que fue de 165.05 kWh/m<sup>2</sup> con disponibilidad de horas solar pico de 5.32 kW/m<sup>2</sup>/día en promedio, asimismo se puede apreciar que en los meses de mayo y agosto se registraron mejores promedios de energía acumulada de 144.45 kWh/m<sup>2</sup> y 150.34 kWh/m<sup>2</sup> respectivamente, con 4.66 kW/m<sup>2</sup>/día y 4.85 kW/m<sup>2</sup>/día de horas solar pico disponibles. En tanto que en el mes de febrero se tuvo valor mínimo de energía solar acumulada de 105.35 kWh/m<sup>2</sup> y con disponibilidad promedio de horas solar pico de 3.76 kW/m<sup>2</sup>/día, y con una mejora en los meses de abril y marzo con promedio de energía solar acumulada de 118.43 kWh/m<sup>2</sup> y 127.19 kWh/m<sup>2</sup> respectivamente, y con 3.95 kW/m<sup>2</sup>/día y 4.10 kW/m<sup>2</sup>/día en promedio de la disponibilidad de las horas solar pico, por lo que se puede apreciar que la radiación solar incidente sobre los paneles solare, así como las horas solar pico disponibles están directamente relacionados con el rendimiento o coeficiente energético de los sistemas de paneles solares.



	May-21	Jun-21	Jul-21	Ago-21	Set-21	Oct-21	Nov-21	Dic-21	Ene-22	Feb-22	Mar-22	Abr-22
Irradiación solar	144.45	142.84	165.06	150.34	131.51	140.00	130.68	135.34	139.98	105.35	127.19	118.43
HSP	4.66	4.76	5.32	4.85	4.38	4.52	4.36	4.37	4.52	3.76	4.10	3.95

Figura 13. Comportamiento de la energía solar durante los 365 días evaluados.

### 3.2.3 Generación energética de los sistemas fotovoltaicos

Luego de analizar el comportamiento de los aspectos climáticos y atmosféricos, la radiación solar y la disponibilidad de las horas solar pico (HSP), se evaluó la conversión o transformación de la energía solar en energía eléctrica mensual para ambos tipos de paneles solares fotovoltaicos.

### Comportamiento mensual y anual en la conversión eléctrica

En la Tabla 11, se reporta la conversión de la energía eléctrica durante los doce meses para ambos tipos de sistemas de paneles solares fotovoltaicos, dicha conversión está en función de la energía de la irradiación solar mensual y la irradiación solar diaria o disponibilidad de las horas solar pico (HSP). Y, de acuerdo a la tabla mostrada, se tiene que el sistema de paneles solares fotovoltaico ha generado en total 19,185.29 kWh/año para el caso de los paneles Monofaciales y de 17,257.83 kWh/año para caso de los paneles Bifaciales.

Tabla 11. Energía eléctrica producida por los paneles solares fotovoltaicos

Meses año	Energía eléctrica generada (kWh)		Irradiación solar kWh/m <sup>2</sup> /mes	Horas solar pico (HSP) kWh/m <sup>2</sup> /día
	Monofacial	Bifacial		
May-21	1,305.82	1,676.52	144.45	4.66
Jun-21	1,190.08	985.47	142.84	4.76
Jul-21	1,387.55	1,153.49	165.06	5.32
Ago-21	1,873.98	2,108.03	150.34	4.85
Set-21	1,660.94	1,451.74	131.51	4.38
Oct-21	1,825.38	1,541.85	140.00	4.52
Nov-21	1,736.16	1,464.94	130.68	4.36
Dic-21	1,798.60	1,516.23	135.34	4.37
Ene-22	1,801.27	1,521.18	139.98	4.52
Feb-22	1,384.93	1,156.87	105.35	3.76
Mar-22	1,653.56	1,379.96	127.19	4.10
Abr-22	1,567.04	1,301.57	118.43	3.95
<b>Total</b>	<b>19,185.29</b>	<b>17,257.83</b>	<b>1,631.17</b>	---

Fuente: Elaboración propia (datos extraídos del SMA Sunny Portal)

En la Figura 14, se muestra la variación mensual en la generación de la energía eléctrica, además se puede notar que las dos únicas ocasiones en que los paneles Bifaciales superan a los paneles Monofaciales son en los meses de mayo 2021 con 1,676.52 kWh y agosto 2021 con 2,108.03 kWh, y en el resto de los meses el sistema Monofacial ha mostrado mejor eficiencia en la conversión energética.

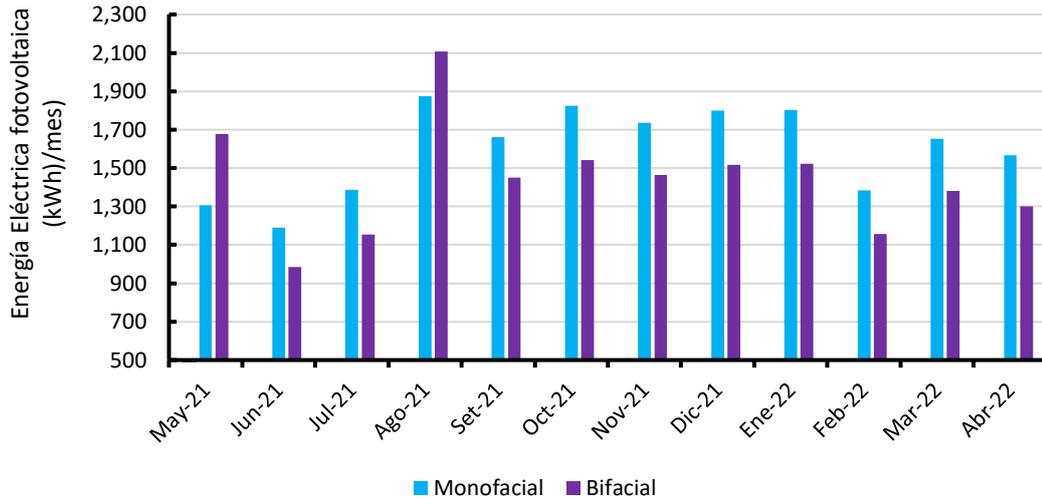


Figura 14. Variación mensual en la conversión de la generación eléctrica.

Esta conversión energética que se muestra en la Tabla 11 y la Figura 14, está sujeta a las constante variación atmosférica y climática en la zona de estudio, dado que se observó que en un día cualesquiera pueden presentarse momentos o instantes con un cielo totalmente despejado, en otro momento un cielo combinado y en el peor de los casos con cielos nublado, tal como se puede apreciar en la Figura 15, o como también se puso notar que en ciertas áreas o regiones en ambos sistemas de paneles fotovoltaicos estaban siendo afectadas por el efecto sombra, cabe indicar que las áreas de los paneles es de  $84.12 \text{ m}^2$  y  $85.58 \text{ m}^2$ , y se pudo observar que hubo instantes en que las condiciones del cielo presentaba sombras por efecto de las nubes o lloviznas, que recaía de manera parcial o total sobre el área o alguna zona de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, reduciendo ocasionalmente de forma leve, moderada o drástica la radiación solar, teniendo como consecuencia la disminución en la conversión energética, por lo tanto, afectando la eficiencia o coeficiente energético de los sistemas de paneles solares.



Figura 15. Cielo con presencia de sombra por nubes y cielo totalmente despejado.

Asimismo, se puede observar en la Figura 14, que en los meses de mayo y agosto de 2021 predomina mayor generación energética por los paneles Bifaciales, y en

resto de los meses predomina la mayor generación energética por los paneles Monofaciales, este fenómeno se debe a que los paneles Bifaciales son muy sensibles al reflejo de la radiación solar en su parte inferior, dado que según la Figura 10, se presentan obstáculos que reducen de manera parcial o neutralizan la radiación solar reflejada.

### 3.2.4. Rendimiento o coeficiente energético de los sistemas fotovoltaicos

Luego del análisis de la conversión energética de los paneles solares fotovoltaicos, se evaluó el rendimiento o coeficiente energético (PR) de cada uno de los sistemas de paneles, y para ello se tomó como referencia el estándar de la norma IEC EN 61724-1 (2017), aplicándose la siguiente ecuación:

$$Performance\ Ratio\ (PR) = \frac{E\_Grid}{GII \times PnomPV}$$

Donde:

- GII : Irradiancia acumulada en el año (kW.h/m<sup>2</sup>)
- E\_Grid : Energía generada en el año (kW.h)
- PnomPV : Capacidad de potencia instalada (kWp)

#### Rendimiento energético o eficiencia mensual

La evaluación del rendimiento energético o eficiencia energética mensual de ambos tipos de paneles durante los doce meses, en la Figura 16 y Tabla 12, se aprecia que los paneles Bifaciales solo en los meses de mayo 2021 y agosto 2021 superan a los paneles Monofaciales, alcanzando eficiencias o coeficiente energético del 72.54 % y 87.64 % respectivamente, y en el resto de los meses los paneles Monofaciales superan al sistema de paneles Bifaciales.

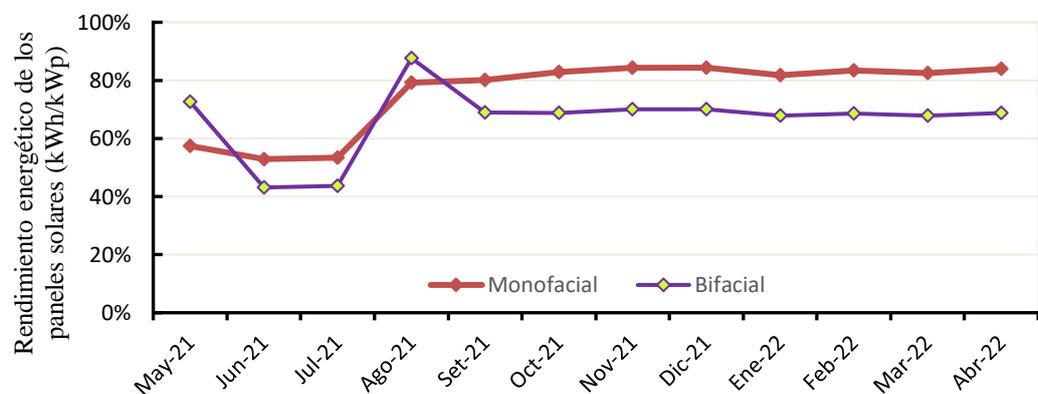


Figura 16. Rendimiento o coeficiente mensualizado de los paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 12. Rendimiento mensualizado de los sistemas de paneles fotovoltaicos.

<b>Meses</b>	<b>Monofaciales</b>	<b>Bifaciales</b>
May-21	57.40%	72.54%
Jun-21	52.90%	43.12%
Jul-21	53.37%	43.68%
Ago-21	79.14%	87.64%
Set-21	80.19%	68.99%
Oct-21	82.78%	68.83%
Nov-21	84.35%	70.06%
Dic-21	84.38%	70.02%
Ene-22	81.70%	67.92%
Feb-22	83.47%	68.63%
Mar-22	82.54%	67.81%
Abr-22	84.01%	68.69%

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017)).

### **Rendimiento o coeficiente energético anual**

El tiempo necesario de estudio óptimo para los paneles solares fotovoltaicos para poder calcular el coeficiente de rendimiento se ha tomado por un año o 365 días continuos. Sin embargo, según referencia de SMA Solar Technology AG, se puede seleccionar intervalos más breves o tiempos cortos, para casos que se desee comparar el sistema de paneles solares fotovoltaica directamente con otras instalaciones fotovoltaicas en este caso paneles Monofaciales y Bifaciales, por lo que es recomendable seleccionar un tiempo o período mínimo de estudio que puede ser de un mes a fin de descartar que las condiciones ambientales y atmosféricas como la altura del sol que puede ser insuficiente, bajas temperaturas o sombras sobre los módulos fotovoltaicos o la radiación solar, cuyos datos registrados por las estación meteorológicas puedan influir excesivamente en el cálculo.

En las Tablas 13, 14 y Figura 17, se muestra la eficiencia o coeficiente del rendimiento energético anual de ambos sistemas de paneles solares fotovoltaicos, y de manera global o anual los sistemas de paneles Monofaciales alcanzaron el 74.68 % y los sistemas Bifaciales el 66.12 % respectivamente. En similares investigaciones, evaluaron que el rendimiento energético debe alcanzar en el rango del 60 % al 90 %, para que sea considera como apropiado o aceptable para cualquier sistema fotovoltaico.

Tabla 13. Eficiencia anual de los paneles solares fotovoltaicos Monofaciales.

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Mayo-21	144.45	1,305.82
Junio-21	142.84	1,190.08
Julio-21	165.06	1,387.55
Agosto-21	150.34	1,873.98
Setiembre-21	131.51	1,660.94
Octubre-21	140.00	1,825.38
Noviembre-21	130.68	1,736.16
Diciembre-21	135.34	1,798.60
Enero-22	139.98	1,801.27
Febrero-22	105.35	1,384.93
Marzo-22	127.19	1,653.56
Abril-22	118.43	1,567.04
<b>Annual</b>	<b>1,631.18</b>	<b>19,185.29</b>
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	1631.18	
Installed PV Array Capacity (kWp)	15.75	
Annual Performance Ratio (PR) - Sistema Monofacial	<b>74.68%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017).

Tanto que en la Figura 17, se indica el factor de calidad o coeficiente energético, es decir el porcentaje que resulta de la relación entre el rendimiento real y el rendimiento nominal de la instalación fotovoltaica. De esta forma se indica qué proporción de la energía está realmente disponible para el consumo o uso tras haberse descontado las pérdidas energéticas por aspectos térmicas y por el sistema de cableado, así como por el consumo propio para la operación de los equipos eléctricos. Cuanto más cercano al 100 % sea el valor del coeficiente de rendimiento, indica que la instalación fotovoltaica trabajará más efectivamente, no obstante, no es posible alcanzar un valor real del 100 % puesto que durante la operación de la instalación fotovoltaica se producen siempre pérdidas inevitables, sin embargo, las instalaciones fotovoltaicas eficientes alcanzan un coeficiente de rendimiento de hasta el 80 %.

Tabla 14. Eficiencia anual de los paneles solares fotovoltaicos Bifaciales.

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Mayo-21	144.45	1,676.52
Junio-21	142.84	985.47
Julio-21	165.06	1,153.49
Agosto-21	150.34	2,108.03
Setiembre-21	131.51	1,451.74
Octubre-21	140.00	1,541.85
Noviembre-21	130.68	1,464.94
Diciembre-21	135.34	1,516.23
Enero-22	139.98	1,521.18
Febrero-22	105.35	1,156.87
Marzo-22	127.19	1,379.96
Abril-22	118.43	1,301.57
<b>Annual</b>	<b>1,631.18</b>	<b>17,257.83</b>
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	1631.18	
Installed PV Array Capacity (kWp)	16	
Annual Performance Ratio (PR) – Sistema Bifacial	<b>66.12%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017)).

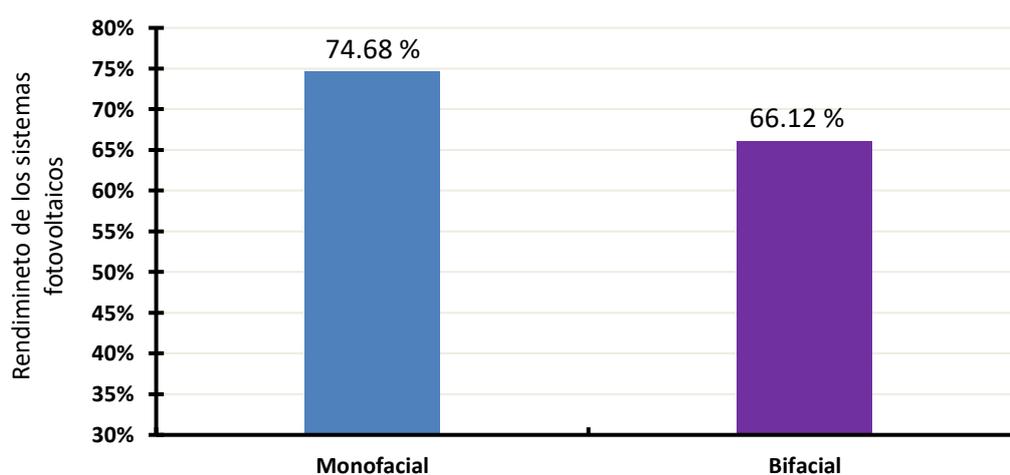


Figura 17. Rendimiento o coeficiente energético anual.

### Rendimiento o eficiencia energética según épocas en Chachapoyas

En las Tablas 15, 16, 17 y 18, se muestra la eficiencia o rendimiento energético según las épocas secas y de lluvias en Chachapoyas, dado que no se presentan regularmente marcadas las estaciones durante el año, y el comportamiento atmosférico y climático es establecida por lo general como épocas lluviosas o secas. En tal el sentido, en época lluviosa el sistema de paneles solares Monofaciales alcanzó en promedio un rendimiento energético de 83.39 % y los sistemas Bifaciales el 68.87 % respectivamente; y en épocas secas los paneles Monofaciales alcanzaron en promedio un rendimiento energético de 67.14 % y los Bifaciales el 63.75 %, para ambos casos según RNEL<sup>7</sup> están dentro del rango del 60 % al 90 %, por lo que serían considerados como sistemas fotovoltaicos aceptables en el aspecto de rendimiento energético. Asimismo, para cada una de las épocas se puede notar que las variaciones climáticas y atmosféricas influyen en la generación energética y en el coeficiente de rendimiento.

Tabla 15. Eficiencia energética épocas de lluvia - paneles solares fotovoltaicos Monofaciales

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Noviembre-21	130.68	1,736.16
Diciembre-21	135.34	1,798.60
Enero-22	139.98	1,801.27
Febrero-22	105.35	1,384.93
Marzo-22	127.19	1,653.56
Abril-22	118.43	1,567.04
<b>Annual</b>	<b>756.97</b>	<b>9,941.55</b>
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	756.97	
Installed PV Array Capacity (kWp)	15.75	
Annual Performance Ratio (PR) Sistema Monofacial Época de lluvias	<b>83.39%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017)).

<sup>7</sup> Laboratorio Nacional de Energías Renovables.

Tabla 16. Eficiencia energética en épocas de lluvia - paneles solares fotovoltaicos Bifaciales.

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Noviembre-21	130.68	1,464.94
Diciembre-21	135.34	1,516.23
Enero-22	139.98	1,521.18
Febrero-22	105.35	1,156.87
Marzo-22	127.19	1,379.96
Abril-22	118.43	1,301.57
<b>Annual</b>	<b>756.97</b>	<b>8,340.74</b>
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	756.97	
Installed PV Array Capacity (kWp)	16.00	
Annual Performance Ratio (PR) Sistema Bifacial Época de lluvias	<b>68.87%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017)).

Tabla 17. Eficiencia energética en época seca - paneles solares fotovoltaicos Monofaciales

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Mayo-21	144.45	1,305.82
Junio-21	142.84	1,190.08
Julio-21	165.06	1,387.55
Agosto-21	150.34	1,873.98
Setiembre-21	131.51	1,660.94
Octubre-21	140.00	1,825.38
<b>Annual</b>	<b>874.20</b>	<b>9,243.74</b>
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	874.20	
Installed PV Array Capacity (kWp)	15.75	
Annual Performance Ratio (PR) Sistema Monofacial Época seca	<b>67.14%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017)).

Tabla 18. Eficiencia energética en época seca - paneles solares fotovoltaicos Bifaciales.

<b>Energy Generation at the End of 1st year of Operation</b>		
<b>Month</b>	<b>Irradiation in Inclined Plane (GII) (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Generated Energy (KWh)</b>
Mayo-21	144.45	1,676.52
Junio-21	142.84	985.47
Julio-21	165.06	1,153.49
Agosto-21	150.34	2,108.03
Setiembre-21	131.51	1,451.74
Octubre-21	140.00	1,541.85
Annual	874.20	8,917.09
Annual Irradiance on Inclined Plane @ STC (kW/m <sup>2</sup> )	874.20	
Installed PV Array Capacity (kWp)	16.00	
Annual Performance Ratio (PR) Sistema Bifacial Época seca	<b>63.75%</b>	

Fuente: Elaboración propia (aplicación de la norma IEC EN 61724-1 (2017).

### 3.3. Evaluación de la viabilidad económica

Para la evaluación económica, se ha considera la proyección de la producción de energía eléctrica por el tiempo de la vida útil de los paneles solares, el costo de la inversión inicial, el costo por operación y mantenimiento, la proyección del ingreso económico, el costo nivelado de energía y el flujo de caja de los sistemas de paneles fotovoltaicos.

#### 3.3.1. Proyección de la generación de energía eléctrica

Para la proyección o tendencia en la producción de energía eléctrica para ambos sistemas de paneles solares fotovoltaicos, considerándose por el periodo de 25 años es la vida útil de los paneles solares y la tasa de disminución de la potencia anual de los paneles solares a partir del segundo año hasta los 25 años no será superior al 0.6 %, y al final del año 25, la potencia de salida real no será inferior al 83,1 % de la potencia de salida nominal, según datasheet del fabricante.

Las proyecciones de la producción de energía eléctrica útil en ambos tipos de paneles fotovoltaicos, detallan en la Tabla 19.

Tabla 19. Proyección de la generación de energía eléctrica.

<b>Proyección: Producción de Energía Eléctrica (kWh)</b>		
<b>Años</b>	<b>Paneles Monofaciales</b>	<b>Paneles Bifaciales</b>
2021	19,185.29	17,257.83
2022	19,070.18	17,154.28
2023	18,955.76	17,051.36
2024	18,842.02	16,949.05
2025	18,728.97	16,847.35
2026	18,616.60	16,746.27
2027	18,504.90	16,645.79
2028	18,393.87	16,545.92
2029	18,283.50	16,446.64
2030	18,173.80	16,347.96
2031	18,064.76	16,249.88
2032	17,956.37	16,152.38
2033	17,848.63	16,055.46
2034	17,741.54	15,959.13
2035	17,635.09	15,863.37
2036	17,529.28	15,768.19
2037	17,424.11	15,673.58
2038	17,319.56	15,579.54
2039	17,215.64	15,486.07
2040	17,112.35	15,393.15
2041	17,009.68	15,300.79
2042	16,907.62	15,208.99
2043	16,806.17	15,117.73
2044	16,705.34	15,027.03
2045	16,605.10	14,936.86

Fuente: Elaboración propia (datos analizados del SMA Sunny Portal).

Según lo proyectado en la Tabla 19, respecto a la generación de la energía eléctrica, se puede observar que al final de los 25 años (2045) y con degradación del 0.6 % anual, los paneles solares fotovoltaicos Monofaciales aún continuarán generando posteriores a las potencias de 16,605.10 kWh y 14,936.86 kWh para el caso de los Bifaciales, por lo que la vida útil de ambos tipos de paneles podría sobrepasar o prolongarse por más de los 25 años.

En tanto que las Figuras 18 y 19, los valores de  $R^2$  ajustado = 99.96 %, lo que indica que las variables de generación eléctrica y la proyección para el periodo de 25 años son significativas para ambos tipos de paneles solares fotovoltaicos.

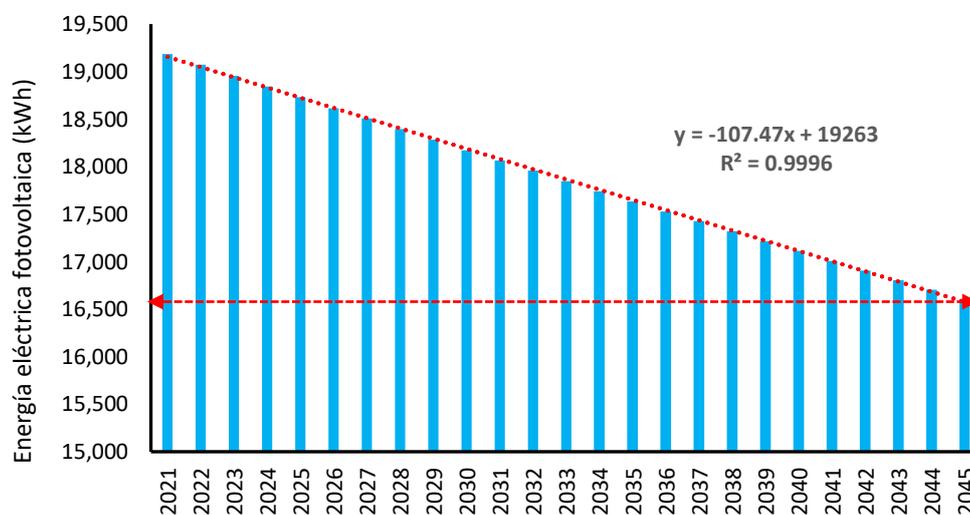


Figura 18. Tendencia en la generación de energía eléctrica – paneles Monofaciales (Elaboración propia)

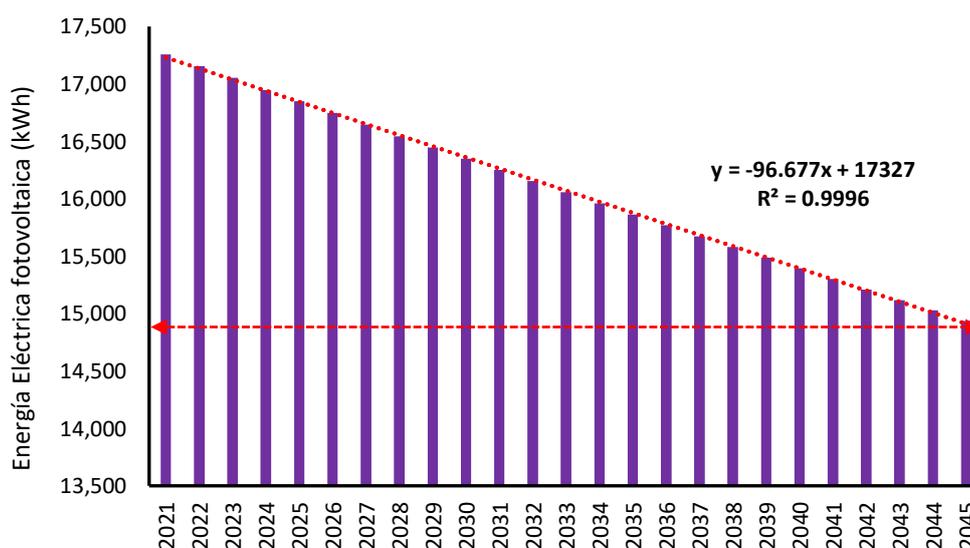


Figura 19. Tendencia en la generación de energía eléctrica – paneles Bifaciales (elaboración propia)

### 3.3.2 Costos de la inversión de los sistemas fotovoltaicos

Para la determinar los costos de la inversión inicial de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, se consideró: Equipamiento, componentes e insumos, servicios de instalación y operación más mantenimiento. Para la valorización monetaria, se optó por el dólar estadounidense, y el tipo de cambio aplicado respecto a la moneda nacional se tomó de la Superintendencia Nacional de Administración Tributaria – SUNAT, de fecha

1° de mayo de 2021, fecha en que se inició la toma de datos para la investigación, siendo el tipo de cambio monetario de: 1 dólar = 3.792 soles.

### Costo total de la instalación y puesta en funcionamiento

En la Tabla 20, se detalla los componentes necesarios y servicios para la implementación de ambos sistemas de paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 20. Costo de inversión de los sistemas fotovoltaicos

Costos de inversión - descripción de los componentes e insumos	Panel solar QCells (US\$)	Panel solar Canadian Solar (US\$)
Inversor de corriente SMA Sunny Tripower STP15000TL-30	6,648.4	6,648.4
Módulos solares	14,040.5	16,487.9
Estructura para el montaje de los paneles solares	3,083.1	3,538.9
Cable para conexión fotovoltaica de 6 mm <sup>2</sup>	589.8	630.0
Cable para pozo a tierra de 6 mm <sup>2</sup>	209.1	221.2
Servicio de instalación y conexión eléctrica	938.3	938.3
Sistema de Baterías (el sistema fotovoltaico es On Grid – es decir no se incluyen baterías)	-	-
<b>Total</b>	<b>25,509.3</b>	<b>28,464.7</b>

Fuente: Elaboración propia (extraído del proveedor Q-Energy Perú S.A.C.)

### Costo de operación y mantenimiento (O&M)

Para el costo de operación y mantenimiento, se encuentra la limpieza superficial de los paneles solares fotovoltaicos (como polvo, humo de vehículos y partículas de la quema de basura y otros), excreta de aves silvestres, hojas de árboles y otros, para este servicio no se requiere de personal especializado, dado que está al alcance del usuario final. Sin embargo, para los servicios de revisión de los paneles y mantenimiento del cableado de conexiones eléctricas entre los paneles solares hacia los tableros de control, así como la calibración y el mantenimiento del pozo a tierra, se requiere de un profesional calificado y con experiencia; por lo que se estima el 2 % del costo total de la inversión inicial para lo que corresponde a operación y mantenimiento anual (Tabla 21).

Tabla 21. Costo de operación y mantenimiento para los paneles solares fotovoltaicos

<b>Costo de la inversión y O&amp;M<sup>8</sup> - descripción</b>	<b>Paneles (QCells) (US\$)</b>	<b>Paneles Canadian Solar (US\$)</b>
Costo total de la inversión inicial	25,509.30	28,464.70
<b>Costo de operación y mantenimiento (2 % del costo total)</b>	<b>510.19</b>	<b>569.29</b>

Fuente: Elaboración propia (referencia de la Tabla 16).

### **Proyección de ingresos económicos generados por los sistemas fotovoltaicos**

El único ingreso económico de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos es la valorización económica que se hace por la generación o producción de la energía eléctrica durante el tiempo de vida útil por 25 años. Los sistemas fotovoltaicos instalados son del tipo On Grid, es decir alimenta a la red eléctrica interna de la edificación residencial, mas no es inyecta a la red pública en este caso a la empresa generadora de electricidad Electro Oriente en Chachapoyas, Amazonas; en tal sentido se realizó la valorización económica con la tarifa BT5B residencia aprobada con Resolución de Consejo Directivo N°206-2013-OS/CD, de fecha 14 de octubre de 2013, emitida por el Organismo Supervisor de la inversión en Energía y Minas – OSINERGMIN, y de acuerdo a los recibos emitidos por la Empresa Eléctrica Electro Oriente el costo por consumo de energía eléctrica residencia se paga S/. 0.7847 por kilovatio-hora kW-h (según recibo que se anexa), lo que equivale a US\$ 0.210.

En las Tablas 22 y 23, se detallan la valorización económica de ambos sistemas de paneles solares fotovoltaicos; el sistema de paneles solares que genera mayores ingresos económicos proyectados por 25 años son los del tipo Monofacial con un monto de US\$ 81,038.84 y para el caso de los paneles Bifaciales suman US\$ 70,138.32 que son ingresos netos, para estos casos solo se ha descontado el costo anual por mantenimiento y operación de los paneles, que totaliza para el caso de los paneles Monofaciales de US\$ 12,754.75, para los paneles Bifaciales de US\$ 14,232.25.

También en las Tablas 22 y 23 detallan la proyección de la generación energética y rentabilidad económica, tomando como referencia la producción real en el periodo comprendido desde el mes de mayo de 2021 a abril de 2022, donde la energía eléctrica neta generada por los paneles solares Monofaciales es de 19,185.29 kWh y los ingresos

<sup>8</sup> Operación y mantenimiento.

económicos recuperados durante este periodo es de US\$ 4,028.91; valorizando en US\$ 0.21 cada kWh producido. De manera similar en este mismo periodo, la energía eléctrica generada por los paneles solares Bifaciales es de 17,257.83 kWh y los ingresos económicos recuperados en este periodo es de US\$ 3,624.14.

Tabla 22. Proyección de ingresos económicos de los paneles solares Monofacial

<b>Ingresos económicos generados por los paneles Monofaciales</b>				
<b>Año</b>	<b>Energía (kWh)</b>	<b>Ingreso (\$)</b>	<b>Costo por O&amp;M (\$)</b>	<b>Ingreso neto (\$)</b>
2021	19,185.29	\$ 4,028.91	-510.19	3,518.72
2022	19,070.18	\$ 4,004.74	-510.19	3,494.55
2023	18,955.76	\$ 3,980.71	-510.19	3,470.52
2024	18,842.02	\$ 3,956.82	-510.19	3,446.63
2025	18,728.97	\$ 3,933.08	-510.19	3,422.89
2026	18,616.60	\$ 3,909.49	-510.19	3,399.30
2027	18,504.90	\$ 3,886.03	-510.19	3,375.84
2028	18,393.87	\$ 3,862.71	-510.19	3,352.52
2029	18,283.50	\$ 3,839.54	-510.19	3,329.35
2030	18,173.80	\$ 3,816.50	-510.19	3,306.31
2031	18,064.76	\$ 3,793.60	-510.19	3,283.41
2032	17,956.37	\$ 3,770.84	-510.19	3,260.65
2033	17,848.63	\$ 3,748.21	-510.19	3,238.02
2034	17,741.54	\$ 3,725.72	-510.19	3,215.53
2035	17,635.09	\$ 3,703.37	-510.19	3,193.18
2036	17,529.28	\$ 3,681.15	-510.19	3,170.96
2037	17,424.11	\$ 3,659.06	-510.19	3,148.87
2038	17,319.56	\$ 3,637.11	-510.19	3,126.92
2039	17,215.64	\$ 3,615.29	-510.19	3,105.10
2040	17,112.35	\$ 3,593.59	-510.19	3,083.40
2041	17,009.68	\$ 3,572.03	-510.19	3,061.84
2042	16,907.62	\$ 3,550.60	-510.19	3,040.41
2043	16,806.17	\$ 3,529.30	-510.19	3,019.11
2044	16,705.34	\$ 3,508.12	-510.19	2,997.93
2045	16,605.10	\$ 3,487.07	-510.19	2,976.88
<b>Total, US\$</b>	<b>93,793.59</b>	<b>-12,754.75</b>	<b>81,038.84</b>	

Fuente: Elaboración propia (datos energéticos extraídos de SMA Sunny Portal)

Sin embargo, para el ingreso económico neto, se ha descontado el costo por mantenimiento y operación que viene a ser el 2 % de la inversión del capital inicial, que en este caso es de US\$ 510.19 por año, por tanto, el ingreso económico neto anual para los paneles Monofaciales fue de US\$ 3,518.72 y para los paneles Bifaciales el costo por mantenimiento y operación es de US\$ 569.29 por año, por lo que el ingreso económico neto anual es de US\$ 3,054.85 para el primer periodo anual, y para los subsiguientes años, es decir hasta el tiempo de vida útil para ambos tipos de paneles solares, se ha tomado en cuenta la degradación de los paneles solares que es del 0.6 % por año.

Tabla 23. Proyección de ingresos económicos de los paneles solares Bifaciales

Proyección de ingresos económicos generados por los paneles Bifaciales				
Año	Energía (kWh)	Ingreso (\$)	Costo por O&M (\$)	Ingreso neto (\$)
2021	17,257.83	\$ 3,624.14	-569.29	3,054.85
2022	17,154.28	\$ 3,602.40	-569.29	3,033.11
2023	17,051.36	\$ 3,580.79	-569.29	3,011.50
2024	16,949.05	\$ 3,559.30	-569.29	2,990.01
2025	16,847.35	\$ 3,537.94	-569.29	2,968.65
2026	16,746.27	\$ 3,516.72	-569.29	2,947.43
2027	16,645.79	\$ 3,495.62	-569.29	2,926.33
2028	16,545.92	\$ 3,474.64	-569.29	2,905.35
2029	16,446.64	\$ 3,453.80	-569.29	2,884.51
2030	16,347.96	\$ 3,433.07	-569.29	2,863.78
2031	16,249.88	\$ 3,412.47	-569.29	2,843.18
2032	16,152.38	\$ 3,392.00	-569.29	2,822.71
2033	16,055.46	\$ 3,371.65	-569.29	2,802.36
2034	15,959.13	\$ 3,351.42	-569.29	2,782.13
2035	15,863.37	\$ 3,331.31	-569.29	2,762.02
2036	15,768.19	\$ 3,311.32	-569.29	2,742.03
2037	15,673.58	\$ 3,291.45	-569.29	2,722.16
2038	15,579.54	\$ 3,271.70	-569.29	2,702.41
2039	15,486.07	\$ 3,252.07	-569.29	2,682.78
2040	15,393.15	\$ 3,232.56	-569.29	2,663.27
2041	15,300.79	\$ 3,213.17	-569.29	2,643.88
2042	15,208.99	\$ 3,193.89	-569.29	2,624.60
2043	15,117.73	\$ 3,174.72	-569.29	2,605.43
2044	15,027.03	\$ 3,155.68	-569.29	2,586.39
2045	14,936.86	\$ 3,136.74	-569.29	2,567.45
<b>Total, US\$</b>		<b>84,370.57</b>	<b>- 14,232.25</b>	<b>70,138.32</b>

Fuente: Elaboración propia (datos energéticos extraídos de SMA Sunny Portal).

### Costo nivelado de energía (LCOE) en los sistemas de paneles fotovoltaicos

El costo nivelado de energía (LCOE), es el costo que debe cubrir para generar un kilovatio-hora de energía bajo las condiciones de financiamiento o inversión en el proyecto. En la Figura 20 y Tabla 24, se proyectan que, a mayor tasa de descuento, es mayor el costo nivelado de energía por kWh, por lo que costará más.

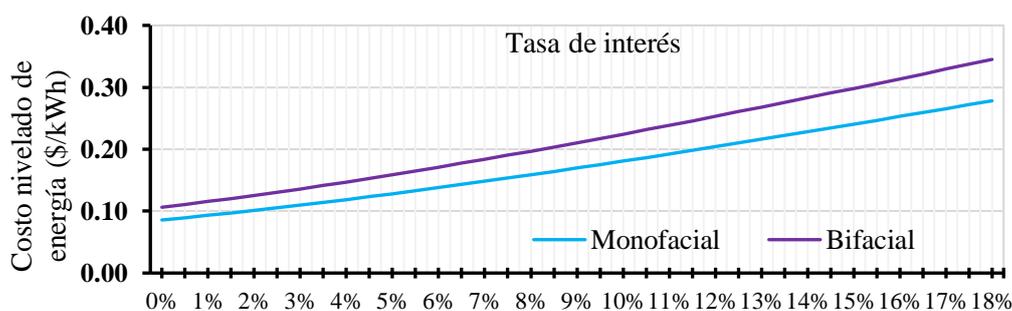


Figura 20. Proyección del costo nivelado de energía (LCOE)

Tabla 24. Proyección del costo nivelado de energía (LCOE)

<b>Proyección del costo nivelado de energía (\$/kWh)</b>		
<b>Tasa de descuento</b>	<b>Monofacial</b>	<b>Bifacial</b>
0.00%	0.09	0.11
0.50%	0.09	0.11
1.00%	0.09	0.12
1.50%	0.10	0.12
2.00%	0.10	0.13
2.50%	0.11	0.13
3.00%	0.11	0.14
3.50%	0.11	0.14
4.00%	0.12	0.15
4.50%	0.12	0.15
5.00%	0.13	0.16
5.50%	0.13	0.16
6.00%	0.14	0.17
6.50%	0.14	0.18
7.00%	0.15	0.18
7.50%	0.15	0.19
8.00%	0.16	0.20
8.50%	0.16	0.20
9.00%	0.17	0.21
9.50%	0.18	0.22
10.00%	0.18	0.22
10.50%	0.19	0.23
11.00%	0.19	0.24
11.50%	0.20	0.25
12.00%	0.20	0.25
12.50%	0.21	0.26
13.00%	0.22	0.27
13.50%	0.22	0.28
14.00%	0.23	0.28
14.50%	0.23	0.29
15.00%	0.24	0.30
15.50%	0.25	0.31
16.00%	0.25	0.31
16.50%	0.26	0.32
17.00%	0.27	0.33
17.50%	0.27	0.34
18.00%	0.28	0.35
18.50%	0.28	0.35
19.00%	0.29	0.36
19.50%	0.30	0.37
20.00%	0.30	0.38

Fuente: Elaboración propia.

## Valor neto presente - VAN

Los valores presentes netos resultantes para cada uno de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, se muestran en la Figura 21 y la Tabla 26, donde la tasa de descuento es del 12.49 % que corresponde a los paneles solares Monofaciales, en tanto que para los Bifaciales la tasa de descuento es de 8.97 %. Por lo tanto, si las tasas de descuento son superiores a los indicados, las inversiones en los sistemas fotovoltaicos no resultarían rentables con beneficios económicos, siempre que se recurra a una entidad bancaria.

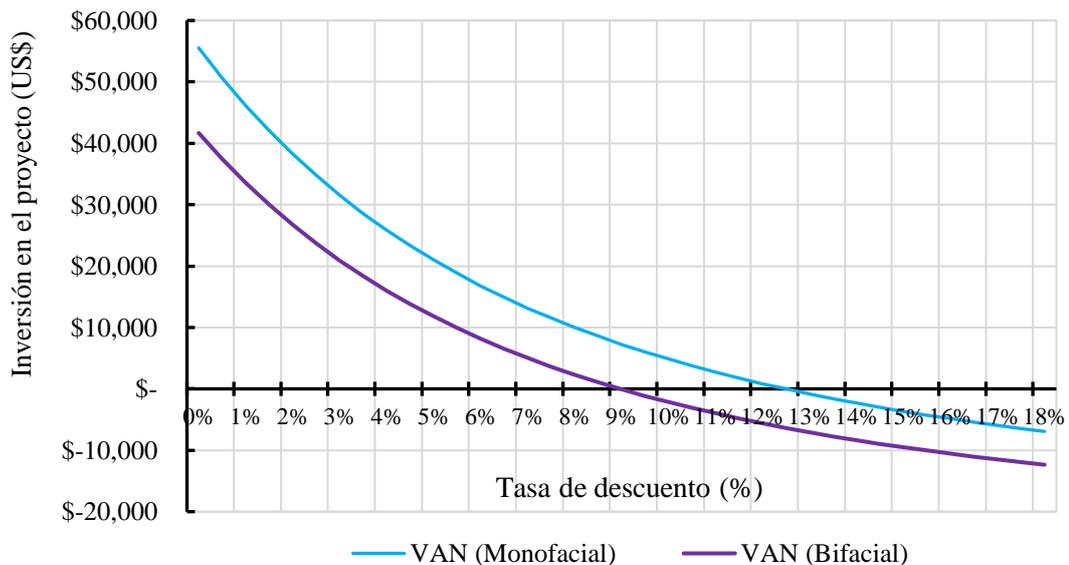


Figura 21. Valor neto presente de los sistemas fotovoltaicos y tasa de descuento

Utilizamos el valor actual neto (VAN) para examinar y evaluar las dos tecnologías de paneles solares fotovoltaicos, el valor actual neto es originalmente una medida de la ganancia calculada restando los valores actuales de las salidas de efectivo (costo, incluido el costo inicial) de los valores actuales de las entradas de efectivo (beneficio) durante un período de tiempo, en este caso por un año. El VAN es positivo por lo que indica que las ganancias proyectadas generadas por los paneles solares exceden los costos anticipados, lo que significa que la inversión inicial tendrá rentabilidad o es viable invertir en el proyecto de los paneles fotovoltaicos. Y, cuanto mayor sea el VAN positivo, mejor será el análisis de las tecnologías fotovoltaicas, en este caso las proyecciones resultan ser positivas por lo tanto se podrá lograr mejores ingresos económicos o rentabilidad para que sea una inversión sostenible.

Tabla 25. Valor neto presente en los sistemas fotovoltaicos según la tasa de descuento

<b>Valor neto presente según tasa de descuento</b>		
<b>Tasa de descuento</b>	<b>VAN – Monofaciales (US\$)</b>	<b>VAN – Bifaciales (US\$)</b>
0.00%	55,529.58	41,673.58
0.50%	50,628.28	37,436.22
1.00%	46,137.06	33,553.19
1.50%	42,016.02	29,990.03
2.00%	38,229.52	26,715.95
2.50%	34,745.73	23,703.45
3.00%	31,536.13	20,927.90
3.50%	28,575.21	18,367.26
4.00%	25,840.07	16,001.76
4.50%	23,310.18	13,813.64
5.00%	20,967.07	11,786.96
5.50%	18,794.13	9,907.37
6.00%	16,776.42	8,161.96
6.50%	14,900.45	6,539.08
7.00%	13,154.09	5,028.23
7.50%	11,526.33	3,619.91
8.00%	10,007.26	2,305.56
8.50%	8,587.89	1,077.41
9.00%	7,260.07	-71.58
9.50%	6,016.44	-1,147.78
10.00%	4,850.28	-2,157.00
10.50%	3,755.51	-3,104.48
11.00%	2,726.58	-3,995.02
11.50%	1,758.46	-4,832.97
12.00%	846.55	-5,622.32
12.50%	-13.35	-6,366.68
13.00%	-825.06	-7,069.36
13.50%	-1,592.09	-7,733.40
14.00%	-2,317.65	-8,361.56
14.50%	-3,004.66	-8,956.37
15.00%	-3,655.81	-9,520.17
15.50%	-4,273.58	-10,055.09
16.00%	-4,860.24	-10,563.08
16.50%	-5,417.86	-11,045.96
17.00%	-5,948.36	-11,505.38
17.50%	-6,453.53	-11,942.87
18.00%	-6,934.97	-12,359.84
18.50%	-7,394.21	-12,757.59

Fuente: Elaboración propia (definición del VAN).

### 3.2.5. Proyección de la tasa de interés de retorno - TIR

Las tasas de interés de retorno para las inversiones de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, se muestran en la Figura 22, en el cual se evidencia que el sistema Monofacial tiene mayor tasa de interés igual al 12.49 %, lo que significa que, a tasas superiores, las inversiones no generarán beneficios económicos, asimismo para los Bifaciales corresponde una tasa de interés del 8.97 %.

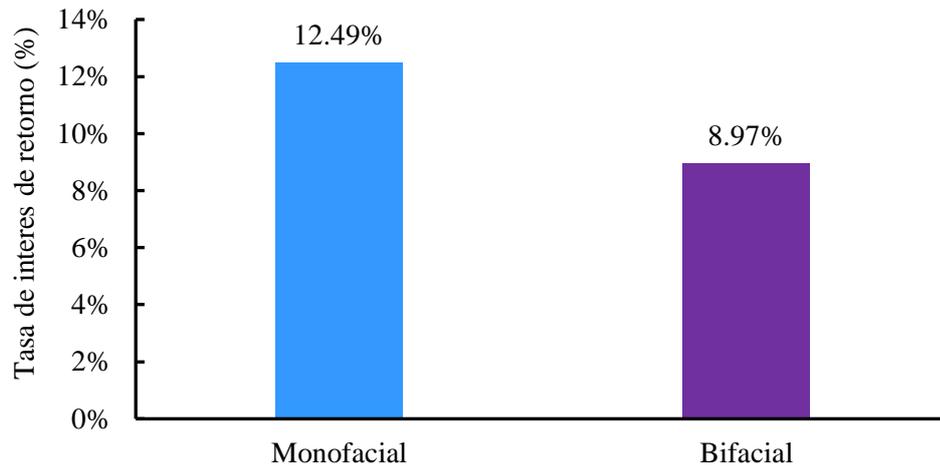


Figura 22. Tasa de interés de retorno (TIR) de las inversiones de los sistemas fotovoltaicos.

### Periodo de retorno o recuperación de la inversión - PRI

En la Figura 23, se muestran el tiempo de recuperación del capital invertido en cada uno de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, en donde se evidencia que los paneles Bifaciales se recuperarán en 9.45 años y los Monofaciales en 8.49 años respectivamente.

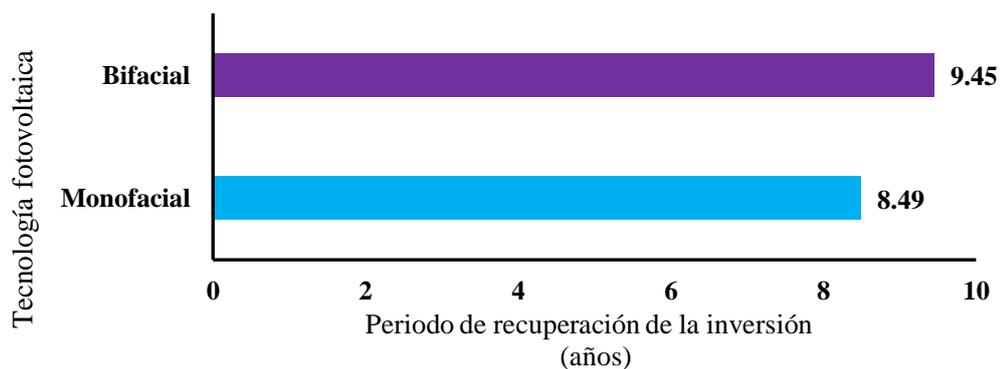


Figura 23. Periodo de recuperación de la inversión - PRI

### 3.4. Evaluación de la sostenibilidad ambiental - mitigación de CO<sub>2</sub>

La intensidad media del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es de aproximadamente 0,98 kg de CO<sub>2</sub> por kWh por fuentes generadores de electricidad procedente del carbón, si se incluye

la pérdida de transporte y la distribución se atribuye el 40 %, más las pérdidas de los aparatos domésticos que están alrededor del 20 %, entonces suma total es de 1.58, y por otro lado la intensidad promedio de CO<sub>2</sub> generada por las centrales eléctricas de combustibles fósiles es de aproximadamente 1,58 kg de CO<sub>2</sub> por kWh (Rao & Sekhar, 2022). Sin embargo, para el presente estudio de los paneles solares por la generación de energía eléctrica, se ha tomado como referencia el factor de emisión considerando la referencia de 0,4521 tonCO<sub>2</sub>/kWh, valor medio de la emisión del CO<sub>2</sub> por la generación de electricidad del Sistema Interconectado Nacional del Perú (SEIN). Los resultados de la mitigación neta del CO<sub>2</sub> durante la vida útil de los sistemas de paneles solares fotovoltaicos, se muestra en la Figura 24 y Tabla 26. Asimismo, se puede observar que, la emisión total de CO<sub>2</sub> disminuye a medida que transcurre el tiempo de la vida útil de los sistemas de paneles fotovoltaicos, esto ocurre porque los paneles solares tienen un factor de degradación a lo largo de los años.

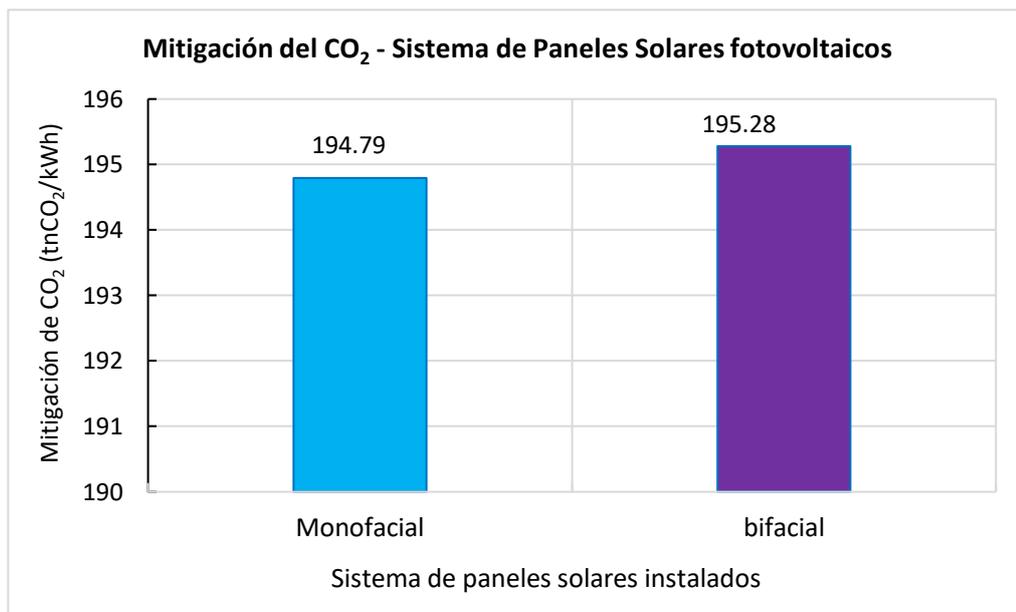


Figura 24. Mitigación de CO<sub>2</sub> por los sistemas de paneles solares fotovoltaicos

En la Tabla 26, se detalla la proyección para la mitigación por tonelada de CO<sub>2</sub>, tanto por año, así como por los 25 años de vida útil. Para el caso de los paneles solares fotovoltaicos Monofaciales en el periodo comprendido entre mayo 2021 a abril de 2022 se totaliza 8,317.18 kgCO<sub>2</sub>/kWh, y para los paneles solares Bifaciales se totaliza 8,241.28 kgCO<sub>2</sub>/kWh. Durante los 25 años de vida útil para el caso de los paneles Monofaciales se totaliza 194,793.86 kgCO<sub>2</sub>/kWh y para los paneles Bifaciales se totaliza 195,280.81 kgCO<sub>2</sub>/kWh respectivamente.

Tabla 26. Mitigación del CO<sub>2</sub> por los sistemas de paneles solares fotovoltaicos

<b>Mitigación de emisión de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/kWh)</b>			
<b>N°</b>	<b>Años</b>	<b>Bifaciales</b>	<b>Monofaciales</b>
1	2021	8,241.28	8,367.39
2	2022	8,204.20	8,317.18
3	2023	8,167.28	8,267.28
4	2024	8,130.52	8,217.67
5	2025	8,093.94	8,168.37
6	2026	8,057.51	8,119.36
7	2027	8,021.25	8,070.64
8	2028	7,985.16	8,022.22
9	2029	7,949.23	7,974.08
10	2030	7,913.45	7,926.24
11	2031	7,877.84	7,878.68
12	2032	7,842.39	7,831.41
13	2033	7,807.10	7,784.42
14	2034	7,771.97	7,737.72
15	2035	7,737.00	7,691.29
16	2036	7,702.18	7,645.14
17	2037	7,667.52	7,599.27
18	2038	7,633.02	7,553.68
19	2039	7,598.67	7,508.35
20	2040	7,564.47	7,463.30
21	2041	7,530.43	7,418.52
22	2042	7,496.55	7,374.01
23	2043	7,462.81	7,329.77
24	2044	7,429.23	7,285.79
25	2045	7,395.80	7,242.07
<b>Total</b>		<b>195,280.81</b>	<b>194,793.86</b>

Fuente: Elaboración propia (referencia del Sistema Nacional Interconectado).

Por lo que se concluye que el sistema de paneles solares Bifaciales tiene mayor proporción en la mitigación de CO<sub>2</sub> con una equivalencia de 195.280,81 toneladas, en tanto que los paneles Monofaciales tienden a mitigar 194.793.86 toneladas de CO<sub>2</sub>. Asimismo, se puede observar que, la emisión total de CO<sub>2</sub> va disminuyendo a medida que transcurre el tiempo de la vida útil de los sistemas de paneles fotovoltaicos, esto ocurre porque los paneles solares tienen un factor de degradación a lo largo de los años de operación.

#### IV. DISCUSIÓN

En un estudio realizado definieron que el rendimiento energético, es el nivel de conversión o transformación de la energía solar a través de los paneles fotovoltaicos en energía eléctrica útil, y que la disponibilidad de la energía solar como la fuente principal de las energía renovable es alta y de libre acceso; así como la emisión y mitigación de CO<sub>2</sub>, estas variable de estudio son consideradas como las más resaltantes que se dan en las diversas investigaciones para valorar las tecnologías disponibles de paneles fotovoltaicos (Allouhi, y otros, 2019); en el presente estudio se ha tomado varias de las variables indicadas para evaluar a las dos tecnologías de los paneles solares fotovoltaicos instalados dentro de la UNTRM.

Asimismo, en otro estudio para la evaluación del rendimiento energético, tuvieron como principales variables la radiación solar disponible, la temperatura interna en las celdas fotovoltaicas en los paneles; asimismo las condiciones climáticas y atmosféricas que se puedan presentan durante las horas solar pico, durante los periodos de cada uno de los meses del año y en los periodos estacionales de verano e invierno (Zdyb & Gulkowski, 2020). De similar manera en otro estudio, considera que la radiación solar incidente en la superficie de los paneles fotovoltaicos, varía debido a la presencia de la niebla, la acumulación de gotas de agua en las nubes, las precipitaciones, la temperatura del aire, la lluvia y el cambio en el medio ambiente por la variación de la temperatura, por lo que concluye que la irradiación solar es diferente bajo esas condiciones (Bhavani, Vijaybhaskar, Mahesh, & Saravanan, 2021).

En el presente estudio, se ha considera como primera variable de estudio la disponibilidad de la radiación solar bajo las condiciones atmosféricas y climáticas en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas y se registró los datos de la irradiación solar por el periodo de un año, iniciando desde mayo de 2021 a abril de 2022, acumulándose la irradiancia solar anual de 1,631.18 kWh/m<sup>2</sup>, y teniendo en promedio diario la disponibilidad de la energía solar durante las horas solar pico en la ciudad de Chachapoyas en Amazonas, en promedio de 4,64 kWh/m<sup>2</sup>; cabe indicar que la energía solar diaria disponible en el territorio peruano en la costa del sur y norte se encuentra entre 6.0 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup> y en gran parte de los territorios de la sierra que se encuentran sobre los 2500 m.s.n.m. están entre 5.5 a 6.0 kWh/m<sup>2</sup>; y en tanto que los bajos niveles de energía solar se encuentran en la parte de selva, que está entre 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup> (SENAMHI, Servicio Nacional de Meteorología

e Hidrología, 2003). Y, en un estudio realizado, para asegurar la sostenibilidad económica de las instalaciones fotovoltaicas, tomaron como valores ideales medios diarios anuales en el rango de 4.6 kWh/m<sup>2</sup> y 4.9 kWh/m<sup>2</sup> (Rios & Duarte, 2021), para nuestro caso de estudio en Chachapoyas, la irradiancia solar está dentro del rango, que es de 4.64 kWh/m<sup>2</sup>, para asegurar la generación energética y la sostenibilidad económica con los paneles fotovoltaicos Monofaciales y Bifaciales.

Chachapoyas está a 2335 m.s.n.m., predomina un clima ligeramente húmedo y templado cálido, cuyas variaciones atmosféricas que se caracterizan por la presencia de neblinas, lluvias y nubosidad, dando origen que en cada día se presente instantes o momentos nublados, combinados y despejados o soleados, esto debido a los efectos de las corrientes frías de aire en esta zona altoandina y por las zonas de selva alta; asimismo se presentan época lluviosa comprendidos entre los meses de noviembre a abril y época seca entre los meses de mayo a octubre ( SENAMHI, Ministerio del Ambiente, 2022). En la presente investigación y bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas y con los datos de la energía solar disponible, los paneles Bifaciales registraron valores máximos en los meses de marzo y agosto de 1,676.52 kWh/m<sup>2</sup> y 2,108.03 kWh/m<sup>2</sup> como producción energética útil; en tanto que la irradiancia solar para los meses indicados fue de 144.45 kWh/m<sup>2</sup> y 150.34 kWh/m<sup>2</sup>. Por otro lado, los valores máximos para el caso de los paneles Monofaciales se ubicaron en los meses de agosto y octubre con 1,873.98 kWh/m<sup>2</sup> y 1,825.38 kWh/m<sup>2</sup>, en tanto que la irradiancia solar para los meses indicados fue de 150.34 kWh/m<sup>2</sup> y 140.00 kWh/ m<sup>2</sup> respectivamente.

En investigaciones previas, los estudios que realizaron demostraron que una de las condición para obtener una mayor producción energética útil con los paneles Bifaciales, dependía de la alta reflectividad del suelo, llamado albedo y de la inclinación del panel, que incrementa la producción energética entre 5% a 20% con respecto a los paneles Monofaciales; es así que la irradiación solar incidente anual en un colector fotovoltaico con un ángulo de inclinación de  $\beta = 20^\circ$ , fue de 1,979 kWh/m<sup>2</sup> (Appelbaum, 2016); para el presente estudio se ha considerado un ángulo de inclinación  $\beta = 15^\circ$ , y la irradiación solar alcanzó 1,631.18 kWh/m<sup>2</sup> anual.

En estudio de investigación realizados, analizaron las variables que afectaron el rendimiento de los paneles solares fotovoltaicos, entre los que se mencionan parámetros como: el aire que pasa sobre las superficies de las celdas solares, la eficiencia propia de

las células solares, el ángulo de declinación, los parámetros ambientales como la temperatura ambiente, precipitación y se enfatiza *al albedo, la inclinación y las irradiaciones solares frontales y posteriores* (Ma, y otros, 2022).

En el presente estudio se analizó el albedo y la irradiación posterior; cabe detallar que el sistema de paneles solares Bifaciales que está conformado por un arreglo de 50 módulos de paneles solares y con potencia nominal de 320 Wp, durante el periodo de estudio de 12 meses, se obtuvo la producción energética útil de 17,257.83 kWh/año, y con respecto al sistema de paneles Monofaciales, con arreglo de 42 módulos de paneles solares y con potencia nominal de 370 Wp, se obtuvo como producción de energía útil de 19,185.29 kWh/año; entre ambos sistemas hay una leve diferencia, sin embargo, se esperaba que el sistema Bifacial superará en la producción energética útil, esto tiene una explicación: lo que ocasionó, fueron las variaciones de los parámetros climáticos, atmosféricos y principalmente la reflectividad del suelo en el albedo (piso de cemento donde se estacionan vehículos que impiden la reflectividad posterior de la irradiación solar). Estas variaciones se reflejan en el rendimiento energético mensualizado que comprenden la época de lluvias y seca, y según las tablas 15, 16, 17 y 18, donde la eficiencia energética alcanzada por los paneles Monofaciales en época de lluvias fue de 83.39 % y los Bifaciales de 68.87 %, en tanto que en la época seca los paneles Monofaciales alcanzaron el 67.14 % y los Bifaciales el 63.75 % respectivamente, estos resultados hacen notar que el comportamiento atmosférico y climáticos influyen en el rendimiento energético.

En la literatura científica se afirma que una instalación fotovoltaica equipada con un inversor central debe tener un índice de rendimiento energético PR (Performance ratio) entre el 70 % al 80% para que sea óptimo; y según la norma IEC 61724-1: 2017 indica que el PR es una de las métricas más utilizadas para evaluar el rendimiento energético global de las plantas de los sistemas fotovoltaicos (Lagarde, Beillard, Mazen, Sandrine Denis, & Julien, 2021), por otro lado el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (RNEL, siglas en Inglés), afirma que el PR óptimo está entre 60% a 90 %.

Bajo las condiciones climáticas y atmosféricas de Chachapoyas, el sistema de paneles fotovoltaicos Bifaciales alcanzó un PR = 66,12 % y el sistema Monofacial alcanzó un PR = 74.68 %, ambos resultados están dentro del margen de rendimiento energético óptimo según el RNEL. Estos resultados son similares a lo reportado en un estudio realizado en la ciudad de Roorke, India; donde la potencia fue de 1,816 kWp con un PR = 63,59 % a

73,56 % (Sangram, Pundir, Varshney, & Singh, 2016). Y, considerando el análisis en los meses lluviosos en Chachapoyas que comprenden desde noviembre a abril, el sistema de paneles Bifaciales alcanzó un PR = 68.87 %, mientras que el sistema Monofacial tuvo un PR = 83.39 %; y en la época seca que comprende los meses de mayo a octubre el sistema de paneles Bifaciales alcanzó un PR = 63.75 % y el sistema de paneles Monofaciales alcanzó un PR = 67.14 %, estas variaciones se deben principalmente por los cambios climáticos y atmosféricos que repercuten en la intensidad de la radiación solar; sin embargo los PR hallados se encuentran dentro del rango del RNEL.

La producción de energía eléctrica durante la vida útil de los paneles solares, es la principal variables que permite evaluar la viabilidad económica de las plantas fotovoltaicas; sin embargo en el transcurso de la vida útil, los paneles sufren una *degradación paulatina*, y eso influye directamente en la generación energética o producción de electricidad, lo que a su vez influye en el flujo de caja y en el costos nivelados de energía (LCOE), siendo el LCOE la suma de todos los costos incurridos durante la vida útil del proyecto solar y dividido por las unidades de energía eléctrica producidas durante su vida útil, y llega a impactar en la rentabilidad de las instalaciones de la plantas fotovoltaicas (Hernández-Moro & Martínez-Duart, 2012); si la degradación es menor, la durabilidad o vida útil de los paneles fotovoltaicos se prolonga y por tanto se reducen los costos de generación energética, y el balance financiero resulta rentable y sostenible ( (Piotrowski & Farret, 2022).

En el presente estudio realizado, según los fabricantes de paneles solares fotovoltaicos Monofaciales y Bifaciales, la vida útil es de 25 años y la tasa de degradación de los paneles anualmente es 0.6 %, estos datos que fueron necesarios para evaluar la proyección de la rentabilidad económica durante los 25 años, en la investigación el LCOE para los paneles Monofaciales osciló entre 0,17 US\$/kWh y 0,21 US\$/kWh, y para el caso de los paneles Bifaciales entre 0,21 US\$/kWh y 0,26 US\$/kWh respectivamente; son costos menores en comparación con la tarifa aplicada por el proveedor de servicios eléctrico Electro Oriente en Chachapoyas, ya que resulta en 0.21 US\$/kWh. En otras investigaciones similares, los valores hallados para el LCOE oscilan entre 0.0779 US\$/kWh y 0.1074 US\$/kWh (Parrado, Girard, Simon, & Fuentealba, 2016). Cabe indicar que, a medida que se incremente la tasa de descuento, el LCOE resultará mayor.

Respecto al periodo de recuperación de la inversión (PRI) del proyecto de los sistemas fotovoltaicos en Chachapoyas. La inversión ha sido realizada directamente por la UNTRM, por lo que no está sujeto a ninguna una tasa de descuento, y el periodo de recuperación de la inversión resulto a 9.45 años para el caso de los paneles Bifaciales y de 8.49 años para el caso de los paneles Monofaciales. El tiempo necesario para recuperar el costo de inversión del proyecto, considerada el tiempo de amortización simple, que solo toma en cuenta la suma de los flujos de efectivo anuales y el costo inicial de la inversión; en estudios similares, los periodos de recuperación hallados en distintas zonas geográficas de los distritos de Roma y Milán, fueron de 12.13, 8.43 y 7.17 años respectivamente. Si la inversión estuviera sujeta a una tasa de interés de una entidad financiera, el interés no debe superar el 12.5 % para tener una viabilidad económica rentable.

Con referencia al impacto ambiental, se ha demostrado que la mitigación de la emisión de CO<sub>2</sub> por los paneles solares fotovoltaicos, resulta amigable con el medio ambiente; es así que se ha estimado en base a la producción de energía eléctrica para 25 años, y resulta que se mitigan en una proporción de 195, 280,81 toneladas de CO<sub>2</sub> para el caso de los paneles Bifaciales, y de 194,793.86 toneladas de CO<sub>2</sub> para el caso de los paneles Monofaciales, esto favorece ampliamente para enfrentar el cambio climático en el planeta y alinearnos a los Objetivos del Desarrollo Sostenible del 2030.

## V. CONCLUSIONES

Es el primer estudio realizado en el ámbito geográficos del nororiente peruano, consistente en la evaluación comparativa de la eficiencia energética del sistemas de paneles solares fotovoltaicos Monofaciales y Bifaciales, este estudio contribuirá con nuevos conocimientos sobre el comportamiento de los paneles solares Monofaciales y Bifaciales bajo las condiciones atmosféricas y climáticas de Chachapoyas, Amazonas; asimismo será una referencia para los fabricantes de los paneles solares para la mejora continua en sus diseños; y para la comunidad civil, institucional o empresarial será una importante referencia para la adecuada selección o adquisición de paneles solares fotovoltaicos con mejor eficiencia o rendimiento energético.

De acuerdo a los objetivos planteados en el estudio, se concluye:

- En lo que respecta a la evaluación de la eficiencia o rendimiento energético de los paneles solares, las condiciones ambientales y atmosféricas influyen en los paneles solare, dado que se visto que la variación de la temperatura ambiente, las precipitaciones, los vientos, la humedad relativa y la misma radiación solar; estos factores tienen efecto directo en el rendimiento energéticos de los paneles, porque ocasionan que un día cualquiera se presenten instantes o momentos con cielos totalmente nublados, parcialmente despejados y totalmente despejados o soleados; lo que puede incrementar o bien disminuir la generación eléctrica, tal es así que los paneles Bifaciales tuvieron una generación energética anual de 17,257.83 kW/m<sup>2</sup>/año y los Bifaciales de 19,185.29 kWh/m<sup>2</sup>/año, este caso se esperaba que los Bifaciales generaran más que los Monofaciales con un incremento del 5 % al 30 % más de energía, en tanto que la radiación solar fue lo mismo para ambas tecnologías, de 1,631.18 kWh/m<sup>2</sup>/año y con un promedio anual de Horas Solar Pico (HSP) de 4.76 kWh/m<sup>2</sup>/día; y anualmente se ha logrado una eficiencia en la generación energética del 74.68 % para el caso de los paneles Monofaciales y del 66.12 % para los Bifaciales. Y, según NREL, los porcentajes de rendimiento energético de ambos tipos de paneles se encuentran dentro del rango de los valores óptimos de las plantas fotovoltaicas, es decir en el rango de 60 % al 90 % de eficiencia energética para ser consideradas apropiadas.

- Sobre la viabilidad económica, se ha analizado el LCOE, VAN, TIR, PRI, para un periodo de 25 años que viene a ser la vida útil de los paneles solares según fabricantes y con una tasa de degradación anual del 0.6 %, resultando que el periodo de recuperación para el caso de los paneles solares Monofaciales es de 8.49 años y para los Bifaciales de 9.45 años, por lo que resulta económicamente rentable para ambas tecnologías, dado que se tendrá un generación energético de manera gratuito por alrededor de 15 años adicionales posterior al tiempo de recuperación de la inversión inicial. Asimismo, se ha visto que la tasa interna de retorno resulta en 12.49 % para los paneles Monofaciales y del 8.87 % para el caso de los Bifaciales, sobre el particular si se desea implementar por medio una financiera no resultaría viable, porque para las entidades bancarias no les resulta rentable dichas tasas.
  
- Y, finalmente con respecto al impacto ambiental, se ha demostrado que la mitigación de la emisión de CO<sub>2</sub>, es favorable con los sistemas de paneles fotovoltaicos, y además que son amigables con el medio ambiente; es así que se ha estimado en base a la producción de energía durante los 25 años, que los sistemas de paneles solares Monofaciales mitigarían en una proporción de 195,280,81 toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente, en tanto que los paneles Bifaciales mitigarían 194,793.86 toneladas de CO<sub>2</sub>; esto es muy importante considerar como una alternativa para enfrentar el cambio climático en el planeta y alinear a los Objetivos del Desarrollo Sostenible del 2030.

## VI. RECOMENDACIONES

- Para futuros estudios con paneles solares Bifaciales, es importante considerar la reflectancia en el albedo, a fin de aprovechar al máximo la radiación solar disponible, por lo que debajo de los paneles no deben ubicarse objetos que obstruyan la reflectancia de la radiación solar del piso hacia el albedo.
- Mediante el uso de la inteligencia artificial (IA), se puede proyectar para cada uno de las tecnologías de los paneles fotovoltaicos estudiados la generación energética y la vida útil real, dado que según fabricantes consideran 25 años, pero sería conveniente estudiar bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas proyectar el tiempo de vida útil real porque puede prolongarse posiblemente a más de 40 o 50 años, lo que permitiría ser sostenible, considerando que cada zona geográfica tiene diferente comportamiento en cuanto a la radiación solar y otras variables ambientales.
- Para aprovechar mejor la radiación solar reflejada e incrementar el rendimiento energético de los paneles solares bifaciales, es conveniente que todo el módulo sea reubicado en un área apropiada dentro de la UNTRM donde no se tenga obstáculos por debajo de los paneles solares ni estén sujetos a sombras causados por árboles o edificios.
- Se puede proyectar estudios sobre el ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos de ambas tecnologías para proponer alternativas para el manejo o tratamiento sobre la obsolescencia tecnológica, es decir sobre el reciclado de los componentes de los paneles solares para minimizar el impacto en el medio ambiente.
- Dentro de la UNTRM, se cuenta con diversas tecnologías de paneles fotovoltaicas, sin embargo, no existe un consolidado comparativo del rendimiento energético de todas estas tecnologías, lo que sería una propuesta para futuros estudios y de esta manera se podría recomendar la mejor tecnología bajo las condiciones en Chachapoyas a los interesados para las diversas aplicaciones (domésticas, agricultura, bombeo de agua, alumbrado en zonas rurales y entre otros), y fomentar de esta manera el uso de las energías renovables.
- Para futuras investigaciones, sería importante realizar el análisis multivariado, donde se correlacionen las variables de ambientales y atmosféricas con la generación energética por los paneles solares fotovoltaicos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves Domingos, R., & Ruttkay Pereira, F. (2021). Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and. *Energy & Buildings*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111013>.
- Ahmed Gassar, A., & Cha, H. S. (2020). Review of geographic information systems-based rooftop solar photovoltaic. *Applied Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116817>.
- Ahmed, H., & Dincer, I. (2022). A new performance assessment methodology of bifacial photovoltaic solar panels for offshore applications. *Energy Conversion and Management*, Volume 220, 15 September 2020, 112972. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112972>.
- AIE. (2021, Abril 10). *Agencia Internacional de Energías* . Retrieved from <https://www.iea.org/fuels-and-technologies>
- Alcubierre, D. (2021, mayo 16). *CEMAER*. Retrieved from Centro de estudios en medio ambiente y energías renovables : <https://www.cemaer.org/tipos-de-paneles-solares/>
- Allouhi, A., Saadani, R., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A., & Rahmoune, M. (2019). Energetic, economic and environmental (3E) analyses and LCOE estimation of three technologies of PV grid-connected systems under different climates. *Solar Energy*, Volume 178, 15 January 2019, Pages 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.11.060>.
- Alvarez Lozano, D. A. (2017). *Tesis: Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptima de una superficie plana para maximir la captación de irradiación solar en Cuenca - Ecuador*. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca .
- Appelbaum, J. (2016). Bifacial photovoltaic panels field. *Renewable Energy*, Volume 85, January 2016, Pages 338-343. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.050>.
- Bhavani, M., Vijaybhaskar, R. K., Mahesh, K., & Saravanan, S. (2021). Impact of variation of solar irradiance and temperature on the inverter output for grid connected photo voltaic (PV) system at different climate conditions. *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.120>.
- Bouacha, S., Malek, A., Benkraouda, O., & Hadj Arab, A. (2020). Performance analysis of the first photovoltaic grid-connected system in Algeria. *Energy for Sustainable Development*, Volume 57, August 2020, Pages 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.04.002>.

- Burhan, M., Wakil Shahzad, M., & Choon, N. K. (2017). Long-term performance potential of concentrated photovoltaic (CPV) systems. *Energy Conversion and Management*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.072>.
- Byung-ju, K., Ji-yong, L., Kyung-hwan, K., & Hur, T. (2014). Evaluation of the environmental performance of sc-Si and mc-Si PV systems in Korea. *Solar Energy*, Volume 99, January 2014, Pages 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.038>.
- Caliskan, H. (2017). Environmental and enviroeconomic researches on diesel engines. *Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.168>.
- Cantos Serrano, J. (2021, marzo 24). *Configuración de instalaciones solares fotovoltaicas*. Retrieved from books.google.com: <https://books.google.com.pe/books?id=EHDICwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Instalaciones+Solares+Fotovoltaicas&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjdgI3G9eLjAhUPvFkKHQxLD8IQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Instalaciones%20Solares%20Fotovoltaicas&f=false>
- Carhuavilca, A. M., Conde, L. A., Berastain, A. E., Montes-Romero3, J., & Gosgot, W. (2020). Monitoring system based on IEC standards for irradiance and module temperature measurements in photovoltaic systems. *Peruvian Workshop on Solar Energy 2020 (JOPES 2020)*, doi:10.1088/1742-6596/1841/1/012002.
- De La Cruz Montañez, J., & Bastidas Gúzman, Y. M. (2020). *Tesis: Evaluación de tres modelos matemáticos de la eficiencia de un panel fotovoltaico*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Deline, C., Ayala Peláez, S., Marion, B., & Woodhouse, M. (2021, mayo 14). *NREL*. Retrieved from National Renewable Energy Laboratory: <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74090.pdf>
- Elhadidy, M. A. (n.d.).
- Eslava, C. J. (2019). Por una salud pública que enfrente la crisis civilizatoria. *Facultad Nacional de Salud Pública*, DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v38n1e341123>.
- Gu, W., Li, S., Liu, X., Chen, Z., & Zhang, X. (2020). Experimental investigation of the bifacial photovoltaic module under. *Renewable Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.024>.
- Gutiérrez Urdaneta, L., Padrón Suárez, L., Pentón Julián, H. L., & De la Incera Núñez, C. (2020). Sistemas de ajuste manual de inclinación de paneles fotovoltaicos. *Centro de Investigación y Pruebas Electroenergéticas, Facultad de Ingeniería Eléctrica.*, vol. 41, n.2, mayo/ agosto,e1001.

- Hamisu Umar, U., Bora, B., Chandan, B., Gupta, P., & Anjum, N. (2021). Performance and economic viability of the PV system in different climatic zones of Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100987>.
- Hernández-Moro, J., & Martínez-Duart, J. M. (2012). CSP electricity cost evolution and grid parities based on the IEA roadmaps. *Energy Policy*, Volume 41, February 2012, Pages 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.032>.
- Hervas Moreira, J. A., & Moscoso Noroña, M. F. (2015). *Tesis: Análisis del potencial eólico y solar para la implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica en base al uso de energías renovables en el páramo Chalupas, Periodo 2015*. Latacunga. Ecuador: Universidad Técnica de Cotopaxi - Unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicada.
- Hevia-Koch, P., & Ladenburg, J. (2019). Where should wind energy be located? A review of preferences and. *Energy Research & Social Science*, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.010>.
- Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.022>.
- Lagarde, Q., Beillard, B., Mazen, S., Sandrine Denis, M., & Julien, L. (2021). Performance ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.11.007>.
- LG Electronics Inc. (2017). <http://www.lg.com>. Retrieved from LG: <http://www.lg.com/global/business/solar>
- Li, T., Roskilly, A., & Wang, Y. (2017). Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic. *Applied Energy*, <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.021>.
- Ma, T., Kazemian, A., Habibollahzade, A., Salari, A., Gu, W., & Peng, J. (2022). A comparative study on bifacial photovoltaic/thermal modules with various cooling methods. *Energy Conversion and Management*, Volume 263, 1 July 2022, 115555. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115555>.
- Ministerio Economía y Finanzas. (2021). *Nota técnica para el uso del precio del social del carbono en la evaluación de proyectos de inversión*. Lima, Perú: MEF.
- Mohd Khalid, A., Mitra, I., Warmuth, W., & Schacht, V. (2016). Performance ratio – Crucial parameter for grid connected PV plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 65, November 2016, Pages 1139-1158. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.066>.

- Neeraj, K., & Pushendra, S. (2022). Review of next generation photovoltaic solar cell technology and comparative materialistic development. *Materials Today: Proceedings*, Volume 56, Part 6, 2022, Pages 3460-3470.
- Padrón Suárez, L., Gutiérrez Urdaneta, L., Hidalgo Gonzáles, R., & De la Incera Núñez, C. (2020). Uso de paneles bifaciales en sistemas fotovoltaicos de ángulo fijo y de seguimiento horizontal de un eje. *Centro de Investigación y Pruebas Electroenergéticas, Facultad de Ingeniería Eléctrica.*, vol. 41, n.3, septiembre/diciembre, e3007.
- Palate, B., Guedes, T., Grilo-Pavani, A., & Padilha-Feltrin, A. (2020). Aggregator units allocation in low voltage distribution networks with penetration of photovoltaic systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107003>.
- Pandey, A. K., Tyagi, V. V., Jeyraj, B. J., & Selvaraj, A. L. (2015). Recent advances in solar photovoltaic systems for emerging trends and advanced applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.043>.
- Parrado, C., Girard, A., Simon, F., & Fuentealba, E. (2016). 2050 LCOE (Levelized Cost of Energy) projection for a hybrid PV (photovoltaic)-CSP (concentrated solar power) plant in the Atacama Desert, Chile. *Energy*, Volume 94, 1 January 2016, Pages 422-430. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.015>.
- Peng, Z., Herfatmanesh, M. M., & Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, 150 (2017), pp. 949-955, [10.1016/j.enconman.2017.07.007](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.007).
- Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., & Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, Volume 150, 15 October 2017, Pages 949-955. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.07.007>.
- Petrakopoulou, F., Robinson, A., & Loizidou, M. (2016). Simulation and evaluation of a hybrid concentrating-solar and wind power plant for energy autonomy on islands. *Renewable Energy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.030>.
- Piotrowski, L. J., & Farret, F. A. (2022). Feasibility of solar tracking and fixed topologies considering the estimated degradation and performance of photovoltaic panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Volume 244, 15 August 2022, 111834. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111834>.
- Rao, V. T., & Sekhar, Y. R. (2022). Comparative analysis on embodied energy and CO2 emissions for stand-alone crystalline silicon photovoltaic thermal (PVT) systems for tropical climatic regions of India. *Sustainable Cities and Society*, Volume 78, March 2022, 103650; <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103650>.

- REN21, R. E. (2021, abril 8). *REN21*. Retrieved from Energías Renovables 2016: Reporte de la situación mundial: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21\\_GSR2016\\_KeyFindings\\_sp\\_05.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_GSR2016_KeyFindings_sp_05.pdf)
- Rios, R., & Duarte, S. (2021). Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 149, October 2021, 111310. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111310>.
- Roberts, J. J. (2015). Proyecto de un sistema híbrido de generación con energías renovables para un establecimiento rural aislado. *Researchgate*, <https://www.researchgate.net/publication/293950988>.
- Salazar Espinoza, J. (2017). *Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para abastecimiento eficiente de energía en el ámbito rural*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3935/Salazar%20Espinoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Sanchez Gallegos, N. (2016). *Diseño de un sistema eólico - solar para el bombeo de agua*. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6122/62131244S211.pdf?sequence=1&isAllowed=y>: Universidad Tecnológica de Pereira - Facultad de Ingeniería Mecánica de Pereira. Pereira, Risaralda, Colombia.
- Sangram, K., Pundir, S., Varshney, N., & Singh, G. K. (2016). Comparative study of performance of grid connected solar photovoltaic power system in IIT roorkee campus. *Energy for Sustainable Development*, (2016), pp. 319-328.
- Scarabelot, L. T., Rambo, C. R., & Rampinelli, G. A. (2018). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.099>.
- SENAMHI. (2003). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. In D. G. Ambientales, *Atlas de Energía Solar del Perú* (p. 20). Lima: SENAMHI.
- SENAMHI. (2022, junio 24). *Ministerio del Ambiente*. Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=condiciones-climaticas>
- Solar, M. (2021, abril 14). <https://www.mpptsolar.com>. Retrieved from Regulador de Carga MPPT para Eólico y Solar. Italia: Mppt Solar: <https://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>
- Tirupati Rao, V., & Raja Sekhar, Y. (2022). Comparative analysis on embodied energy and CO2 emissions for stand-alone crystalline silicon photovoltaic thermal (PVT)

systems for tropical climatic regions of India. *Sustainable Cities and Society*, Volume 78, March 2022, 103650. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103650>.

- Valdivieso Salas, P. D. (2014). *Tesis: Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica para 15 computadoras portátiles en la PUCP*. [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5447/VALDIVIEZO\\_PAULO\\_DISE%c3%91O\\_SISTEMA\\_FOTOVOLTAICO\\_ENERGIА\\_ELECTRICA\\_PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5447/VALDIVIEZO_PAULO_DISE%c3%91O_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_ENERGIА_ELECTRICA_PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y): PUCP, Lima-Perú.
- Wong, J., Sridharan, R., & Shanmugam, V. (2015). Quantifying Edge and Peripheral Recombination Losses in Industrial Silicon Solar Cells. *IEEE Transactions on Electron Devices*, Volume 62, Issue 11, 5 October 2015, Article number 7289429, Pages 3750-3755. DOI: 10.1109/TED.2015.2480089.
- Yilmaz, S., & Dincer, F. (2017). Impact of inverter capacity on the performance in large-scale photovoltaic power plants – A case study for Gainesville, Florida. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 79, November 2017, Pages 15-23. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.054>.
- Yin, H., Zhou, Y., Sun, S., & Tang, W. (2021). Optical enhanced effects on the electrical performance and energy yield of. *Solar Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.004>.
- Zdyb , A., & Gulkowski, S. (2020). Performance Assessment of Four Different Photovoltaic Technologies in Poland. *Energies*, *Energies* 2020, 13, 196; doi:10.3390/en13010196.

## **VIII. ANEXOS**

Anexo 1. Datasheet paneles solares Bifaciales.

Anexo 2. Datasheet paneles solares Monofaciales.

Anexo 3. Datasheet inversor SMA Sunny Tripower 15000TL.

Anexo 4. Recibo de consumo energía eléctrica residencia BT5B.

## LIMITED WARRANTY STATEMENT PHOTOVOLTAIC HiDM MODULE PRODUCTS

Effective January 1<sup>st</sup>, 2020

This Limited Warranty Statement applies only to Canadian Solar Inc. ("Canadian Solar") HiDM (including HDM) module products ("Products").

This Limited Warranty Statement does not apply to Products sold to and installed in Australia, Japan, and P.R. China.

### FIFTEEN (15) YEAR LIMITED PRODUCT WARRANTY

Subject to the exclusions contained herein, Canadian Solar warrants to the original buyer (the "Buyer") of the Products that the Products shall be free from defects in materials and workmanship which have an effect on Products functionality under normal application, installation, use, and service conditions as specified in Canadian Solar's standard product documentation such as the installation manual and its annexes.

Claims under this warranty will only be accepted if the Buyer can prove that the malfunctioning or non-conformity of the Products results exclusively from defects in materials and/or workmanship under normal application, installation, use and service conditions specified in Canadian Solar's standard product documentation. This Limited Product Warranty does not warrant a specific power output of the Products, which shall be exclusively covered under the Limited Performance Warranty elaborated below.

### TWENTY-FIVE (25) YEAR LIMITED PERFORMANCE WARRANTY

Canadian Solar warrants that for a period of twenty-five years the Products will maintain a level of performance as set forth below:

- During the first year, Canadian Solar warrants the actual power output of the Products will be no less than 97.5% of the labeled power output.
- From year 2 to year 25, the actual annual power decline will be no more than 0.6%; by the end of year 25, the actual power output will be no less than 83.1% of the labeled power output.

The actual power output of the Products shall be determined for verification using Standard Testing Conditions only. The actual power output measurement is either carried out by a Canadian Solar facility or by a Canadian Solar recognized third-party testing institute. Testing equipment uncertainty will be applied to all actual power output measurements.

### WARRANTY EFFECTIVE DATE

The effective date of the warranties provided herein shall be the date of installation or ninety (90) days after delivery by Canadian Solar to the Buyer, whichever date is earlier.



# BiKu MODULE

NEW GENERATION BIFACIAL MODULE

FRONT POWER RANGE: 310W ~ 335W

UP TO 30% MORE POWER FROM THE BACK SIDE

CS3K-310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335MB-AG (IEC1000 V)

CS3K-310 | 315 | 320 | 325 | 330 | 335MB-AG (IEC1500 V)



FRONT

BACK



5BB cell



MBB cell

\* Both 5BB and MBB modules will be supplied.

## MORE POWER



Up to 30% more power from the back side



Low NMOT:  $41 \pm 3$  °C  
Low temperature coefficient (Pmax):  
-0.36 % / °C



Better shading tolerance

## MORE RELIABLE



Lower internal current,  
lower hot spot temperature



Minimizes micro-cracks and  
snail trails



Heavy snow load up to 5400 Pa,  
wind load up to 2400 Pa \*



Fire Class A and Type 3 / Type 13



linear power output warranty\*



enhanced product warranty on materials  
and workmanship\*

\*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

## MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system

ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system

OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

## PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS

IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS

UL 1703: CSA

Take-e-way



\* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 36 GW deployed around the world since 2001.

\* For detailed information, please refer to Installation Manual.

## CANADIAN SOLAR INC.

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd., 44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia  
support@canadiansolar.com, www.canadiansolar.com/au

powered by

**Q.ANTUM**

## Anexo 2. Datasheet paneles solares Monofaciales.

# Q.PEAK L-G5.0.G

## 365-375

ENDURING HIGH  
PERFORMANCE



**Q CELLS**

YIELD SECURITY

- ✓ ANTI PID TECHNOLOGY (APT)
- ✓ HOT-SPOT PROTECT (HSP)
- ✓ TRACEABLE QUALITY (TRA.Q™)
- ✓ ANTI LID TECHNOLOGY (ALT)



### LOW ELECTRICITY GENERATION COSTS

Higher yield per surface area and lower BOS costs thanks to higher power classes and an efficiency rate of up to 19.6%.



### INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behaviour.



### ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti LID Technology, Anti PID Technology, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



### EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminium alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



### A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> See data sheet on rear for further information.

### THE IDEAL SOLUTION FOR:



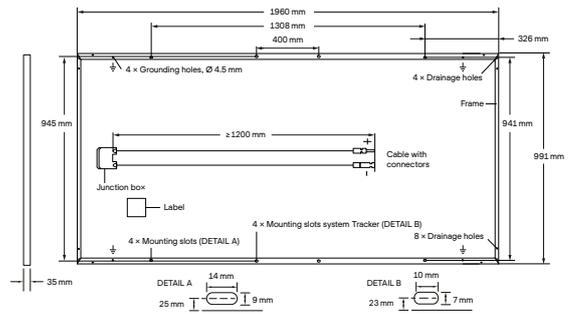
Ground-mounted  
solar power plants

Engineered in Germany

**Q CELLS**

## MECHANICAL SPECIFICATION

Format	1960 mm × 991 mm × 35 mm (including frame)
Weight	22.5 kg ± 5 %
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 12 monocrystalline Q.ANTUM solar cells
Junction box	66-77 mm × 90-115 mm × 15-20 mm Protection class ≥ IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> Solar cable; (+) ≥ 1200 mm, (-) ≥ 1200 mm
Connector	Stäubli MC4-Evo2; IP68

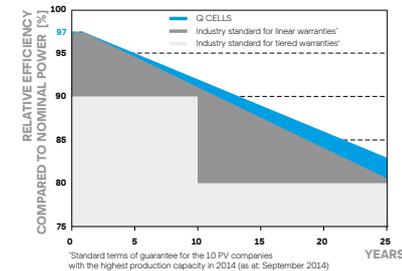


## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS			365	370	375
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC <sup>1</sup> (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)					
Minimum	Power at MPP <sup>1</sup>	$P_{MPP}$ [W]	365	370	375
	Short Circuit Current <sup>1</sup>	$I_{SC}$ [A]	9.75	9.81	9.86
	Open Circuit Voltage <sup>1</sup>	$V_{OC}$ [V]	48.16	48.45	48.73
	Current at MPP	$I_{MPP}$ [A]	9.27	9.35	9.42
	Voltage at MPP	$V_{MPP}$ [V]	39.38	39.59	39.80
	Efficiency <sup>1</sup>	$\eta$ [%]	≥ 18.8	≥ 19.0	≥ 19.3
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT <sup>2</sup>					
Minimum	Power at MPP	$P_{MPP}$ [W]	272.3	276.1	279.8
	Short Circuit Current	$I_{SC}$ [A]	7.85	7.90	7.95
	Open Circuit Voltage	$V_{OC}$ [V]	45.32	45.59	45.87
	Current at MPP	$I_{MPP}$ [A]	7.29	7.36	7.42
	Voltage at MPP	$V_{MPP}$ [V]	37.34	37.52	37.70

<sup>1</sup>Measurement tolerances  $P_{MPP} \pm 3\%$ ;  $I_{SC}$ ;  $V_{OC} \pm 5\%$  at STC: 1000 W/m<sup>2</sup>, 25 ± 2 °C, AM 1.5G according to IEC 60904-3 • <sup>2</sup>800 W/m<sup>2</sup>, NMOT, spectrum AM 1.5G

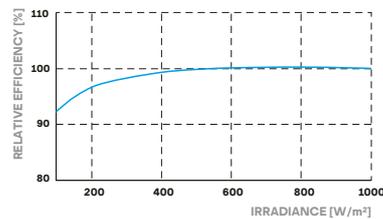
### Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 97 % of nominal power during first year. Thereafter max. 0.6 % degradation per year. At least 92.0 % of nominal power up to 10 years. At least 83.0 % of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

### PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup>).

### TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of $I_{SC}$	$\alpha$ [%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of $V_{OC}$	$\beta$ [%/K]	-0.28
Temperature Coefficient of $P_{MPP}$	$\gamma$ [%/K]	-0.39	Normal Module Operating Temperature	NMOT [°C]	43 ± 3

## PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	$V_{SYS}$ [V]	1500	Safety Class	II
Maximum Reverse Current	$I_R$ [A]	20	Fire Rating	C
Max. Design Load, Push/Pull	[Pa]	3600/1600	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	-40 °C - +85 °C
Max. Test Load, Push/Pull	[Pa]	5400/2400		

### QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215:2016; IEC 61730:2016, Application Class II;  
This data sheet complies with DIN EN 50380.



### PACKAGING INFORMATION

Number of Modules per Pallet	30
Number of Pallets per 40' HC-Container (26t)	22
Pallet Dimensions (L × W × H)	2010 × 1130 × 1160 mm
Pallet Weight	726 kg

**Note:** Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Made in China

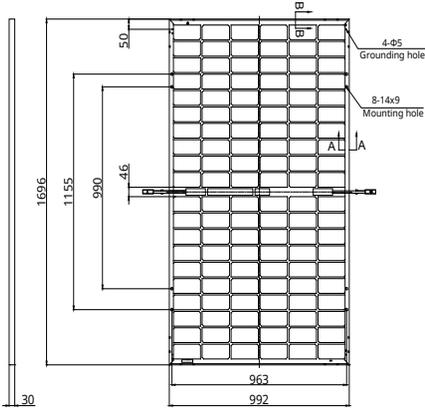
Hanwha Q CELLS Australia Pty Ltd

Suite 1, Level 1, 15 Blue Street, Sydney, NSW 2060, Australia | TEL +61 (0)2 9016 3033 | FAX +61 (0)2 9016 3032 | EMAIL q-cells-australia@q-cells.com | WEB www.q-cells.com/au

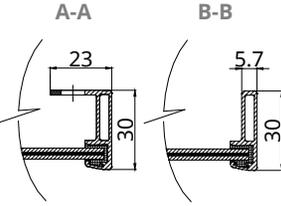
Engineered in Germany

**ENGINEERING DRAWING (mm)**

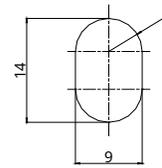
**Rear View**



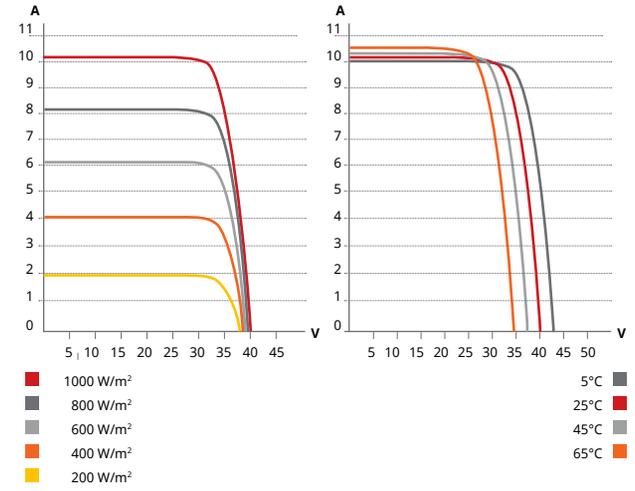
**Frame Cross Section**



**Mounting Hole**



**CS3K-320MB-AG / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)	Module Efficiency
<b>CS3K-310MB-AG</b>	310 W	32.9 V	9.43 A	39.7 V	9.98 A	18.43%
5%	326 W	32.9 V	9.90 A	39.7 V	10.48 A	19.38%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	341 W	10.37 A	39.7 V	10.98 A	20.27%
20%	372 W	32.9 V	11.32 A	39.7 V	11.98 A	22.11%
30%	403 W	32.9 V	12.26 A	39.7 V	12.97 A	23.95%
<b>CS3K-315MB-AG</b>	315 W	33.1 V	9.52 A	39.9 V	10.06 A	18.72%
5%	331 W	33.1 V	10.00 A	39.9 V	10.56 A	19.67%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	347 W	10.47 A	39.9 V	11.07 A	20.62%
20%	378 W	33.1 V	11.42 A	39.9 V	12.07 A	22.47%
30%	410 W	33.1 V	12.38 A	39.9 V	13.08 A	24.37%
<b>CS3K-320MB-AG</b>	320 W	33.3 V	9.61 A	40.1 V	10.14 A	19.02%
5%	336 W	33.3 V	10.09 A	40.1 V	10.65 A	19.97%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	352 W	10.57 A	40.1 V	11.15 A	20.92%
20%	384 W	33.3 V	11.53 A	40.1 V	12.17 A	22.82%
30%	416 W	33.3 V	12.49 A	40.1 V	13.18 A	24.73%
<b>CS3K-325MB-AG</b>	325 W	33.5 V	9.71 A	40.3 V	10.22 A	19.32%
5%	341 W	33.5 V	10.20 A	40.3 V	10.73 A	20.27%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	358 W	10.68 A	40.3 V	11.24 A	21.28%
20%	390 W	33.5 V	11.65 A	40.3 V	12.26 A	23.18%
30%	423 W	33.5 V	12.62 A	40.3 V	13.29 A	25.14%
<b>CS3K-330MB-AG</b>	330 W	33.7 V	9.80 A	40.5 V	10.30 A	19.61%
5%	347 W	33.7 V	10.29 A	40.5 V	10.82 A	20.62%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	363 W	10.78 A	40.5 V	11.33 A	21.58%
20%	396 W	33.7 V	11.76 A	40.5 V	12.36 A	23.54%
30%	429 W	33.7 V	12.74 A	40.5 V	13.39 A	25.50%
<b>CS3K-335MB-AG</b>	335 W	33.9 V	9.89 A	41.2 V	10.39 A	19.91%
5%	352 W	33.9 V	10.38 A	41.2 V	10.91 A	20.92%
<b>Bifacial Gain**</b>	10%	369 W	10.88 A	41.2 V	11.43 A	21.93%
20%	402 W	33.9 V	11.87 A	41.2 V	12.47 A	23.89%
30%	436 W	33.9 V	12.86 A	41.2 V	13.51 A	25.91%

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C. Measurement uncertainty: ±3% (Pmax).  
 \*\* Bifacial Gain: The additional gain from the back side compared to the power of the front side at the standard test condition. It depends on mounting (structure, height, tilt angle etc.) and albedo of the ground.

**ELECTRICAL DATA**

Operating Temperature	-40°C ~ +85°C
Max. System Voltage	1500 V (IEC) or 1000 V (IEC/UL)
Module Fire Performance	TYPE 3 / Type 13 (UL 1703) or CLASS A (IEC61730)
Max. Series Fuse Rating	25 A
Application Classification	Class A
Power Tolerance	0 ~ + 5 W
Power Bifaciality*	70 %

\* Power Bifaciality =  $P_{max_{rear}} / P_{max_{front}}$ , both  $P_{max_{rear}}$  and  $P_{max_{front}}$  are tested under STC, Bifaciality Tolerance: ± 5 %

\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

	Nominal Max. Power (Pmax)	Opt. Operating Voltage (Vmp)	Opt. Operating Current (Imp)	Open Circuit Voltage (Voc)	Short Circuit Current (Isc)
<b>CS3K-310MB-AG</b>	232 W	30.7 V	7.54 A	37.3 V	8.05 A
<b>CS3K-315MB-AG</b>	235 W	30.9 V	7.61 A	37.5 V	8.11 A
<b>CS3K-320MB-AG</b>	239 W	31.1 V	7.69 A	37.7 V	8.18 A
<b>CS3K-325MB-AG</b>	243 W	31.3 V	7.76 A	37.9 V	8.24 A
<b>CS3K-330MB-AG</b>	247 W	31.5 V	7.84 A	38.1 V	8.31 A
<b>CS3K-335MB-AG</b>	250 W	31.7 V	7.91 A	38.7 V	8.38 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	120 [2x (10 x 6)]
Dimensions	1696 x 992 x 30 mm (66.8 x 39.1 x 1.18 in)
Weight	22.1 kg (48.7 lbs)
Front / Back Glass	2.0 mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 400 mm (15.7 in) (+) / 280 mm (11.0 in) (-), landscape: 1250 mm (49.2 in)*
Connector	T4-PC-1 (IEC 1000 V) or PV-KST4/xy-UR, PV-KBT4/xy-UR (IEC 1000 V) or T4-PPE-1 (IEC 1500 V) or PV-KST4-EVO2/XY, PVKBT4-EVO2/XY (IEC 1500 V) or UTXCFA4AM, UTXCMA4AM (IEC 1500 V)
Per Pallet	35 pieces

**Per Container (40' HQ) 910 pieces**

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.36 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

**PARTNER SECTION**



**CANADIAN SOLAR INC.**

Canadian Solar MSS (Australia) Pty Ltd., 44 Stephenson St, Cremorne VIC 3121, Australia  
 support@canadiansolar.com, www.canadiansolar.com/au

# SUNNY TRIPOWER

## 15000TL / 20000TL / 25000TL



### Anexo 3. Datasheet inersor SMA Sunny Tripower 15000TL.

STP 15000TL-30 / STP 20000TL-30 / STP 25000TL-30



#### Efficient

- Maximum efficiency of 98.4%

#### Safe

- DC surge arrester (SPD type II) can be integrated

#### Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Multistring capability for optimum system design
- Optional display

#### Innovative

- Cutting-edge grid management functions with Integrated Plant Control
- Reactive power available 24/7 (Q on Demand 24/7)

## SUNNY TRIPOWER

### 15000TL / 20000TL / 25000TL

The versatile specialist for large-scale commercial plants and solar power plants

The Sunny Tripower is the ideal inverter for large-scale commercial and industrial plants. Not only does it deliver extraordinary high yields with an efficiency of 98.4%, but it also offers enormous design flexibility and compatibility with many PV modules thanks to its multistring capabilities and wide input voltage range.

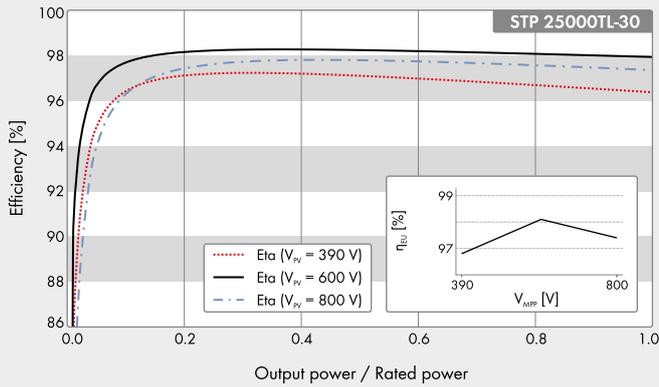
The future is now: the Sunny Tripower comes with cutting-edge grid management functions such as Integrated Plant Control, which allows the inverter to regulate reactive power at the point of common coupling. Separate controllers are no longer needed, lowering system costs. Another new feature—reactive power provision on demand (Q on Demand 24/7).

# SUNNY TRIPOWER

## 15000TL / 20000TL / 25000TL

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL
<b>Input (DC)</b>	
Max. DC power (at $\cos \varphi = 1$ ) / DC rated power	15330 W / 15330 W
Max. input voltage	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3
<b>Output (AC)</b>	
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W
Max. AC apparent power	15000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V
AC voltage range	180 V to 280 V
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
THD	$\leq 3\%$
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%
<b>Protective devices</b>	
DC-side disconnection device	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester (Type II) can be integrated	○
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / -
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●
Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
<b>General data</b>	
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)
Weight	61 kg (134.48 lb)
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)
Noise emission (typical)	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / Opticool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
<b>Features / function / Accessories</b>	
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	○
Interface: RS485, Speedwire/Webconnect	○ / ●
Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus	● / ●
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○
OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7	● / ● / ●
Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible	● / ●
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
Planned certificates and permits	ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013*, G59/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, NBR 16149, NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013, SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014
* Does not apply to all national appendices of EN 50438	
Type designation	STP 15000TL-30

## Efficiency Curve



## Accessory



RS485 interface  
DM-485CB-10



Power Control Module  
PWCMOD-10



DC surge arrester Typ II,  
inputs A and B  
DCSPD KIT3-10



Multifunction relay  
MFR01-10

● Standard features ○ Optional features – Not available  
 Data at nominal conditions  
 Status: May 2016

## Technical Data

### Input (DC)

Max. DC power (at  $\cos \varphi = 1$ ) / DC rated power

Max. input voltage

MPP voltage range / rated input voltage

Min. input voltage / start input voltage

Max. input current input A / input B

Number of independent MPP inputs / strings per MPP input

### Output (AC)

Rated power (at 230 V, 50 Hz)

Max. AC apparent power

AC nominal voltage

AC voltage range

AC grid frequency / range

Rated power frequency / rated grid voltage

Max. output current / Rated output current

Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor

THD

Feed-in phases / connection phases

### Efficiency

Max. efficiency / European Efficiency

### Protective devices

DC-side disconnection device

Ground fault monitoring / grid monitoring

DC surge arrester (Type II) can be integrated

DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated

All-pole sensitive residual-current monitoring unit

Protection class (according to IEC 62109-1) / overvoltage category (according to IEC 62109-1)

### General data

Dimensions (W / H / D)

Weight

Operating temperature range

Noise emission (typical)

Self-consumption (at night)

Topology / cooling concept

Degree of protection (as per IEC 60529)

Climatic category (according to IEC 60721-3-4)

Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)

### Features / function / Accessories

DC connection / AC connection

Display

Interface: RS485, Speedwire/Webconnect

Data interface: SMA Modbus / SunSpec Modbus

Multifunction relay / Power Control Module

OptiTrack Global Peak / Integrated Plant Control / Q on Demand 24/7

Off-Grid capable / SMA Fuel Save Controller compatible

Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 years

Certificates and permits (more available on request)

\* Does not apply to all national appendices of EN 50438

## Sunny Tripower 20000TL

## Sunny Tripower 25000TL

20440 W / 20440 W

25550 W / 25550 W

1000 V

1000 V

320 V to 800 V / 600 V

390 V to 800 V / 600 V

150 V / 188 V

150 V / 188 V

33 A / 33 A

33 A / 33 A

2 / A:3; B:3

2 / A:3; B:3

20000 W

25000 W

20000 VA

25000 VA

3 / N / PE; 220 V / 380 V

3 / N / PE; 230 V / 400 V

3 / N / PE; 240 V / 415 V

180 V to 280 V

50 Hz / 44 Hz to 55 Hz

60 Hz / 54 Hz to 65 Hz

50 Hz / 230 V

29 A / 29 A

36.2 A / 36.2 A

1 / 0 overexcited to 0 underexcited

≤ 3%

3 / 3

98.4% / 98.0%

98.3% / 98.1%

●

● / ●

○

● / ● / -

●

I / AC: III; DC: II

661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)

61 kg (134.48 lb)

-25 °C to +60 °C (-13 °F to +140 °F)

51 dB(A)

1 W

Transformerless / Opticool

IP65

4K4H

100%

SUNCLIX / spring-cage terminal

○

○ / ●

● / ●

○ / ○

● / ● / ●

● / ●

● / ○ / ○ / ○

ANRE 30, AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE, CEI 0-16, CEI 0-21, EN 50438:2013\*,  
 GS9/3, IEC 60068-2-x, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, MEA 2013, NBR 16149,  
 NEN EN 50438, NRS 097-2-1, PEA 2013, PPC, RD 1699/413, RD 661/2007, Res. n°7:2013,  
 SI4777, TOR D4, TR 3.2.2, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1, VDE-AR-N 4105, VFR 2014

Type designation

STP 20000TL-30

STP 25000TL-30

## Anexo 4. Recibo de consumo energía eléctrica residencia BT5B.

"El importe FOSE está incluido en su Cargo por Energía"



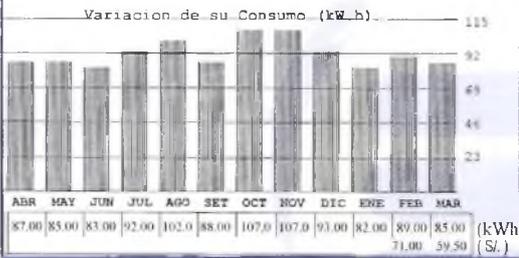
**Electro Oriente**  
Generando Progreso  
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO  
DE ELECTRICIDAD DEL ORIENTE S.A.  
JR. DOS DE MAYO N° 437 - CHACHAPOYAS  
R.U.C. 20103795631

SUMINISTRO **32385069**  
codruta RUTA **811-14-99-003060**

RECIBO N° S030-01053060  
Salida A2502 Sub Est. E252432 Sist. Eléctrico SE1095

DATOS DE SUMINISTRO Y CONSUMO	DETALLES DE LOS IMPORTES FACTURADOS
Tarifa BT5B Residencial P.C. 0.600 kW	Cargo Fijo Ajustado 4.20
Opc. Tarif. Resol. 2006-2013-OS/CD del 14.10.2013	Cargo por Energía Ajustado 58.50
Tipo C1.1 Monofasico-Aereo Tensión 220 V	Alumbrado Público 2.73
Serie medidor N° 00607275313 EN 2 hilos	Mantenimiento de Conexión 1.18
Lectura Actual 4345 31/03/2022	Reposición de Conexión 0.25
Lectura Anterior 4260 28/02/2022	Interés Compensatorio 0.15
Diferencia entre lecturas 85	
Factor del medidor 1.0000	
Consumo a facturar 85.00 kW.h	
Primeros 30kwh S/. 17.2723	
de 31 a 100 S/./kWh 0.7678	

Variación de su Consumo (kW.h)



**Descuento FOSE:5.76**

SUBTOTAL	68.01
Interés Moratorio	0.02
Aporte Electríf. Rural 1	0.78
Comp. ntscse Tension	-0.94
Redondeo Mes Anterior	-0.10
Redondeo Mes Actual	0.23

**MENSAJES AL CLIENTE**

FECHA EMISION **05-ABR-2022**  
FECHA VENCIMIENTO **20-ABR-2022**

"Cancele su recibo puntualmente y evite el pago de intereses y moras"



Participa en el **CENEC**  
Censo Nacional Económico 2022

"LAS TARIFAS DE ELECTRICIDAD SON FIJADAS POR OSINERGMIN"  
SU RECIBO HA SIDO FACTURADO CON TARIFA PLANA (LEY N° 30468)  
Estimado Cliente, el nuevo número de teléfono (línea gratuita) de FONOSERVICIO para atención de emergencias y/o consultas es:  
**01 3506289**

**SON: SESENTA y OCHO con 00/100 Soles**

BIENES TRANSFERIDOS / SERVICIOS PRESTADOS EN LA REGION DE LA SELVA PARA SER CONSUMIDOS EN LA MISMA

"Vacúnete con dosis de refuerzo y protégete de los riesgos más graves del coronavirus"

Suministro : **32385069**



ConsFac **MAR-2022**

codruta 811-14-99-003060  
Tarifa BT5B C1.1  
RECIBO N° S030-01053060

Electro Oriente R.U.C. 20103795631



**Electro Oriente**  
Generando Progreso  
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PÚBLICO  
DE ELECTRICIDAD DEL ORIENTE S.A.  
JR. DOS DE MAYO N° 437 - CHACHAPOYAS  
R.U.C. 20103795631

"El importe FOSE está incluido en su Cargo por Energía"

SUMINISTRO **32505407**  
codruta RUTA 811-14-95-005840

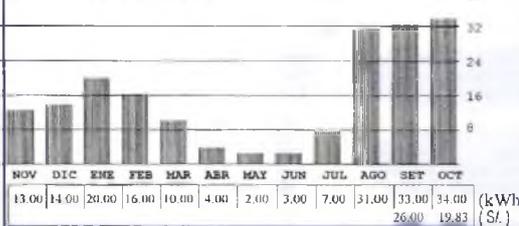
RECIBO N° S030-00833751

Salida A2501 Sub Est. E252423 Sist. Eléctrico SE1005

**DATOS DE SUMINISTRO Y CONSUMO**

Tarifa **BT5B** Residencial P.C. 1.000 kW  
Opc. Tarif. Resol. 206-2013-OS/CD del 14.10.2013  
Tipo C1.1 Monofásico-Aereo Tensión 220 V  
Serie medidor N° 00607778050 EN 2 hilos  
Lectura Actual 10501 31/10/2021  
Lectura Anterior 10467 30/09/2021  
Diferencia entre lecturas 34  
Factor del medidor 1.0000  
Consumo a facturar 34.00 kW.h  
Primeros 30kwh S/. 16.8406  
de 31 a 100 S/./kWh 0.7487

Variación de su Consumo (kW.h)



**DETALLES DE LOS IMPORTES FACTURADOS**

Cargo Fijo Ajustado	4.06
Cargo por Energía Ajustado	19.83
Alumbrado Público	2.64
Mantenimiento de Conexión	1.18
Reposición de Conexión	0.26
Interés Compensatorio	0.03

**Descuento FOSE: 5.63**

SUBTOTAL 28.00

Aporte Electríf. Rural 1 0.30  
Comp. ntcse Tension -0.36

**MENSAJES AL CLIENTE**

**CONSUMO OCT-2021**

FECHA EMISION 05-NOV-2021  
FECHA VENCIMIENTO 20-NOV-2021

"Cancele su recibo puntualmente y evite el pago de intereses y moras"

NUEVO NUMERO DE FONOSERVICIO: **01 3506290**

Estimado Cliente, los comunicados y avisos de interés, los encontrará en nuestros canales digitales oficiales: [www.elor.com.pe](http://www.elor.com.pe)  
Facebook: Electro Oriente Oficial

Redondeo Mes Anterior 0.22  
Redondeo Mes Actual -0.16

"LAS TARIFAS DE ELECTRICIDAD SON FIJADAS POR OSINERGMIN"  
SU RECIBO HA SIDO FACTURADO CON TARIFA PLANA (LEY N° 30468)

SON: VEINTY y OCHO con 00/100 Soles

"Vacúnate con las dos dosis y protégete de los riesgos más graves del coronavirus"

Suministro : **32505407**

ConsFac **OCT-2021**



codruta 811-14-95-005840

Tarifa BT5B C1.1

RECIBO N° S030-00833751