"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

RESOLUCIÓN DE VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Nº 054-2025-UNTELS -VRI

Villa El Salvador, 01 de diciembre de 2025

VISTO:

Oficio Nº 0785-2025-UNTELS-VRI-II, de fecha 21 de noviembre de 2025, la Dirección del Instituto de Investigación emite opinión favorable para **APROBAR el cierre del proyecto de investigación: "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS"** (modalidad sin financiamiento), a cargo de la investigadora principal, **Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique**, y;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 18º de la Constitución Política del Perú, en su cuarto párrafo establece: Cada Universidad es autónoma en su régimen normativo, de gobierno, académico, administrativo y económico. Las Universidades se rigen por la Ley Universitaria N° 30220 y sus propios estatutos en el marco de la constitución y de las leyes;

Que, el artículo 56 y 57, numeral 57.5 de la Ley Universitaria Nº 30220 y sus modificatorias, establece: "Articulo 56. La Asamblea universitaria es un órgano que representa a la comunidad universitaria, se encarga de dictar las políticas generales de la universidad (...)" asimismo el artículo 57 numeral 57.5 señala que tiene la siguiente atribución: "Elegir a los integrantes del Comité Electoral Universitario y Tribunal de Honor";

Que, mediante Resolución Nº 0002-2023-CEU-UNTELS, de fecha 02 de mayo de 2023, el Comité Electoral de la UNTELS reconoce a la Dra. Gladys Marcionila Cruz Yupanqui como Rectora, Dra. Marina Vilca Cáceres como Vicerrectora Académica y Dr. Angel Fernando Navarro Raymundo como Vicerrector de Investigación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur;

Que, en el art. 50° de la Ley Universitaria Ley N° 30220, precisa que: *"El Vicerrectorado de Investigación, según sea el caso, es el organismo de más alto nivel en la universidad en el ámbito de la investigación"*; y el art. 65.2.1 señala que es atribución del Vicerrector de Investigación: *"Dirigir y ejecutar la política general de investigación de la universidad";*

Que, mediante Resolución de Consejo Universitario Nº 057-2023-UNTELS-CU-R, de fecha 31 de julio de 2023, se autorizó al Vicerrector de Investigación la emisión de actos resolutivos en el marco de sus atribuciones conferidas por la Ley Universitaria Nº 30220 y mediante Resolución de Consejo Universitario Nº 119-2024-UNTELS-CU, de fecha 28 de junio de 2024, el Consejo Universitario dispone el cumplimiento de la resolución precitada, precisando la emisión de actos resolutivos que comprenden asuntos de su competencia;

Que, en concordancia con la Resolución de Consejo Universitario Nº 119-2024-UNTELS-CU, de fecha 28 de junio del 2024, en el uso de sus atribuciones referido en el literal j) *"Aprobar cierres de proyecto de investigación"*;

Que, mediante Resolución de Consejo Universitario N° 007-2024-UNTELS-CU, de fecha 09 de enero de 2024, se aprueba las "Bases de proyectos de investigación autofinanciados – 2024 de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur";

Que, mediante Resolución de Consejo Universitario N° 109-2024-UNTELS-CU, de fecha 19 de junio de 2024, se aprobó la relación de proyectos de investigación ganadores de la convocatoria "Bases de proyectos de investigación autofinanciados – 2024 de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur", entre los cuales se encuentra el proyecto de investigación de la Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique;

Que, con Resolución de Vicerrectorado de Investigación N°002-2025-UNTELS-VRI, de fecha 15 de enero 2025, se aprueba la modificación de cronograma de actividades de proyecto de investigación: "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS" (Modalidad sin financiamiento), a cargo de la investigadora principal, Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique, por única vez;

...///

Firmado digitalmente por:
NAVARRO RAYMUNDO Angel
Fernando FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 01/12/2025 11:37:48-0500

www.untels.edu.pe
Av. Bolivar S/N. sector 3. grupo 1. Mz A. sublote 3
Villa El Salvador - Lima - Perú
(01) 715 8878 Anexo 108 VRI
viceinvest@untels.edu.pe

Que, mediante Informe N° 005-2025-MMM-PIAF 2025-UNTELS, de fecha 03 de noviembre de 2025, la investigadora principal, Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique, presenta a la Directora del Instituto de Investigación el informe final del proyecto: "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS", solicitando la emisión de la resolución de cierre correspondiente;

Que, a trevés del Memorándum N° 0281-2025-UNTELS-VRI-II, de fecha 14 de noviembre de 2025, la Directora del Instituto de Investigación solicita al Especialista en Gestión de la Investigación la evaluación y verificación del proyecto de investigación denominado "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS";

Que, mediante Informe N° 0128-2025-UNTELS-VRI-MANP, de fecha 20 de noviembre de 2025, el Especialista en Gestión de la Investigación remite a la Directora del Instituto de Investigación el informe de evaluación para el cierre de proyecto de investigación, concluyendo lo siguiente: *"Del análisis documental y normativo efectuado, se concluye que el proyecto "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS" CUMPLE INTEGRALMENTE las bases de proyectos de investigación autofinanciados 2024 – UNTELS (modalidad autofinanciado), encontrándose EXPEDITO PARA SU CIERRE";*

Que, con Oficio N° 0785-2025-UNTELS-VRI-II, de fecha de recepción 24 de noviembre de 2025, la Directora del Instituto de Investigación, emite opinión favorable para la aprobación del cierre del proyecto de investigación denominado: "Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS", mediante acto resolutivo;

Que, estando en uso de las atribuciones otorgadas al Vicerrector de Investigación, de acuerdo a lo dispuesto por la autoridad universitaria conferidas por las disposiciones citadas;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR el **cierre del proyecto de investigación** titulado: **"Simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en laboratorios de la EPIME UNTELS"** (modalidad sin financiamiento), a cargo de la investigadora principal, **Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique** y co-investigadores: **Bach. Lenner Emilio Cardeña Pinedo** y **Bach. John Pool Ricaldi Suasnabar**, conforme al Anexo que, en cuarenta y seis (46) folios, forma parte de la presente resolución.

ARTÍCULO SEGUNDO. - NOTIFICAR la presente resolución a Rectorado, Secretaría General, Dirección de Instituto de Investigación, Dra. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique, Bach. Lenner Emilio Cardeña Pinedo y Bach. John Pool Ricaldi Suasnabar

ARTÍCULO TERCERO. - PUBLICAR la presente resolución en el Portal de Transparencia Estándar de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

ARTÍCULO CUARTO. - ENCARGAR el cumplimiento de la presente resolución a la Dirección del Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.

Regístrese, comuníquese, publíquese y archívese.

Firmado digitalmente por: NAVARRO RAYMUNDO Angel Fernando FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01/12/2025 11:38:01-0500

Dr. ANGEL FERNANDO NAVARRO RAYMUNDO
Vicerrector de Investigación
UNTELS

Av. Bolivar S/N. sector 3, grupo 1, Mz A, sublote 3
Villa El Salvador - Lima - Perú
(01) 715 8878 Anexo 108 VRI
viceinvest@untels.edu.pe

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

Línea de investigación:
Generación, transmisión, distribución y utilización de energía eléctrica – Energía Renovable

INFORME FINAL DEL PROYECTO AUTOFINANCIADO

RCU N° 109-2024-UNTELS-CU

"Simulación de Radiación Difusa para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares con Celdas Fotovoltaicas Policristalinas en Laboratorios de la EPIME-UNTELS"

Investigador Principal.

Dra. Ing. Margarita Fredesvinda Murillo Manrique

Co- investigadores-Egresados

Bach. John Pool Ricaldi Suasnabar
Bach. Lenner Emilio Cardeña Pinedo

Noviembre, 2025.

CONTENIDO DEL INFORME FINAL

	Pág.
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
INTRODUCCIÓN	5
2. Planteamiento del problema	6
3. Antecedentes	7
4. Metodología	
4.1 Recopilación de datos climáticos	10
4.2 Modelo Bristow-Campbell y base de datos de radiación solar difusa	16
4.2.1 Aplicación del Modelo Bristow-Campbell	17
4.2.2 Hora Solar Pico (HSP)	20
4.3 Dimensionamiento del sistema solar	20
4.3.1 Requerimientos energéticos de los EPIME-LABS	21
4.3.2 Cálculo de máxima demanda	22
4.3.3 Modelado del sistema fotovoltaico	23
4.3.3 Selección de los componentes del sistema	25
4.4. Análisis de eficiencia y rentabilidad	
5. Resultados	
5.1 Datos de radiación difusa obtenidos desde las plataformas solares	27
5.2 Modelo Bristow-Campbell y base de datos de radiación solar difusa	28
5.3 Dimensionamiento del sistema solar OFF-Grid	31
5.4 Análisis de la Eficiencia y rentabilidad del sistema solar	32
6. Discusión de resultados	35
7. Conclusiones	36
8. Recomendaciones	37
Referencias bibliográficas	38
Anexos	
Anexo 8: Formato Consolidado del Informe Final de Cumplimiento	40
Anexo1: Articulo Científico publicado en BIOTECH & ENGINEERING -UNTELS	41
Anexo2: Difusión de resultados en clases	42
Anexo3: Difusión de resultados Evento Científico avances del Proyecto	43
Anexo4: Artículo Científico para la revista Internacional IJERE	44
Anexo5: MEMORANDUM N°0245-2025-UNTELS-VRI-II- Aprobación del Informe Parcial	45
Anexo6: MEMORANDUM N°0245-2025-UNTELS-VRI-II- Aprobación del Informe Final	46

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue simular la radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas destinado a los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (EPIME-LABS) de la UNTELS. Se abordó la problemática de la dependencia de la energía eléctrica convencional, cuyos altos costos afectan la operatividad de los laboratorios, resaltando la necesidad de diversificar las fuentes de energía mediante tecnologías renovables. La metodología incluyó la recopilación de datos climáticos (radiación difusa, temperatura máxima y mínima, turbidez atmosférica, entre otros) para 5 años y 5 ángulos de inclinación. Posteriormente, se implementaron algoritmos en Python y MATLAB para calcular los coeficientes del modelo Bristow-Campbell y generar una base de datos de radiación difusa. Se evaluó el rendimiento de celdas fotovoltaicas bajo condiciones específicas de radiación y temperatura y se dimensionó un sistema solar OFF-Grid, para las cargas eléctricas de los EPIME-LABS. Los resultados mostraron que la potencia irradiada varió entre 124,41 kWh/m² para una inclinación de 10° y 187,13 kWh/m² para 35°, con una HSP promedio de 4,3 h/día. Los coeficientes promedio fueron H/H_0 = 0,68, aB = 0,68, bB = 1,25 y cB = 72,53, a partir de 136 datos procesados. La rentabilidad estimada fue de un ahorro del 48.27% equivalente a S/ 33,686/año, confirmando que la propuesta resulta técnica y económicamente viable. Se concluyó que la información recopilada permitió diseñar un sistema fotovoltaico OFF-Grid capaz de abastecer tres laboratorios, validando la hipótesis sobre la optimización de eficiencia y rentabilidad de la generación eléctrica renovable.

Palabras clave: radiación difusa, celdas fotovoltaicas policristalinas, eficiencia, rentabilidad, Bristow-Campbell, hora solar pico, sistema solar OFF-Grid.

ABSTRACT

The objective of this research was to simulate diffuse radiation in order to optimize the efficiency and profitability of solar systems with polycrystalline photovoltaic cells, intended for the laboratories of the School of Mechanical and Electrical Engineering (EPIME-LABS) at UNTELS. The study addressed the problem of dependence on conventional electricity, whose high costs affect laboratory operations, highlighting the need to diversify energy sources through renewable technologies. The methodology included the collection of climatic data (diffuse radiation, maximum and minimum temperature, atmospheric turbidity, among others) over a period of five years and for five inclination angles. Subsequently, algorithms were implemented in Python and MATLAB to calculate the coefficients of the Bristow-Campbell model and generate a diffuse radiation database. The performance of photovoltaic cells under specific radiation and temperature conditions was evaluated, and an OFF-Grid solar system was sized according to the electrical loads of the EPIME-LABS. The results showed that irradiated power ranged from 124.41 kWh/m² at a 10° tilt to 187.13 kWh/m² at 35°, with an average solar peak hour (HSP) of 4.3 h/day. The average coefficients were $H/H_0 = 0.68$, aB = 0.68, bB = 1.25, and cB = 72.53, based on 136 processed data points. The estimated profitability was a savings of 48.27%, equivalent to S/ 33,686 per year, confirming that the proposal is technically and economically viable. It was concluded that the collected information allowed the design of an OFF-Grid photovoltaic system capable of supplying three laboratories, validating the hypothesis regarding the optimization of efficiency and profitability of renewable electricity generation.

Keywords: diffuse radiation, polycrystalline photovoltaic cells, efficiency, profitability, Bristow-Campbell, solar peak hour, OFF-Grid solar system.

INTRODUCCIÓN

El proyecto *"Simulación de Radiación Difusa para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares con Celdas Fotovoltaicas Policristalinas en los EPIME-LABS"* tiene como finalidad estimar la radiación solar global media diaria, en escalas mensual y anual, a partir de temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow–Campbell. La investigación se sustenta en la relevancia de la radiación solar como insumo crítico para el diseño y optimización de sistemas fotovoltaicos, especialmente en contextos donde la estabilidad del suministro eléctrico convencional no está garantizada.

Diversos estudios previos refuerzan la pertinencia del trabajo. Por ejemplo, investigaciones como *Solar Radiation Prediction on Photovoltaic Systems Using Machine Learning Techniques* resaltan que la estimación precisa de la radiación solar es clave para la planificación de granjas solares, ya sean aisladas o conectadas a la red, con el fin de maximizar el aprovechamiento de energías renovables, reducir el impacto ambiental y mejorar la cobertura eléctrica [1]. Asimismo, se ha documentado que la energía solar diaria acumulada varía entre 2 y 8 kWh/m² según mes y ubicación geográfica, situándose en el Perú en torno a los 5 kWh/m², umbral que hace atractiva la inversión en tecnologías fotovoltaicas [2].

En el caso particular de los EPIME-LABS de la UNTELS, el costo de la energía eléctrica representa una carga operativa considerable, con riesgo de afectar la disponibilidad y continuidad de los proyectos experimentales. Ante esta problemática, se plantea la pregunta de investigación: ¿Cuáles serán los resultados de la simulación de radiación difusa para optimizar la eficiencia y rentabilidad de sistemas solares con celdas fotovoltaicas policristalinas en los EPIME-LABS?

La hipótesis principal establece que, "El uso de datos de radiación difusa de fuentes climáticas confiables permitirá una estimación precisa de la energía solar captada, mejorando la optimización del sistema. Además, "Un sistema fotovoltaico OFF-Grid, diseñado en base a la demanda energética de los EPIME-LABS y la estimación de la radiación solar, será capaz de cubrir el 100% de las necesidades energéticas del laboratorio."

Este proyecto aborda la volatilidad del suministro eléctrico convencional mediante el análisis y aprovechamiento de la energía solar como alternativa renovable y eficiente. Los resultados obtenidos permiten comprender con mayor detalle los patrones y variables de la radiación difusa en el área de estudio, sentando las bases para el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico que incremente la autonomía y sostenibilidad operativa de los EPIME-LABS.

Finalmente, la investigación se organiza de la siguiente manera: el resumen, que especifica objetivo, metodología, resultados y conclusiones; la introducción, donde se presentan el contexto, la relevancia y la hipótesis; el planteamiento del problema, que describe la necesidad de un sistema *off-grid* para los laboratorios; los antecedentes, como base previa experimental; la metodología, que detalla el procedimiento de obtención de resultados; los resultados presentados en tablas y figuras; la discusión, que compara y valida los hallazgos con estudios previos; así como las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas, que dan sustento al trabajo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Tecnológica de Lima Sur (UNTELS) cuenta con cinco Escuelas Profesionales, siendo una de ellas la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (EPIME). Esta Escuela dispone de una infraestructura compuesta por ocho laboratorios (EPIME-LABS) destinados al desarrollo de clases prácticas, donde los estudiantes fortalecen sus habilidades en el manejo de equipos, materiales, elementos y sistemas propios de la carrera [3].

Los EPIME-LABS de la UNTELS dependen en gran medida de la energía eléctrica convencional, proveniente principalmente de fuentes hidroeléctricas. Sin embargo, los costos elevados y la volatilidad en su disponibilidad, provocada por variaciones climáticas y fenómenos meteorológicos extremos asociados al cambio climático, generan riesgos para la continuidad de las actividades académicas y de investigación. Esta inestabilidad en el suministro eléctrico compromete el desarrollo de proyectos experimentales, afectando la eficiencia y rentabilidad operativa de los laboratorios.
En la actualidad, el acceso a datos confiables de radiación difusa es limitado, debido a los altos costos de certificación en plataformas como Solargis, Senamhi, Retscreen y ArcGIS. Esta situación dificulta la obtención de información precisa para evaluar el potencial de generación solar en la zona. Sin estos datos, el diseño de sistemas solares OFF-grid carece de sustento técnico, lo que podría derivar en sobredimensionamientos, sobrecostos o fallos en el suministro energético.

Asimismo, la falta de estudios que integren la variabilidad de la radiación solar con el consumo energético específico de los laboratorios impide una planificación adecuada de soluciones renovables. Sin un análisis riguroso de eficiencia y rentabilidad, la implementación de sistemas solares podría resultar económicamente inviable o insuficiente para cubrir la demanda energética.
En este contexto, la ausencia de un enfoque sistemático para evaluar la viabilidad de la energía solar en los EPIME-LABS, mantiene la dependencia de fuentes convencionales, limitando las oportunidades de reducción de costos operativos y dificultando el desarrollo sostenible de la UNTELS.
Por lo tanto, resulta importante identificar soluciones energéticas alternativas más resilientes, capaces de mitigar los riesgos asociados con la dependencia de la energía hidroeléctrica y garantizar la continuidad de las operaciones de los EPIME-LABS.

Desde la perspectiva de la ingeniería eléctrica, este proyecto se justifica por la necesidad de diversificar las fuentes de generación de energía, aprovechando el potencial de la energía solar, que gracias a los avances tecnológicos se ha vuelto cada vez más competitiva y rentable frente a las fuentes convencionales. Desde el ámbito académico, busca fomentar la conciencia sobre la importancia de adoptar prácticas sustentables para mitigar el cambio climático, una problemática urgente a nivel institucional, nacional y global. Finalmente, desde el punto de vista ambiental, la propuesta contribuye a la reducción de emisiones de CO_2 y a la disminución de la huella de carbono.

3. ANTECEDENTES

En cuanto a los modelos sobre irradiación solar, [4] en su investigación "Aplicación del modelo Bristow-Campbell para estimar la irradiación solar global en la zona alto andina de la región Tacna", plantea como objetivo determinar los coeficientes del modelo Bristow-Campbell ($\mathbf{a}_B$, $\mathbf{b}_B$ y $\mathbf{c}_B$) generando una base de datos anuales de irradiación solar de hasta 5,5 – 6,5 kWh m^2. En su metodología aplica el modelo de Bristow & Campbell para desarrollar una relación entre transmisividad atmosférica (τ) o radiación solar relativa (H/Ho) en función de la amplitud térmica (ΔT). En sus resultados muestra los valores de los coeficientes del modelo Bristow-Campbell encontrados para cada estación, así como su error promedio. Concluye que es necesario recalcar que el valor del coeficiente $\mathbf{a}_B$ corresponde a la sumatoria de los coeficientes **a** y **b** encontrados para el modelo Ángstrom-Prescott (a=0.355 y b=0.392) debido a que tienen exactamente el mismo significado físico. Este modelo ha sido elegido para ser desarrollado en la presente investigación.

También sobre los modelos de irradiación solar, [5] en su investigación titulada "Estimación de la radiación solar global mediante temperaturas extremas aplicando el modelo Bristow–Campbell en la región Junín" , planteó como objetivo estimar la radiación solar global media diaria, tanto mensual y anual, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow – Campbell. En su metodología considera el pronóstico de las temperaturas máximas y mínimas utilizando la serie de tiempos mediante la técnica documental de los datos históricos de la página web de SENAMHI desde los años 2000 al 2015 y utilizo el modelo empírico Bristow-Campbell para la estimación de la radiación solar global media diaria mensual y anual. En sus resultados presenta los modelos predictivos estacionales para pronosticar temperaturas máximas y mínimas al 2017 de las 19 estaciones de la Región Junín. También, encontró diferencias entre la Sierra y Selva siendo en la Sierra los valores promedios al 6 kWh/m2 /día y en la Selva 4 kWh/m2 /día, ambos valores resultan rentables para su aplicación con fines de producir electricidad con energía solar. Concluye que el modelo Bristow- Campbell sirve para estimar confiablemente la radiación solar global diaria media mensual y anual, mediante temperaturas extremas en la Región Junín - Perú.

Respecto al potencial de energía solar, [6] en su investigación "Cálculo y mapeo de la radiación solar directa y difusa en Costa Rica", plantea como objetivo desarrollar mapas promedio de energía solar incidente diaria a nivel mensual y anual. Utilizo las técnicas más refinadas de estimación e interpolación fundamentados en procesos físicos para determinar las zonas de mayor potencia para el aprovechamiento energético en el Perú. Sus resultados afirman que estos mapas optimizan el dimensionamiento y diseño de los equipos que necesitan esta fuente de energía. Ha demostrado que la cantidad de radiación solar difusa sobre una superficie horizontal puede ser estimada mediante parámetros meteorológicos como la temperatura del aire, la humedad relativa, la presión atmosférica y el número de horas de sol brillante o heliofanía. Concluye que la heliofanía (brillo solar ó insolación) es el tiempo en horas, durante el cual el sol tiene un brillo solar efectivo en el que la energía solar directa alcanza o excede

un valor umbral variable entre 120 y 210 W/m2, que depende de la localización geográfica, del equipo, del clima y del tipo de banda utilizada para el registro.

De acuerdo a la energía solar diaria, [7] en su investigación "Energías Renovables y Cambio Climático, 7 proyectos demostrativos de un desarrollo sustentable", ha demostrado que, según el mes del año y la ubicación geográfica, la energía solar diaria acumulada se encuentra en un rango de 2 a 8 kW.h/m^2. De acuerdo a sus resultados afirma que, la media en nuestro pais estaría en los 5 kW.h/m^2. Esto es importante si se considera que los valores iguales o superiores a 4 kW.h/m^2 hacen atractivo el uso de tecnologías de conversión fotovoltaica. Concluye que el Perú es un lugar ideal para iniciar proyectos de energía renovable, sostiene que explorar y desarrollar este potencial ayudará igualmente al país a satisfacer su creciente demanda de energía.

Respecto al sector fotovoltaico, [8] en su tesis titulada "Estudio comparativo del rendimiento de Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos", plantea como objetivo comparar los resultados de diferentes estudios basados en la evaluación del rendimiento de paneles fotovoltaicos Monocristalinos y Policristalinos para así determinar que tecnología es la más óptima en diferentes condiciones; adicionalmente comparó las condiciones meteorológicas de los estudios recopilados para así determinar una correlación y proyección de desempeño al aplicar estas tecnologías. En su metodología aplica la recopilación, análisis y selección de investigaciones, así como una evaluación y procesamiento de datos en Excel de los diversos parámetros meteorológicos como irradiación, temperatura, velocidad del viento y humedad relativa de ser el caso. Como resultado obtuvo que los paneles fotovoltaicos Monocristalinos obtuvieron un valor en promedio de 11.83% en eficiencia para las diferentes condiciones, presentando un aumento de 2.29% en rendimiento frente a los paneles fotovoltaicos Policristalinos. Finalmente concluye que esta tecnología tiene un mayor potencial para la generación de energía limpia, sin embargo, para la implementación se deben evaluar los costos siendo los policristalinos más accesibles por sus bajos precios, los cuales han sido seleccionados para el proyecto.

Así también sobre los sistemas fotovoltaicos OFF-Grid, [9] en su tesis titulada "Energía solar: estudo da geração energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos ON-GRID e OFF-GRID," *presenta un estudio sobre los sistemas fotovoltaicos ON-Grid y OFF-Grid conectados y no conectados a la red, respectivamente. Uno de sus objetivos fue comparar los sistemas fotovoltaicos y presentar donde serán mejor aprovechados. La metodología utilizada consta de dos fases: la evaluación de sistemas fotovoltaicos ON-Grid y OFF-Grid y la demanda del mercado en términos de análisis de las principales características que se podrían alcanzar bajo el marco técnico y socio ambiental. La base de este tipo de trabajo es, por tanto, el hecho de que existe una inestabilidad impagable en las tarifas eléctricas y el motivo de las altas emisiones de carbono que afectan el clima y los ecosistemas del planeta. En términos complementarios, el estudio destaca la capacidad de volverse consciente y sostenible con el fin de contribuir a mejorar la calidad de vida y de las generaciones futuras. Concluye que, el uso de sistemas ON-Grid es más recomendable en zonas urbanas, por el hecho de estar conectadas a la red del concesionario eléctrico, mientras que los sistemas*

OFF-Grid que no están conectados a la red eléctrica son utilizados en regiones remotas, fuera de los grandes centros urbanos, ya que no dependen de la energía eléctrica del distribuidor de energía para funcionar.

Otro estudio sobre el sector fotovoltaico es de [10] quien en su investigación "Experiencias con Sistemas Fotovoltaicas de Tercera Generación en Argentina, Bolivia y Perú" plantea como objetivo describir la amplia variabilidad en América Latina y el Caribe (LAC) en cuanto al avance del sector fotovoltaico (FV). En sus conclusiones argumenta que los países de la región, motivados por la búsqueda de acceso a la electricidad fuera del sistema eléctrico interconectado, el aumento en las tarifas eléctricas, la reducción en los precios de los módulos FV y los avances tecnológicos, han adoptado diversas estrategias en el desarrollo de proyectos fotovoltaicos.

Al respecto de la irradiancia solar, [11] en su investigación titulada "Modelos de radiación solar empleando PowerFactory para la simulación de Sistemas Fotovoltaicos", plantea como objetivo validar la mejor combinación de modelos, de radiación global y difusa para hallar la variante que más se acerca al resultado obtenido en la plataforma PV*SOL que ofrece el análisis de configuración y sombras más detallado para sistemas fotovoltaicos. Para esto utilizo 56 combinaciones simuladas, vinculando los modelos de radiación global con radiación difusa. Concluye que el PowerFactory es un excelente software que combina diferentes modelos de radiación solar global y difusa para determinar de manera simulada un sistema fotovoltaico.

También sobre la irradiancia solar, [1] en su investigación titulada "Solar Radiation Prediction on Photovoltaic Systems Using Machine Learning Techniques", *postula que la estimación de la radiación solar es fundamental para quienes participan en la planificación de granjas de energía solar, ya sean aisladas o conectadas a las redes de distribución eléctrica. Plantea como objetivo aprovechar las fuentes de energía renovables, reducir el impacto producido por el cambio climático, e incrementar los índices de cobertura en el servicio eléctrico. En sus resultados determinó que el número de estaciones de medición existentes es insuficiente para cubrir toda la geografía de una región ya muchas de ellas no están capturando datos de radiación solar. Concluye que, es importante hacer uso de modelos matemáticos, estadísticos y de inteligencia artificial que permitan predecir la radiación solar a partir de datos meteorológicos disponibles. En este trabajo se utilizaron conjuntos de datos tomados de estaciones de medición, si bien las redes neuronales artificiales son la técnica más utilizada, otros algoritmos de aprendizaje automático como Random Forest, Máquinas de Soporte Vectorial y AdaBoost también proporcionan estimaciones con suficiente precisión para ser utilizados.*

Sobre las energías renovables, [12] en su investigación "Estrategias para comercializar energías renovables en el mercado eléctrico peruano", realiza un análisis de los niveles de generación de energía renovable ya implementados en nuestro país, tanto en tecnologías solares como eólicas. En su desarrollo argumenta que la adopción de energías renovables puede contribuir significativamente a la reducción de los elevados costos energéticos asociados con los peajes a lo largo de los sistemas de transmisión. Además, destaca el

impacto nulo en la contaminación como característica fundamental de la energía fotovoltaica, resalta que en el balance realizado por T-Solar, muestra que la generación de 245 gigavatios/hora (GWh) evita la emisión de 87 mil toneladas de CO2 en la atmósfera. Concluye que la generación de corriente eléctrica a partir de la radiación solar no produce emisiones de gases ni residuos y que sería muy rentable comercializar energías renovables.

4. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de tipo correlacional. Se basa en el análisis de datos climáticos y simulaciones para estimar la radiación difusa y la hora solar pico (HSP), con el fin de optimizar la eficiencia y rentabilidad de un sistema solar OFF-Grid en los EPIME-LABS de la UNTELS. No se manipulan variables en un entorno controlado; en su lugar, se recopilan y procesan datos históricos de irradiancia para evaluar su rentabilidad en el diseño del sistema fotovoltaico policristalino.

La metodología se desarrolla en cuatro fases, cada fase busca generar la información necesaria para validar la propuesta: En la primera, se obtendrán datos de irradiancia solar y radiación difusa de fuentes climáticas disponibles. El objetivo es caracterizar la variabilidad de la radiación difusa a lo largo de 5 años. En la segunda, se aplicará el modelo Bristow-Campbell para procesar los datos y generar una base de datos que permita determinar la hora solar pico (HSP) en diferentes condiciones de inclinación. En la tercera, se analizarán los requerimientos energéticos de los EPIME-LABS para definir el cuadro de cargas eléctricas. Con esta información y los datos de irradiancia, se dimensionará el sistema fotovoltaico OFF-Grid (paneles, baterías e inversor). En la cuarta, se realizará un análisis de costos, comparando la inversión inicial del sistema solar con el ahorro potencial generado por la reducción del consumo de la red eléctrica convencional. Esto permitirá calcular el periodo de retorno de la inversión y la viabilidad financiera del proyecto.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

4.1 Recopilación de datos climáticos

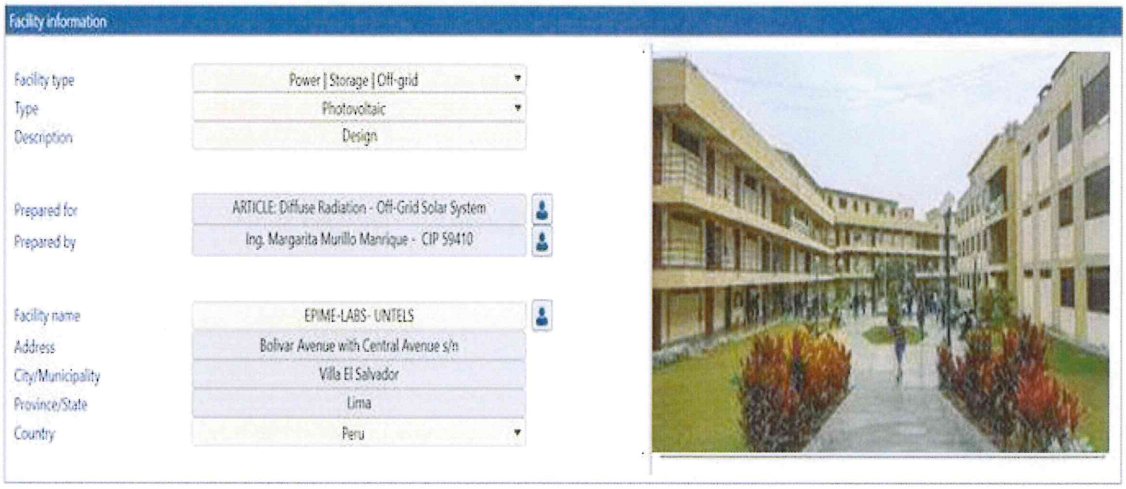
Para la obtención de los datos en esta fase del proyecto se han utilizado las plataformas sobre *Radiation database, tales como: PVGIS-NSRDB, Nasa.gov,* mapa solar del Perú, radiación solar en el Perú, Senhami y RET Screen Expert CRE, entre otras a modo de consulta.

En la Figura 1, se presenta la interfaz [13] con los parámetros iniciales de ubicación de los EPIME-LABS en la UNTELS

Con la información de la **Figura 1**, del menú climate Data location, ubicamos el área geográfica específica de los EPIME-LABS, registrando una latitud de (-12.21°N) y longitud (-76.93°E) [14], del punto desde el cual se recopilaron los datos climáticos necesarios para el análisis, estas coordenadas también se utilizaron para tomar los datos de otras plataformas. Las coordenadas ubicación se muestran en la **Figura 2**.

Figura 1

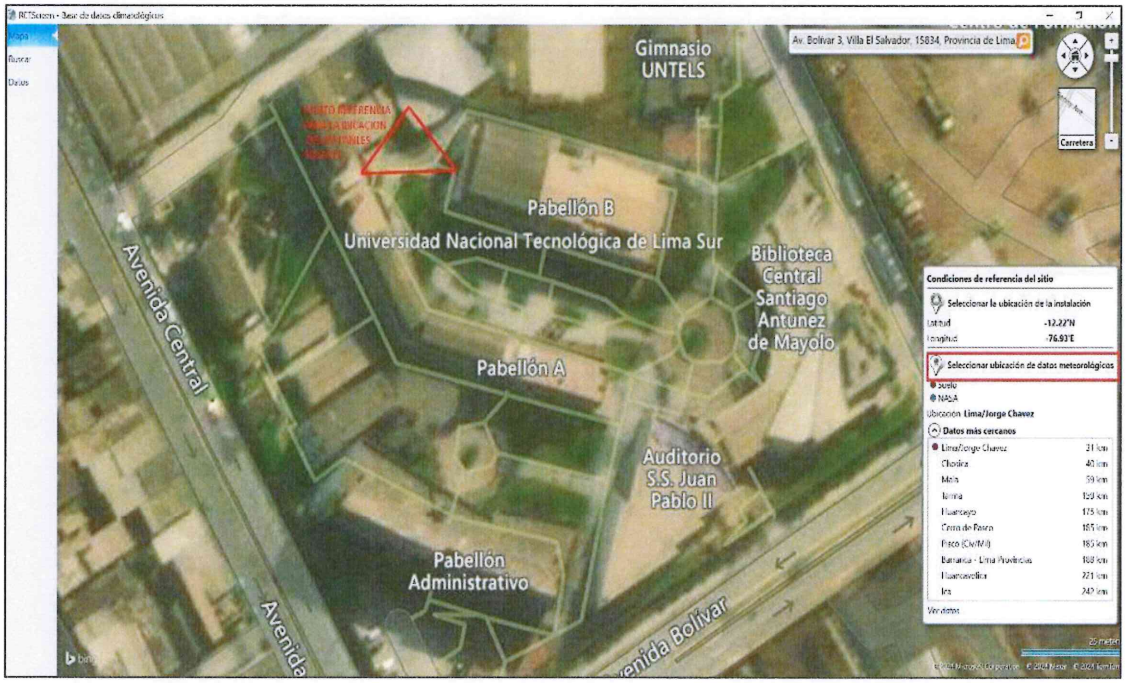
Datos de ubicación de la UNTELS



Nota: Interfaz [14]

Figura 2

Datos Geográficos EPIME-LABS para tomar los datos climáticos



Nota: Interfaz [14]

Al respecto, [12] sostiene que, gracias a las estaciones meteorológicas, es posible acceder a una gran cantidad de datos estadísticos sobre la radiación solar, expresada en Wh/m²/día. Estos datos globales diarios son esenciales para dimensionar un sistema fotovoltaico de manera adecuada.

En la **Tabla 1** se muestran los parámetros del año 2024, obtenidos de [14]. Estos parámetros fueron fundamentales para el diseño del sistema fotovoltaico.

Tabla 1

Datos Climatológicos en el área EPIME-LABS

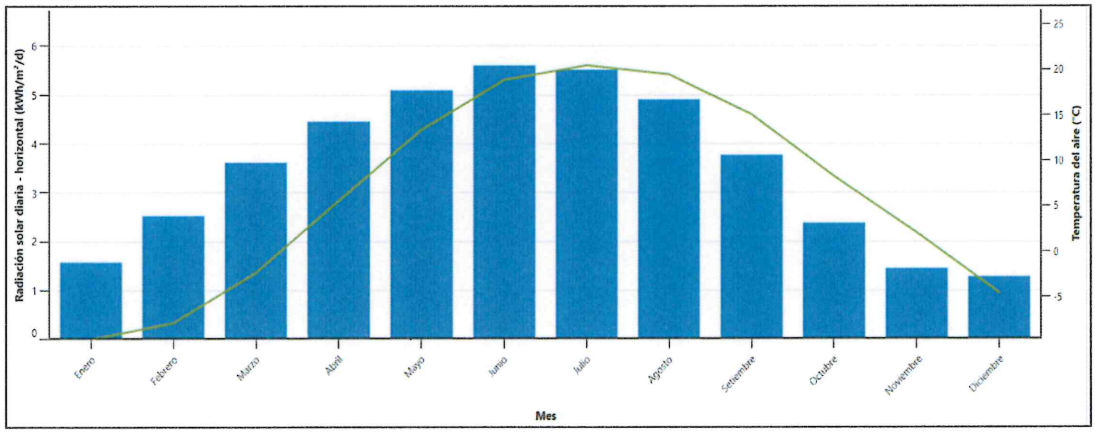
Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción 18 °C	Grados-días de refrigeración 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
Enero	-9.6	74.1%	70.37	1.58	100.9	4.7	-13.4	856	0
Febrero	-7.8	71.4%	58.52	2.53	100.9	4.5	-11.3	722	0
Marzo	-2.3	70.9%	70.99	3.62	100.9	4.6	-4.3	629	0
Abril	5.6	63.8%	84.00	4.46	100.7	4.4	5.4	372	0
Mayo	13.4	63.5%	89.90	5.10	100.7	4.2	12.7	143	105
Junio	18.9	68.6%	100.50	5.61	100.5	3.6	18.0	0	267
Julio	20.5	74.9%	98.89	5.52	100.6	3.2	20.5	0	326
Agosto	19.5	75.9%	97.34	4.91	100.7	2.8	19.7	0	295
Setiembre	15.1	77.7%	92.70	3.77	100.9	3.1	14.9	87	153
Octubre	8.3	76.5%	95.17	2.38	100.9	3.7	7.5	301	0
Noviembre	2.1	78.9%	85.80	1.45	100.9	4.2	0.2	477	0
Diciembre	-4.5	78.5%	85.56	1.28	100.9	4.4	-8.9	698	0
Anual	**6.7**	**72.9%**	**1,029.74**	**3.52**	**100.8**	**3.9**	**5.2**	**4,284**	**1,145**
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a					m	10	0		

Nota: Interfaz [13]

Así también, en la **Figura 3** se muestra el informe de irradiación anual con los parámetros obtenidos de [13], observándose mayor irradiación solar en los meses de mayo hasta agosto correspondiendo una mayor temperatura del aire en estos meses. Estos parámetros de irradiación y temperatura se utilizaron para el diseño del sistema fotovoltaico, correspondiente a esta investigación.

Figura 3

Datos Climatológicos- Radiación Solar/Temperatura del Aire EPIME-LABS



Nota: Plataforma [14]

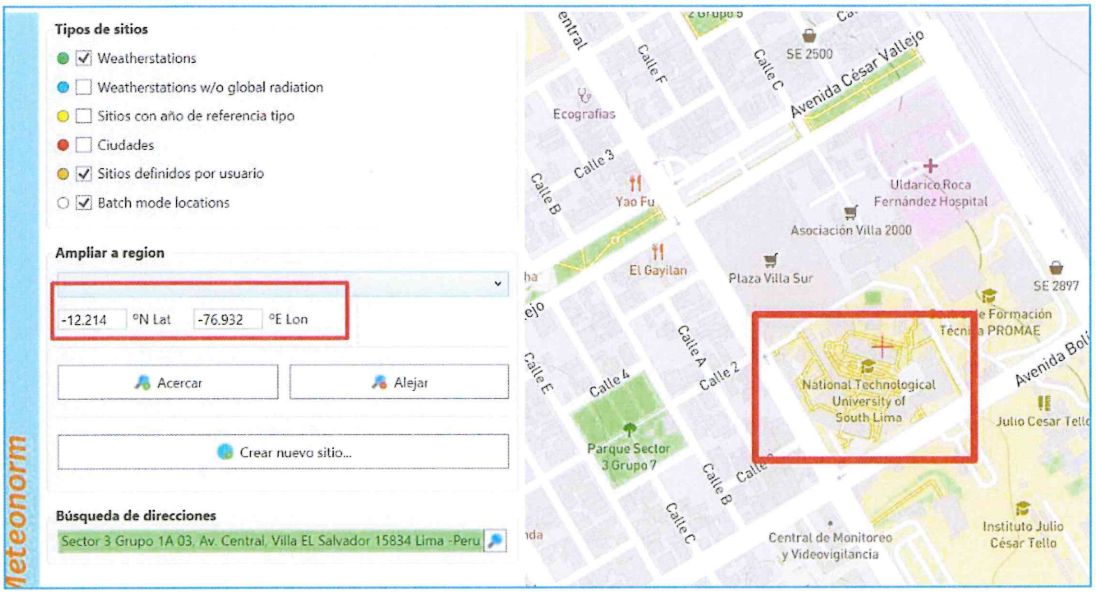
Además, existen bases de datos de radiación solar accesibles, como [14] y [15], que proporciona valores históricos globales e información horaria de irradiación, temperatura, humedad, viento y precipitación desde el año 2010 hasta el presente. Esta plataforma sirve como fuente de datos clave para las herramientas de simulación de ingeniería utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas, diseño solar pasivo, sistemas solares térmicos activos y diseño y simulación de edificios

.

En la **Figura 4** se muestran los parámetros de ubicación de los EPIME-LABS y en la **Figura 5** se muestra los niveles de radiación difusa y radiación global diaria para el año 2024, obtenidos de [16]. Estos parámetros al igual que los de [14] fueron fundamentales para el diseño del sistema fotovoltaico.

Figura 4

Datos de ubicación de los EPIME-LABS



Nota: Interfaz [16]

Figura 5

Datos Climatológicos en el área EPIME-LABS



Nota: Interfaz [16]

Los parámetros globales de radiación anual, considerados para evaluar el modelo de Bristow-Campbell, tales como: Irradiancia global y difusa (kWh/m2/día), temperatura, velocidad del viento, Linke Turbidity (atenuación de

la radiación solar) y la humedad relativa para el año 2024, se obtuvieron de [14], valores que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
Parámetros de Irradiación Global

Month/year	Irradiación horizontal global kWh/m2/día	Irradiacion difusa horizontal kWh/m2/dia	Tempe-rature °C	Velocidad viento m/s	Linke turbidity [-]	Humedad relativa %
Jan-24	*7.94*	*2.36*	*13.40*	*2.50*	*4.294*	*61.3*
Feb-24	*7.14*	*2.19*	*13.20*	*2.51*	*4.054*	*65.4*
Mar-24	*7.38*	*1.75*	*13.30*	*2.40*	*4.010*	*63.6*
Abr-24	*6.93*	*1.45*	*12.90*	*2.30*	*3.858*	*58.1*
May-24	*6.54*	*1.32*	*12.30*	*2.20*	*3.250*	*48.9*
Jun-24	*6.18*	*1.19*	*11.10*	*2.19*	*3.085*	*45.0*
Jul-24	*6.45*	*1.29*	*11.00*	*2.39*	*3.028*	*42.5*
Ago-24	*6.73*	*1.40*	*12.10*	*2.60*	*3.369*	*39.5*
Sep-24	*7.18*	*1.75*	*12.90*	*2.70*	*3.670*	*44.8*
Oct-24	*8.01*	*1.85*	*13.80*	*2.80*	*3.825*	*47.3*
Nov-24	*7.85*	*2.13*	*13.90*	*2.80*	*4.048*	*49.6*
Dic-24	*8.78*	*1.77*	*13.60*	*2.71*	*4.255*	*55.8*

Nota: Interfaz [14]

Por otro lado, para los EPIME-LABS se tomaron datos anuales de los parámetros de potencia (w/día), temperatura (°C), velocidad del viento(m/s), Linke Turbidity y humedad relativa (%) para el año 2024 de [14]; considerados para evaluar el modelo de Bristow-Campbell. Se muestra en la **Tabla 3.**

Tabla 3
Parámetros de Irradiación en los EPIME-LABS

Mes/año	Potencia (W/día)	Temperatura °C	Velocidad del Viento m/s	Turbidez linke [-]	Humedad Relativa %
Jan-2024	*45.33*	*28.0*	*1.60*	*3.30*	*73.3*
Feb-2024	*43.00*	*27.6*	*1.30*	*3.29*	*76.1*
Mar-2024	*53.33*	*27.2*	*1.09*	*3.18*	*77.9*
Apr-2024	*56.66*	*26.6*	*0.89*	*3.13*	*79.8*
May-2024	*65.33*	*27.2*	*0.89*	*3.04*	*77.3*
Jun-2024	*65.33*	*26.5*	*0.80*	*3.03*	*78.1*
Jul-2024	*66.33*	*26.6*	*0.79*	*3.07*	*75.6*
Aug-2024	*55.66*	*27.4*	*1.00*	*3.73*	*72.7*
Sep-2024	*47.66*	*27.2*	*1.11*	*4.32*	*75.1*
Oct-2024	*44.33*	*27.9*	*1.28*	*3.55*	*73.6*
Nov-2024	*41.33*	*27.9*	*1.49*	*3.52*	*74.7*
Dec-2024	*43.33*	*28.0*	*1.71*	*3.35*	*73.7*

Nota: Plataforma [14]

A continuación, se presentan las tablas con los datos de irradiación correspondientes a la ubicación de los EPIME-LABS (latitud -12.213, longitud -76.933), considerando ángulos de inclinación de 10°, 15°, 20°, 25°, 30° y 35°. La información, obtenida de [15], incluye valores de radiación difusa horizontal (kWh/m²/día) para un periodo de cinco años (2020-2024).

En las **Tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9** se muestran los datos según cada ángulo de inclinación. Estas variaciones permiten estimaciones más precisas y representativas, ajustadas a las condiciones reales de operación de los sistemas solares para los EPIME-LABS.

Tabla 4

Niveles de Irradiación a 10° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	184.93	**201.50**	**206.69**	172.31	186.63	**190.41**
Feb	176.28	181.62	176.13	**185.32**	160.39	175.95
Mar	**200.04**	186.60	185.49	184.05	**193.92**	190.02
Apr	182.75	184.34	198.76	171.53	182.44	183.96
May	140.49	145.31	148.28	100.74	144.79	135.92
Jun	122.21	127.07	153.22	111.86	105.77	124.03
Jul	151.21	116.97	190.72	118.79	115.1	138.56
Aug	175.95	117.04	157.44	139.26	161.88	150.31
Sep	170.86	74.75	153.90	125.35	136.53	132.28
Oct	163.87	140.46	145.65	141.15	143.87	147.00
Nov	163.07	144.21	148.25	143.15	125.64	144.86
Dec	166.57	156.92	180.42	164.36	136.40	160.93
ANUAL	1998.23	1776.79	2044.95	1757.87	1793.36	1874.24

Nota: Plataforma [15]

Tabla 5

Niveles de Irradiación a 15° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	182.10	**197.62**	202.60	169.70	183.30	187.06
Feb	174.45	179.79	174.21	183.23	158.80	174.10
Mar	**199.63**	186.28	185.18	**183.81**	**193.66**	**189.71**
Apr	184.37	185.96	**200.74**	172.95	184.04	185.61
May	142.71	147.59	150.54	101.84	147.12	137.96
Jun	124.64	129.66	156.68	113.89	107.62	126.50
Jul	154.16	118.72	195.01	121.00	117.03	141.18
Aug	178.37	118.12	159.43	140.83	163.98	152.15
Sep	171.27	74.89	154.17	125.49	136.76	132.52
Oct	162.65	139.45	144.58	140.03	142.75	145.89
Nov	160.65	142.37	145.96	141.48	123.96	142.88
Dec	164.01	154.39	177.05	161.68	134.17	158.26
ANUAL	1999.01	1774.84	2046.15	1755.93	1793.19	1873.82

Nota: Tomados de [15]

Tabla 6

Niveles de Irradiación a 20° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	176.56	**190.11**	194.68	164.59	176.85	180.558
Feb	170.58	175.9	170.18	178.87	155.46	170.198
Mar	**198.09**	184.93	183.91	**182.65**	**192.39**	**188.394**
Apr	186.35	187.93	**203.20**	174.66	185.97	187.622
May	145.94	150.89	153.78	103.36	150.50	140.894
Jun	128.28	133.55	161.94	116.91	110.36	130.208
Jul	158.53	121.26	201.44	124.3	119.88	145.082
Aug	181.73	119.55	162.16	142.93	166.86	154.646
Sep	171.27	74.86	154.02	125.25	136.63	132.406
Oct	159.91	137.21	142.22	137.59	140.27	143.44
Nov	155.94	138.76	141.62	137.65	120.78	138.95
Dec	159.01	149.46	170.56	156.46	129.80	153.058
ANUAL	1992.19	1764.41	2039.71	1745.22	1785.75	1865.456

Nota: Tomados de [15]

Tabla 7

Niveles de Irradiación a 25° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	170.19	181.66	185.78	158.74	169.62	173.20
Feb	165.85	171.11	165.25	173.58	151.36	165.43
Mar	**195.45**	182.60	181.69	**180.54**	**190.07**	186.07
Apr	187.27	**188.83**	204.45	175.39	186.84	**188.56**
May	148.36	153.35	156.18	104.39	153.04	143.06
Jun	131.21	136.70	166.22	119.31	112.54	133.20
Jul	161.95	123.17	**206.60**	126.92	122.08	148.14
Aug	183.99	120.40	163.97	144.27	168.78	156.29
Sep	170.35	74.50	153.08	124.41	135.83	131.64
Oct	156.41	134.36	139.24	134.57	137.14	140.34
Nov	150.46	134.53	136.55	133.16	117.05	134.35
Dec	153.30	143.85	163.22	150.53	124.86	147.15
ANUAL	1974.79	1745.06	2022.23	1725.81	1769.21	1847.42

Nota: Tomados de [15]

Tabla 8

Niveles de Irradiación a 30° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	163.04	172.29	175.91	152.18	161.56	165.00
Feb	160.26	165.43	159.45	167.37	146.55	159.81
Mar	**191.83**	179.27	178.54	**177.48**	**186.70**	182.77
Apr	187.13	**188.63**	204.46	175.13	186.63	**188.40**
May	149.94	154.96	157.71	104.90	154.72	144.45
Jun	133.40	139.08	169.50	121.06	114.12	135.43
Jul	164.40	124.44	**210.44**	128.82	123.62	150.34
Aug	185.15	120.66	164.83	144.83	169.72	157.04
Sep	168.50	73.79	151.35	122.95	134.34	130.19
Oct	152.13	130,09	135.61	130.90	133.33	137.99
Nov	144.25	129,73	130.84	128.06	112.84	128.99
Dec	146.91	137.59	155.08	143.92	119.39	140.58
ANUAL	1946.94	1456.14	993.72	1697.6	1743.52	1767.584

Nota: Tomados de [15]

Tabla 9

Niveles de Irradiación a 35° de inclinación

MES/AÑO	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022	AÑO 2023	AÑO 2024	PROMEDIO
Jan	155.14	161.98	165.08	144.92	152.70	155.96
Feb	153.84	158.90	152.79	160.28	141.03	153.37
Mar	187.12	174.98	174.46	173.49	182.30	178.47
Apr	185.90	187.34	203.21	173.86	185.32	187.13
May	150.68	155.68	158.35	104.90	155.50	145.02
Jun	134.83	140.67	171.75	122.15	115.10	136.90
Jul	165.85	125.05	212.92	129.98	124.47	151.65
Aug	185.18	120.33	161.74	144.59	169.66	156.30
Sep	165.73	72.75	148.83	120.89	132.19	128.08
Oct	147.10	126.84	131.35	126.64	128.88	132.16
Nov	137.36	124.38	124.54	122.39	108.18	123.37
Dec	139.89	130.71	146.19	136.67	113.44	133.38
ANUAL	1908.62	1679.61	1951.21	1660.76	1708.77	1781.794

Nota: Tomados de [15]

Asimismo, se tomó en cuenta el estudio de [17], que indica que la cantidad de energía solar captada por la Tierra anualmente es de 5,4 x 10^{24} J, lo que equivale a 4,500 veces la energía que se consume. En la evaluación de la energía solar difusa, se consideraron tres factores importantes: la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está expuesta, y las condiciones climatológicas de la ubicación de los EPIME-LABS.

4.2 Modelo Bristow-Campbell y base de datos de radiación solar difusa

Con los datos de irradiancia obtenidos en las **Tablas 4 a 9**, se construyó una base de datos que permite determinar la Hora Solar Pico (HSP) en distintas condiciones de inclinación y evaluar la radiación difusa solar mediante el modelo

Bristow-Campbell para los EPIME-LABS. Esta información es fundamental para analizar la variabilidad estacional de la radiación difusa y realizar estimaciones precisas para el diseño de sistemas solares.

Para la elaboración de la base de datos se complementó la información de irradiancia con registros de los institutos nacionales de meteorología, el Ministerio del Ambiente y la plataforma de monitoreo en tiempo real [18] para un sistema solar conectado a la red (Off-Grid). Asimismo, se siguió el procedimiento de [19] para el cálculo y mapeo de la radiación solar difusa.

En el cálculo se consideró la constante solar, medida fuera de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos solares, con un valor promedio de 1366.1 W/m²/día a una distancia de 1 Unidad Astronómica (UA), referencia adoptada por la ASTM desde el año 2000. Los datos se procesaron como promedios diarios mensuales en un plano horizontal, comparándolos con los valores obtenidos mediante el modelo de Bristow-Campbell.

4.2.1 Aplicación del modelo Bristow-Campbell.

Para la estimación de la radiación solar se aplicó el modelo Bristow-Campbell, ampliamente utilizado en estudios de climatología y energía solar, siguiendo las definiciones establecidas de [20], [21]. También, se adoptó el valor sugerido de a_B= 0.7 según [22], y se emplearon las ecuaciones empíricas propuestas en el Atlas Solar del Perú para determinar los coeficientes bB y cB en función de la amplitud térmica diaria (Tmáx - Tmin) y la latitud (ϕ) expresada en radianes:

$$c_B = 2.116 - 0.0072*(T_{máx} - T_{min}) + 57.574*e^{\phi} \quad (1)$$

$$b_B = 0.107*c_B - 2.6485 \quad (2)$$

Donde:

- ϕ : Latitud de la ubicación en radianes.
- a_B: Valor máximo del coeficiente de transmisión atmosférica, dependiente de factores como la contaminación atmosférica y la altitud.
- b_B: Sensibilidad del modelo frente a los cambios en la amplitud térmica diaria ($\Delta T = T_{máx} - T_{min}$).
- c_B: Relaciona la amplitud térmica con la transmisión atmosférica, ajustándose a las condiciones locales.
- H: Irradiación solar global [kWh m−2 d−1 o MJ m−2 d−1]
- H_0: Irradiación solar extraterrestre [kWh m−2 d−1o MJ m−2 d−1]

La relacion entre H/H0 se expresa en la ecuación (3):

$$\frac{H}{H_o} = a_B.\left[1 - e^{-b_B(T_{máx} - T_{mín})^{c_B}}\right] \quad (3)$$

Implementación en Python

Para calcular los coeficientes y estimar la irradiancia solar, se utilizaron los datos de temperatura de las **Tablas 2 y 3**, procesados mediante un script en Python. La sintaxis empleada se presenta en la **Figura 6**, mientras que los resultados se muestran en la **Figura 7**.

Figura 6

Sintaxis modelo Bristow-Campbell

Bristow Campbell

```python
import numpy as np

def calcular_coeficientes(tmin, tmax, latitudes):
    resultados = []
    for phi in latitudes:
        cB = 2.116 - 0.0072 * (tmax - tmin) + 57.574 * np.exp(phi)
        bB = 0.107 * cB - 2.6485
        resultados.append((phi, cB, bB))
    return resultados

# Datos de entrada
temperaturas = [(13.40, 28.00), (13.20, 27.6), (13.30, 27.02)]
latitudes = np.radians([10, 20, 25, 30, 35])

# Cálculo para cada conjunto de temperaturas
for tmin, tmax in temperaturas:
    print(f"Para Tmin={tmin}°C y Tmax={tmax}°C:")
    coeficientes = calcular_coeficientes(tmin, tmax, latitudes)
    for phi, cB, bB in coeficientes:
        print(f"Latitud: {np.degrees(phi):.2f}° -> cB: {cB:.4f}, bB: {bB:.4f}")
    print()
```

Nota: Programa Python

El análisis evidenció que, para las combinaciones de temperatura y latitud evaluadas, los valores de H/H_0 tienden a converger en 0.7, indicando una baja variabilidad con la latitud (**Figura 7 y Tabla 10**).

Figura 7

Simulación del Modelo de Bristow-Campbell.

Bristow Campbell

Consola

Ejecutar

```
Para Tmin=13.4°C y Tmax=28.0°C:
Latitud: 10.00° -> cB: 70.5637, bB: 4.9018
Latitud: 20.00° -> cB: 83.6360, bB: 6.3006
Latitud: 25.00° -> cB: 91.0792, bB: 7.0970
Latitud: 30.00° -> cB: 99.2011, bB: 7.9660
Latitud: 35.00° -> cB: 108.0636, bB: 8.9143
Para Tmin=13.2°C y Tmax=27.6°C:
Latitud: 10.00° -> cB: 70.5651, bB: 4.9020
Latitud: 20.00° -> cB: 83.6374, bB: 6.3007
Latitud: 25.00° -> cB: 91.0806, bB: 7.0971
Latitud: 30.00° -> cB: 99.2025, bB: 7.9662
Latitud: 35.00° -> cB: 108.0650, bB: 8.9145
Para Tmin=13.3°C y Tmax=27.02°C:
Latitud: 10.00° -> cB: 70.5700, bB: 4.9025
Latitud: 20.00° -> cB: 83.6423, bB: 6.3012
Latitud: 25.00° -> cB: 91.0855, bB: 7.0976
Latitud: 30.00° -> cB: 99.2074, bB: 7.9667
Latitud: 35.00° -> cB: 108.0699, bB: 8.9150
```

esultados del modelo H/H_0 para las distintas combinaciones de tempe

Análisis

```python
bB = 0.107 * cB - 2.6485
# Evaluamos la ecuación H/H0
HH0 = aB * (1 - np.exp(-bB * (Tmax - Tmin) ** cB))
# Guardamos l
resultados.append((Tmin, Tmax, np.degrees(phi), cB, bB

# Mostramos los resultados
resultados
```

Mostrar siempre los detalles Copiar

Resultado

```
3.0, 10.0, 70.56366291896654, 4.901811932329419, 0.7),
3.0, 20.0, 83.63598935378737, 6.300550860855248, 0.7),
3.0, 25.0, 91.07917098230872, 7.096971295107034, 0.7),
3.0, 29.999999999999996, 99.20107700328431, 7.96601523935142
3.0, 35.0, 108.06359853047479, 8.914305042760802, 0.7),
7.6, 10.0, 70.56510291896655, 4.901966012329421, 0.7),
7.6, 20.0, 83.63742935378737, 6.300704940855248, 0.7),
7.6, 25.0, 91.08061098230873, 7.097125375107034, 0.7),
7.6, 29.999999999999996, 99.20251700328431, 7.96616931935142
7.6, 35.0, 108.0650385304748, 8.914459122760803, 0.7),
7.02, 10.0, 70.56999891896655, 4.902489884329421, 0.7),
7.02, 20.0, 83.64232535378737, 6.301228812855248, 0.7),
7.02, 25.0, 91.08550698230873, 7.097649247107034, 0.7),
7.02, 29.999999999999996, 99.20741300328432, 7.9666931913514
7.02, 35.0, 108.0699345304748, 8.914982994760802, 0.7)]
```

Nota: Programa Python

Tabla 10

Valores del modelo según la variación de temperatura y latitud

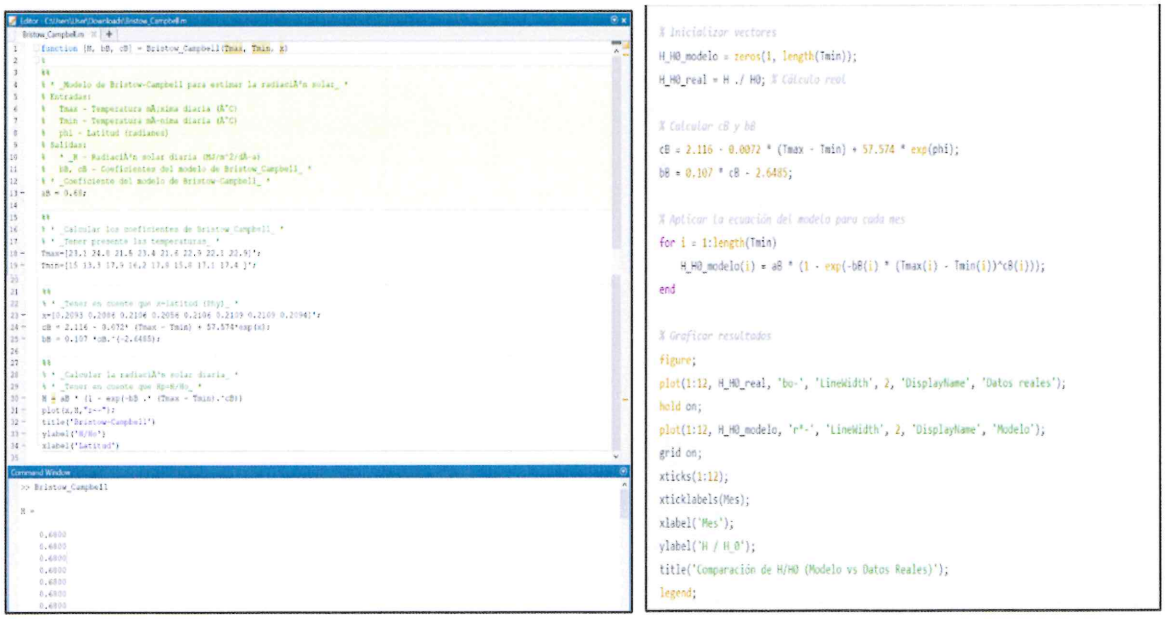
Tmin (°C)	Tmáx (°C)	Latitud (°)	Coeficientes del Modelo B-C		
			c_B	b_B	H/H0
13.4	28.0	10	70.564	4.902	0.7
13.4	28.0	20	83.636	6.301	0.7
13.4	28.0	25	91.079	7.097	0.7
13.4	28.0	30	99.201	7.966	0.7
13.4	28.0	35	108.064	8.914	0.7
13.2	27.6	10	70.565	4.902	0.7
13.2	27.6	20	83.637	6.301	0.7
13.2	27.6	25	91.081	7.097	0.7
13.2	27.6	30	99.203	7.966	0.7
13.2	27.6	35	108.065	8.914	0.7
13.3	27.0	10	70.570	4.902	0.7
13.3	27.0	20	83.642	6.301	0.7
13.3	27.0	25	91.086	7.098	0.7
13.3	27.0	30	99.207	7.967	0.7
13.3	27.0	35	108.070	8.915	0.7

Implementación en Matlab

Adicionalmente, el modelo se programó en la plataforma [23] para los mismos datos (**Tablas 2 y 3**). La sintaxis correspondiente se muestra en la **Figura 8**. Este procedimiento permitió obtener valores comparativos de los coeficientes b_B y c_B, así como la representación gráfica de la irradiancia solar estimada con el modelo Bristow-Campbell, **Figura 9.**

Figura 8

Sintaxis modelo Bristow-Campbell



```
% Inicializar vectores
H_H0_modelo = zeros(1, length(Tmin));
H_H0_real = H ./ H0; % Cálculo real

% Calcular cB y bB
cB = 2.116 - 0.0072 * (Tmax - Tmin) + 57.574 * exp(phi);
bB = 0.107 * cB - 2.6485;

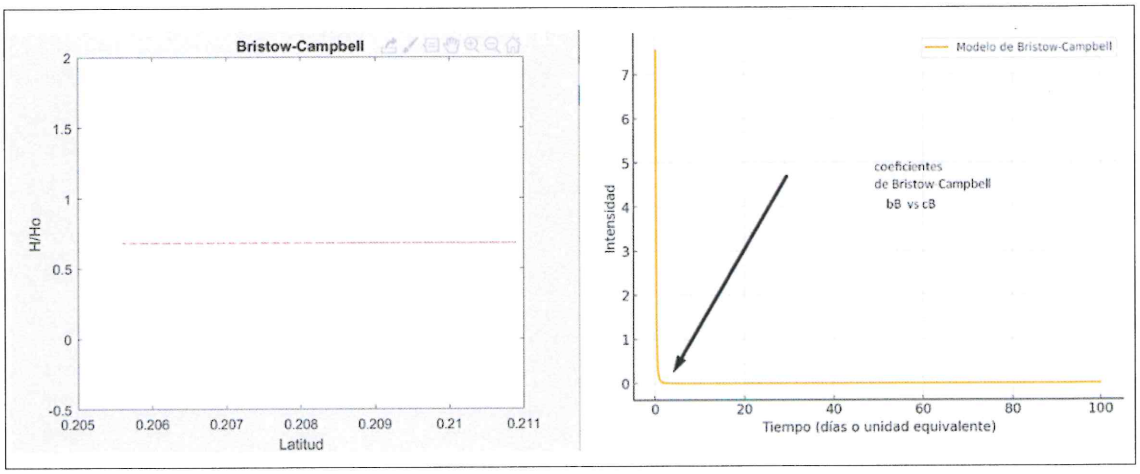
% Aplicar la ecuación del modelo para cada mes
for i = 1:length(Tmin)
    H_H0_modelo(i) = aB * (1 - exp(-bB(i) * (Tmax(i) - Tmin(i))^cB(i)));
end

% Graficar resultados
figure;
plot(1:12, H_H0_real, 'bo-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Datos reales');
hold on;
plot(1:12, H_H0_modelo, 'r*-', 'LineWidth', 2, 'DisplayName', 'Modelo');
grid on;
xticks(1:12);
xticklabels(Mes);
xlabel('Mes');
ylabel('H / H_0');
title('Comparación de H/H0 (Modelo vs Datos Reales)');
legend;
```

Nota: Plataforma [23]

Figura 9

Simulación del Modelo segun sus coeficientes b_B y c_B



Nota: Plataforma [23]

4.2.2 Cálculo de la Hora Solar Pico (HSP)

La Hora Solar Pico (HSP) representa el número de horas en las que la irradiancia equivale a 1000 W/m², acumulando la misma energía solar que la recibida a lo largo del día. Se calculó a partir de los datos de irradiación solar mensual mediante la expresión:

$$HSP = \frac{\mathbf{kWh/m2/mes}}{\frac{\mathbf{1kW}}{\mathbf{m2}} * \ \mathbf{número\ de\ dias\ al\ mes}} \tag{4}$$

Para evaluar la HSP para el proyecto se tomó el valor de 124.03 kWh/m² que corresponde a la irradiación acumulada en un mes completo, la HSP diaria fue:

$$HSP = \frac{124.03 kWh/m2/30}{\frac{1kW}{m2} * 30} = 4.13\ H$$

Este cálculo se repitió para los valores mínimos y máximos de irradiancia, generando las series de datos necesarias para el dimensionamiento fotovoltaico.

4.2.3 Base de datos

En esta etapa también se elaboró una base de datos con los niveles de irradiancia para diferentes ángulos de inclinación (10°, 15°, 20°, 25° y 30°), a partir de datos climáticos de [24] y de las coordenadas geográficas correspondientes a las instalaciones de EPIME-LABS-UNTELS (latitud -12.22°, longitud -76.96°). Esta base de datos se presentará en el capítulo de resultados.

4.3 Dimensionamiento del sistema solar

El sistema solar propuesto en este proyecto se diseñó bajo las especificaciones generales establecidas en [5]:

- **Tipo de sistema:** Off-Grid (sistema aislado), independiente de la red eléctrica pública.
- **Celdas fotovoltaicas policristalinas:** Eficiencia entre el 14 % y 16 %, con registros de hasta 21 % en laboratorio. Potencia unitaria de 35 a 345 W, tensión de 12 a 24 V, tolerancia de ±5 W, y menor costo comparado con los módulos monocristalinos.

4.3.1 Requerimientos energéticos de los EPIME-LABS

La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (EPIME) de la UNTELS, cuenta con ocho laboratorios / talleres (EPIME-LABS), donde se desarrollan las horas de práctica especificadas en el Plan de Estudios, con un promedio de 2 a 4 horas por semana, especificadas también en el sílabo, **Figura 10.**

Figura 10

Plan de estudios y Silabo -IME



PLAN DE ESTUDIO 2021
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

CICLO I

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ASIGNATURA	HT	HP	H	CR	PRE REQUISITOS	
EGR0101	Matemática básica	4	2	6	5	No aplica	
EGR0102	Filosofía y ética	2	2	4	3	No aplica	
EGR0203	Investigación, desarrollo e innovación	3	2	5	4	No aplica	
CBR0101	Química	2	2	4	3	No aplica	
CBR0102	Calculo diferencial	2	4	6	4	No aplica	
IMR0101	Fundamentos de Ingeniería Mecánica y Eléctrica	1	4	5	3	No aplica	
		14	16	30	22		

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
"Marcando el avance científico y tecnológico"

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA y ELECTRICA
SILABO FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

I. DATOS GENERALES

1.1 Asignatura	: Fundamentos de Ingeniería Mecánica Eléctrica
1.2 Código	: IM01R1
1.3 Semestre	: 2024-II
1.4 Ciclo	: I
1.5 Carácter	: Obligatorio
1.6 Area	: Estudios Generales
1.7 Créditos	: 3
1.8 Pre requisito	: Ninguno
1.9 Duración	: 16 semanas
1.10 Horas Teóricas	: 1
1.11 Horas Practica	: 4
1.12 Horas Totales	: 5

Nota: *EPIME-UNTELS-2024*

En la **Tabla 11** se presentan los laboratorios sus asignaturas asociadas y su ubicación.

Tabla 11

Denominación de los EPIME-LABS

Item	Nombre del Laboratorio /Taller	Asignaturas	Horas Practica/ semana	TOTAL Horas Practica/ semana	Ubicación
1	*Mecánica de fluidos y transferencia de calor*	Transferencia de calor	2	6	Pabellón A-Piso 1
		Turbomáquinas	2		
		Mecánica de Fluidos	2		
2	*Instalaciones Eléctricas*	Fundamentos IME	10	12	Pabellón B- Piso 1- Aula 4
		Instalaciones Eléctricas I	2		
3	*Computo de Mecánica*	Dibujo mecánico I-II	3	15	Pabellón B- Piso 3 - Aula 9
		Instalaciones Eléctricas I	2		
		Tesis I-II	8		
		Algoritmos de Programación para Ingeniería	2		
4	*Ciencia de los Materiales*	Resistencia de materiales	3	6	Pabellón B-Piso 1
		Ciencia de los materiales	3		
5	*Electrónica*	Electrónica Aplicada	2	2	Pabellón B-Piso 3
6	*Automatización Electroneumática y Electrohidráulica*	Control de procesos automáticos	2	4	Pabellón B-Piso 3
		Automatización electroneumática	2		

7	*Máquinas Eléctricas*	Maquinas eléctricas I	2	9	Pabellón D-Piso 1
		Máquinas eléctricas II	2		
		Medidas eléctricas	1		
		Circuitos eléctricos I	2		
		Circuitos eléctricos II	2		
8	*Termodinámica*	Termodinámica	2	4	Pabellón D-Piso 1
		Motores de combustión interna	2		

Nota: Estructura curricular EPIME-2024

4.3.2 Cálculo de máxima demanda

Para dimensionar un sistema fotovoltaico Off-Grid, se determinó la **máxima demanda energética** de cada laboratorio, considerando sus cargas eléctricas, potencia instalada y factor de demanda (FD).

La **Tabla 12** muestra el cálculo de un laboratorio tipo (Instalaciones Eléctricas) explicado en [25], que sirvió como referencia metodológica para los demás.

Tabla 12

Máxima Demanda energética del Laboratorio de Instalaciones Eléctricas

Item	Cargas Eléctricas	Cantidad (U)	Potencia (kW)	Capacidad Instalada (kW)	FD	Máxima Demanda (kW)
1	Iluminación interior LED	6	0.012	***0.07***	0.90	***0.06***
2	Equipo multimedia *(PC+Proyector+Parlantes)*	1	0.90	***0.90***	0.90	***0.81***
4	Toma corriente de 220 V, 1Ø, adosada a las mesas (Fuentes, transformadores, cautil de soldar-circuitos eléctricos, laptops)	8	0.15	***1.20***	0.90	***1.08***
5	Toma corriente de 220 V, 1Ø, adosada a la pared *(pantalla interactiva, Modem, estabilizador)*	3	0.012	***0.04***	0.90	***0.03***
6	Toma corriente de 380 V, 3Ø adosada a la pared *(motores, transformadores)*	3	0.75	***2.25***	0.90	***2.03***
7	Módulos de enseñanza-aprendizaje	3	0.35	***1.05***	0.90	***0.95***
TOTAL				**5.51**		**4.96**

Con esta misma metodología, se evaluaron los ocho EPIME-LABS, obteniéndose la **Tabla 13** con la capacidad instalada, la máxima demanda (kW) y el consumo mensual (kWh) para uso de **8 horas/día durante 30 días al mes**.

Tabla 13

Máxima Demanda energética de los EPIME-LABS

Item	Nombre del Laboratorio/ Taller	Cargas Eléctricas	Capacidad Instalada (kW)	Máxima Demanda (kW)	Energía (KWh)
1	*Mecánica de fluidos y transferencia de calor*	Iluminación	9.20	4.60	1104.00
		Toma Corriente			
2	*Instalaciones Eléctricas*	Iluminación	5.51	4.96	1190.16

		Toma Corriente			
3	*Computo de Mecánica*	Iluminación Toma Corriente	2.80	1.68	403.20
4	*Ciencia de los Materiales*	Iluminación Toma Corriente	22.50	13.50	3240.00
5	*Electrónica*	Iluminación Toma Corriente	13.50	8.10	1944.00
6	*Automatización Electroneumática y Electrohidráulica*	Iluminación Toma Corriente	15.50	10.85	2604.00
7	*Máquinas Eléctricas*	Iluminación Toma Corriente	30.50	24.40	5856.00
8	*Termodinámica*	Iluminación Toma Corriente	10.00	6.00	1440.00
TOTAL			**109.51**	**74.09**	**17781.36**

De acuerdo a [25], los kW (kilovatios) miden la potencia real o activa que se consume, mientras que kVA (kilovoltiamperios) miden la potencia aparente, que incluye tanto la potencia real como la reactiva.

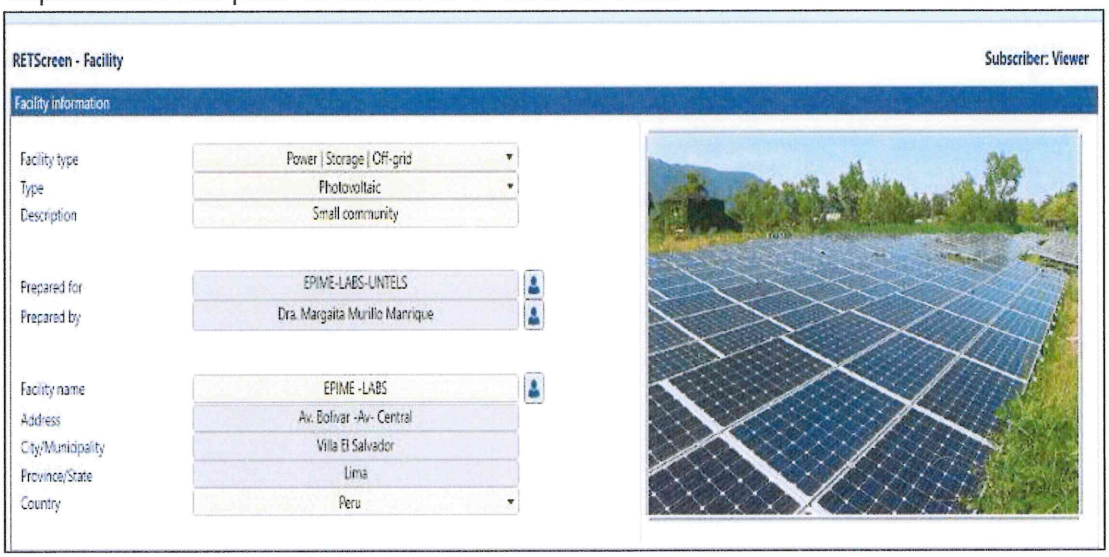
4.3.3 Modelado del sistema fotovoltaico

A partir de los valores de irradiancia difusa obtenidos con el modelo de Bristow-Campbell (sección 4.2) y de la **Máxima Demanda** calculada, se seleccionaron los laboratorios que serán abastecidos por energía solar.

El dimensionamiento se realizó utilizando la plataforma [14], ingresando las coordenadas geográficas de los EPIME-LABS y especificaciones técnicas del sistema, **Figura 11**.

Figura 11

Especificaciones para dimensionar el Sistema Solar



Nota : [14]

Algunas ecuaciones como lo explican [20] y [21], son:

$$P = V*A \quad (5)$$
$$E = P*h \quad (6)$$
$$Pmax = FF*Isc*VoC \quad (7)$$

Donde:
P= Potencia, expresado en watts (W)
V= Tensión, expresado en voltios (V)
A= Corriente, expresado en amperes (A)
E= Energía, expresado en watts-hora (Wh)
FF= Factor de forma
Isc= Corriente de cortocircuito
VoC=Voltaje a circuito abierto

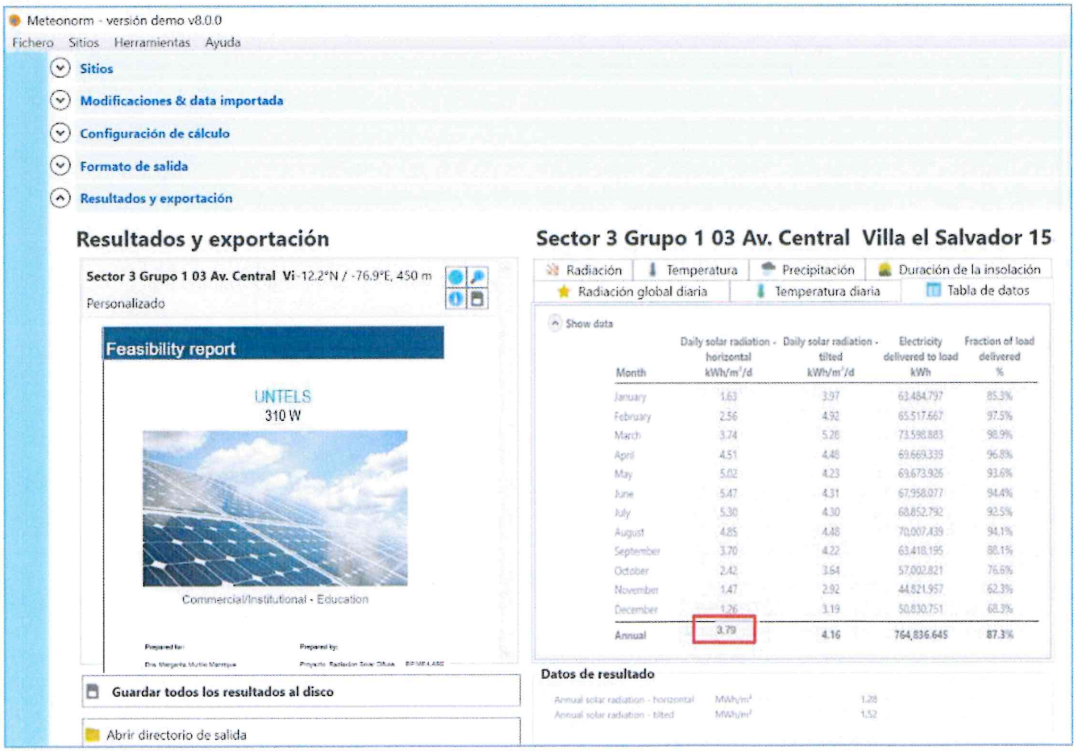
Una vez ingresado los parámetros, [14] presento los datos que se muestran en la **Figura 12**.

Por tanto, en la **Figura 13** se presenta el modelo propuesto del sistema solar para los EPIME-LABS el cual está compuesto por:

- **Celdas fotovoltaicas**: Generan energía eléctrica a partir de la radiación solar.
- **Inversor de potencia**: Convierte la energía de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) para cargas de laboratorio.
- **Baterías**: Almacenan la energía para su uso en periodos sin radiación.
- **Panel de control y protección**: Garantiza la seguridad del sistema y distribuye la energía hacia las cargas AC y DC de los laboratorios.

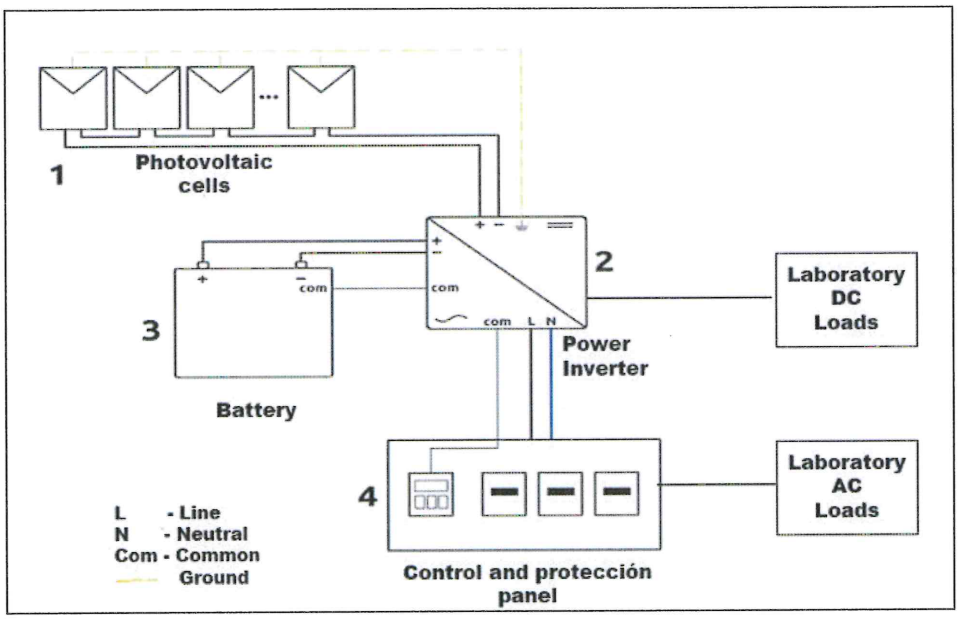
Figura 12

Plataforma para modelar el sistema fotovoltaico los EPIME-LABS.



Nota : [14]

Figura 13
Modelo del sistema solar para los EPIME-LABS.



4.3.3 Selección de los componentes del sistema

De acuerdo con [24], el modelo determina los siguientes elementos:

- **Módulos fotovoltaicos policristalinos** (38 unidades, 310 W c/u)
- **Banco de baterías** (31 unidades, 300 Ah c/u, conexión en paralelo)
- **Regulador de carga** (12 V, 45 A)
- **Inversor** (300 W, 220/240 V, 60 Hz, eficiencia del 80 %)

Para una radiación de **124.03 kWh/m²/día** y una **HSP = 4.36**, se dimensionó el sistema como se resume en la **Tabla 14**.

Tabla 14
Sistema Solar Fotovoltaico (SFV) - OFF-Grid

Elementos	Descripción[1]	Cantidad	Potencia (W)	Tensión máxima admisible (VDC)	Corriente máxima admisible (A)	Conexión	Capacidad (AH)	Tensión salida (VAC)	Frecuencia (Hz)
Celdas Fotovoltaicas Policristalinas (178.5 cm × 115.0 cm)	NMS	1	11780	12	-----	Paralelo	-----	-----	-----
	NMP	38	310	12	-----		-----	-----	-----
Banco de Baterías	NBS	1	-----	12	-----	Paralelo	9300.0	-----	-----
	NBP	31	-----	12	300		-----	-----	-----
Regulador	FS= 1.25	1	-----	12	45	Paralelo	-----	-----	-----
Inversor	EF = 80%	1	300	12	10	Paralelo	-----	220/240	60

[1] NMS- Número de Sistemas Fotovoltaicos, NMP-Número de Módulos Fotovoltaicos por sistema
NBS - Número de Bancos de Baterias, NBP-Número de Baterias por banco
FS-Factor de seguridad, EF- Eficiencia

4.4. Análisis de eficiencia y rentabilidad:

La eficiencia de un sistema solar fotovoltaico se define como la relación entre la energía solar que incide sobre la superficie de los paneles y la energía eléctrica útil que estos entregan, expresada en porcentaje. Esta eficiencia está influenciada por la tecnología de las celdas, las condiciones ambientales, la orientación e inclinación de los módulos, así como por las pérdidas en la conversión y transmisión de la energía.

Para el presente proyecto, la eficiencia se estimó a partir de los parámetros técnicos de los módulos fotovoltaicos y las condiciones mínimas de irradiación del lugar, empleando los datos mostrados en la **Tabla 14**. Los cálculos se desarrollaron considerando:

- **Dimensiones de cada panel:** 1.785 m × 1.15 m → Área = 2.05275 m²
- **Cantidad de paneles:** 38 → Área total = 78.0045 m²
- **Irradiación mínima anual promedio:** 3.79 kWh/m²·día (HSP ≈ 4.13 h/día)
- **Rendimiento global del sistema:** inversor (0.80) × pérdidas (0.90) = 0.72

Cálculos

1. Potencia instalada: Pinst=38×310 W=11.78 kWp
2. Energía incidente diaria por panel:
   $E_{inc,panel}$=3.79 kWhm2·dıa×2.05275 m2=7.78 kWh/día
3. Energía bruta diaria (DC) por panel:
   $E_{DC,panel}$=0.310 kW×4.13 h/día=1.2803 kWh/día
4. Energía útil diaria (AC) por panel: $E_{AC,panel}$=1.2803×0.72=0.9218 kWh/día
5. Energía mensual incidente (todos los paneles):
   $E_{inc,total}$,mes≈8,869.11 kWh/mes
6. Energía mensual AC generada: $E_{AC,\ total,mes}$ ≈ 1,050.87 kWh/mes

En cuanto a la **rentabilidad**, se consideró la inversión inicial y los costos asociados a la operación y mantenimiento, utilizando como referencia el método de retorno de inversión (*payback*). El detalle de costos se presenta en la **Tabla 15**.

Tabla 15

Costos del sistema solar fotovoltaico- OFF-Grid con celdas policristalinas

Equipos	Cantidad	Precio Unitario S/.	Precio Total S/.
Panel Solar Policristalino	38	310.00	11780.00
Regulador	1	3550.00	3550.00
Baterías	31	1650.00	51150.00
Inversor	1	506.00	506.00
Materiales complementarios (ITM, Caja combinadora, Cableados, Conectores, Estructura fierro galvanizado, puesta atierra)	1	2800.00	2800.00
		TOTAL	**S/ 69,786.00**
		TOTAL	**$ 19,713.56**

Este análisis permitirá, en la etapa de resultados, comparar la energía generada por el sistema propuesto con el consumo real de la UNTELS, estimar el

porcentaje de cobertura de la demanda y calcular el tiempo de recuperación de la inversión.

5. RESULTADOS

5.1 Datos de radiación difusa obtenidos desde las plataformas solares.

El análisis de la radiación difusa constituye un aspecto clave para estimar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. Este enfoque permite mostrar cómo varía la **Hora Solar Pico (HSP)** de acuerdo con la inclinación y el mes del año, y cómo esos valores influyen en el desempeño del sistema.

En primer lugar, la **Tabla 16** resume los valores de irradiación difusa de los 5 años en función de la inclinación de los paneles. Se observa que el promedio mensual tiende a decrecer ligeramente al aumentar el ángulo, lo cual debe considerarse en el diseño y orientación de los módulos fotovoltaicos.

Tabla 16

Valores de Irradiación solar Difusa por Mes y Ángulo de inclinación

Meses	Inclinación (°)	Máximo (kWh/m²)	Promedio Mensual (kWh/m²)	Mínimo (kWh/m²)
Jan- Dec	10	190.41	156.19	124.03
Jan- Dec	15	189.71	156.15	126.5
Jan- Dec	20	188.39	155.45	130.21
Jan- Dec	25	188.56	153.95	131.63
Jan- Dec	30	188.4	151.75	129
Jan- Dec	35	187.13	148.48	123.37

En la **Tabla 17** se presentan los valores de **Hora Solar Pico (HSP)**, diferenciando entre valores máximos, promedios y mínimos en el periodo de análisis de 5 años. Estos datos permiten comparar el comportamiento estacional de la radiación y son útiles para determinar el rendimiento esperado del sistema.

Tabla 17

HSP de Irradiación solar Difusa por Mes y Angulo

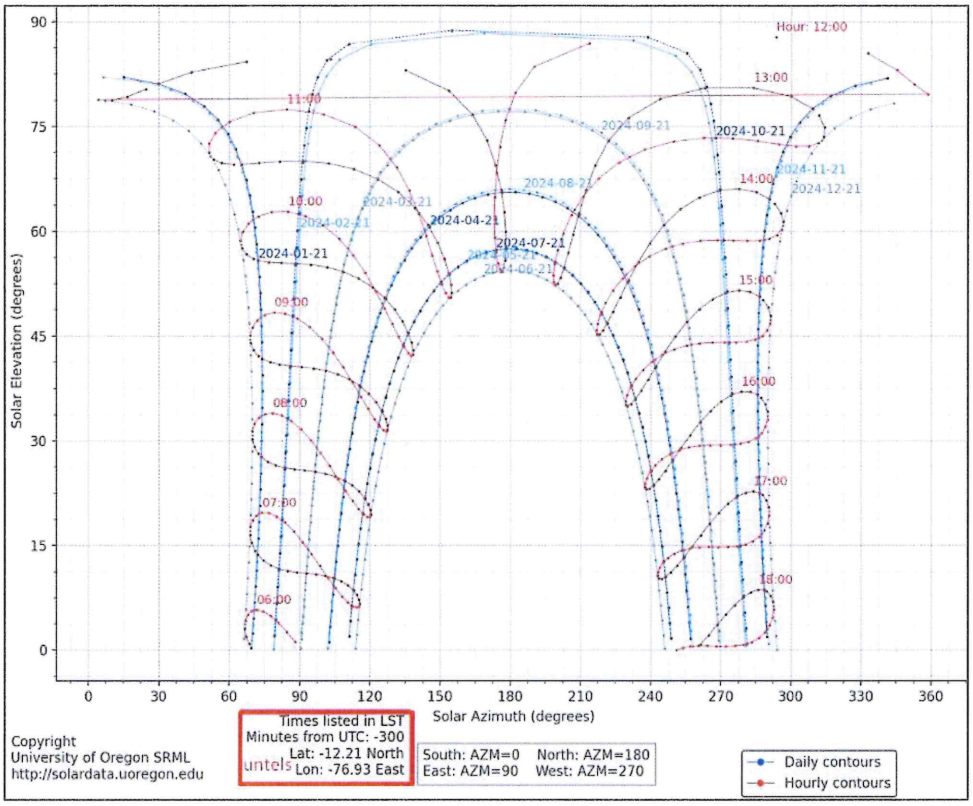
Meses	Inclinación (°)	HSP-Max (hora/mes)	HSP-Prom (hora/mes)	HSP-Mim (hora/mes)
Jan- Dec	10	6.35	5.21	4.13
Jan- Dec	15	6.32	5.18	4.13
Jan- Dec	20	6.28	5.15	4.22
Jan- Dec	25	6.29	5.12	4.34
Jan- Dec	30	6.28	5.10	4.39
Jan- Dec	35	6.24	5.08	4.30

Finalmente, con el propósito de comprender la disponibilidad de radiación solar en el campus de la UNTELS, se simuló el **recorrido solar anual** en la plataforma [24], considerando las coordenadas de latitud –12.22° y longitud –76.96°.

La **Figura 14** muestra el recorrido solar cartesiano en los EPIME-LABS, donde los ejes representan la **elevación solar (°)** y el **azimut solar (°)**. Este análisis permite identificar las trayectorias solares a lo largo del año, mes, día y hora, lo cual constituye un insumo fundamental para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicos policristalinos.

Figura 14

Recorrido solar cartesiano en la zona de los EPIME-LABS



Nota: [24]

Estos resultados permiten identificar la variación mensual y estacional de la radiación solar, lo que complementa la caracterización de la disponibilidad energética anual, diaria y hora en la zona de los EPIME-LABS.

5.2 Modelo Bristow-Campbell y base de datos de radiación solar difusa

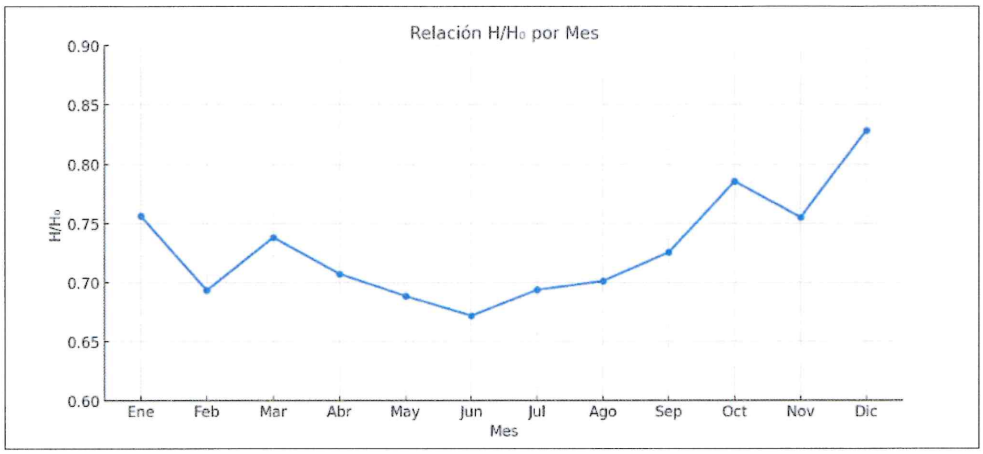
Los datos de radiación recopilados permitieron implementar el modelo **Bristow-Campbell**, a partir del cual se calcularon:

H: Irradiación solar global [$kWh*m^{-2}\ d^{-1}$ o $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$]
H_0: Irradiación solar extraterrestre [$kWh\ m^{-2}\ d^{-1}$ o $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$]

Estos valores se relacionaron con la **temperatura máxima (Tmax)** y **mínima (Tmin)** en °C. La **Figura 15** muestra la fracción de irradiación solar global respecto a la irradiación extraterrestre estimada para cada mes, lo cual caracteriza el nivel de claridad atmosférica y la disponibilidad de radiación en los EPIME-LABS.

Figura 15

Relación mensual entre irradiancia global y extraterrestre.



La **Tabla 18** muestra los resultados preliminares, de los coeficientes del modelo Bristow-Campbell (a_B, b_B, c_B), así como el error promedio porcentual en las tres zonas propuestas para la instalación de los paneles solares: pabellón B, pabellón C y mini auditorio, por estar más cercanos a los EPIMELABS.
Los resultados muestran una baja variación entre ubicaciones, lo cual respalda la factibilidad de seleccionar la zona de instalación principalmente en función de criterios de infraestructura.

Tabla 18

Coeficientes del modelo Bristow-Campbell

Ubicación Meteorológica	a_B	b_B (°C-1)	cB	N° de datos	Error %
		EPIME - LABS			
Pabellón B	0.68	1.26	72.51	136	9.33
Pabellón C	0.68	1.25	72.53	136	9.33
Mini-auditorio	0.68	1.26	72.52	136	9.33

Asimismo, se consolidó una **base de datos de radiación difusa** con intervalos de clasificación *(Alta, Media, Baja, Muy Baja)* para los cinco ángulos de inclinación analizados *(10°,15°,20°,25°,30°,35°)* y para un período de cinco años *(2020–2024)*, considerando los 12 meses de cada año.

La **Tabla 19** muestra un extracto de esta base de datos correspondiente a la inclinación de **10°**, que representa el caso con menor nivel de irradiancia y que fue utilizado como referencia para los cálculos posteriores del sistema solar. Esta base de datos permite analizar los niveles de irradiancia para cualquier ángulo.

La evolución temporal de los niveles de irradiancia para este ángulo se ilustra en la **Figura 16**, la cual permite visualizar las fluctuaciones anuales y mensuales que se han considerado para el diseño de los PFV.

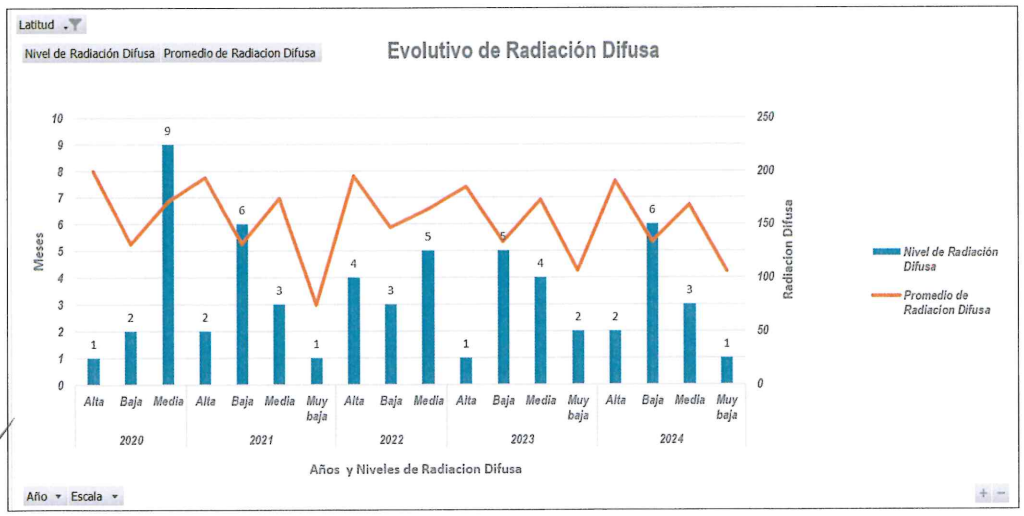
Tabla 19

Base de Datos de los niveles de irradiancia para 10°

Latitud	10		
		Nivel de Radiación Difusa	Promedio de Radiacion Difusa
2020		**12**	**166.5191667**
2020	Alta	1	200.040
2020	Baja	2	131.35
2020	Media	9	170.61
2021		**12**	**148.0658333**
2021	Alta	2	194.050
2021	Baja	6	131.843
2021	Media	3	174.293
2021	Muy baja	1	74.750
2022		**12**	**170.4125**
2022	Alta	4	195.415
2022	Baja	3	147.3933333
2022	Media	5	164.222
2023		**12**	**146.4891667**
2023	Alta	1	185.32
2023	Baja	5	133.540
2023	Media	4	173.0625
2023	Muy baja	2	106.3
2024		**12**	**149.4466667**
2024	Alta	2	190.275
2024	Baja	6	133.7216667
2024	Media	3	168.237
2024	Muy baja	1	105.77
Total general		**60**	**156.1866667**

Figura 16

Evolutivo de los niveles de irradiancia para 10°



En síntesis, la implementación del modelo Bristow-Campbell y el desarrollo de la base de datos de radiación solar difusa han permitido contar con un insumo confiable para la estimación de la disponibilidad energética en las distintas zonas de instalación.
En función de los resultados obtenidos, se seleccionó el ángulo de **10° de inclinación** como base de cálculo, al presentar los niveles más bajos de irradiancia y permitir la comparación de los demás escenarios. Este valor no solo orienta los cálculos energéticos, sino que también constituye el criterio técnico para el diseño de las **estructuras de soporte** de los paneles fotovoltaicos, asegurando que su instalación esté alineada con la evaluación de radiación solar realizada en este proyecto.

5.3 Dimensionamiento del sistema solar OFF-Grid

Con el objetivo de definir la capacidad del sistema fotovoltaico que permita abastecer parcialmente los requerimientos energéticos de los laboratorios EPIME-LABS, se ha seguido el procedimiento metodológico planteado, que incluye: el análisis de los requerimientos energéticos, el cálculo de la máxima demanda, el modelado del sistema fotovoltaico y la selección de los componentes principales.

5.3.1 Requerimientos energéticos de los EPIME-LABS

La demanda energética de los laboratorios fue determinada considerando una operación de **8 horas diarias durante 30 días**, a partir de las cargas instaladas. La demanda total estimada asciende a **17,781.6 kWh/mes**, la cual constituye la referencia para evaluar la capacidad del sistema solar.

5.3.2 Cálculo de la máxima demanda

Con los valores mínimos de irradiancia disponibles (**3.790 kWh/m²/día**), el área de instalación de **37.96 m²** y una potencia pico de **74.09 kW**, se calculó la energía mensual generada:
EFV=74.09 kW×4.13 h/dıa×30 días=9,180.45 kWh/mes
De manera equivalente, al analizar la energía por unidad de superficie:
Em2=3.79 kWh/m2/dıa×30 días=113.7 kWh/m2/mes
Etotal=113.7×37.96=**4,316.45 kWh/mes**
Este valor representa el aporte real del sistema solar, que cubriría aproximadamente un **24.27 %** de la demanda total de los EPIME-LABS.

5.3.3 Modelado del sistema fotovoltaico

Para evaluar la distribución de la energía disponible, se contrastó la generación solar con el consumo específico de cada laboratorio. Con esta consideración, se determinó que pueden ser abastecidos los siguientes EPIME-LABS:

- **Laboratorio 2** (Instalaciones Eléctricas)**:** *1190.4* kWh/mes
- **Laboratorio 3** (Cómputo de Mecánica)**:** *403.2* kWh/mes
- **Laboratorio 6** (Automatización Electroneumática y Electrohidráulica)**:** *2604* kWh/mes

La suma total asciende a **4,197.28 kWh/mes**, lo que se encuentra dentro de la capacidad de generación del sistema solar propuesto **4,316.45 kWh/mes**. Pudiendo seleccionar otra opción dependiendo de las necesidades de cada laboratorio.

5.3.4 Selección de los componentes del sistema

En función de la potencia instalada (74.09 kW) y la energía mensual generada (≈ 4,316 kWh), se seleccionan los componentes principales del sistema:

- **Paneles fotovoltaicos:** tecnología policristalina, con eficiencia media del 18 %, dispuestos en el área disponible de 37.96 m².
- **Inversores OFF-Grid:** con capacidad nominal para soportar la potencia pico de 74.09 kW.
- **Banco de baterías:** dimensionado para almacenar la energía diaria generada (~ 144 kWh/día), asegurando una autonomía de al menos un día (quiere decir que las baterías pueden suministrar energía a los laboratorios durante **24 horas sin recibir nueva carga solar)**.
- **Estructuras de soporte:** ajustadas al ángulo óptimo de inclinación evaluado en la sección 5.2.

De esta forma, el sistema queda dimensionado para abastecer de manera autónoma los tres laboratorios seleccionados, representando la primera fase de diseño del sistema solar en los EPIME-LABS.

5.4 Análisis de la Eficiencia y rentabilidad del sistema solar

En esta sección se evalúa el desempeño técnico y económico del sistema fotovoltaico propuesto para los EPIME-LABS, considerando tanto la eficiencia energética como la rentabilidad financiera a partir de la tarifa eléctrica vigente de la UNTELS.

5.4.1 Eficiencia del sistema solar fotovoltaico

Se determinaron las eficiencias de los módulos y del sistema en su conjunto, obteniéndose los siguientes resultados:

- **Eficiencia nominal del módulo (STC)[2]:**

$$\eta\text{modulo} = \frac{310\ W}{\frac{1000W}{m2} * 2.0525\ m2} = \mathbf{15.10\%}$$

  valor que se encuentra dentro del rango esperado para paneles fotovoltaicos comerciales.

- **Eficiencia diaria del módulo** (energía DC / energía incidente)**:**

$$\eta\text{diaria} = \frac{1.2803}{7.7799} = \mathbf{16.46\%}$$

- **Eficiencia global del sistema** (energía AC útil / energía incidente)**:**

$$\eta\text{sistema} = \frac{0.921816}{707799} = \mathbf{11.85\%}$$

Estos resultados permiten concluir que el sistema presenta un desempeño adecuado, coherente con los parámetros de referencia de instalaciones similares en la región.

5.4.2 Análisis económico del sistema

Con base en la energía estimada que se obtendrá del sistema solar **OFF-grid**, se evaluó la rentabilidad considerando la tarifa eléctrica vigente y el consumo energético de los laboratorios.

Paso 1: Estimación de la energía y Ahorro mensual

[2] ***STC***- *Standard Test Conditions* (Condiciones de Prueba Estándar).

A partir de la potencia instalada, las horas sol pico y los días promedio al mes, se obtuvieron los resultados que se muestran en la **Tabla 20 y 21**.

Tabla 20

Rentabilidad del Sistema Solar Fotovoltaico

Concepto	Valor
Potencia instalada (PI) de los Lab. **(kW)**	74.09
Horas Sol Pico (HSP) **(h)**	4.13
Días al mes (promedio) **(días)**	30
Costo del sistema solar **(S/.)**	*69,786.00*
Vida útil estimada **(años)**	20
Tarifa energía de red **(S/. /kWh)** *(MT4 - 3Ø-Nivel de Tensión = 10 kV)*	0.3058

Tabla 21

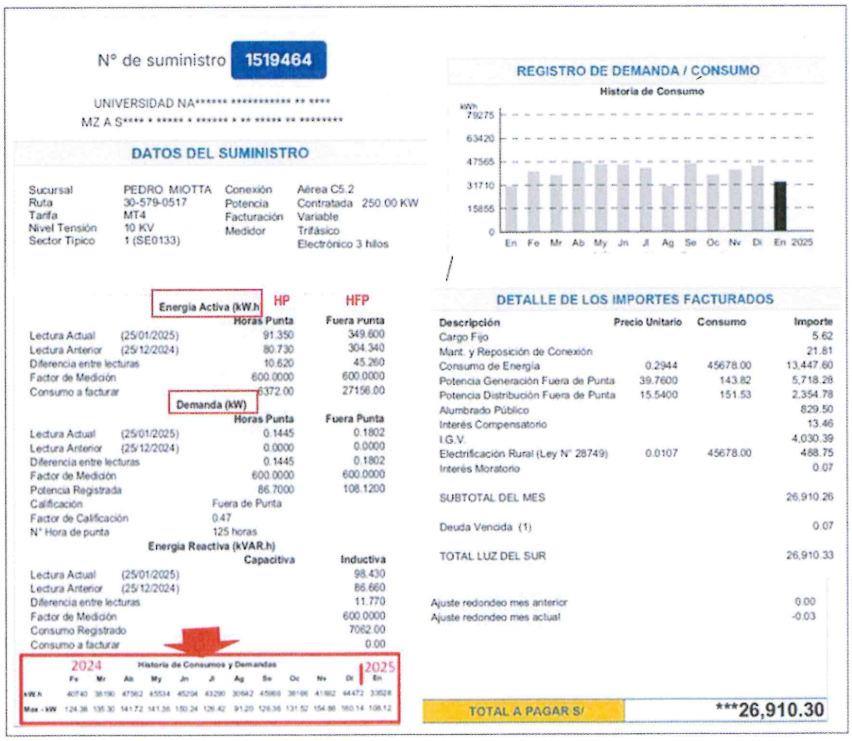
Generación de Energía Solar Estimada

Periodo	Fórmula	Resultado
Energía mensual (kWh /mes)	PI*HSP*30 Días/mes	9,179.75
Energía anual (kWh/año)	Energía mensual*12 meses/año	110,157.01

***Paso 2**: Análisis del consumo eléctrico de la UNTELS*

Figura 17

Tarifa Eléctrica - Recibo de luz UNTELS[3]



[3] *Energía en Horas Punta (HP)*

Tabla 22
Consumos y Costos de energía y potencia – UNTELS (2024–2025)

Meses/Año	Consumo Energía (kWh)	Consumo Potencia (kW)	Precio Total (Energía + Potencia + impuestos) S/.
Enero-**2024**	31710	125.12	22166.30
Febrero-2024	40740	124.38	22150.90
Marzo-2024	38190	135.30	21029.50
Abril-2024	47562	141.72	23415.30
Mayo-2024	45534	141.36	22982.75
Junio-2024	45204	150.24	23108.30
Julio-2024	43290	126.42	21950.80
Agosto-2024	30642	91.20	17650.20
Setiembre-2024	45966	126.36	22195.60
Octubre-2024	38166	131.52	21015.60
Noviembre-2024	41862	154.86	22108.20
Diciembre-2024	44472	160.14	28069.80
Enero-**2025**	33528	108.12	21615.23
TOTAL			**S/ 289,458.48**
TOTAL			**$81,767.93**

Nota: Costos obtenidos del recibo de luz.

Paso 3: Ahorro económico estimado
Comparando la generación solar con la tarifa vigente, se calculó el ahorro potencial mostrado en la **Tabla 23**.

Tabla 23
Ahorro Económico Estimado

Periodo	Fórmula	Resultado
Ahorro mensual	Energía mensual * Tarifa	S/2,807.17
Ahorro anual	Energía anual * Tarifa	S/33,686.01

Paso 4: Indicadores de Rentabilidad

Energía en Horas Fuera de Punta (HFP).

Finalmente, se estimaron los indicadores económicos, como se resume en la **Tabla 24.**

Tabla 24
Indicadores de Rentabilidad

Indicador	Fórmula	Resultado
Rentabilidad anual **(%)**	(Ahorro anual/Costo del sistema Solar) *100	48.27 %
Retorno de inversión **(años)** (Payback)	Costo del sistema solar/Ahorro anual	2.1 año
Ahorro total en 20 años	Ahorro anual/vida útil estimado	S/673,720.29

Esto **no incluye mantenimiento** ni degradación de baterías o paneles. Tampoco incluye incentivos (si los hubiera) ni impuestos.

6. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 Datos climáticos

Los datos de radiación solar obtenidos para la zona de estudio muestran valores promedio diarios cercanos a **5.5 kWh/m²/día**, lo cual coincide con lo planteado por [7], quien señala que el rango en el Perú está entre **2 y 8 kWh/m²/día**, con una media de **5 kWh/m²/día** que hace viable el uso de energía solar. En este sentido, los resultados de la presente investigación se encuentran dentro del intervalo reportado, lo que confirma la idoneidad climática de la zona para la implementación de sistemas fotovoltaicos**.**

Asimismo, se observa concordancia con [6], quien sostiene que parámetros meteorológicos como la heliofanía y la temperatura permiten estimar confiablemente la radiación solar, puesto que en este trabajo se emplearon datos de temperatura y radiación que muestran coherencia con sus planteamientos.

6.2 Modelo Bristow-Campbell y base de datos de radiación solar difusa

La aplicación del **modelo Bristow–Campbell** permitió estimar coeficientes ajustados a las condiciones locales, obteniéndose valores de radiación global y difusa comparables con bases de datos internacionales. Este resultado guarda relación con los hallazgos de [4] y [5], quienes validaron la efectividad del modelo en regiones altoandinas de Tacna y Junín, con valores entre **5.5 y 6.5 kWh/m²/día** y alrededor de **6 kWh/m²/día** respectivamente.

Por tanto, se confirma la aplicabilidad del **modelo Bristow–Campbell** en contextos peruanos diversos**,** coincidiendo en la confiabilidad del método para regiones con datos limitados de radiación directa.

No obstante, se reconoce que existen limitaciones asociadas al número de estaciones meteorológicas, lo cual concuerda con lo señalado por [11], quien destaca la necesidad de integrar técnicas complementarias como machine learning para mejorar la predicción en zonas con escasez de datos.

6.3 Dimensionamiento del sistema solar

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico para los laboratorios EPIME-LABS se realizó considerando los requerimientos energéticos de **74.09 kW** de potencia instalada, con un banco de baterías que asegura **1 día de autonomía**. Estos resultados son consistentes con lo expuesto por [9], quien recomienda el uso de sistemas **OFF-grid** en zonas específicas que demandan autonomía frente a la red, lo cual coincide con la decisión técnica adoptada en el presente proyecto.
Asimismo, en relación al potencial solar, los valores utilizados para el dimensionamiento se encuentran dentro del rango señalado por [8], lo que valida la factibilidad de cubrir la demanda con energía renovable.

6.4 Análisis de eficiencia y rentabilidad

El sistema diseñado alcanzó una eficiencia global del **11.85 %**, un ahorro económico anual de aproximadamente **S/ 33,686**, y un periodo de retorno de inversión de **2.1 años**, lo que lo convierte en un proyecto altamente rentable. Estos resultados coinciden con lo reportado por [8], donde los paneles policristalinos presentan eficiencias cercanas al **11.83 %**, lo que refuerza la pertinencia de la tecnología seleccionada.
Por otro lado, los indicadores económicos concuerdan con lo señalado por [12], quien resalta que las energías renovables en el Perú no solo reducen costos sino también emisiones, constituyéndose en una alternativa sostenible y competitiva frente a las fuentes tradicionales.
En cuanto al desarrollo regional, la evidencia encontrada también guarda relación con [10], al reflejar que el crecimiento del sector fotovoltaico en países de la región responde a la disminución de precios de módulos y la necesidad de mejorar el acceso a energía en zonas específicas.

7. CONCLUSIONES

1. Se confirma que el uso de datos de radiación difusa provenientes de fuentes climáticas confiables permitió caracterizar con precisión la disponibilidad de energía solar en la zona de los EPIME-LABS. Los valores promedio de irradiancia y Horas Solar Pico (HSP) obtenidos a lo largo de cinco años, junto con la representación del recorrido solar, demuestran la suficiencia y confiabilidad de la base de datos generada. Esto valida la hipótesis **principal**, de que es posible utilizar dicha información como insumo para el dimensionamiento y optimización de sistemas fotovoltaicos.
2. La aplicación del **modelo Bristow-Campbell** permitió estimar parámetros locales de radiación difusa ajustados al régimen térmico de la zona de estudio. Los coeficientes obtenidos (aB, bB, cB) resultan representativos de las condiciones climáticas de Villa El Salvador, lo que confirma que el modelo es aplicable a contextos específicos, siempre que se respete la similitud de las condiciones atmosféricas. En consecuencia, la hipótesis referente a la validez del modelo en el ámbito de los EPIME-LABS se cumple, aunque con alcance limitado a zonas con características similares.
3. En relación con la hipótesis secundaria, se concluye que el **sistema fotovoltaico OFF-Grid** dimensionado en este estudio es **capaz de cubrir el 100 %** de los requerimientos energéticos **de 3 EPIME-LABS**. El cálculo de la

máxima demanda, el modelado del sistema y la selección de los componentes mostraron que una capacidad instalada de 74.09 kW, junto con un banco de baterías dimensionado para 1 día de autonomía, garantizan el suministro continuo de energía.

4. El análisis de eficiencia y rentabilidad demuestra que el sistema diseñado alcanza una eficiencia global del **11.85 %**, un ahorro anual aproximado de **S/ 33,686** y un periodo de retorno de inversión de **2.1 años**. Estos indicadores confirman que el sistema no solo es técnicamente viable sino también económicamente sostenible, lo cual refuerza la pertinencia de implementar soluciones basadas en energías renovables en entornos académicos y comunitarios.

A nivel de impacto, los principales beneficiarios a corto plazo serán los laboratorios EPIME-LABS, que contarán con una fuente de energía autónoma, confiable y sostenible, contribuyendo a prácticas académicas más sustentables. A mediano y largo plazo, los beneficios se extenderán a la comunidad de Villa El Salvador y zonas rurales, favoreciendo el acceso a energía limpia y apoyando la diversificación de la matriz energética nacional.

8. RECOMENDACIONES

1. **S**e recomienda extender la recopilación de datos de radiación solar y difusa durante un periodo de al menos cinco años adicionales. Esto permitirá validar y refinar los coeficientes del modelo Bristow-Campbell (aB, bB, cB), asegurando mayor robustez estadística y mejor representatividad de las variaciones estacionales y años atípicos.
2. **Se** debe implementar estaciones meteorológicas locales con sensores de radiación global y difusa, temperatura y humedad relativa, que permitan actualizar y validar continuamente el modelo. El monitoreo en tiempo real mejorará la precisión de la estimación de la energía solar disponible y optimizará el desempeño del sistema fotovoltaico.
3. **Para** Optimización del sistema fotovoltaico OFF-Grid cuando se implemente**, s**e recomienda realizar pruebas piloto en condiciones reales de operación en los EPIME-LABS, con especial énfasis en la evaluación del banco de baterías y el rendimiento de los paneles bajo el ángulo de inclinación seleccionado (10°). Esto permitirá identificar posibles pérdidas, ajustar la operación y garantizar la confiabilidad del sistema.
4. **Desde** el punto de vista de la escalabilidad y réplica del modelo**, u**na vez validado el desempeño en los laboratorios EPIME-LABS, se sugiere extender el modelo a otras escuelas de la universidad y posteriormente a comunidades rurales con condiciones climáticas similares, contribuyendo así a la masificación de soluciones basadas en energías renovables.
5. **Para** los aspectos económicos y de gestión**, s**e recomienda evaluar mecanismos de financiamiento y mantenimiento del sistema solar, incluyendo convenios con empresas energéticas o instituciones gubernamentales, que garanticen la sostenibilidad económica y operativa del proyecto a largo plazo.
6. **Finalmente**, dese el enfoque formativo y social**,** se sugiere utilizar el proyecto del sistema solar para implementarlo como herramienta pedagógica en los

cursos de Energías Renovables, Electrónica y Automatización, integrándolo a proyectos de investigación aplicada. Esto reforzará el aprendizaje de los estudiantes y promoverá prácticas sostenibles en el ámbito académico.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] L. E. Ordoñez-Palacios, D. A. León-Vargas, V. A. Bucheli-Guerrero, and H. A. Ordoñez-Eraso, "*Solar Radiation Prediction on Photovoltaic Systems Using Machine Learning Techniques*," Rev. Fac. Ing., vol. 29, no. 54, 2020, doi: 10.19053/01211129.v29.n54.2020.11751.

[2] M. Solano-Peralta, "Estado actual de la energía solar fotovoltaica en Latinoamérica y el Caribe," p. 260, 2015.

[3] UNTEL-EPIME, "*Estructura Curricular Laboratorios*" Material académico actualizado al 2021. RCO N° 000-2021-UNTELS-FIG -EPIME

[4] L. Cáceres Masco, H. Torres Muro and J. Chávez, "*Aplicación del modelo Bristow-Campbell para estimar la irradiación solar global en la zona alto andina de la región Tacna*". Ciencias, vol. 3, no. 3, pp. 81–91, 2020. doi: 10.33326/27066320.2019.3.954.

[5] D. E. Condezo-Hurtado, A. Y. Ramos-Cadillo, J. R. Massipe-Hernández, B. F. Camayo-Viva, Adrian Camayo-Lapa, and Becquer, "Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas , aplicando el modelo Bristow – Campbell en la región Junín," *Prospect. Univ.*, vol. 1, no. 1990–2409, p. 10, 2019, [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000400643

[6] J. Wright, "Cálculo y mapeo de la radiación solar directa y difusa en Costa Rica," Uniciencia, vol. 22, no. 1–2, pp. 55–69, 2008, [Online]. Available: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475948929008

[7] P. Gamio Aita, "Energías Renovables y Cambio Climático, 7 proyectos demostrativos de un desarrollo sustentable," *Konrad Adenauer Stift. e.V.*, p. 84, 2014, [Online]. Available: http://www.kas.de/wf/doc/kas_39491-1522-4-30.pdf?141110180444

[8] J. Zapana and C. Auccahuaque, "'Estudio comparativo del rendimeinto de Panales Fotovoltaivos Monocristalinos y Plocristalinos,'" 2021.

[9] A. M de Oliveira Lage, "Energia solar: estudo da geração energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid," Universidade Federal de Ouro Preto João Monlevade 2019, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Departamento de Engenharia Elétrica, Catalogação: ficha.sisbin@ufop.edu.br

[10] B. L. Iverson and P. B. Dervan, "Experiencias con Sistemas Fotovoltaicas de Tercera Generación en Argentina, Bolivia y Perú," pp. 7823–7830, 2015

[11] F. Ygos González, M. Vilaragut Llanes, A. Martínez García, Y. Salgado Duarte, and J. Szpytko, "Modelos de radiación solar a emplear en PowerFactory para la simulación de Sistemas Fotovoltaicos," *Ing. Energética*, vol. 43, no. 2, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/index

[12] M. Murillo Manrique, "Estrategias para comercializar energías renovables en el mercado eléctrico peruano," *Perfiles Ing.*, vol. 13, no. 13, pp. 155–170, 2018, doi: 10.31381/perfiles_ingenieria. v13i13.1471.

[13] Minister Of Natural Resources, RETScreen Software de Energía Limpia V9.1. *"Clean Energy Management Software platform enables low-carbon planning, implementati"*, vareness-Quebec-CANADA 2024.

[14] *Global Weather Data "METEONORM 8*– software meteorológico", Educational. Meteorom 2025. https://docs.meteonorm.com/knowledge/climate/overview

[15] Servicio Nacional De Meteorología E Hidrología-DEP-MEM, "*Atlas De Energía Solar Del Perú*," SENAMHI,pp. 1–66, 2003. https://www.senamhi.gob.pe/pdf/Atlas%20_de_Radiacion_Solar.pdf

[16] Mapa solar del Perú, 2025 https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/peru

[17] C. Uzquiano & M. Sullivan, "Solar Energy International ", 2015.

[18] *Nasa.gov, "Plataforma Power Dta Acces Viewer"*-https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

[19] J. Wright, "Cálculo y mapeo de la radiación solar directa y difusa en Costa Rica," Uniciencia, vol. 22, no. 1–2, pp. 55–69, 2008, [Online]. Available: http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475948929008

[20] L. Cáceres Masco, H. Torres Muro, and J. Chávez Delgado, "Aplicación del modelo Bristow-Campbell para estimar la irradiación solar global en la zona alto andina de la región Tacna," *Ciencias*, vol. 3, no. 3, pp. 81–91, 2020, doi: 10.33326/27066320.2019.3.954.

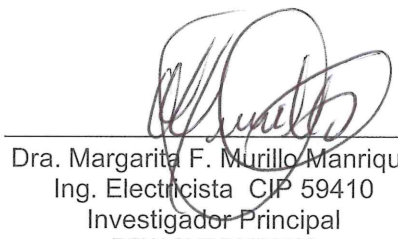
[21] D. E. Condezo-Hurtado, A. Y. Ramos-Cadillo, J. R. Massipe-Hernández, B. F. Camayo-Viva, Adrianmayo-Lapa, and Becquer, "Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow – Campbell en la región Junín," *Prospect. Univ.*, vol. 1, no. 1990–2409, p. 10, 2019, [Online]. Available: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000400643

[22] Baigorria, G.A., W.T. Bowen and J.J. Stoorvogel.," *A process-based interpolation model for maximum and minimum temperatures and solar radiation in mountain areas"*, revista Agricultural and Forest Meteorology - Elsevier, febrero 2003b.

[23] MatLAB Professional - MathWorks T2019a- 2019.

[24] Censolar - PVsyst 7.2Software solar para plantas a gran escala, *Radiation database:PVGIS-NSRDB 7.2,* 2024 - *https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP*

[25] M. Murillo Manrique, M. Choque Diaz, and K. Salazar, "Emprendimiento sobre electrificación en baja tensión en la innovación del laboratorio de instalaciones eléctricas en la UNTELS," vol. 3, no. 2, pp. 92–107, 2023, [Online]. Available: https://revistas.untels.edu.pe/index.php/files/article/view/94/vol



Dra. Margarita F. Murillo Manrique
Ing. Electricista CIP 59410
Investigador Principal
RENACYT P0039523

UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ANEXO 8. FORMATO DEL CONSOLIDADO DEL INFORME FINAL DE CUMPLIMIENTO DE COMPROMISOS ADQUIRIDOS

(Todas las hojas deben estar firmadas por el Investigador Principal)

Nº	COMPROMISOS ADQUIRIDOS: RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO N°....; FECHA:.....	FECHA DE ENTREGA	EVIDENCIA/OBSERVACIÓN Constancia de haber entregado, cargo de entrega, etc.
1	Primer avance	4 Nov- 2024	Memorandum N°0168-2024-UNTELS-VRI.II
3	Informe Final	24 Set- 2025	Memorándum N°0245-2025-UNTELS-VRI-II
4	Artículo científico sometido a revisión en una revista o congreso indizado	30 Jun- 2025	DOI: https://doi.org/10.52248/eb.Vol5Iss1.204
5*	Difusión de resultados en evento académico – científico: - Participación comoexpositor de feria institucional. - Participación de ferias o exposiciones fuera de la UNTELS y a nombre dela institución. - Charla o curso o taller de capacitación en la línea de la investigación desarrollada. - Otro	4 Dic-2024 VRI 2 Dic-2024-VRI Nov-2025 11 Set-2025	CICTI - 2024 Certificado de Ponente Revista Internacional IJERE (en desarrollo) Sesiones de clase: Instalaciones Electricas I Fumdamentos IME

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN
DIRECTOR

Firma y nombres

Investigador Principal-UNTELS

Firma y nombres

Director General
de Investigación

Introduce el

www.untels.edu.pe
Av. Bolívar S/N, sector 3, grupo 1, Mz. A, Sub Lote 3
Villa El Salvador - Lima – Perú
(01) 715 8578

ANEXO 1:

DIFUSION DE RESULTADOS
Artículo Científico Publicado en la Revista
BIOTECH & ENGINEERING-UNTELS

DOI: https://doi.org/10.52248/eb.Vol5Iss1.204
Vol 5, No 1 (2025)

Modelo Bristow-Campbell para Estimar Radiación Difusa en Sistemas Fotovoltaicos para EPIME-LABS

Bristow-Campbell Model for Estimating Diffuse Radiation in Photovoltaic Systems for EPIME-LABS

Margarita Fredesvinda Murillo Manrique[1] ORCID, John Pool Ricaldi Suasnabar[1], ORCID y Lenner Emilio Cardeña Pinedo[1], ORCID

[1]Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Lima, Perú

Recibido: 04/01/2025 Revisado: 08/03/2025 Aceptado: 15/05/2025 Publicado: 30/06/2025

Resumen

El objetivo de la investigación fue estimar la radiación solar difusa mediante el modelo Bristow-Campbell y simulaciones en Python y MATLAB, para los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (EPIME-LABS). En la primera fase, se recopilaron y analizaron datos climáticos de diferentes plataformas. En la segunda fase, se construyó una base de datos con niveles de irradiancia para diferentes ángulos de inclinación (10°, 15°, 20°, 25°, 30° y 35°) evaluando el impacto en la captación de energía solar a lo largo del año. Estos datos se simularon para determinar los coeficientes del modelo Bristow-Campbell. Los resultados mostraron que para un ángulo de inclinación de 10°, los valores de radiación máxima, promedio y mínima fueron 190.41, 156.10 y 124.03 kWh/m², respectivamente, mientras que, para un ángulo de 35°, los valores correspondientes fueron 187.13, 148.48 y 123.37 kWh/m². Se observó que el coeficiente del modelo permaneció relativamente constante en latitudes similares. El análisis de estas variaciones mensuales permitió determinar la configuración optima de inclinación y época del año para maximizar la hora solar pico (HSP) y optimizar la captación de energía solar en los EPIME-LABS.

Keywords: Radiación difusa, latitud, longitud, hora solar pico, ángulo de inclinación, Bristow-Campbell

Abstract

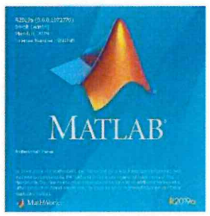
The objective of the research was to estimate diffuse solar radiation using the Bristow-Campbell model and simulations in Python and MATLAB for the laboratories of the Professional School of Mechanical and Electrical Engineering (EPIME-LABS). In the first phase, climatic data from various platforms were collected and analyzed. In the second phase, a database was built with irradiance levels for different tilt angles (10°, 15°, 20°, 25°, 30°, and 35°), evaluating the impact on solar energy capture throughout the year. These data were simulated to determine the coefficients of the Bristow-Campbell model. The results showed that for a 10° tilt angle, the maximum, average, and minimum radiation values were 190.41, 156.10, and 124.03 kWh/m², respectively, while for a 35° angle, the corresponding values were 187.13, 148.48, and 123.37 kWh/m². It was observed

ANEXO 2:

DIFUSIÓN DE RESULTADOS - AVANCES
Instalaciones Eléctricas I- 7mo ciclo
Fundamentos de Ingeniería - 1er ciclo

CONTENIDO:

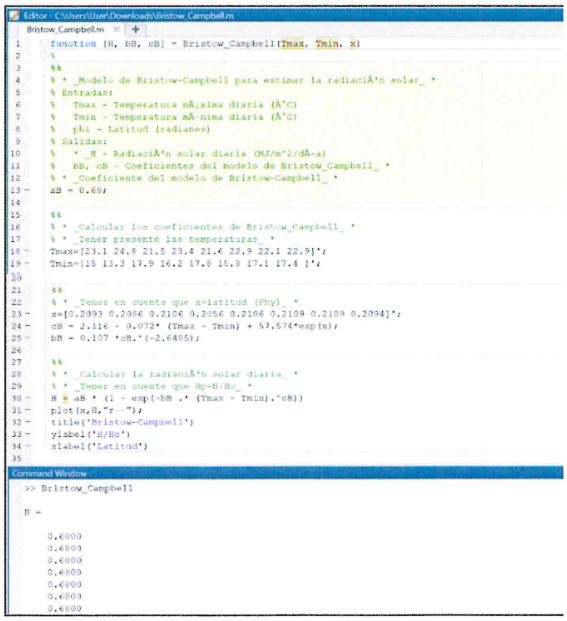
Presentación del Problema
METODOLOGIA
2. Datos de ubicación de los EPIME-LABS
3. Recopilación de datos climáticos - Software
4. Realización de simulaciones iniciales
5. Aplicación del modelo de Bristow-Campbell en Matlab





La EPIME dispone de una infraestructura compuesta por ocho laboratorios (EPIME-LABS) destinados al desarrollo de clases prácticas, donde los estudiantes fortalecen sus habilidades en el manejo de equipos, materiales, elementos y sistemas propios de la carrera.
Uno de los desafíos principales en la generación de energía solar es estimar la **radiación difusa**, como un factor decisivo para el rendimiento de los paneles fotovoltaicos para alimentar los EPIME -LABS.

Ubicación Meteorológica	a_B	b_B (°C-1)	c_B	Numero de datos	Error %
UNTELS - LABS					
Pabellón B	0.68	1.26	72.51	136	9.33
Pabellón C	0.68	1.25	72.53	136	9.31
Mini-auditorio	0.68	1.26	72.52	136	9.32




```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Definir cB
cB = 2.116 - 0.072 * 8.1 + 57.574 * np.exp(0.2093)

# Definir bB en función de cB
bB = 0.107 * cB ** (-2.6485)

# Mostrar los valores de cB y bB
cB, bB
```

Resultado

```
(72.5108785752593, 1.265045042873868e-06)
```

ANEXO 3:

DIFUSION DE RESULTADOS
en evento científico
PARTICIPACIÓN COMO EXPOSITOR



UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN AF-RCU 109-2024-UNTELS-CU

Aplicación del Modelo **Bristow-Campbell para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares Fotovoltaicos en los EPIME-LABS- UNTELS**

Dra. Margarita Murillo Manrique
Docente Ordinaria
EPIME-UNTELS

Bach. Jhon Ricaldi Suasnabar
Asistente de Laboratorio
EPIME-UNTELS

Bach. Lenner Cardeña Pinedo
Asistente de Laboratorio
EPIME-UNTELS



El Vicerrectorado de Investigación otorga el presente:

CERTIFICADO

a Margarita F. Murillo Manrique

En mérito a su participación como **ponente** al V Congreso Internacional de Ciencia Tecnología e Innovación - CICTI 2024, realizado del 02 al 05 de diciembre del 2024. Patrocinado por CONCYTEC, en el marco de la Semana Nacional de la Ciencia, con una duración de 40 horas académicas.

Firma y expedición en Villa El Salvador, Lima, Perú, 05 de diciembre del 2024.

Firmado digitalmente por: CRUZ YUPANQUI Gladys Marcionila FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10/12/2024 10:24:52-0500

Dra. Gladys M. Cruz Yupanqui
Rectora

Firmado digitalmente por: CASTRO LEON Gloria Helena FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17/12/2024 11:25:19-0500

Dra. Gloria H. Castro León
Directora del Instituto de Investigación

Firmado digitalmente por: NAVARRO RAYMUNDO Angel Fernando FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 17/12/2024 17:09:40-0500

Dr. Angel F. Navarro Raymundo
Vicerrector de Investigación

320240711

ANEXO 4:

DIFUSION DE RESULTADOS
Artículo Científico Internacional en la REVISTA IJERE (en revisión para envió)

International Journal of Evaluation and Research in Education (IJERE)
Vol. , No. , Month , pp.
ISSN: 2252-8822, DOI: 10.11591/ijere.v99i1.paperID

Application of the Bristow–Campbell Model as a Didactic Resource for the Simulation of Diffuse Radiation in Renewable Energy Education

Margarita Murillo-Manrique[1,2], John Ricaldi Suasnabar[3]
[1] Professional School of Mechanical Mechanical and Engineering, Faculty of Engineering and Management, National Technological University of South Lima, Lima, Perú (UNTELS)
[2] Head of the Electrical Installations Laboratory and President of the Specialized Laboratories Commission, (UNTELS)
[3] Laboratory Assistant at EPIME-LABS, National Technological University of South Lima (UNTELS)

Article Info

Article history:

Received mm dd, yyyy
Revised mm dd, yyyy
Accepted mm dd, yyyy

Keywords:

Bristow–Campbell
Diffuse radiation
Renewable energy,
Simulation
Engineering education.

ABSTRACT (10 PT)

The purpose of this study was to apply the Bristow–Campbell model as a didactic resource for simulating diffuse solar radiation within renewable energy education. The proposal arises from the need to strengthen the competencies of students from the School of Mechanical and Electrical Engineering (EPIME-LABS) at UNTELS through computational tools that integrate theory and practice. Meteorological data from five years were used, considering diffuse radiation, temperature, and atmospheric turbidity at five inclination angles. Using these data, algorithms were developed in Python and MATLAB to calculate the Bristow–Campbell coefficients and generate a diffuse radiation database. The results showed irradiance values ranging from 124.41 to 187.13 kWh/m² and an average peak solar hour of 4.3 h/day. It is concluded that the simulation represents a viable pedagogical tool that enhances understanding of solar behavior and photovoltaic system design, promoting active learning and strengthening training processes in renewable energy engineering.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Margarita Murillo-Manrique
Faculty of Engineering, Professional School of Mechanical Electrical Engineering, National Technological University of South Lima (UNTELS)
Sector 03- Central con Bolivar S/N. VES- Lima-Perú
Email: margarita.murillo@urp.edu.pe

1. INTRODUCTION

The accelerated development of renewable energies has transformed the global energy landscape, demanding new technical competencies in engineering education programs. Solar energy, in particular, occupies a central role in the transition toward sustainable electrical systems due to its abundance and wide territorial availability [2], [7]. In this context, teaching the fundamentals of solar radiation and its modeling has become an essential competence in Renewable Energy Engineering programs, as the accurate estimation of global and diffuse irradiance is a key factor for designing, simulating, and evaluating photovoltaic (PV) system performance [1], [6].

Predicting solar radiation is a complex process conditioned by atmospheric variability, cloud cover, and local topography. In tropical and high Andean regions, where meteorological records are often scarce or incomplete, the use of empirical models represents an efficient and viable alternative [4], [5]. Among these, the Bristow-Campbell model (1984) stands out for its simplicity, accuracy, and broad applicability in estimating global and diffuse solar radiation from daily maximum and minimum temperatures. This model has demonstrated reliable results in diverse latitudes and can be easily adapted to South American climatic conditions [4], [22].

The Bristow-Campbell model requires only a limited set of meteorological parameters and allows local calibration, which makes it not only a scientific tool but also a valuable pedagogical resource for teaching solar

ANEXO 5:

MEMORANDUM N°0168-2024-UNTELS-VRI-II
Aprobación del Informe Parcial

UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

MEMORANDUM N° 0168-2024-UNTELS-VRI-II

A : **Dra. Ing. Margarita Murillo Manrique**
Docente investigador

Asunto : **Información acerca de revisión de Informe Parcial de proyecto de investigación autofinanciado.**

Referencia : **a) INFORME N° 002-2024-PIAF 2024-UNTELS**
b) RCU N° 109-2024-UNTELS-CU

Fecha : Villa El Salvador, 04 de noviembre del 2024

Es grato dirigirme a usted para saludarla cordialmente, y a la vez, en atención del documento de la referencia a), y de acuerdo al informe recibido del revisor, no se han encontrado observaciones al informe parcial del proyecto de investigación: *"Simulación de Radiación Difusa para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares con Celdas Fotovoltaicas Policristalinas en Laboratorios de la EPIME-UNTELS"*. De igual forma, el informe de originalidad es 13% de índice de similitud, por lo que puede continuar con el desarrollo de las actividades de su proyecto de investigación.

Agradezco la atención que le brinde al presente, sin otro particular me despido haciendo propicia la ocasión para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente,

Firmado digitalmente por:
CASTRO LEON Gloria Helena
FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 04/11/2024 16:58:26-0500

Dra. Gloria Helena Castro León
Directora del Instituto de Investigación
UNTELS

GHCL/mira
Cc. Archivo

www.untels.edu.pe
Av. Bolívar S/N, sector 3, grupo 1, mz A, sublote 3
Villa El Salvador - Lima - Perú
(01) 715 8878

ANEXO 6:

MEMORANDUM N°0245-2025-UNTELS-VRI-II
Aprobación del Informe Final

UNIVERSIDAD NACIONAL
TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

MEMORANDUM N°0245-2025-UNTELS-VRI-II

PARA : **Dra. Ing. Margarita Murillo Manrique**
Docente investigador

ASUNTO : **Comunicación sobre revisión del informe final del proyecto titulado: *" Simulación de Radiación Difusa para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares con Celdas Fotovoltaicas Policristalinas en Laboratorios de la EPIME-UNTELS".***

REFERENCIA : a) Informe docente revisor
b) Informe final- Dra. Ing. Margarita Murillo Manrique

FECHA : Villa El Salvador, 24 de septiembre de 2025

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y, a la vez, en atención al documento de la referencia b), mediante el cual presenta el informe final de su proyecto de investigación titulado: *"Simulación de Radiación Difusa para Optimizar la Eficiencia y Rentabilidad de Sistemas Solares con Celdas Fotovoltaicas Policristalinas en Laboratorios de la EPIME-UNTELS"*, **tengo a bien comunicarle que el docente revisor ha emitido la evaluación del informe final del proyecto, mediante el cual señala que SE APRUEBA el informe presentado.**

Por lo tanto, podrá continuar con la presentación de los anexos solicitados en las Bases, para el cierre del mencionado proyecto.

Agradezco la atención que le brinde al presente, sin otro particular me despido haciendo propicia la ocasión para expresarle mi consideración y estima personal.

Atentamente,

Firmado digitalmente por:
CASTRO LEON Gloria Helena
FAU 20502245032 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 24/09/2025 10:11:47-0500

Dra. Gloria Helena Castro León
Directora del Instituto de Investigación
UNTELS

GHCL/mira
Cc. Archivo