



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**Impacto de la variabilidad climática en la generación solar
y su integración a la red eléctrica**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Autor: Saritama Ramírez, Cristian Santiago

Director: Castro Mendieta, José Raúl

LOJA

2024



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2024

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja, 09 de septiembre de 2024

Doctor

Francisco Alberto Sandoval Noreña

Director de la carrera de Telecomunicaciones

Ciudad.-

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Titulación denominado: Impacto de la variabilidad climática en la generación solar y su integración a la red eléctrica realizado por Cristian Santiago Saritama Ramírez, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje de coincidencia aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad, doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Director: PhD. José Raúl Castro Mendieta

C.I.: 0102257458

Correo electrónico: jrcaastro@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Cristian Santiago Saritama Ramírez, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor (a) del Trabajo de Titulación denominado: Impacto de la variabilidad climática en la generación solar y su integración a la red eléctrica, de la carrera de Telecomunicaciones, específicamente de los contenidos comprendidos en: Capítulo 1: Ingeniería de concepto; Capítulo 2: Estado del arte; Capítulo 3: Desarrollo de la extracción de datos; Conclusiones y; Recomendaciones, siendo José Raúl Castro Mendieta director (a) del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Cristian Santiago Saritama Ramirez

C.I.: 1104117229

Correo electrónico: cssaritama@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Hoy, con humildad y alegría, dedico mi trabajo de titulación a cada uno de ustedes, quienes han sido la piedra angular de mi camino hacia el éxito en la Universidad Técnica Particular de Loja.

A ustedes, mis queridos padres, German y Cristina, y mi querida tía, Rebeca, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud por su amor infaltable, su sacrificio y su constante apoyo. Gracias por ser mis pilares y por creer en mí incluso en los momentos de duda. Su confianza ha sido mi motor para superar obstáculos y alcanzar mis metas académicas.

A mi hija Doménica y mi esposa Andrea, su amor, apoyo y cariño han sido una fuente de inspiración constante en mi vida. Al igual que su familia que me abrieron las puertas de su casa y de su corazón

A mis hermanas, a mi hermano y mi primo Josué, por su aliento y por ser mis cómplices en cada paso del camino. Su amor y apoyo inquebrantable me han dado fuerzas para seguir adelante incluso en los momentos más difíciles.

Y en fin, a mis amigos y colegas que a lo largo de los años me supieron brindar una mano cuando necesite y un consejo cuando se los necesite, Bryan, Jonathan, Paul. Los llevo en el corazón.

Con cariño y agradecimiento,

Cristian Santiago Saritama Ramírez.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por su guía, fortaleza y bendiciones que me han permitido culminar mis estudios universitarios.

Seguidamente a la Universidad Técnica Particular de Loja por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos, habilidades y experiencias que han sido fundamentales para mi crecimiento académico y personal.

A mi familia y amigos, gracias por su apoyo constante, por su confianza en mí y por ser mi fuente inagotable de motivación. Sus palabras alentadoras y su amor incondicional me han impulsado a superar los desafíos y perseguir mis metas con determinación.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del director del Trabajo de Titulación.....	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de contenido.....	VII
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo uno	5
Ingeniería de Concepto	5
1.1 Energía Solar Fotovoltaica	5
1.1.1 Paneles fotovoltaicos	6
1.1.1.1 Célula solar..	7
1.2 Efecto fotoeléctrico	8
1.3 Paneles solares de la UTPL.....	9
1.3.1 Sistema de recolección de datos	10
1.4 Radiación solar en el Ecuador	11
Capítulo dos	16
Impacto de la variabilidad ambiental en la generación solar	16
2.1 Irradiación e irradiancia.....	16

2.2	Humedad.....	16
2.3	Temperatura ambiente	16
2.4	Temperatura de la célula solar	17
2.5	Modelo matemático.	18
2.6	Indicador de desempeño del sistema solar fotovoltaico	20
Capítulo tres		22
Análisis de Producción Energética del mes de abril del 2023		22
3.1	Análisis de los datos obtenidos	22
3.1.1	<i>Análisis de los días con mayor producción solar.</i>	23
3.1.1.1	Producción fotovoltaica 04 de abril..	23
3.1.1.2	Producción fotovoltaica 17 de abril..	32
Capítulo cuatro.....		42
Estrategias para mitigar los efectos de la variabilidad climática		42
4.1	Refrigeración pasiva.....	42
4.2	Refrigeración activa.....	44
Conclusiones		50
Recomendaciones.....		51
Referencias		52
Apéndice		54

Índice de Tablas

Tabla 1	6
Tabla 2	18
Tabla 3	23

Tabla 4	27
Tabla 5	32
Tabla 6	36
Tabla 7	46

Índice de figuras

Figura 1	8
Figura 2	8
Figura 3	9
Figura 4	10
Figura 5	11
Figura 6	14
Figura 7	15
Figura 8	22

Resumen

El presente trabajo de titulación desarrolla un sistema de adquisición de datos y analiza su desempeño con el objetivo de evaluar si la eficiencia de la planta solar de la Universidad Técnica Particular de Loja es alta o baja, considerando la influencia de factores externos que deben tenerse en cuenta al instalar un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos. Se monitorea el sistema durante aproximadamente un mes y medio para obtener una cantidad significativa de curvas de resultados. Los resultados se validan mediante ecuaciones establecidas en el estado del arte, utilizando los valores obtenidos de energía producida o irradiancia medida sobre el plano. Finalmente, se elaboran conclusiones basadas en los resultados de los cálculos y se proponen recomendaciones para mejorar y optimizar el rendimiento de la planta solar de la UTP.

Palabras clave: *eficiencia, central solar, producción de energía, paneles solares fotovoltaicos, irradiancia.*

Abstract

The present thesis project develops a data acquisition system and analyzes its performance with the objective of evaluating whether the efficiency of the solar plant at the Technical University of Loja is high or low, considering the influence of external factors that must be taken into account when installing an electric power generation system using photovoltaic solar panels. The system is monitored for approximately a month and a half to obtain a significant amount of result curves. The results are validated using equations established in the state of the art, utilizing the values obtained from produced energy or irradiance measured on the plane. Finally, conclusions are drawn based on the calculation results, and recommendations are proposed to improve and optimize the performance of the solar plant at UTPL.

Keywords: efficiency, solar plant, energy production, photovoltaic solar panels, irradiance.

Introducción

El presente trabajo de titulación está basado en el análisis de los datos históricos de generación solar de la central solar UTPL. La central solar está conformada por 4 edificios dentro del campus universitario, pero para el desarrollo de este estudio se toma como referencia el edificio central, dentro del cual posee 64 paneles de 275W. Para lograr cumplir con los objetivos del trabajo de titulación hubo que realizar un estudio de trabajos similares dentro del campus tomando en cuenta: modelos matemáticos, variables y referencias dentro de los mismo para lograr analizar de una manera más detallada la eficiencia de los paneles solares. Una vez obtenida toda la información relevante al tema se puede proceder a la comparación de resultados dentro del estudio.

El objetivo principal planteado es “Evaluar y analizar el impacto de la variabilidad climática en la generación solar y su integración a la red eléctrica” el cual se cumplió con éxito ya que una vez terminado el estudio se pudo determinar los factores que intervienen dentro de la producción de los paneles y como mejorar su eficiencia. Los secundarios “Identificar las condiciones climáticas que afectan la producción de energía” y “Proponer estrategias y recomendaciones que permitan mitigar los efectos de la variabilidad climática”. Estos objetivos comprenden todo el estudio realizado desde el inicio a fin del trabajo de titulación, donde se obtuvo un completo estado del arte que incluyo métodos de validación y comparación, los cuales determinados una vez se brinda una información clara de los porcentajes reales, esperado e ideales de producción de energía.

En la era actual, caracterizada por una creciente preocupación por la sostenibilidad ambiental y la eficiencia energética, la generación de energía solar ha emergido como una solución prometedora y vital. Este trabajo se centra en comprender el impacto significativo de las variables ambientales en la generación de energía solar y su integración en la red eléctrica, un tema de crucial importancia en el contexto del cambio climático y la transición energética global.

La generación de energía solar, principalmente a través de paneles fotovoltaicos, ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, impulsada por avances

tecnológicos, reducción de costos y políticas gubernamentales favorables. Sin embargo, su eficacia y eficiencia están intrínsecamente vinculadas a factores ambientales como la irradiación solar, la temperatura, la humedad, y la presencia de polvo o niebla en la atmósfera. Estas variables no solo afectan la cantidad de energía generada, sino también la estabilidad y la fiabilidad de su integración en la red eléctrica.

La irradiación solar, que varía según la ubicación geográfica, la estación del año y las condiciones climáticas es el factor más directo que influye en la generación de energía solar. Por otro lado, la temperatura ambiental tiene un efecto paradójico: aunque la luz solar es esencial para la generación fotovoltaica, temperaturas excesivamente altas pueden reducir la eficiencia de los paneles solares. Además, factores como la humedad y la acumulación de polvo pueden provocar pérdidas significativas en la generación de energía y requerir mantenimiento y limpieza periódicos para garantizar la eficiencia óptima del sistema.

La integración de la energía solar en la red eléctrica presenta desafíos adicionales. La naturaleza intermitente de la generación solar debido a la variabilidad diurna y estacional exige soluciones innovadoras para la gestión de la red y el almacenamiento de energía. El desarrollo de tecnologías de almacenamiento avanzadas, como las baterías de iones de litio, y estrategias de gestión de la red inteligente son esenciales para maximizar el uso de la energía solar y garantizar una red eléctrica estable y confiable.

Dentro de toda la investigación de este trabajo se denota el rendimiento y la eficiencia que se obtiene dentro de la central solar comprendida en el edificio central, teniendo en cuenta posible soluciones para mejorar su eficiencia en el sistema.

Capítulo uno

Ingeniería de Concepto

En este capítulo se conceptualizan los términos a considerar sobre el trabajo de titulación, los que más destacan sobre generación solar, y cómo afecta la variabilidad climática en una central solar.

1.1 Energía Solar Fotovoltaica

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha reconocido en la energía solar un recurso limpio y renovable, utilizado para iluminación y calefacción. Gracias a avances tecnológicos, hoy contamos con dispositivos que convierten esta energía en electricidad, entre ellos las células fotovoltaicas y los semiconductores (Fuentes et al., 2021)

La energía solar se puede convertir en electricidad utilizando módulos fotovoltaicos y materiales escalables (Inganäs & Sundström, 2016) .La generación solar es una forma de energía renovable y sostenible, ya que el sol es una fuente de energía inagotable. Los sistemas solares se utilizan en diversas aplicaciones, desde pequeños paneles solares en techos de viviendas para alimentar electrodomésticos y proporcionar electricidad doméstica, hasta grandes plantas solares que generan electricidad a escala industrial.

Los sistemas de seguimiento solar fotovoltaico pueden incrementar de manera considerable la producción de energía, especialmente durante las primeras y últimas horas del día, a pesar del consumo adicional de energía que implica el mecanismo de seguimiento (Lazaroiu et al., 2015). Se anticipa que la electricidad generada mediante sistemas solares fotovoltaicos será la fuente de energía más extensa, económica y significativa en el suministro global de energía a mediano y largo plazo (Bogdanov et al., 2016).

La energía solar fotovoltaica tiene el potencial de atender la demanda mundial de electricidad, pero para lograrlo, futuras investigaciones y desarrollos deben enfocarse en mejorar la eficiencia, optimizar el uso de materiales y abordar la complejidad y el costo de fabricación. Esto es crucial para superar las limitaciones actuales y lograr la implementación a gran escala de sistemas capaces de generar teravatios de energía (Jean et al., 2015).

1.1.1 Paneles fotovoltaicos

Los paneles solares son una tecnología clave para aprovechar la energía solar se pueden integrar en diversas aplicaciones, desde pequeños dispositivos hasta grandes centrales eléctricas. Los avances tecnológicos están facilitando la fabricación de paneles solares flexibles, delgados y ligeros, los cuales pueden ser integrados en objetos y superficies comunes. Esto tiene el potencial de transformar la generación de energía y contribuir a la reducción de la contaminación (Choi & Jeong, 2018).

Integrar sistemas de enfriamiento en los paneles solares puede llevar a una reducción significativa de su temperatura, lo que a su vez puede aumentar la salida de voltaje y mejorar la eficiencia general de potencia. La incorporación de paneles solares en la red eléctrica, junto con la implementación de sistemas de seguimiento y limpieza, contribuyen aún más a optimizar la eficiencia y la efectividad en el aprovechamiento de la energía solar.

Los paneles solares son definidos por la composición de sus células a continuación en la tabla 1 se enseña las principales características:

Tabla 1

Clasificación de Paneles Solares

Características	Monocristalinos	Policristalinos
Estructura de la célula	Un solo cristal	Múltiples cristales
Costo	Mas caros	Mas accesibles
Rendimiento con poca luz	Mejor rendimiento	Rendimiento moderado
Tasa de conversión de energía	Mayor conversión de energía	Menor conversión de energía
Aplicaciones	Se busca máxima eficiencia (instalaciones residenciales, comerciales)	Se prioriza el costo (instalaciones comerciales y a mayor escala)
Vida útil	25 a 30 años	20 a 25 años
Espacio requerido	Menos espacio necesario por vatio	Mas espacio necesario por vatio

Nota. Tabla comparativa entre los paneles fotovoltaicos principales (Placas solares monocristalinas , 2022)

1.1.1.1 Célula solar. Las células solares son dispositivos que convierten la luz solar en electricidad, y diversos materiales y tecnologías contribuyen a su desarrollo y eficiencia (supian et al., 2020). Las células solares funcionan como motores térmicos, producen energía química y luego la transforman en energía eléctrica a través de su estructura única (würfel, 2010). De esta manera absorben luz y producen electrones y "agujeros" dentro de los semiconductores, con un rendimiento influenciado por el factor de idealidad del diodo, la densidad de corriente de saturación inversa y la fuente de luz (shah, 2020).

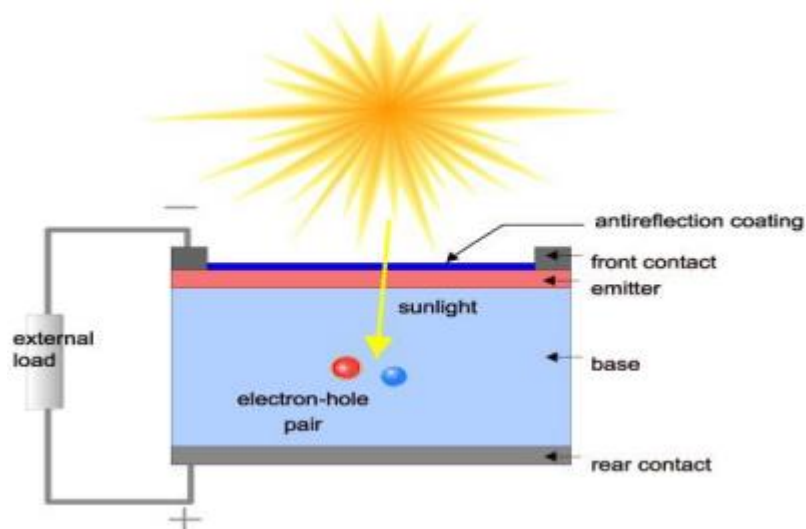
Este proceso requiere en primer lugar, un material en el que la absorción de la luz eleva un electrón a un estado de energía más alto, y en segundo lugar, el movimiento de estos electrones de energía de la célula se transfiere a un circuito externo. Las células solares fotovoltaicas muestran un gran potencial en la provisión de energía sostenible en los años futuros.

En la figura 1 se observa los pasos del funcionamiento de una célula solar:

- La generación de portadores foto-generados.
- La recolección de los portadores foto-generados para generar corriente eléctrica.
- La generación de voltaje a través de la célula solar.
- La disipación de potencia en la carga y en las resistencias parásitas.

Figura 1

Sección transversal de un celular solar



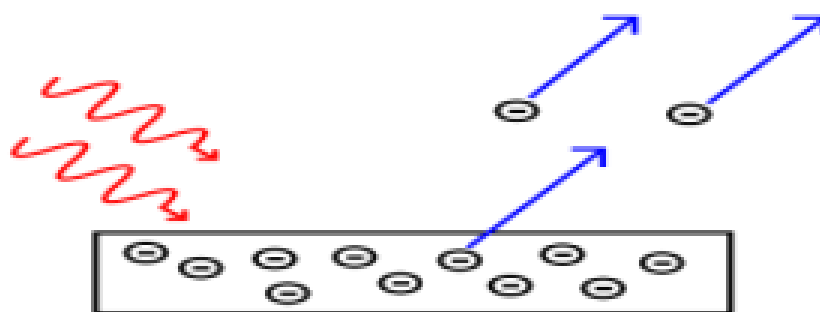
Nota. Sección transversal de una célula solar. (BBVA, s. f.).

1.2 Efecto fotoeléctrico

Consiste en la emisión de electrones por un material cuando se lo ilumina con una corriente de fotones: luz visible o ultravioleta.

Figura 2

Efecto fotoeléctrico



Nota. Cuando se ilumina la superficie de un material, utilizando cualquier clase de fotones, esta emite únicamente electrones (BBVA, s. f.).

Para analizar el efecto fotoeléctrico cuantitativamente se utiliza el método derivado por Einstein, es necesario plantear las siguientes ecuaciones:

Energía de un fotón absorbido = Energía necesaria para liberar 1 electrón + energía cinética del electrón emitido.

1.3 Paneles solares de la UTPL

En la figura 3 se observa la central solar dentro campus de la UTPL ubicada cerca del edificio 7. La cuenta con 300 paneles solares y 130kWp de potencia instalada que producen energía limpia y renovable para abastecer el consumo interno de una parte de sus instalaciones.

Figura 3

Central Solar en el campus de la UTPL



Nota. La Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia | Blog, s. f.).

A partir de octubre de 2019 se implementa en la UTPL un sistema solar fotovoltaico que, en ese tiempo, estaba compuesto por 68 paneles de 275 vatios. Esto la convirtió en la primera universidad de la Zona 7 la cual comprende Loja, Zamora y El Oro en aprovechar la energía solar como método de autogeneración de energía eléctrica.

En la actualidad la UTPL cuenta con 300 paneles solares que administran aproximadamente 400 kWh/día de potencia eléctrica, los mismos que tienen como destino el consumo energético en los edificios 7, de la biblioteca y el edificio central (*UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia | Blog, s. f.*).

Los paneles solares UTPL son de Jinko Solar, el modelo elegido es Eagle 60P con módulo policristalino, el cual tiene una potencia nominal entre 265-285 W. Su información técnica se muestra en la Figura 4 a continuación:

Figura 4

Ficha técnica paneles solares Jinko Solar de modelo Eagle 60P

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60		JKM285PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp	285Wp	212Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V	32.5V	30.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A	8.77A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V	39.6V	35.7V
Short-circuit Current (Isc)	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A	9.26A	8.05A
Module Efficiency STC (%)	16.19%		16.50%		16.80%		17.11%		17.41%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.38%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Nota. Adaptado de Eagle 60P 265-285 Watt [Tabla], por (510-530 Watt, s. f.).

1.3.1 Sistema de recolección de datos

Para la extracción de datos se tuvo que armar el sistema en el edificio central de la UTPL, donde se ubican 68 paneles ubicados de 275 Wp, como se observa en la figura 5.

Figura 5

Vista superficial de la instalación de paneles solares del edificio central de la UTPL



Nota. Techo, incorporado con paneles solares (UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia | Blog, s. f.).

El sistema instalado, como se mencionó previamente consta de lo siguiente:

1. Caja Fronius Sensor Box
2. Sensor de Irradiación
3. Sensor de temperatura ambiente
4. Sensor de temperatura del módulo

Para el análisis de la información se van a tomar como referencia días importantes, en los cuales hayan ocurrido sucesos variados tales como:

- Altas temperaturas, debido a sol directo y radiación fuerte.
- Fenómenos naturales, como obstrucción por nubes.

Días como fines de semana, donde el consumo de energía eléctrica sea menor a la producción de los paneles solares.

1.4 Radiación solar en el Ecuador

Ecuador, por su ubicación privilegiada en la línea ecuatorial, recibe una alta cantidad de radiación solar durante todo el año. El promedio anual de irradiación solar a nivel nacional se estima en alrededor de 2.000 kWh/m², con variaciones según la región y la altitud.

1.4.1.1 Distribución anual y espacial.

- **Zonas con mayor irradiación:** Las regiones costeras y amazónicas, debido a su menor altitud y menor nubosidad, generalmente reciben mayor cantidad de irradiación solar. Las provincias de Esmeraldas, Guayas, Los Ríos y Sucumbíos se encuentran entre las que presentan valores más altos.
- **Zonas con menor irradiación:** Las regiones montañosas, especialmente en la cordillera de los Andes, reciben menor irradiación solar debido a la mayor altitud y la mayor nubosidad. Las provincias de Azuay, Cañar y Tungurahua se encuentran entre las que presentan valores más bajos.

1.4.1.2 Factores que influyen en la irradiación solar. La cantidad de irradiación solar que recibe un lugar específico en Ecuador depende de diversos factores que interactúan entre sí:

- **Latitud:** La latitud ecuatorial del país favorece la recepción perpendicular de los rayos solares durante los equinoccios, aumentando la irradiación solar.
- **Altitud:** A mayor altitud, menor es la densidad del aire y menor la cantidad de partículas que absorben o dispersan la radiación solar, lo que incrementa la irradiación recibida en zonas altas. Sin embargo, la altitud también puede generar mayor nubosidad, lo que reduce la cantidad de luz solar que llega a la superficie.
- **Nubosidad:** La presencia de nubes es uno de los principales factores que afectan la irradiación solar. Zonas con mayor nubosidad, como la región amazónica, reciben menor cantidad de luz solar directa.
- **Época del año:** La declinación solar, que varía a lo largo del año, influye en la cantidad de radiación solar recibida en diferentes épocas. En general, los meses con mayor irradiación solar coinciden con los solsticios (junio y diciembre), mientras que los meses con menor irradiación coinciden con los equinoccios (marzo y septiembre).

- **Aerosoles atmosféricos:** La presencia de partículas en suspensión, como polvo, humo y cenizas volcánicas, puede afectar la cantidad de radiación solar que llega a la superficie. Una mayor concentración de aerosoles puede reducir la irradiación solar.

1.4.1.3 Importancia de la información sobre irradiación solar. Conocer la distribución espacial y temporal de la irradiación solar en Ecuador es de gran importancia para diversos sectores:

- **Planificación energética:** Permite evaluar el potencial solar de cada región y planificar el desarrollo de proyectos de energía solar fotovoltaica.
- **Agricultura:** Ayuda a optimizar el manejo de cultivos y la eficiencia del uso del agua de riego, considerando la disponibilidad de luz solar.
- **Estudios climáticos:** Es un dato fundamental para comprender el comportamiento del clima y sus variaciones en el país.

En este trabajo de titulación tomaremos en cuenta la planificación energética de la provincia de Loja tomando mayor importancia de la ciudad de Loja, debido a que en esta ciudad se encuentra ubicado el centro de captación solar.

1.4.2 Planificación energética en la provincia de Loja

En la página Global Solar Atlas nos brinda información actualizada de la radiación solar presente en el país de Ecuador.

Figura 6

Mapa de radiación de Ecuador

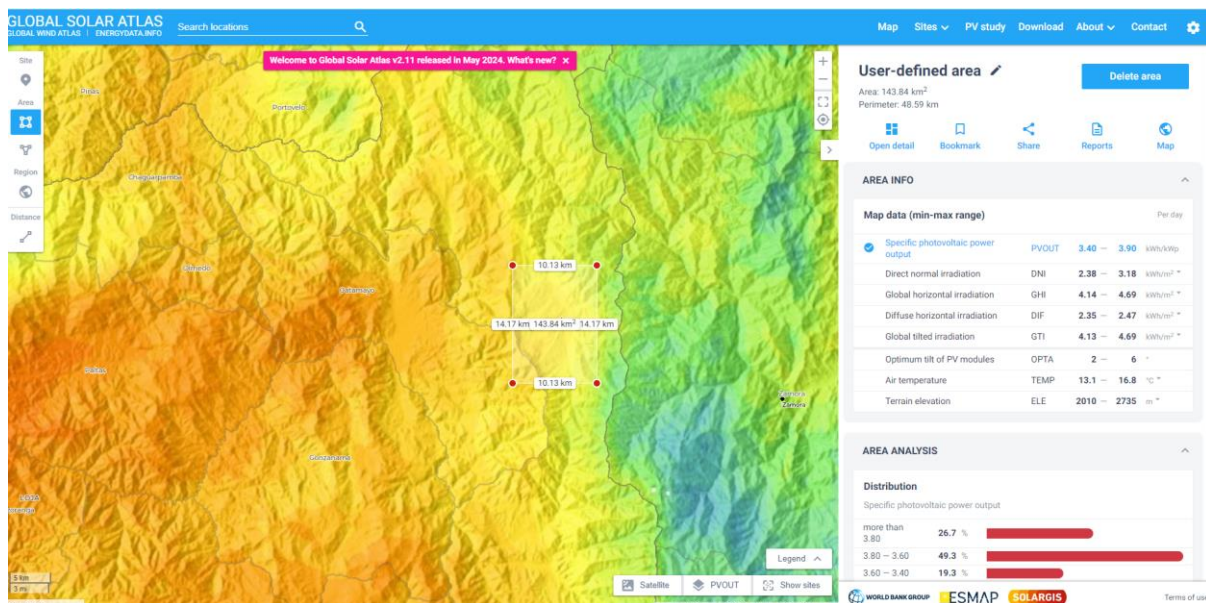
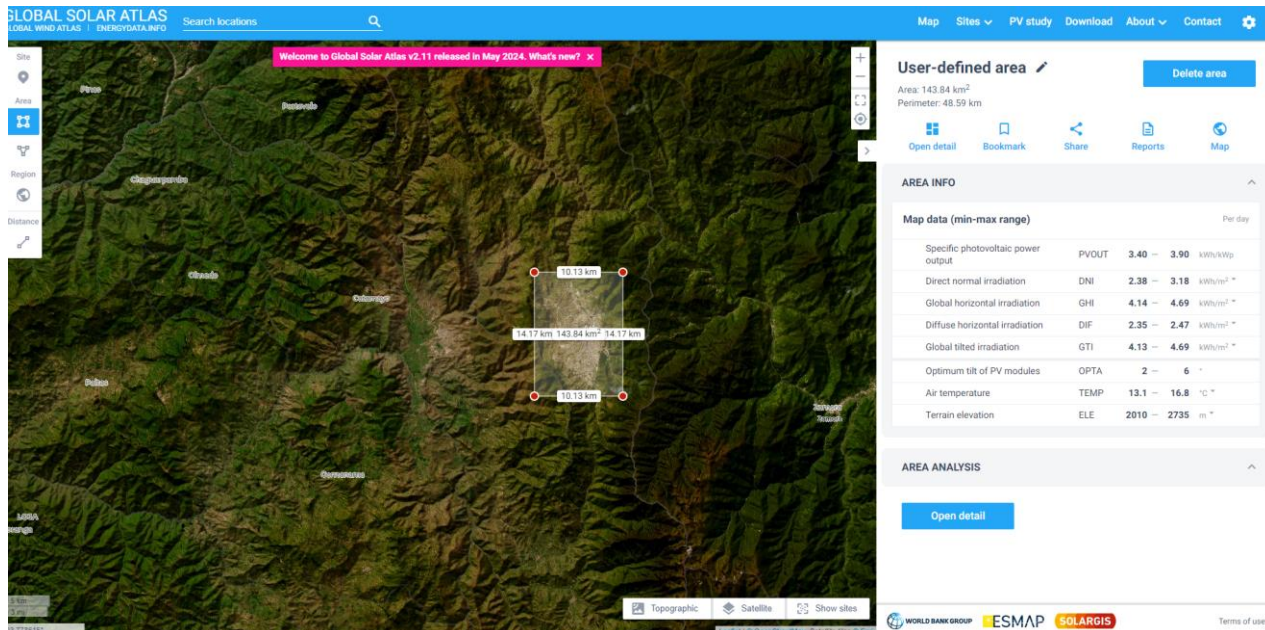


Nota. Mapa obtenido del Global Solar Atlas (*Global Solar Atlas*, s. f.).

En el mismo sitio Web podemos realizar un análisis del área de la ciudad de Loja, en la cual nos datos en tiempo pseudoreal como irradiación normal, irradiación global, temperatura del aire, entre otros, estos datos se deben a tomar en cuenta al momento de diseñar un centro de paneles solares, a continuación, en la figura 7, se presentan los datos tomando en cuenta el total del área de la ciudad de Loja.

Figura 7

Mapas de la ciudad de Loja



Nota. Mapas de la ciudad de Loja obtenidos del Global Solar Atlas (Global Solar Atlas, s. f.).

Capítulo dos

Impacto de la variabilidad ambiental en la generación solar

Las variables ambientales determinan un papel fundamental para los sistemas de producción de energía eléctrica. Algunas de las variables ambientales existentes y más comunes analizadas en este estudio son la humedad, la irradiancia, la irradiación y la temperatura.

2.1 Irradiación e irradiancia

La irradiancia es una magnitud que mide el flujo de energía recibida por unidad de área y la unidad en la que trabaja es en Watts sobre metro cuadrado, esto es útil para expresar las cantidades de radiación. Dicho de otra forma, la irradiancia, describe el valor de la potencia luminosa incidente en un determinado instante (Lacayo, 2018).

Por otro lado, la irradiación también denominada insolación, es la cantidad de energía solar recibida durante una determinada cantidad de tiempo, a diferencia de la irradiancia, ésta se expresa en Watts por hora sobre metro cuadrado (Lacayo, 2018). Es segmentada en tres diferentes versiones:

- Directa:** Incidencia directa del sol en línea recta sin desviación en la atmósfera.
- Difusa:** Incidencia del sol desviada por dispersión atmosférica.
- **Reflejada:** Radiación directa y difusa por reflexión en superficies próximas.

2.2 Humedad

Es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas. Este se puede expresar en distintas magnitudes dependiendo del contexto en el que se analice. La humedad relativa, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de punto de rocío son las tres magnitudes más usadas para establecer el valor de la humedad (Martines, 2007).

2.3 Temperatura ambiente

Es la temperatura que experimenta un objeto o un lugar en condiciones normales y se mide en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F). La temperatura ambiente puede variar según la ubicación geográfica, la hora del día, la estación del año y otros factores climáticos.

En muchos contextos, la temperatura ambiente se considera como la temperatura promedio del aire en un lugar específico. Se puede medir utilizando termómetros colocados en ubicaciones al azar para obtener una lectura representativa de la temperatura en el área.

La temperatura se establece por escalas para designar un valor correspondiente a los estados de la sustancia a determinar. En donde encontramos la escala Celsius, Fahrenheit y Kelvin, siendo ésta última la escala del Sistema Internacional (Leal & Padilla, 2023)

2.4 Temperatura de la célula solar

La temperatura de la célula solar no es necesariamente la misma que la temperatura ambiente. La temperatura de la célula solar puede ser más alta debido a la absorción de la radiación solar y otros factores. Una célula solar más caliente tiende a tener un rendimiento eléctrico menor.

La relación entre la temperatura de la célula solar y su rendimiento se modela a menudo mediante coeficientes de temperatura. Estos coeficientes se utilizan en fórmulas como la fórmula NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) para ajustar el rendimiento de las células solares a condiciones específicas de operación.

Los paneles y sus componentes están expuestos a temperaturas altas por su misma función, debido a estos cambios se pueden presentar los siguientes inconvenientes.

2.4.1 Disminución de eficiencia

La eficiencia de los paneles solares disminuye ligeramente con el aumento de la temperatura. En climas cálidos como el de Ecuador, esta disminución puede ser leve, pero es importante considerarla en el diseño de sistemas fotovoltaicos. La eficiencia típica de un panel solar a 25°C es alrededor del 20%, mientras que a 50°C puede ser del 18%.

2.4.2 Curva de eficiencia-temperatura

La relación entre la eficiencia y la temperatura de los paneles solares se representa mediante una curva de eficiencia-temperatura. Esta curva muestra cómo la eficiencia del panel disminuye a medida que aumenta la temperatura.

2.4.3 Sobre calentamiento de componentes

Impacto en Inversores y Otros Componentes: El sobrecalentamiento de componentes electrónicos en los inversores y otros componentes del sistema fotovoltaico puede reducir su eficiencia y su vida útil. Es importante implementar medidas de ventilación y refrigeración adecuadas para evitar el sobrecalentamiento.

2.4.4 Temperaturas Máximas Permitidas

Los fabricantes de componentes fotovoltaicos especifican temperaturas máximas de operación para sus productos. Exceder estas temperaturas puede dañar los componentes y reducir significativamente la vida útil del sistema.

2.5 Modelo matemático.

La temperatura de operación nominal de una célula solar (NOCT) es un parámetro crítico en la evaluación del rendimiento de sistemas fotovoltaicos. Esta temperatura refleja las condiciones de operación típicas de una célula solar y se utiliza para ajustar las condiciones de referencia a situaciones del mundo real.

El cálculo de la NOCT implica considerar diversas variables ambientales, como la temperatura ambiente, la irradiancia efectiva, la velocidad del viento y otros factores específicos del entorno del panel solar. Modelar estas interacciones de manera precisa requiere un enfoque matemático que capture la complejidad de las relaciones entre estas variables y la temperatura de las células solares.

Tabla 2

Variables del método NOCT

Símbolo	Descripción
T_{NOCT}	Temperatura de operación nominal de la célula solar.
G_{eff}	Irradiancia efectiva.
G_{ref}	Valor de referencia de la irradiancia.
T_{amb}	Temperatura ambiente.
T_{cell}	Temperatura de la célula de referencia.
T_{ref}	Temperatura de referencia.
W_{ref}	Valor de referencia para la velocidad del viento.
W	Velocidad del viento.

a	Coefficiente de temperatura para la irradiancia.
b	Coefficiente de temperatura para la velocidad del viento.

Nota. En esta tabla se observan las unidades que se van a utilizar para los cálculos respectivos [Diseño del Autor].

Estos coeficientes se utilizan en fórmulas como la fórmula NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) para ajustar el rendimiento de las células solares a condiciones específicas de operación. A continuación, se indica la fórmula que comprende la NOCT:

$$T_{NOCT} = T_{amb} + \frac{G_{eff}}{G_{ref}}(T_{cell} - T_{ref}) + a(G_{ref}) + b(W - W_{ref}). \quad (1)$$

- **Temperatura Ambiente (T_{amb}):** Esta es una variable que puedes medir directamente con un termómetro en la ubicación donde se encuentra el panel solar.
- **Irradiancia Efectiva (G_{eff}):** La irradiancia efectiva se refiere a la radiación solar que realmente incide sobre la superficie del panel solar después de ajustes por la inclinación y orientación del panel. Puedes calcularla utilizando ecuaciones que consideren la posición del sol en el cielo y la inclinación del panel solar.
- **Valor de Referencia de Irradiancia (G_{ref}):** Este es un valor de referencia para la irradiancia que generalmente se toma como la irradiancia estándar en condiciones de prueba. Puede ser un valor específico como 1000 W/m².
- **Temperatura de la Célula de Referencia (T_{cell}):** Es la temperatura de las células solares en condiciones de referencia. Puede obtenerse a partir de pruebas en laboratorio bajo condiciones específicas.
- **Temperatura de Referencia (T_{ref}):** Es una temperatura estándar de referencia, generalmente 25 °C. Se utiliza para normalizar las condiciones.
- **Coefficiente de Temperatura Lineal para la Irradiancia (a):** Este coeficiente se determina mediante análisis de datos experimentales. Representa cómo cambia la temperatura de la célula en respuesta a cambios en la irradiancia.

- **Coefficiente de Temperatura Lineal para la Velocidad del Viento (b):** Similar al coeficiente a, pero para la velocidad del viento u otras variables. También se determina experimentalmente.
- **Velocidad del Viento (W):** La velocidad del viento en la ubicación del panel solar.
- **Valor de Referencia para la Velocidad del Viento (W_{ref}):** Un valor de referencia para la velocidad del viento

2.6 Indicador de desempeño del sistema solar fotovoltaico

La investigadora Landínez C, 2020 ha estudiado que la mejor forma de determinar la efectividad de un sistema es la siguiente:

El Performance Ratio (PR) es definido como la relación entre el rendimiento final (Y_f) y el rendimiento de referencia (Y_r). Para obtener primeramente el rendimiento final se procede con la Ecuación 1.

$$Y_f = \frac{E_{out}}{P_0} \left[\frac{kWh}{kWp} \right] \quad (2)$$

Donde E_{out} es el coeficiente entre la producción neta de energía en todo el sistema y P_0 es la potencia nominal del mismo en STC.

Para determinar E_{out} se procede con la Ecuación 2.

$$E_{out} = \sum_0^k P_{out}(t) * \Delta t \quad [kWh] \quad (3)$$

Donde P_{out} es la potencia de salida del sistema en kW.

Por otra parte, el Y_r se determina con la relación entre la radiación medida del plano (H_i) y la irradiancia de referencia en STC (G_{STC}) cómo se observa en la Ecuación 3.

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \left[\frac{kWh}{kW} \right] \quad (4)$$

Ahora bien, H_i viene dada por la cuarta ecuación, en el caso de que la irradiancia de referencia se observe en casos de STC donde su valor es de $1000 \frac{W}{m^2}$.

$$H_i = \sum_0^k G(t) * \Delta t \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad (5)$$

Donde G es la irradiancia medida por la celda de referencia.

Finalmente. para poder determinar la PR se utiliza la Ecuación 5.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} * 100 \quad (6)$$

Capítulo tres

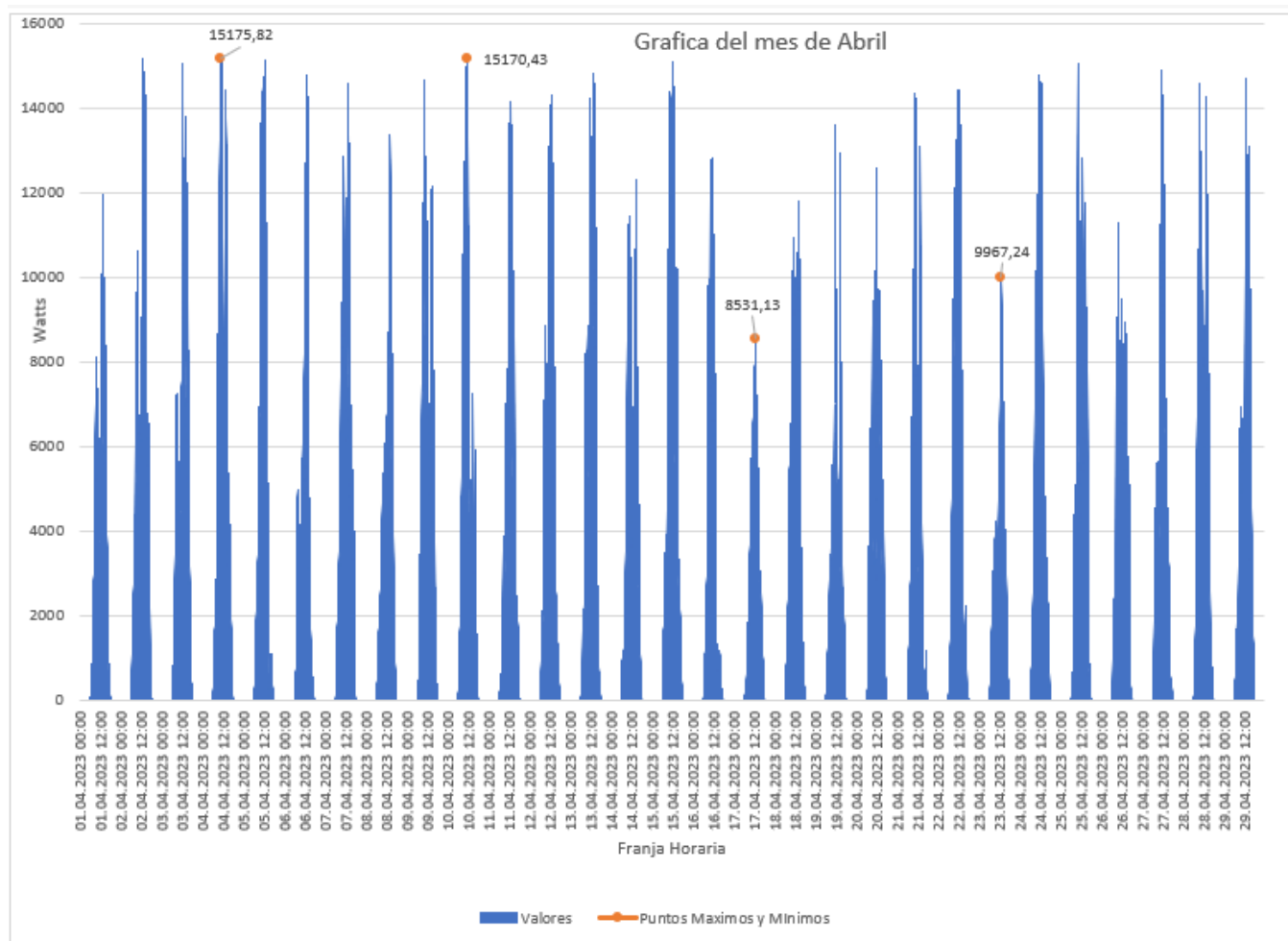
Análisis de Producción Energética del mes de abril del 2023

3.1 Análisis de los datos obtenidos

La Universidad brinda los datos de abril del 2023 tomados con una diferencia de 5 minutos, para este primer análisis se toman los datos del mes abril, graficando la potencia obtenida y señalando los 2 días de mayor incidencia y los 2 días de menor incidencia, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Potencia del mes de abril



Nota. Gráfico representativo de los datos del mes de Abril [Diseño de Autor].

Como se puede observar en la figura 8, se señalan dos días de mayor producción solar que son el 04 y el 10, sin embargo, que los de menos producción son el 17 y el 23. En los primeros de días del mes se observa que hay una estable producción solar mientras que desde el día

15 empieza a variar notoriamente, estas afectaciones se dan por la variabilidad climática ya que durante este periodo se produjeron precipitaciones y hubo nubosidad.

3.1.1 Análisis de los días con mayor producción solar

En los primeros 15 días de abril, la central solar fotovoltaica de la Universidad Técnica Particular de Loja experimentó una notable producción de energía eléctrica, alcanzando niveles óptimos debido a las condiciones climáticas favorables y a la eficiente operación del sistema. Durante este periodo, la irradiancia solar fue consistentemente alta, con cielos despejados y una mínima presencia de nubes, lo que permitió una captación máxima de energía por parte de los paneles solares.

3.1.1.1 Producción fotovoltaica 04 de abril. Se procede a presentar los datos de forma gráfica y analítica para analizar el caso de estudio, el cual corresponde al día 04 de abril de 2023. A continuación, se muestra la tabla 5 donde se observa la producción solar. En este día la temperatura tuvo un máximo de 28 grados centígrados.

Tabla 3

Datos solares

Fecha y hora	Energía	Fecha y hora	Energía
04.04.2023 06:10	0	04.04.2023 12:20	908,44897
04.04.2023 06:15	0,00598	04.04.2023 12:25	721,55381
04.04.2023 06:20	0,0218	04.04.2023 12:30	626,62806
04.04.2023 06:25	3,26417	04.04.2023 12:35	531,68591
04.04.2023 06:30	13,21141	04.04.2023 12:40	478,92798
04.04.2023 06:35	23,83692	04.04.2023 12:45	455,78902
04.04.2023 06:40	36,29074	04.04.2023 12:50	501,85237
04.04.2023 06:45	47,40232	04.04.2023 12:55	509,59214
04.04.2023 06:50	56,83158	04.04.2023 13:00	529,94592
04.04.2023 06:55	65,5187	04.04.2023 13:05	500,73806
04.04.2023 07:00	74,6775	04.04.2023 13:10	520,60003
04.04.2023 07:05	84,78846	04.04.2023 13:15	547,87997
04.04.2023 07:10	97,14349	04.04.2023 13:20	635,8122
04.04.2023 07:15	113,59448	04.04.2023 13:25	775,66308

04.04.2023 07:20	126,0883	04.04.2023 13:30	711,83472
04.04.2023 07:25	133,58758	04.04.2023 13:35	698,1598
04.04.2023 07:30	134,46992	04.04.2023 13:40	657,86909
04.04.2023 07:35	143,985	04.04.2023 13:45	670,77487
04.04.2023 07:40	143,69785	04.04.2023 13:50	688,48013
04.04.2023 07:45	151,09465	04.04.2023 13:55	768,84916
04.04.2023 07:50	162,82153	04.04.2023 14:00	860,12362
04.04.2023 07:55	157,52152	04.04.2023 14:05	1189,90722
04.04.2023 08:00	167,05446	04.04.2023 14:10	1048,79793
04.04.2023 08:05	195,25248	04.04.2023 14:15	1147,06402
04.04.2023 08:10	230,88667	04.04.2023 14:20	1078,15265
04.04.2023 08:15	235,15484	04.04.2023 14:25	920,73068
04.04.2023 08:20	194,01711	04.04.2023 14:30	1020,21889
04.04.2023 08:25	158,06542	04.04.2023 14:35	1092,50561
04.04.2023 08:30	145,06958	04.04.2023 14:40	933,88355
04.04.2023 08:35	176,15194	04.04.2023 14:45	909,28019
04.04.2023 08:40	213,56842	04.04.2023 14:50	803,24148
04.04.2023 08:45	230,51324	04.04.2023 14:55	478,79889
04.04.2023 08:50	312,4658	04.04.2023 15:00	405,57203
04.04.2023 08:55	364,03615	04.04.2023 15:05	320,13158
04.04.2023 09:00	473,27228	04.04.2023 15:10	256,69667
04.04.2023 09:05	487,88273	04.04.2023 15:15	246,40964
04.04.2023 09:10	417,74583	04.04.2023 15:20	299,73758
04.04.2023 09:15	507,99417	04.04.2023 15:25	365,57021
04.04.2023 09:20	721,00028	04.04.2023 15:30	435,4659
04.04.2023 09:25	562,81478	04.04.2023 15:35	445,77268
04.04.2023 09:30	517,42522	04.04.2023 15:40	317,86093
04.04.2023 09:35	429,48669	04.04.2023 15:45	266,7675
04.04.2023 09:40	444,79553	04.04.2023 15:50	204,02301
04.04.2023 09:45	450,27333	04.04.2023 15:55	207,28532
04.04.2023 09:50	587,19237	04.04.2023 16:00	222,44858
04.04.2023 09:55	691,18902	04.04.2023 16:05	239,12003
04.04.2023 10:00	586,48542	04.04.2023 16:10	270,94972

04.04.2023 10:05	443,65319	04.04.2023 16:15	323,0594
04.04.2023 10:10	619,68694	04.04.2023 16:20	316,57616
04.04.2023 10:15	951,27597	04.04.2023 16:25	290,12039
04.04.2023 10:20	895,56153	04.04.2023 16:30	344,72544
04.04.2023 10:25	1014,84319	04.04.2023 16:35	301,28518
04.04.2023 10:30	1104,18764	04.04.2023 16:40	300,35121
04.04.2023 10:35	661,11968	04.04.2023 16:45	261,80361
04.04.2023 10:40	601,82671	04.04.2023 16:50	265,87213
04.04.2023 10:45	606,62056	04.04.2023 16:55	245,94481
04.04.2023 10:50	647,12204	04.04.2023 17:00	227,50569
04.04.2023 10:55	695,14851	04.04.2023 17:05	191,2907
04.04.2023 11:00	703,30104	04.04.2023 17:10	157,61667
04.04.2023 11:05	1020,32229	04.04.2023 17:15	137,64925
04.04.2023 11:10	1130,90694	04.04.2023 17:20	117,0363
04.04.2023 11:15	1261,64788	04.04.2023 17:25	94,36061
04.04.2023 11:20	1264,64073	04.04.2023 17:30	72,54912
04.04.2023 11:25	1254,68307	04.04.2023 17:35	58,48528
04.04.2023 11:30	1219,33443	04.04.2023 17:40	56,22268
04.04.2023 11:35	1216,22	04.04.2023 17:45	51,65704
04.04.2023 11:40	1154,89358	04.04.2023 17:50	40,83038
04.04.2023 11:45	1256,66309	04.04.2023 17:55	31,84934
04.04.2023 11:50	1170,43081	04.04.2023 18:00	22,99439
04.04.2023 11:55	1183,28891	04.04.2023 18:05	14,94978
04.04.2023 12:00	1031,69917	04.04.2023 18:10	8,23528
04.04.2023 12:05	859,48806	04.04.2023 18:15	3,15335
04.04.2023 12:10	900,37592	04.04.2023 18:20	0,05693
04.04.2023 12:15	832,47186		

Nota. Datos de Energía del día 4 de mayo [Diseño de Autor].

Figura 9

Gráfica de Datos



Nota. Gráfico de los datos de Energía del día 4 de mayo [Diseño de Autor].

Los datos suelen variar entre la tabla dependiendo de la cantidad de valores registrados por la salida del sol hasta su ocaso, el cual es diferente según día. En este caso el primer dato proporcionado a las 06:15 hasta las 18:35 habiendo un total de 148 datos. De igual manera obtenemos los datos de la irradiación.

Los valores comprendidos entre los horarios de 00:00 y 06:20 así como entre 18:20 a 23:55 son de valor "0" constante, debido a la ausencia del sol por lo tanto no se los toma en cuenta para calcular los promedios.

Primero se procede a calcular el E_{out} , mejor conocido como coeficiente entre la producción neta de energía en todo el sistema, para ello se debe tomar la potencia producida en cada intervalo de tiempo de 5 minutos (0,083 horas para el cálculo).

$$E_{out} = \sum_0^k P_{out}(t) * \Delta t \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

$$E_{out} = \sum_0^{149} 0,00598 * 0,083 + 0,0218 * 0,083 + \dots + 0,00413 * 0,083 + 0,01083$$

$$* 0,083 \text{ [Wh]}$$

$$E_{out} = 693,3486309 \text{ [Wh]}$$

El resultado obtenido está determinado en Watts por hora, este debe ser transformado a kWh y por lo tanto se divide para 1000 y el resultado es el siguiente.

$$E_{out} = 0,6933486309 \text{ [kWh]}$$

Finalmente se reemplaza en la ecuación original del rendimiento final tenemos que:

$$Y_f = \frac{E_{out}}{P_0} \left[\frac{kWh}{kWp} \right] \quad (1)$$

$$Y_f = \frac{0,6933486309}{0,275} \left[\frac{kWh}{kWp} \right]$$

$$Y_f = 2,521267749 \left[\frac{kWh}{kWp} \right]$$

El siguiente cálculo correspondiente sería el de la radiación medida del plano (H_i), para ello se toma la ecuación ejemplificada previamente:

$$H_i = \sum_0^k G(t) * \Delta t \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad (4)$$

En la siguiente tabla se puede observar que se necesita de los datos correspondientes a la irradiancia medida por el sensor, por lo tanto, se presenta la información de igual forma que la potencia, en la tabla que es una comparativa entre la irradiancia medida por el sensor con la unidad de tiempo.

Tabla 4

Datos de Irradiancia

Fecha y hora	Irradiancia (W/m ²)	Fecha y hora	Irradiancia (W/m ²)	Fecha y hora	Irradiancia (W/m ²)
--------------	------------------------------------	--------------	------------------------------------	--------------	------------------------------------

04.04.2023 06:15	0,03	04.04.2023 10:25	833,26	04.04.2023 14:30	872
04.04.2023 06:20	3	04.04.2023 10:30	958	04.04.2023 14:35	962,55
04.04.2023 06:25	7	04.04.2023 10:35	538,58	04.04.2023 14:40	819
04.04.2023 06:30	15,08	04.04.2023 10:40	476	04.04.2023 14:45	793,15
04.04.2023 06:35	23	04.04.2023 10:45	481	04.04.2023 14:50	709
04.04.2023 06:40	32,08	04.04.2023 10:50	507,42	04.04.2023 14:55	400
04.04.2023 06:45	40	04.04.2023 10:55	549	04.04.2023 15:00	325,31
04.04.2023 06:50	46,07	04.04.2023 11:00	558,75	04.04.2023 15:05	257
04.04.2023 06:55	53	04.04.2023 11:05	831	04.04.2023 15:10	209
04.04.2023 07:00	60	04.04.2023 11:10	949	04.04.2023 15:15	197,32
04.04.2023 07:05	67,09	04.04.2023 11:15	1002,5	04.04.2023 15:20	229
04.04.2023 07:10	76	04.04.2023 11:20	1002,4	04.04.2023 15:25	282,61
04.04.2023 07:15	88,08	04.04.2023 11:25	1167,53	04.04.2023 15:30	343
04.04.2023 07:20	96	04.04.2023 11:30	1121	04.04.2023 15:35	358,97
04.04.2023 07:25	102	04.04.2023 11:35	1121	04.04.2023 15:40	257
04.04.2023 07:30	102	04.04.2023 11:40	999,76	04.04.2023 15:45	217
04.04.2023 07:35	110	04.04.2023 11:45	1175	04.04.2023 15:50	168,01

04.04.2023 07:40	110,05	04.04.2023 11:50	1035,77	04.04.2023 15:55	169
04.04.2023 07:45	115	04.04.2023 11:55	1002	04.04.2023 16:00	179,11
04.04.2023 07:50	123,97	04.04.2023 12:00	909	04.04.2023 16:05	190
04.04.2023 07:55	120	04.04.2023 12:05	732	04.04.2023 16:10	218
04.04.2023 08:00	126,26	04.04.2023 12:10	747,27	04.04.2023 16:15	254,92
04.04.2023 08:05	146	04.04.2023 12:15	675	04.04.2023 16:20	247
04.04.2023 08:10	173	04.04.2023 12:20	737,44	04.04.2023 16:25	229,49
04.04.2023 08:15	174,71	04.04.2023 12:25	582	04.04.2023 16:30	278
04.04.2023 08:20	146	04.04.2023 12:30	507	04.04.2023 16:35	242,97
04.04.2023 08:25	120,91	04.04.2023 12:35	423,54	04.04.2023 16:40	240
04.04.2023 08:30	112	04.04.2023 12:40	378	04.04.2023 16:45	208
04.04.2023 08:35	135	04.04.2023 12:45	360,21	04.04.2023 16:50	212,83
04.04.2023 08:40	162,13	04.04.2023 12:50	391	04.04.2023 16:55	196
04.04.2023 08:45	175	04.04.2023 12:55	395,13	04.04.2023 17:00	183,69
04.04.2023 08:50	236,39	04.04.2023 13:00	408	04.04.2023 17:05	153
04.04.2023 08:55	275	04.04.2023 13:05	391	04.04.2023 17:10	125
04.04.2023 09:00	358,13	04.04.2023 13:10	402,2	04.04.2023 17:15	108,84

04.04.2023 09:05	371	04.04.2023 13:15	422	04.04.2023 17:20	93
04.04.2023 09:10	320	04.04.2023 13:20	483,98	04.04.2023 17:25	75,83
04.04.2023 09:15	383,7	04.04.2023 13:25	581	04.04.2023 17:30	59
04.04.2023 09:20	553	04.04.2023 13:30	551	04.04.2023 17:35	49
04.04.2023 09:25	435,64	04.04.2023 13:35	541,72	04.04.2023 17:40	46,96
04.04.2023 09:30	400	04.04.2023 13:40	514	04.04.2023 17:45	43
04.04.2023 09:35	332,09	04.04.2023 13:45	524	04.04.2023 17:50	34,93
04.04.2023 09:40	341	04.04.2023 13:50	524	04.04.2023 17:55	28
04.04.2023 09:45	350	04.04.2023 13:55	584,57	04.04.2023 18:00	21,93
04.04.2023 09:50	450,83	04.04.2023 14:00	641	04.04.2023 18:05	15
04.04.2023 09:55	533	04.04.2023 14:05	933	04.04.2023 18:10	10
04.04.2023 10:00	457,88	04.04.2023 14:10	876,94	04.04.2023 18:15	5,96
04.04.2023 10:05	347	04.04.2023 14:15	970	04.04.2023 18:20	2
04.04.2023 10:10	481	04.04.2023 14:20	799,65		
04.04.2023 10:15	747,56	04.04.2023 14:25	765		
04.04.2023 10:20	704				

Nota. Datos de Irradiancia del día 4 de mayo [Diseño de Autor].

Teniendo los datos ubicados en la tabla se representa el análisis matemático para la obtención de la radiación medida sobre el plano.

$$H_i = \sum_0^{148} 0,03 * 0,083 + 3 * 0,083 + \dots + 5,96 * 0,083 + 2,00 * 0,083 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]$$

$$H_i = 5631,768 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]$$

El resultado obtenido está determinado en Watts por hora, este debe ser transformado a kWh y por lo tanto se divide para 1000 y el resultado es el siguiente.

$$H_i = 5,63176 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$$

A continuación, se debe obtener el valor de Y_r , el cual es el rendimiento de referencia y se determina con la ecuación vista previamente que toma los valores de radiación medida del plano (H_i) y la irradiancia de referencia en STC (G_{STC}) el cual equivale a $1000 \frac{W}{m^2}$.

$$Y_r = \frac{5,631768}{1} \left[\frac{kWh}{kW} \right] \quad (3)$$

$$Y_r = 5,631768 \left[\frac{kWh}{kW} \right]$$

Finalmente se calcula el Performance Ratio (PR) con la última ecuación que toma los datos obtenidos tanto del rendimiento de referencia como del rendimiento final.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} * 100 \quad (5)$$

$$PR = \frac{2,521267749}{5,631768} * 100$$

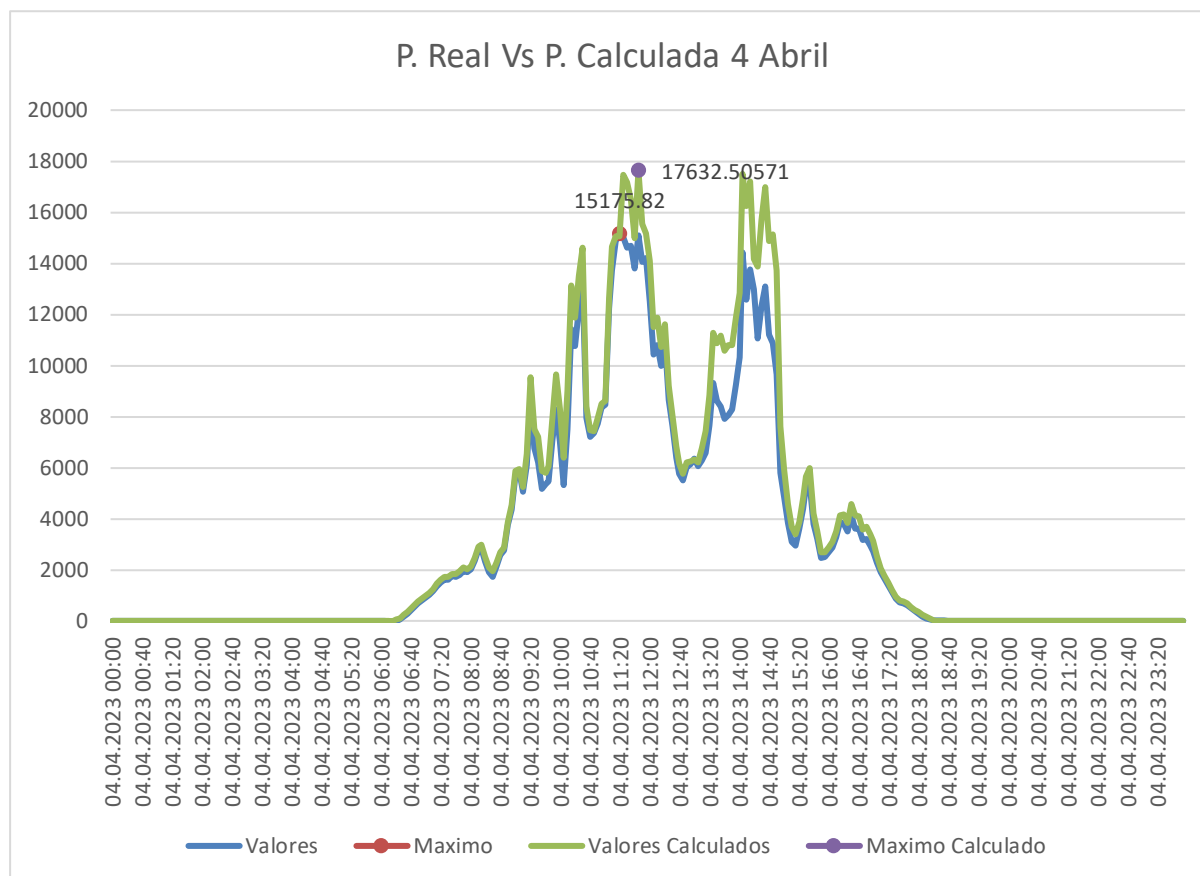
$$PR = 0,447686721 * 100$$

$$PR = 44,76867209 \%$$

Por lo tanto, se obtiene un Performance Ratio, el medidor de efectividad, de 44,76%.

Figura 10

Grafica de comparación



Nota. Grafica de comparación entre los datos reales vs los datos calculados. [Diseño de Autor].

3.1.1.2 Producción fotovoltaica 17 de abril. Se procede a presentar los datos de forma gráfica y analítica del 17 de abril ya que es el día de menor incidencia. A continuación, representamos los datos otorgados.

Tabla 5

Datos de Energía

Fecha y hora	Energía	Fecha y hora	Energía
17.04.2023 06:10	0	17.04.2023 12:20	517,991
17.04.2023 06:15	0,00167	17.04.2023 12:25	530,44205
17.04.2023 06:20	0,0003	17.04.2023 12:30	556,43533
17.04.2023 06:25	0,00331	17.04.2023 12:35	612,92217
17.04.2023 06:30	0,03412	17.04.2023 12:40	647,47778

17.04.2023 06:35	0,80061	17.04.2023 12:45	662,37065
17.04.2023 06:40	3,25722	17.04.2023 12:50	663,38963
17.04.2023 06:45	6,01525	17.04.2023 12:55	660,88071
17.04.2023 06:50	8,96975	17.04.2023 13:00	670,39846
17.04.2023 06:55	11,80968	17.04.2023 13:05	671,66694
17.04.2023 07:00	14,2856	17.04.2023 13:10	686,4463
17.04.2023 07:05	15,76389	17.04.2023 13:15	676,96315
17.04.2023 07:10	16,43856	17.04.2023 13:20	710,91818
17.04.2023 07:15	17,03422	17.04.2023 13:25	709,01849
17.04.2023 07:20	18,50024	17.04.2023 13:30	648,49982
17.04.2023 07:25	21,2856	17.04.2023 13:35	594,88907
17.04.2023 07:30	21,72093	17.04.2023 13:40	592,73444
17.04.2023 07:35	25,7649	17.04.2023 13:45	572,98355
17.04.2023 07:40	29,84917	17.04.2023 13:50	445,90701
17.04.2023 07:45	38,30833	17.04.2023 13:55	397,13585
17.04.2023 07:50	52,375	17.04.2023 14:00	394,66943
17.04.2023 07:55	70,18378	17.04.2023 14:05	401,66058
17.04.2023 08:00	91,98427	17.04.2023 14:10	413,2122
17.04.2023 08:05	105,91688	17.04.2023 14:15	415,91972
17.04.2023 08:10	121,69868	17.04.2023 14:20	450,51856
17.04.2023 08:15	129,74806	17.04.2023 14:25	454,68894
17.04.2023 08:20	141,05354	17.04.2023 14:30	438,07038
17.04.2023 08:25	148,57313	17.04.2023 14:35	452,89073
17.04.2023 08:30	150,58934	17.04.2023 14:40	452,3575
17.04.2023 08:35	152,40121	17.04.2023 14:45	411,16443
17.04.2023 08:40	150,68418	17.04.2023 14:50	401,41501
17.04.2023 08:45	149,96054	17.04.2023 14:55	388,61712
17.04.2023 08:50	149,71083	17.04.2023 15:00	390,48455
17.04.2023 08:55	154,32295	17.04.2023 15:05	380,79096
17.04.2023 09:00	162,98455	17.04.2023 15:10	352,72682
17.04.2023 09:05	172,76281	17.04.2023 15:15	308,41333
17.04.2023 09:10	185,58608	17.04.2023 15:20	289,21499
17.04.2023 09:15	202,30939	17.04.2023 15:25	276,79001

17.04.2023 09:20	221,53339	17.04.2023 15:30	255,23629
17.04.2023 09:25	235,22278	17.04.2023 15:35	237,18509
17.04.2023 09:30	250,70209	17.04.2023 15:40	230,0862
17.04.2023 09:35	263,3968	17.04.2023 15:45	224,38824
17.04.2023 09:40	272,08308	17.04.2023 15:50	223,175
17.04.2023 09:45	285,04443	17.04.2023 15:55	214,87461
17.04.2023 09:50	303,61861	17.04.2023 16:00	219,37734
17.04.2023 09:55	321,73436	17.04.2023 16:05	241,99345
17.04.2023 10:00	340,5287	17.04.2023 16:10	254,03905
17.04.2023 10:05	365,142	17.04.2023 16:15	248,20111
17.04.2023 10:10	393,71716	17.04.2023 16:20	217,58328
17.04.2023 10:15	419,55995	17.04.2023 16:25	212,3245
17.04.2023 10:20	443,65922	17.04.2023 16:30	210,70359
17.04.2023 10:25	456,96389	17.04.2023 16:35	182,66418
17.04.2023 10:30	470,88257	17.04.2023 16:40	161,97083
17.04.2023 10:35	475,42382	17.04.2023 16:45	167,58476
17.04.2023 10:40	470,64739	17.04.2023 16:50	164,69774
17.04.2023 10:45	462,52539	17.04.2023 16:55	162,02013
17.04.2023 10:50	453,96283	17.04.2023 17:00	164,31181
17.04.2023 10:55	452,21634	17.04.2023 17:05	154,93056
17.04.2023 11:00	449,81667	17.04.2023 17:10	137,75
17.04.2023 11:05	455,93856	17.04.2023 17:15	122,26361
17.04.2023 11:10	459,617	17.04.2023 17:20	110,52163
17.04.2023 11:15	462,70504	17.04.2023 17:25	100,32781
17.04.2023 11:20	472,00635	17.04.2023 17:30	86,9678
17.04.2023 11:25	475,13528	17.04.2023 17:35	75,54525
17.04.2023 11:30	493,85396	17.04.2023 17:40	64,81459
17.04.2023 11:35	514,31271	17.04.2023 17:45	54,64625
17.04.2023 11:40	544,88118	17.04.2023 17:50	43,60444
17.04.2023 11:45	556,92354	17.04.2023 17:55	33,60497
17.04.2023 11:50	551,99428	17.04.2023 18:00	24,37031
17.04.2023 11:55	546,30795	17.04.2023 18:05	15,66767
17.04.2023 12:00	531,60194	17.04.2023 18:10	7,54456

17.04.2023 12:05	507,00361	17.04.2023 18:15	1,38028
17.04.2023 12:10	512,49278	17.04.2023 18:20	0,02253
17.04.2023 12:15	515,45889		

Nota. Datos obtenidos de la energía de 17 de abril. [Diseño de Autor].

Figura 11

Gráfico de los datos



Nota. Grafica de comparación entre los datos reales del 17 de abril. [Diseño de Autor].

Primero se procede a calcular el E_{out} , mejor conocido como coeficiente entre la producción neta de energía en todo el sistema, para ello se debe tomar la potencia producida en cada intervalo de tiempo de 5 minutos (0,083 horas para el cálculo).

$$E_{out} = \sum_0^k P_{out}(t) * \Delta t \quad [\text{kWh}] \quad (2)$$

$$E_{out} = \sum_0^{149} 0,00167 * 0,083 + 0,0003 * 0,083 + \dots + 1,38028 * 0,083 + 0,02253 * 0,083 \quad [\text{Wh}]$$

$$E_{out} = 352,5904283 \quad [\text{Wh}]$$

El resultado obtenido está determinado en Watts por hora, este debe ser transformado a kWh y por lo tanto se divide para 1000 y el resultado es el siguiente.

$$E_{out} = 0,3525904283 \text{ [kWh]}$$

Finalmente se reemplaza en la ecuación original del rendimiento final tenemos que:

$$Y_f = \frac{E_{out}}{P_0} \left[\frac{kWh}{kWp} \right] \quad (1)$$

$$Y_f = \frac{0,3525904283}{0,275} \left[\frac{kWh}{kWp} \right]$$

$$Y_f = 1,2821 \left[\frac{kWh}{kWp} \right]$$

El siguiente cálculo correspondiente sería el de la radiación medida del plano (H_i), para ello se toma la ecuación ejemplificada previamente:

$$H_i = \sum_0^k G(t) * \Delta t \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad (4)$$

En la siguiente tabla se puede observar que se necesita de los datos correspondientes a la irradiancia medida por el sensor, por lo tanto, se presenta la información de igual forma que la potencia, en la tabla que es una comparativa entre la irradiancia medida por el sensor con la unidad de tiempo.

Tabla 6

Datos de la irradiancia

Fecha y hora	Irradiancia (W/m2)	Fecha y hora	Irradiancia (W/m2)	Fecha y hora	Irradiancia (W/m2)
				17.04.2023	
17.04.2023 06:15	0	10:25	350	14:30	347,11
				17.04.2023	
17.04.2023 06:20	0	10:30	357,07	3 14:35	358

17.04.2023 06:25	4,01	17.04.2023 10:35	362	17.04.202 3 14:40	363
17.04.2023 06:30	5	17.04.2023 10:40	359,94	17.04.202 3 14:45	327,9
17.04.2023 06:35	7	17.04.2023 10:45	354	17.04.202 3 14:50	318
17.04.2023 06:40	10,02	17.04.2023 10:50	348,97	17.04.202 3 14:55	307,98
17.04.2023 06:45	12	17.04.2023 10:55	346	17.04.202 3 15:00	306
17.04.2023 06:50	14,02	17.04.2023 11:00	348	17.04.202 3 15:05	297,77
17.04.2023 06:55	16	17.04.2023 11:05	351,02	17.04.202 3 15:10	275
17.04.2023 07:00	17	17.04.2023 11:10	353	17.04.202 3 15:15	243
17.04.2023 07:05	18	17.04.2023 11:15	356,07	17.04.202 3 15:20	227,89
17.04.2023 07:10	18	17.04.2023 11:20	363	17.04.202 3 15:25	217
17.04.2023 07:15	19,02	17.04.2023 11:25	369	17.04.202 3 15:30	199,86
17.04.2023 07:20	21	17.04.2023 11:30	381,16	17.04.202 3 15:35	186
17.04.2023 07:25	22,03	17.04.2023 11:35	397	17.04.202 3 15:40	180,96
17.04.2023 07:30	25	17.04.2023 11:40	419,12	17.04.202 3 15:45	177
17.04.2023 07:35	28	17.04.2023 11:45	431	17.04.202 3 15:50	177
17.04.2023 07:40	34,11	17.04.2023 11:50	429,93	17.04.202 3 15:55	170,03
17.04.2023 07:45	45	17.04.2023 11:55	423	17.04.202 3 16:00	173

17.04.2023 07:50	58,16	17.04.2023 12:00	419	17.04.202 3 16:05	188,1
17.04.2023 07:55	74	17.04.2023 12:05	400	17.04.202 3 16:10	198
17.04.2023 08:00	84,11	17.04.2023 12:10	401,99	17.04.202 3 16:15	195
17.04.2023 08:05	95	17.04.2023 12:15	401	17.04.202 3 16:20	173,95
17.04.2023 08:10	102	17.04.2023 12:20	405,08	17.04.202 3 16:25	169
17.04.2023 08:15	110,05	17.04.2023 12:25	413	17.04.202 3 16:30	164,78
17.04.2023 08:20	115	17.04.2023 12:30	433,45	17.04.202 3 16:35	143
17.04.2023 08:25	117,01	17.04.2023 12:35	478	17.04.202 3 16:40	128
17.04.2023 08:30	118	17.04.2023 12:40	509	17.04.202 3 16:45	129,97
17.04.2023 08:35	116,99	17.04.2023 12:45	512,98	17.04.202 3 16:50	127
17.04.2023 08:40	116	17.04.2023 12:50	511	17.04.202 3 16:55	125,03
17.04.2023 08:45	117	17.04.2023 12:55	518,06	17.04.202 3 17:00	128
17.04.2023 08:50	119,06	17.04.2023 13:00	524	17.04.202 3 17:05	119,87
17.04.2023 08:55	125	17.04.2023 13:05	524	17.04.202 3 17:10	107
17.04.2023 09:00	132,1	17.04.2023 13:10	506,92	17.04.202 3 17:15	96
17.04.2023 09:05	142	17.04.2023 13:15	499	17.04.202 3 17:20	86,92
17.04.2023 09:10	154,14	17.04.2023 13:20	503	17.04.202 3 17:25	79

17.04.2023 09:15	168	17.04.2023 13:25	503	17.04.202 3 17:30	69,91
17.04.2023 09:20	180	17.04.2023 13:30	491,79	17.04.202 3 17:35	61
17.04.2023 09:25	190,09	17.04.2023 13:35	471	17.04.202 3 17:40	52,92
17.04.2023 09:30	199	17.04.2023 13:40	467	17.04.202 3 17:45	45
17.04.2023 09:35	205,1	17.04.2023 13:45	445,04	17.04.202 3 17:50	38
17.04.2023 09:40	215	17.04.2023 13:50	350	17.04.202 3 17:55	29,96
17.04.2023 09:45	231	17.04.2023 13:55	316,95	17.04.202 3 18:00	24
17.04.2023 09:50	243,13	17.04.2023 14:00	312	17.04.202 3 18:05	16,93
17.04.2023 09:55	256	17.04.2023 14:05	317,08	17.04.202 3 18:10	10
17.04.2023 10:00	275,22	17.04.2023 14:10	325	17.04.202 3 18:15	5
17.04.2023 10:05	297	17.04.2023 14:15	331	17.04.202 3 18:20	3,96
17.04.2023 10:10	318,18	17.04.2023 14:20	353,03		
17.04.2023 10:15	336	17.04.2023 14:25	356		
17.04.2023 10:20	350				

Nota. Tabla de irradiancia del día 17 de abril. [Diseño de Autor].

Teniendo los datos ubicados en la tabla se representa el análisis matemático para la obtención de la radiación medida sobre el plano.

$$H_i = \sum_0^{148} 0 * 0,083 + 4.01 * 0,083 + \dots + 5 * 0,083 + 3.96 * 0,083 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]$$

$$H_i = 2738.17 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]$$

El resultado obtenido está determinado en Watts por hora, este debe ser transformado a kWh y por lo tanto se divide para 1000 y el resultado es el siguiente.

$$H_i = 2.738 \left[\frac{kWh}{m^2} \right]$$

A continuación, se debe obtener el valor de Y_r , el cual es el rendimiento de referencia y se determina con la ecuación vista previamente que toma los valores de radiación medida del plano (H_i) y la irradiancia de referencia en STC (G_{STC}) el cual equivale a $1000 \frac{W}{m^2}$.

$$Y_r = \frac{2.7388}{1} \left[\frac{kWh}{kW} \right] \quad (3)$$

$$Y_r = 2.738 \left[\frac{kWh}{kW} \right]$$

Finalmente se calcula el Performance Ratio (PR) con la última ecuación que toma los datos obtenidos tanto del rendimiento de referencia como del rendimiento final.

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} * 100 \quad (5)$$

$$PR = \frac{1,28219}{2.7388} * 100$$

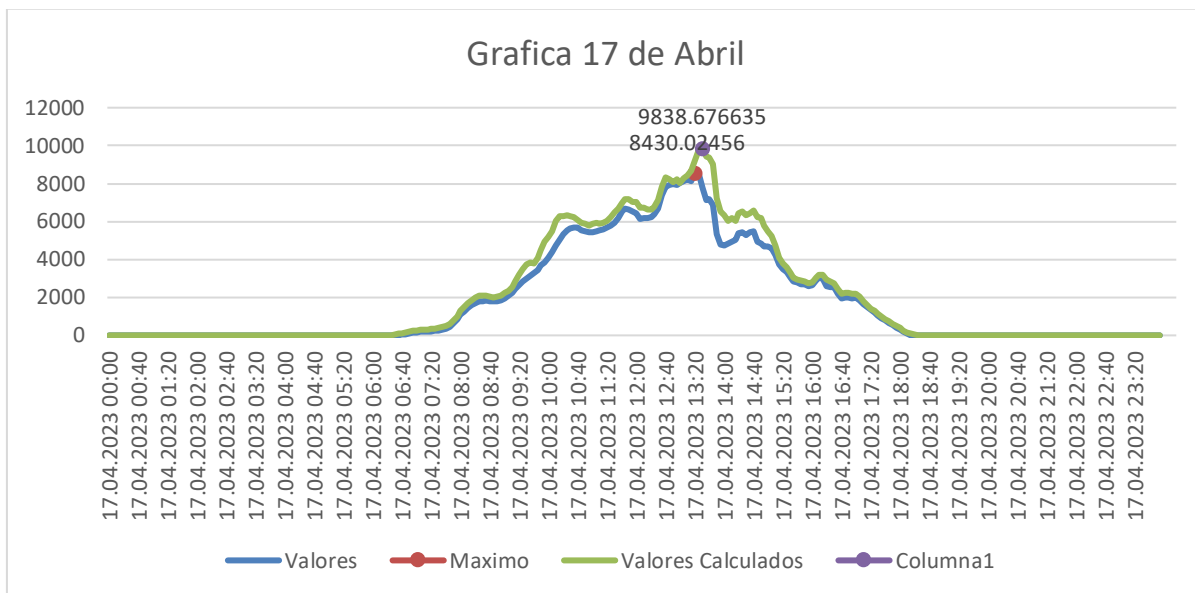
$$PR = 0,468157 * 100$$

$$PR = 46.8157 \%$$

Por lo tanto, se obtiene un Performance Ratio, el medidor de efectividad, de 46.8157%.

Figura 12

Grafica Comparativa



Nota. Grafica de comparación entre los datos reales vs los datos calculados.[Diseño de Autor].

Capítulo cuatro

Estrategias para mitigar los efectos de la variabilidad climática

Con los análisis obtenidos se procede a proponer los diferentes métodos de control en la central solar para poder mitigar los efectos de la variabilidad climática que se los divide en dos tipos de refrigeración: activas y pasivas.

4.1 Refrigeración pasiva

Espaciado adecuado:

- **Descripción:** Consiste en instalar los paneles solares con una separación suficiente del techo o de la estructura en la que están montados. Este espacio permite la circulación natural del aire, ayudando a disipar el calor acumulado en la parte posterior de los paneles. Como se puede observar los paneles solares están colocados sobre una superficie que es derivada del metal y a una altura muy cercada al material, lo que conlleva que cuando sube la temperatura por ende tiene a calentarse más rápido la central solar.

Figura 13

Panel solar



Nota. Paneles Solares de la UTPL (UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia | Blog, s. f.).

- **Ventaja:** No requiere ningún componente adicional ni consumo de energía, lo que la hace una solución económica y fácil de implementar.
- **Desventaja:** Puede ser menos efectivo en climas muy cálidos o en instalaciones con limitaciones de espacio. El rendimiento sigue dependiendo de las condiciones ambientales, como la velocidad del viento.

Disipadores de calor (Heat Sinks):

- **Descripción:** Los disipadores de calor son estructuras metálicas, a menudo hechas de aluminio o cobre, que se fijan a la parte posterior de los paneles solares. Están diseñados para aumentar la superficie de contacto con el aire y mejorar la transferencia de calor.
- **Ventaja:** Mejora la disipación del calor sin necesidad de componentes electrónicos o consumo de energía, lo que es beneficioso para la eficiencia general del sistema.
- **Desventaja:** El costo de los materiales y la complejidad en la instalación pueden ser elevados. Además, la efectividad de los disipadores de calor puede ser limitada en condiciones de alta irradiación solar.

Refrigeración por enfriamiento radiativo:

- **Descripción:** Utiliza materiales avanzados que tienen la capacidad de emitir calor en forma de radiación infrarroja hacia el espacio. Estos materiales están diseñados para absorber el calor y radiarlo fuera del sistema.
- **Ventaja:** Ofrece un método innovador para reducir la temperatura sin requerir energía externa y puede ser complementario a otros sistemas de refrigeración.
- **Desventaja:** Esta tecnología aún se encuentra en desarrollo y puede ser costosa de implementar a gran escala. Los materiales radiativos deben ser diseñados específicamente para funcionar en el entorno solar.

Materiales de cambio de fase (PCMs):

- **Descripción:** Los PCMs son materiales que absorben y almacenan grandes cantidades de calor cuando cambian de estado (por ejemplo, de sólido a líquido).

Estos materiales pueden ser integrados en la estructura del panel solar para moderar las fluctuaciones de temperatura.

- **Ventaja:** Ayuda a mantener la temperatura de los paneles dentro de un rango óptimo al almacenar y liberar calor según sea necesario. Esto puede mejorar la eficiencia a lo largo del día.
- **Desventaja:** Los PCMs pueden ser caros y complejos de incorporar en la fabricación de paneles solares. La efectividad puede verse afectada por la capacidad del PCM para cambiar de fase a la temperatura adecuada.

4.2 Refrigeración activa

Es importante tener en cuenta, sin embargo, que se requiere una energía adicional para bombear el agua. Un estudio llevado a cabo por Hadipour et al., (2021) reveló que el costo de generación de electricidad en un sistema sin enfriamiento por agua era ligeramente inferior al de los sistemas con enfriamiento por aspersión o pulverización de agua. Los autores concluyen que el costo adicional puede justificarse en casos donde las altas temperaturas ambientales puedan causar fallos prematuros en los módulos fotovoltaicos no refrigerados.

Ventiladores:

- **Descripción:** Utilizan ventiladores eléctricos para forzar el flujo de aire alrededor de los paneles solares. Estos ventiladores pueden estar instalados en el marco del panel o en el sistema de montaje.
- **Ventaja:** Es relativamente fácil de instalar y puede ser efectivo para reducir la temperatura en condiciones normales. Además, la tecnología es bien establecida y accesible.
- **Desventaja:** Los ventiladores requieren energía para funcionar y pueden necesitar mantenimiento para asegurar su operación continua. Su efectividad puede ser limitada si la velocidad del viento es baja o en días extremadamente calurosos.

Sistema de refrigeración por agua:

- **Descripción:** Este sistema emplea un circuito cerrado de tuberías o mangueras a través del cual circula agua. El agua absorbe el calor de la parte posterior de los paneles solares y lo transporta a un intercambiador de calor o tanque de almacenamiento.
- **Ventaja:** Es altamente efectivo para eliminar el calor, especialmente en condiciones de alta irradiación solar. El agua tiene una alta capacidad de absorción de calor.
- **Desventaja:** Requiere una infraestructura adicional para la circulación y el manejo del agua, así como mantenimiento para evitar fugas y problemas de corrosión. También puede tener un costo inicial elevado.

Sistemas de refrigeración por líquidos especiales:

- **Descripción:** Utiliza líquidos refrigerantes que tienen propiedades térmicas superiores a las del agua. Estos líquidos se circulan a través de un circuito cerrado para transferir el calor desde los paneles solares a un sistema de enfriamiento.
- **Ventaja:** Ofrece una capacidad de transferencia de calor más eficiente que el agua, lo que puede ser beneficioso en sistemas compactos o de alto rendimiento.
- **Desventaja:** Los líquidos refrigerantes especializados pueden ser caros y requieren un diseño de sistema más complejo. También implica la gestión de posibles fugas o problemas de compatibilidad con los materiales del sistema.

Tubos de calor (Heat Pipes):

- **Descripción:** Utilizan un líquido en el interior de un tubo sellado que se evapora en la sección caliente del tubo y se condensa en la sección fría. El líquido transporta el calor desde la parte posterior del panel hasta un disipador de calor.
- **Ventaja:** Eficiente en la transferencia de calor y puede mantener una temperatura óptima del panel con un diseño compacto.
- **Desventaja:** La instalación puede ser técnica y costosa, y el sistema requiere una configuración precisa para funcionar correctamente. También puede haber problemas con la durabilidad y la vida útil del tubo.

Sistemas híbridos (combinación de aire y líquidos):

- **Descripción:** Combina métodos de refrigeración por aire y líquidos, por ejemplo, usando ventiladores para mejorar la ventilación y sistemas de tuberías de agua para enfriamiento adicional.
- **Ventaja:** Aprovecha las ventajas de ambos métodos para maximizar la refrigeración y adaptarse a diferentes condiciones operativas.
- **Desventaja:** Puede ser más costoso y complejo de instalar, y requiere una integración cuidadosa de las diferentes tecnologías de refrigeración.

Para una mejor apreciación se desarrolla una tabla de contenido.

Tabla 7

Comparación entre sistemas de refrigeración

Tipo de Refrigeración	Método	Descripción	Ventaja	Desventaja
Refrigeración Pasiva	Espaciado Adecuado	Instalación de paneles solares con separación suficiente para permitir la circulación natural del aire.	Económica, fácil de implementar, sin consumo de energía.	Menos efectivo en climas muy cálidos o espacios limitados; depende de condiciones ambientales.
	Disipadores de Calor (Heat Sinks)	Estructuras metálicas (aluminio o cobre) fijadas a la parte posterior de los paneles solares para mejorar la transferencia de calor.	Mejora la disipación del calor sin consumo de energía adicional.	Costo elevado de materiales y complejidad en la instalación; efectividad limitada en alta irradiación solar.

Refrigeración por Enfriamiento Radiativo	Materiales que emiten calor en forma de radiación infrarroja hacia el espacio.	Método innovador sin requerir energía externa; complementario a otros sistemas.	Tecnología en desarrollo, puede ser costosa a gran escala; materiales deben ser diseñados específicamente.	
Materiales de Cambio de Fase (PCMs)	Materiales que absorben y almacenan calor al cambiar de estado, integrados en la estructura del panel solar.	Mantiene temperatura óptima del panel, mejora la eficiencia.	Costoso y complejo de incorporar; efectividad afectada por la capacidad del PCM para cambiar de fase adecuadamente.	
Refrigeración Activa	Ventiladores	Utilizan ventiladores eléctricos para forzar el flujo de aire alrededor de los paneles solares.	Fácil de instalar, efectivo en condiciones normales, tecnología accesible.	Requiere energía, mantenimiento necesario; efectividad limitada en bajas velocidades de viento o calor extremo.
Sistemas de Refrigeración por Líquidos Especiales	Uso de líquidos refrigerantes con propiedades térmicas superiores a	Capacidad de transferencia de calor más eficiente, útil en sistemas compactos.	Líquidos especializados caros, sistema más complejo, gestión de fugas y compatibilidad con materiales.	

	las del agua en un circuito cerrado.		
Sistema de Refrigeración por Agua	Circuito cerrado de tuberías con agua que absorbe el calor de los paneles solares y lo transporta a un intercambiador de calor o tanque.	Eficaz para eliminar el calor, especialmente en alta irradiación solar.	Infraestructura adicional, mantenimiento para evitar fugas y corrosión, costo inicial elevado.
Tubos de Calor (Heat Pipes)	Líquido en un tubo sellado que se evapora en la sección caliente y se condensa en la sección fría para transportar el calor.	Eficiente en transferencia de calor, diseño compacto.	Instalación técnica y costosa; problemas con durabilidad y vida útil del tubo.
Sistemas Híbridos (Aire y Líquidos)	Combina refrigeración por aire (ventiladores) y líquidos (agua o refrigerantes)	Maximiza la refrigeración adaptándose a diferentes condiciones operativas.	Costoso y complejo de instalar, requiere integración cuidadosa de las tecnologías.

para una
refrigeración
adicional.

Nota. Descripción de los tipos de refrigeración.

Conclusiones

En base a los datos históricos de generación solar en la central de la Universidad Técnica Particular de Loja, se identificó que la temperatura del módulo es el factor más influyente en la eficiencia de los paneles solares. Los registros muestran variaciones de temperatura entre 8°C y 68°C, siendo que al superar los 25°C, la eficiencia de los paneles comienza a disminuir notablemente. En condiciones de alta radiación solar directa, el rendimiento del sistema puede reducirse hasta un 41%, con valores de efectividad generalmente por debajo del 50%. Una caída al 40% indica una clara anomalía en el funcionamiento del sistema.

Las condiciones climáticas en la ciudad de Loja no son óptimas para una central solar debido a la variabilidad climática que no depende de la estación del año. Frecuentemente, se observa que la producción solar es óptima hasta el mediodía, pero se ve afectada por nubosidad o precipitaciones esporádicas.

Finalmente, el factor más crítico para evaluar el rendimiento de un sistema de energía solar es la irradiancia. Las gráficas comparativas entre la potencia esperada y la real demuestran que la potencia real siempre es inferior a la esperada, lo que subraya la importancia de la irradiancia recibida como un elemento crucial que influye en la discrepancia entre la potencia esperada y la efectivamente generada.

Recomendaciones

Análisis Técnico y Económico: Es crucial realizar un análisis detallado de las aplicaciones potenciales para la central solar, considerando la relación costo-beneficio. Se recomienda la implementación de un diseño modular que permita ajustes flexibles y escalables según las necesidades y condiciones del sitio.

Sistemas de Refrigeración Avanzados: Se sugiere instalar sistemas de refrigeración avanzados, como enfriamiento líquido o ventilación forzada, para mantener una temperatura óptima en los paneles solares. Además, es importante automatizar el mantenimiento mediante sensores que detecten la acumulación de residuos y establecer un calendario regular de inspecciones para verificar el estado de los paneles y sus conexiones.

Monitoreo en Tiempo Real: La implementación de sistemas de monitoreo en tiempo real permitirá ajustar la producción de energía según las condiciones ambientales y detectar problemas de manera rápida. Esto es fundamental para maximizar la eficiencia del sistema y minimizar pérdidas de energía.

Protección Contra Condiciones Climáticas Extremas: Es vital proteger los equipos contra condiciones climáticas extremas. Además, ajustar la inclinación de los paneles solares según la estación del año puede mejorar significativamente la captación de energía.


Monitoreo Climático Continuo: Dado que la temperatura ambiente es un factor incontrolable pero crucial, se recomienda mantener un monitoreo continuo de los datos climáticos históricos para identificar posibles días de menor producción solar y ajustar las operaciones en consecuencia.

Mantenimiento Adecuado: Es esencial realizar un mantenimiento adecuado de los paneles solares, incluyendo la limpieza de polvo y hojarasca, para asegurar un rendimiento óptimo.

Sistema de Almacenamiento de Energía: Se recomienda considerar la instalación de un sistema de almacenamiento de energía para reservar el excedente de energía producido en días de alta generación. Esto garantizará un suministro continuo durante apagones o cortes de energía.

Referencias

- 510-530 Watt: TR 72M Mono-Facial | Download Free PDF | Electrical Engineering | Manufactured Goods. (s. f.). Scribd. Recuperado 15 de julio de 2024, de <https://www.scribd.com/document/481897639/Jinko-Solar-Tiger-Pro-TR-Monofacial-JKM510-530M-7TL4-V-D4-vico-export-solar-energy>
- BBVA. (s. f.). *¿Qué tipos de placas solares existen y para qué se utilizan?* BBVA NOTICIAS. Recuperado 15 de julio de 2024, de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-placas-solares-existen-y-para-que-se-utilizan/>
- Bogdanov, D., Gulagi, A., Aghahosseini, A., Noel, L., Koskinen, O., Barasa, M., Caldera, U., Afanasyeva, S., Child, M., Farfan Orozco, F., & Vainikka, P. (2016). *On the Role of Solar Photovoltaics in Global Energy Transition Scenarios*.
- Choi, H., & Jeong, S. (2018). A Review on Eco-Friendly Quantum Dot Solar Cells: Materials and Manufacturing Processes. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 5(2), 349-358. <https://doi.org/10.1007/s40684-018-0037-2>
- Fuentes, R., Rojas, D., Rivera, M., Riveros, J., Munoz, J., & Wheeler, P. (2021). *Control strategies of photovoltaic systems*. <https://doi.org/10.1109/chilecon54041.2021.9702993>
- Global Solar Atlas*. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2024, de <https://globalsolaratlas.info/map?c=-1.669554,-83.6,6&r=ECU>
- Inganäs, O., & Sundström, V. (2016). Solar energy for electricity and fuels. *Ambio*, 45(1), 15-23. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0729-6>
- Jean, J., Brown, P. R., Jaffe, R. L., Buonassisi, T., & Bulović, V. (2015). Pathways for solar photovoltaics. *Energy & Environmental Science*, 8(4), 1200-1219. <https://doi.org/10.1039/C4EE04073B>
- Lacayo, M. S. R. A. (2018). *FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA* [PhD Thesis, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA]. <https://core.ac.uk/download/pdf/288314655.pdf>

- Lazaroiu, G. C., Longo, M., Roscia, M., & Pagano, M. (2015). Comparative analysis of fixed and sun tracking low power PV systems considering energy consumption. *Energy Conversion and Management*, 92, 143-148. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.046>
- Leal, R., & Padilla, V. (2023). Sustainability of the Energy Sector in Mexico from 2000 to 2020. *Modern Economy*, 14, 250-272. <https://doi.org/10.4236/me.2023.143015>
- Placas solares monocristalinas . (2022, marzo 3). Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>
- Shah, A. (2020). Solar Cells: Basics. En A. Shah (Ed.), *Solar Cells and Modules* (pp. 33-72). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46487-5_3
- Supian, B., Ekaputri, C., & Priharti, W. (2020). Increasing the output power of solar panel by using cooling system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830, 032039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/3/032039>
- UTPL contribuye a la Red Eléctrica del Ecuador con energía limpia | Blog. (s. f.). Recuperado 15 de julio de 2024, de <https://noticias.utpl.edu.ec/utpl-contribuye-a-la-red-electrica-del-ecuador-con-energia-limpia>
- Würfel, P. (2010). How Solar Cells Work. *Advanced Photonics & Renewable Energy (2010)*, Paper PMA3, PMA3. <https://doi.org/10.1364/PV.2010.PMA3>

Apéndice

Apéndice A

Fecha y hora	Energía	Irradiación Sensor Card / Box (1)	Temperatura ambiente Sensor Card / Box (1)	Temperatura de módulo Sensor Card / Box (1)
6:00	0,00	0,00	16,00	13,00
6:05	0,00	0,00	16,00	13,01
6:10	0,00	0,00	16,00	14,00
6:15	0,0056	0,00	16,00	14,00
6:20	0,00635	0,00	16,00	14,00
6:25	0,05374	4,02	16,00	14,00
6:30	1,85237	6,00	16,00	14,00
6:35	7,07306	10,00	16,00	14,00
6:40	11,31963	13,04	16,00	14,01
6:45	16,69509	17,00	16,00	15,00
6:50	20,75119	20,05	16,00	15,00
6:55	26,38742	25,00	16,00	15,00
7:00	32,66139	30,00	16,00	15,00
7:05	42,63702	37,07	16,00	15,01
7:10	52,17826	44,00	16,00	16,00
7:15	64,99198	53,10	17,00	16,00
7:20	77,39219	63,00	17,00	16,00
7:25	98,39941	78,18	17,00	17,00
7:30	123,20392	96,00	17,00	17,00
7:35	135,50667	106,00	17,00	18,00
7:40	149,85399	115,03	17,00	19,01
7:45	156,59823	120,00	17,00	20,00
7:50	174,50504	133,12	17,01	21,01
7:55	190,92274	145,00	18,00	22,00
8:00	191,15134	145,04	18,00	22,01
8:05	194,99505	148,00	18,00	23,00
8:10	190,08556	147,00	18,00	23,00
8:15	185,57289	143,04	18,01	24,00
8:20	190,51738	147,00	19,00	24,00
8:25	196,90121	152,10	18,99	24,00
8:30	211,22241	162,00	18,00	24,00
8:35	230,60444	179,00	19,00	25,00
8:40	250,47879	193,13	19,00	25,01
8:45	269,02621	206,00	19,00	26,00
8:50	286,9936	220,07	19,00	27,00
8:55	295,19362	227,00	19,00	27,00
9:00	309,90407	238,28	20,00	28,01
9:05	348,31871	266,00	20,00	29,00

9:10	379,62639	292,00	20,00	30,00
9:15	453,4878	345,54	21,01	31,02
9:20	524,6697	399,00	22,00	33,00
9:25	468,28097	358,75	22,00	34,99
9:30	436,35348	334,00	22,00	34,00
9:35	512,87082	392,51	22,01	34,02
9:40	578,12334	443,00	23,00	36,00
9:45	539,26722	418,00	23,00	37,00
9:50	564,76567	433,40	23,00	37,00
9:55	620,64156	473,00	23,00	37,00
10:00	778,12588	602,90	24,01	39,03
10:05	879,5319	692,00	25,00	42,00
10:10	911,0631	719,96	26,02	45,04
10:15	1123,80968	915,00	28,00	49,00
10:20	1124,24694	938,00	28,00	52,00
10:25	1102,27598	922,19	28,99	54,01
10:30	1120,48013	941,00	28,00	55,00
10:35	1107,24474	940,24	29,00	57,00
10:40	1129,62776	964,00	29,00	57,00
10:45	1128,25444	980,00	29,00	58,00
10:50	1118,67217	957,79	29,00	57,98
10:55	871,70061	738,00	29,00	56,00
11:00	915,87681	756,98	27,00	52,00
11:05	1022,0143	854,00	27,00	52,00
11:10	887,14198	732,20	27,99	50,98
11:15	920,33775	752,00	27,00	49,00
11:20	972,32361	806,00	27,00	48,00
11:25	1175,35273	993,32	28,00	51,03
11:30	1197,65866	1025,00	28,00	54,00
11:35	1186,67684	1034,14	29,00	57,00
11:40	1191,18454	1048,00	29,00	57,00
11:45	1199,20444	1059,00	27,00	57,00
11:50	1205,97417	1061,04	28,00	58,00
11:55	1210,58389	1065,00	28,00	58,00
12:00	1195,2141	1055,25	28,00	57,00
12:05	1224,1984	1080,00	28,00	57,00
12:10	1212,14528	1080,00	27,00	57,00
12:15	1182,11807	1042,73	28,00	57,01
12:20	1227,75166	1016,00	28,00	58,00
12:25	1143,32985	1006,75	27,01	57,00
12:30	1104,81126	969,00	29,00	57,00
12:35	1160,61556	1024,00	26,00	56,00
12:40	1046,63173	911,19	26,02	55,01
12:45	1198,96799	1029,00	28,00	56,00

12:50	1069,54119	744,87	26,99	57,98
12:55	1093,09465	434,00	26,00	56,00
13:00	1259,82149	254,57	27,00	58,02
13:05	1261,14879	311,00	27,00	60,00
13:10	892,63361	503,00	28,00	61,00
13:15	697,71319	520,95	26,99	54,94
13:20	840,14459	615,00	26,00	49,00
13:25	935,81778	711,28	26,99	49,00
13:30	949,66722	739,00	26,00	49,00
13:35	762,77923	590,54	25,01	46,99
13:40	941,00883	744,00	26,00	46,00
13:45	884,68417	715,00	26,00	47,00
13:50	531,32014	407,76	25,99	44,96
13:55	499,26458	384,00	25,00	41,00
14:00	446,65602	340,87	25,00	37,98
14:05	425,19426	328,00	25,00	36,00
14:10	455,45861	354,00	26,00	36,00
14:15	487,93783	371,56	25,98	36,99
14:20	425,09106	328,00	24,00	36,00
14:25	435,38233	334,01	25,00	34,99
14:30	438,18267	335,00	25,00	34,00
14:35	410,37624	315,09	25,00	34,00
14:40	426,02014	324,00	25,00	34,00
14:45	392,27417	301,00	25,00	34,00
14:50	365,81364	279,89	24,00	33,00
14:55	356,54525	269,00	24,00	33,00
15:00	332,26293	248,62	24,01	31,99
15:05	292,29346	220,00	25,00	31,00
15:10	265,84879	199,86	24,00	30,00
15:15	247,69371	186,00	24,00	30,00
15:20	219,82444	167,00	24,00	29,00
15:25	202,60676	152,79	24,00	28,00
15:30	174,97213	132,00	24,00	28,00
15:35	91,66306	109,98	24,00	26,99
15:40	0,00	108,00	24,00	26,00
15:45	0,00	111,00	23,00	26,00
15:50	0,00	107,91	23,00	26,00
15:55	0,00	99,00	23,00	26,00
16:00	0,00	99,91	23,00	25,00
16:05	0,00	91,00	23,00	25,00
16:10	0,00	80,00	23,00	24,00
16:15	0,00	72,95	22,00	24,00
16:20	0,00	68,00	22,00	24,00
16:25	85,97479	70,02	22,00	23,00

16:30	90,72882	72,00	22,00	23,00
16:35	88,30417	71,00	22,00	22,00
16:40	89,69189	70,98	22,00	22,00
16:45	87,0745	69,00	22,00	22,00
16:50	79,72821	64,00	22,99	22,00
16:55	79,87706	64,00	22,00	22,00
17:00	68,83667	56,00	22,00	22,00
17:05	57,23764	46,98	22,00	21,99
17:10	53,81264	45,00	22,00	21,00
17:15	47,9239	39,92	21,99	21,00
17:20	37,16777	32,00	21,00	21,00
17:25	34,29631	30,95	21,00	21,00
17:30	27,99258	26,00	21,00	21,00
17:35	22,71056	22,00	21,00	20,00
17:40	17,37288	16,98	21,00	20,00
17:45	13,81546	15,00	21,00	20,00
17:50	10,68443	11,98	21,00	20,00
17:55	7,55363	10,00	21,00	20,00
18:00	4,5925	8,00	21,00	19,00