

Thermoeconomic evaluation of a solar photovoltaic module for Portoviejo city - Ecuador.

Evaluación termoeconómica de un modulo solar fotovoltaico en la ciudad de Portoviejo - Ecuador.

Autores:

Giler Barcia, Lenin Vladimir
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Estudiante del Instituto de Posgrado, programa Maestría Académica en Mención de Eficiencia Energética
Manabí - Ecuador



lenin.giler@hotmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7844-2146>

Gorozabel Chata, Francis Benjamin
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Máster en Ciencias, departamento de Ingeniería Mecánica
Manabí - Ecuador



francis.gorozabel@utm.edu.ec

 <https://orcid.org/0000-0003-1092-3346>

Citación/como citar este artículo: Giler, L. y Gorozabel, F. (2022). Evaluación termoeconómica de un modulo solar fotovoltaico en la ciudad de Portoviejo - Ecuador. MQRInvestigar, 6(4), 121-135.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.121-135>

Fechas de recepción: 19-SEP-2022 aceptación: 03-OCT-2022 publicación: 15-DIC-2022



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

En la presente investigación se presentan los indicadores exergéticos y exergo-económicos de un panel solar fotovoltaico ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí durante el mes de mayo del 2022. Para lo cual se midieron parámetros eléctricos como voltaje de la corriente nominal, voltaje del circuito abierto y corriente de corto circuito, así como la medición de otros parámetros climáticos como radiación solar, temperatura ambiental, temperatura del módulo, y velocidad del viento. Los valores obtenidos se procesaron siguiendo los modelos matemáticos establecidos y aceptados en la literatura. Los resultados muestran valores de eficiencia exergética mínima y máxima alrededor de las 9:00 a.m. y 13:00 p.m. respectivamente, la radiación solar más altos se obtiene alrededor de las 14:00 las cuales causan pérdidas y destrucciones térmicas afectando negativamente a la salida fotovoltaica, al contrario, en las mañanas y tardes el sistema fotovoltaico tuvo una producción de electricidad mucho mayor. El análisis exergoeconómico mostró el costo de pérdida y destrucción dentro del sistema los cuales son calculados entre 0,18 y 0,56 W/\$ para la suma de la exergía perdida y la exergía destruida.

Palabras claves: Termo económico, fotovoltaico aislado, radios bases, telecomunicaciones.

Abstract

In the present investigation, the exergetic and exergoeconomic indicators of a photovoltaic solar panel located at the Basic Sciences Institute of the Technical University of Manabí during the month of May 2022 are presented. For which electrical parameters such as voltage of the nominal current, open circuit voltage and short circuit current, as well as the measurement of other climatic parameters such as solar radiation, ambient temperature, module temperature, and wind speed. The values obtained were processed following the mathematical models established and accepted in the literature. The results show values of minimum and maximum exergetic efficiency around 9:00 a.m. and 1:00 p.m. respectively, the highest solar radiation is obtained around 14:00, which cause thermal losses and destruction, negatively affecting the photovoltaic output, on the contrary, in the mornings and afternoons the photovoltaic system had a much higher electricity production. The exergoeconomic analysis showed the cost of loss and destruction within the system which are calculated between 0.18 and 0.56 W/\$ for the sum of the exergy lost and the exergy destroyed.

Keywords: Thermoeconomic, isolated photovoltaic, base radios, telecommunications.

Introducción

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (en adelante, CNT-EP) evalúa la generación de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos para implementarlas en la radio bases remotas de comunicación móvil del Ecuador, estas bases actualmente están conectadas a la red eléctrica. Además, tienen como respaldo en caso de desconectarse del sistemas eléctrico nacional, sistemas electrógenos los cuales funcionan a base de diésel los mismos que en zonas remotas generan dificultades debido a lo complejo y costoso que significa el transporte de combustible en ciertos lugares de difícil acceso ASIF (2018)..

Según (Ortiz-Fustillos & Puma-Caiza, 2018) los sistemas fotovoltaicos son una solución confiable, económicamente factible y ambientalmente viable, para la electrificación de radio bases remotas de CNT-EP, en comparación de los grupos electrógenos; pues el dimensionamiento está realizado para aprovechar el área posible por lo que se hace modular su operación como respaldo de la energía eléctrica, no obstante, también se evidencia que por el aprovechamiento diario de la energía solar también reemplazará cierta cantidad suministrada por la red pública APPA. (2015).

En este contexto, se establece la importancia de los sistemas fotovoltaicos debido a su confiabilidad y factibilidad como fuente de energía auxiliar en radio bases remotas de telecomunicaciones Según (Bayat & Ozalp, 2018). Según la investigación de sistemas fotovoltaicos en términos exergético y exergoeconómico es esencial para revelar el rendimiento de los sistemas fotovoltaicos a largo tiempo.

Debido a los altos costos de los módulos fotovoltaicos, una investigación basada en la exergía y un análisis exergoeconómico (Álvarez, C., 2017). es esencial para revelar la variación de la eficiencia del sistema sobre un determinado periodo de tiempo. Esto permitirá introducir esta tecnología en las radios bases de telecomunicaciones como un modelo aislado.

El objetivo del presente trabajo es analizar la exergía y evaluar exergo económicamente un sistema con panel fotovoltaico para en un trabajo posterior valorar la implementación de esta tecnología en las radios bases remotas de la empresa CNT-EP

La presente investigación es relevante ya que (Ortiz Fustillos & Puma Caiza, 2018) observan que el costo de producción de un kWh utilizando sistemas fotovoltaicos es menor al costo del kWh producido por el grupo electrógeno, así mismo indican que los sistemas fotovoltaicos una vez instalados en el lugar no emitirán carbono ya que para generar energía eléctrica necesita la energía solar.

Metodología

Descripción del sistema

Para la presente investigación se realizó experimentos en un módulo fotovoltaico policristalinos durante el mes de mayo del 2022 instalado en la terraza del edificio del Instituto de Ciencias Básicas (00 S, 75 W) de la Universidad Técnica de Manabí de la ciudad de Portoviejo-Ecuador.

El panel solar fotovoltaico utilizado en el experimento tiene una potencia máxima de 200 W y una corriente máxima de 12.82 A, así mismo un voltaje máximo de 21 voltios. Las propiedades del módulo son presentadas de acuerdo con las condiciones de prueba estándares (en adelante STC) incluyendo 1000 W/m² de radiación global solar, 1.5 masa de aire, y 25°C de temperatura ambiental (Beltrán-Telles, 2017).



Fig. 1 Panel solar instalado en la terraza del Instituto de Ciencias Básica

Las características más importantes del módulo fotovoltaico y otras partes del sistema estudiado que cumplen con el estándar STC se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de un sistema solar fotovoltaico.

Componentes del sistema PV	Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
	Potencia máxima	P max	W	130.0
	Voltaje Máximo	V max	V	8.0
	Corriente Máxima	I max	A	7.23
IBC PolySol 130 GC Módulo PV	Abre el Circuito de Voltaje	V oc	V	
	Corriente de cortocircuito	I sc	A	7.9
TWI Inversor Sinusoidal M.	Coefficiente de temperatura de ISC	A	%/K	+0.05
Batería de Gel	Coefficiente de temperatura de VOC	B	mV/K	-78.8

PR 2020 Regulador de Voltaje S.	Coefficiente de temperatura de Pmax	δ	%K	-0.46
				1000
MC4 Conectores y Cables.	Salida de potencia	P	W	
	Salida de voltaje	V	V	12
	Salida de corriente	I	A	20
	Largo	L	m	2x5
	Diámetro	\emptyset	mm	10

Para realizar la siguiente investigación, las mediciones en un panel fotovoltaico fueron tomadas entre 08:00 am y 17:00 pm en un intervalo de 30 minutos. Para evaluar la razón de exergía ciertos parámetros eléctricos son medidos como voltaje de corriente nominal, voltaje de circuito abierto y corriente del circuito corto. Además, de otros parámetros climáticos como radiación solar, temperatura ambiental, temperatura del módulo y la velocidad del viento debido a que las condiciones ambientales afectan el rendimiento del panel solar fotovoltaico.

Para medir la temperatura en la parte de posterior del módulo se utilizó un calibrador digital termocupla, el cual fue puesto en medio del módulo para medir la temperatura de manera precisa y homogénea Cantillo-Guerrero et al., (2018). Un termómetro digital fue utilizado para medir la temperatura del ambiente y un anemómetro digital fue utilizado para medir la velocidad del viento encima de la superficie fotovoltaica. La radiación global solar fue también medida usando un piranómetro.

Las características específicas de estos instrumentos se muestran en la Tabla 2, donde se incluye la clasificación, el rango, la precisión y la aplicación que son estipulados. Usando estos instrumentos y obteniendo los datos necesarios, se puede calcular la exergía y realizar un análisis exergoeconómico para determinar el desarrollo de las características del sistema fotovoltaico.

Tabla 2. Lista de parámetros e instrumentos de medida

INSTRUMENTOS	CLASIFICACIÓN Y RANGO	PRECISIÓN	APLICACIÓN
Piranómetro	Rango Espectral 300 - 3200 nm	Sensibilidad	Intensidad radiación solar
Termómetro Digital	Para ambiente -50.0°C - 800.0°C	$\pm 1^\circ$ <1000°C:0.1°C/F/°K >1000°C:0.1°C/°F/°K	Temperatura ambiente Temperatura de superficie
Termopar Digital	-200°C -1372°C		posterior del PV
Anemómetro Digital	Por velocidad 0.1 -5m/s	0.01m/s	Velocidad del viento

Multímetro Digital	Rango de medición	Resolución	Corriente de salida Voltaje
287 Fluke	40.00mV - 1000 V	0.01mV - 0.01A	Resistencia
Rango de Voltaje	400.0μA - 1000 A	0.01μA - 0.01A	Parámetros de voltaje - Corriente
Alcance actual	400.0 Ω-4.00MΩ	0.1Ω - 0.01 MΩ	
Analizador de Redes			
PQ - BOX 100	690/400 V 3 ~ + N + PE		

Un análisis de exergía en un panel solar fotovoltaico Cardona et al., (2020) investigan el uso y la eficiencia en la producción de energía además de indicar la energía desperdiciada en las diferentes partes del proceso en consideración. El análisis de exergía Chen et al., (2014) es un método moderno que presenta información del rendimiento de un sistema de conversión de energía. Los análisis exergético se utilizan para optimizar sistemas de energía.

La Comisión Nacional de Energía. (2017), señala que la exergía se puede definir como la cantidad máxima de trabajo generado por un sistema o un flujo de masa o energía cuando llega al equilibrio con un entorno de referencia. La exergía se explica cómo la combinación de la primera y la segunda ley de la termodinámica en la que la calidad y la cantidad de energía se consideran juntas. Por lo tanto, la exergía contribuye de manera importante a diseñar mejores sistemas al reducir las ineficiencias y acercar un proceso al caso ideal (Díaz, 2016).

Para calcular la exergía, es importante identificar sus componentes en un sistema fotovoltaico, González (2016). Las expresiones de exergía física y química para tal sistema asociadas con los conceptos de entalpía, entropía y conversión de energía bajo las limitaciones de Carnot se han aclarado en su lugar, se analizará la exergía eléctrica y térmica, dos componentes principales de la exergía (Gül, 2014).

Debido a que la electricidad es producida por el efecto fotovoltaico y esta puede emplearse con fines útiles a través de una red (Henley, 2015). La energía eléctrica producida se define como exergía eléctrica, para calcular la exergía eléctrica, la tasa de exergía útil se toma como la potencia eléctrica máxima producida y esta es dada por el producto de la corriente y el voltaje cuando funciona en condiciones de potencia máxima, como se indica en la Ec. 1

$$\dot{E}x_{el} = W_{pv} = V_{max}I_{max} \quad (1)$$

El otro componente energético importante es la energía térmica, el calor irradiado por el módulo solar fotovoltaico. En el caso de la caída de la radiación solar en las células solares, los módulos fotovoltaicos se calientan durante la producción de electricidad debido a la energía térmica existente en la irradiación solar (Ahmed, 2018). Debido a que las células solares se fabrican mediante circuitos electrónicos, pierden eficiencia como resultado del calor y las resistencias internas que se producen en el proceso.

Por lo tanto, para una mejor eficiencia eléctrica, es necesaria la eliminación de calor en la superficie del módulo (Bayat & Ozalp, 2018). La exergía térmica no se utiliza para fines como la exergía eléctrica, ya que se produce únicamente en la superficie fotovoltaica como pérdida de calor. Por tanto, la exergía térmica del sistema, la cual se presenta en la ecuación 2, cubre la pérdida de calor desde la superficie del módulo a la atmósfera, y se puede formular como:

$$\dot{E}x_{th} = \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) \dot{Q} \quad (2)$$

Debido a que los sistemas fotovoltaicos tienen solo dos componentes de exergía, y la parte térmica se desperdicia en el ambiente (Ong & Chun, 2013), la expresión de exergía total de un sistema fotovoltaico se puede derivar considerando expresiones de exergía eléctrica y térmica como se muestra en la ecuación 3:

$$\dot{E}x_{pv} = \dot{E}x_{el} - \dot{E}x_{th} \quad (3)$$

Por lo tanto, se convierte en:

$$\dot{E}x_{pv} = V_{max} I_{max} - \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{cell}}\right) [h_{ca} A (T_{cell} - T_{amb})] \quad (4)$$

Para evaluar la eficiencia exergética, es necesario medir la radiación solar total. La radiación solar incidente, con sus componentes directos y difusos, afecta la salida de corriente y potencia del módulo fotovoltaico. Debido a que la magnitud de la radiación solar global en la práctica no se convierte completamente en electricidad, se debe mencionar las limitaciones de Carnot y los efectos ambientales (Oriol, 2020). En este sentido, la exergía de la irradiación solar depende de la intensidad de la irradiación solar y del área de la superficie fotovoltaica:

$$\dot{E}x_{solar} = \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) S_T A \quad (5)$$

Aquí, T_{sun} representa la temperatura efectiva del sol, que Holmberg y col. han estimado en 5777 K. La eficiencia exergética (ψ) se basa fundamentalmente en la relación entre el parámetro de salida y el parámetro de entrada. A este respecto, la exergía total de la PV se considera la exergía de salida mientras que la exergía de entrada se considera la exergía de la radiación solar, formulada como la ecuación 6:

$$\psi = \frac{\dot{E}x_{pv}}{\dot{E}x_{solar}} \quad (6)$$

Al organizar la ecuación anterior la eficiencia de la exergía también se puede explicar a través de la irreversibilidad, Debido a que la degradación de la exergía en los sistemas fotovoltaicos se produce como resultado de la destrucción de la exergía eléctrica y térmica, la irreversibilidad se puede mostrar como:

$$\psi = 1 - \frac{I}{\dot{E}x_{solar}} \quad (7)$$

Si se continúa más allá, la irreversibilidad se convierte en:

$$I' = (1 - \psi)\dot{E}x_{solar} \quad (8)$$

Si el límite del sistema fotovoltaico se considera un volumen de control, la irreversibilidad también se puede definir en términos de pérdidas de exergía externas e internas en el volumen de control:

$$I' = \sum \dot{E}x_{perdida} + \dot{E}x_{dest} \quad (9)$$

Como la ecuación 9 formula, las pérdidas de exergía externas significan pérdidas térmicas. Las pérdidas internas, que significan destrucción de exergía, incluyen cuatro términos, el primero de los cuales ocurre como resultado de pérdidas ópticas a través de la superficie fotovoltaica.

$$\dot{E}x_{dest,opt} = S_r A \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) ((1 - (\tau\alpha))) \quad (10)$$

Aquí $(\tau\alpha)$ representa el producto efectivo de transmitancia-absortancia, que no se puede conocer con precisión. Sin embargo, generalmente se adopta una estimación aproximada de 0,9 sin errores graves para los sistemas fotovoltaicos, porque el término $(1 - (\tau\alpha))$ es menor que la unidad. El segundo término se deriva de la diferencia de temperatura entre la superficie del módulo fotovoltaico y la temperatura del sol:

$$\dot{E}x_{dest,\Delta T_{sun}} = (\tau\alpha) S_r A T_{amb} \left(\frac{1}{T_{cell}} - \frac{1}{T_{sun}}\right) \quad (11)$$

El tercer término se obtiene a través de las variaciones de temperatura del módulo fotovoltaico con respecto al entorno de referencia, dado como:

$$\dot{E}x_{dest,\Delta T_{mod}} = \left(\frac{m_{cell} C_p T_{amb}}{\Delta T}\right) \left(I_n \frac{T_{cell}}{T_{amb}} - \frac{(T_{cell} - T_{amb})}{T_{cell}}\right) \quad (12)$$

Donde m_{cell} y AT representan la masa del módulo fotovoltaico y el intervalo de tiempo, respectivamente. El intervalo de tiempo se puede determinar de acuerdo con el intervalo de tiempo de los experimentos. C_p es también la capacidad calorífica específica de la célula solar de silicio; se puede considerar como:

$$C_p = 0.844 + 1.18 \times 10^{-4} T_{cell} - 1.55 \times 10^{-4} (T_{cell})^{-2} \quad (13)$$

Finalmente, el cuarto término es la destrucción de exergía eléctrica, que es la cantidad a la que la salida de potencia eléctrica máxima, W_{pv} , se resta de la exergía eléctrica máxima, W_{max} :

$$\dot{E}x_{dest,\Delta T_{mod}} = W_{max} - W_{PV} = V_{oc} I_{SC} - V_{max} I_{max} \quad (14)$$

Análisis exergoeconómico

Un análisis exergoeconómico utiliza conceptos de la economía (Ortiz-Fustillos & Puma-Caiza, 2018). junto a un análisis exergético para definir el valor del producto actual del sistema por lo que un análisis exergoeconómico se realiza luego de haber realizado un análisis exergético.

Un análisis exergético se compone de pérdida de exergía $\dot{E}x_{loss}$ y destrucción de la exergía $\dot{E}x_{dest}$ (Tsatsaronis & Morosuk, 2012). . El análisis conducido en este estudio indica la razón

de la pérdida exergía $\dot{L}ex_{loss}$ y la razón de destrucción de la exergía $\dot{L}ex_{dest}$, así mismo la suma de la exergía la suma de la pérdida de exergía y la razón de destrucción de la exergía se muestra como $\dot{L}ex_{total}$

$$\dot{L}ex_{loss} = \dot{E}x_{loss} \quad (15)$$

$$\dot{L}ex_{dest} = \dot{E}x_{dest} \quad (16)$$

$$\dot{L}ex_{total} = \dot{E}x_{loss} + \dot{E}x_{dest} \quad (17)$$

El parámetro exergoeconómico \dot{R} , fue calculado y adoptado como radio el radio de razón exergética $\dot{L}ex_{loss}$ al valor presente neto (NPV) del sistema. Este parámetro puede ser indicado como pérdida de exergía así mismo también puede ser expresado en términos de $\dot{R}ex_{loss}$ y $\dot{R}ex_{dest}$ y $\dot{R}ex_{total}$

$$\dot{R} = \frac{\dot{L}}{NPV} \quad (18)$$

$$\dot{R}ex_{loss} = \frac{\dot{L}ex_{loss}}{NPV} \quad (19)$$

$$\dot{R}ex_{dest} = \frac{\dot{L}ex_{dest}}{NPV} \quad (20)$$

$$\dot{R}ex_{total} = \dot{R}ex_{loss} + \dot{R}ex_{dest} \quad (21)$$

El valor presente neto (NPV) estudia el valor económico y la rentabilidad de un proyecto, es necesario para conocer la necesidad de capital de un proyecto, así como calcular los valores presentes y futuros del proyecto tomando en cuenta la inflación y la tasa interna de retorno. Para un sistema fotovoltaico el NPV se calcula con la ecuación 22

$$NPV = -C_0 + \sum_{n=0}^N \frac{C_n}{(1+i)^n} \quad (22)$$

Donde C_0 indica los costos de la inversión inicial y los costos de capital, entendiéndose por costos de capital como los costos de operación, mantenimiento y reemplazo del sistema fotovoltaico. C_n es el flujo de caja, i es la tasa de descuento la cual cubre la inflación y la tasa de interés, y finalmente N como el número de años.

Resultados

El análisis de exergía es un método moderno que representa la información suficiente acerca del avance del sistema de conversión de energía. Este análisis examina si podemos encontrar un sistema experimental más eficiente que sea diseñado disminuyendo las imperfecciones

termodinámicas en el sistema. Los principales resultados se muestran en la figura 2. donde se presenta la exergía de entrada, la exergía de salida y la exergía consumida.

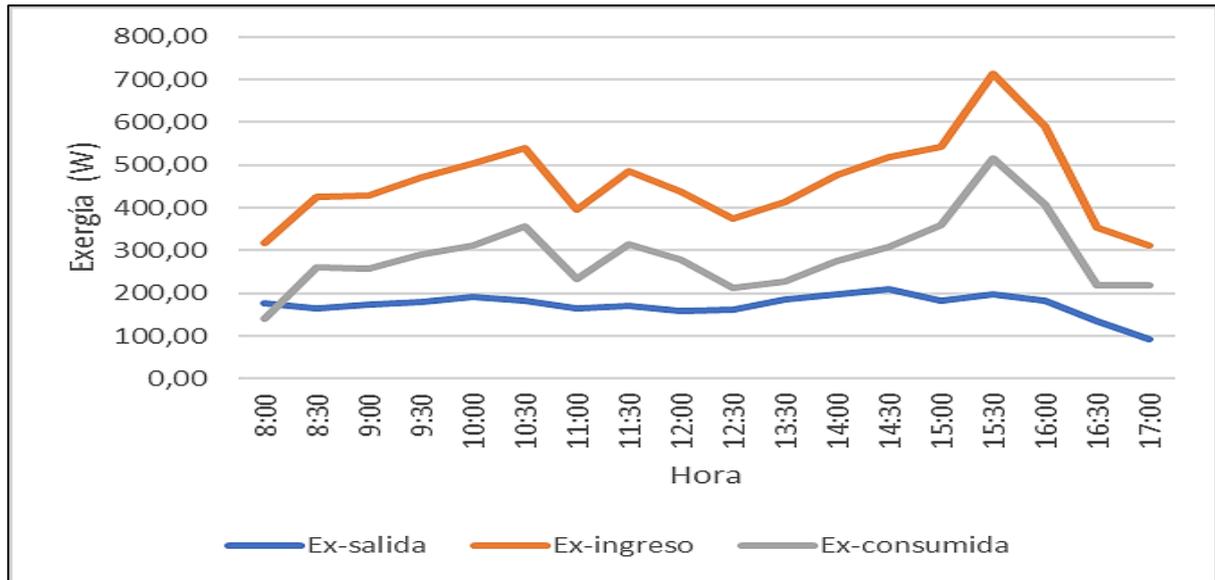


Figura 2. Radiación solar y eficiencia exergética de un panel solar fotovoltaico ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí

La exergía de ingreso para un panel solar fotovoltaico ubicado en la terraza del Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí varió entre 313 a 714 W. La exergía de salida también varió entre 94 a 209 W y la exergía consumida entre 141 y 515 W, para el mismo día del mes de mayo del 2022; esto se debe a que la radiación solar, alcanza su valor más alto, para este día, a las 15:30 y su valor más bajo en las horas de la tarde. Valores altos de radiación solar afectan los datos de la exergía de ingreso y de salida.

En la figura 3. se muestra la radiación solar incidente sobre el mismo panel solar fotovoltaico objeto de estudio

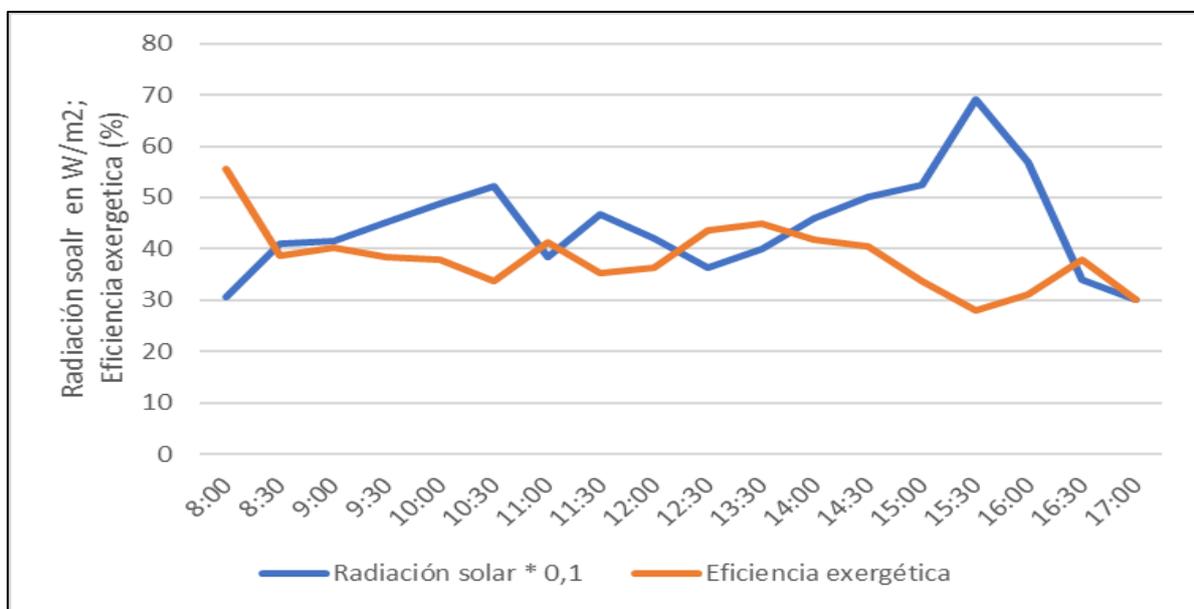


Figura 3. Radiación solar y eficiencia exergética de un panel solar fotovoltaico ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí

En la figura 3 se puede observar la incidencia de la radiación solar sobre el panel solar fotovoltaico, así como la eficiencia exergética del mismo, a medida que la radiación solar se incrementa la eficiencia del panel solar fotovoltaico disminuye, por lo que a las 15:30 donde marca una radiación solar de 600 W/m² se obtiene una eficiencia exergética del 28%

Para el cálculo de los indicadores exergoeconómico, en primera instancia se determina las exergías como un componente mayor del análisis termoeconómico. El sistema fotovoltaico fue calculado por cada año, porque algunos componentes del sistema (batería, inversor, controlador de carga solar) deberían ser reemplazado cada cinco años, el costo del reemplazo fue considerado en un sistema de paneles solares que según el fabricante duran 25 años.

Tabla 3. Costo de operación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico

Costo del inversor (\$)	Costo de la batería (\$)	Costo del controlador de carga (\$)	Costo de limpieza y mantenimiento (\$)	Costo total por 5 años (\$)	Costo total del ciclo de vida por 25 años (\$)
113	252	70	25	460	2300

Para obtener los costos de operación y mantenimiento para el equipo fotovoltaico estudiado se desglosan los valores según indica la tabla 3, el costo total de operación y mantenimiento se determina en \$ 460 por cada período de 5 años, lo que suma \$ 2300 para el ciclo de vida. En la tabla 4 se muestra el valor presente neto del sistema.

Tabla 4. Valor presente neto NPV del sistema fotovoltaico estudiado

Costo del módulo PV (\$)	Costo de la estructura (\$)	Costo total de otros equipos (\$)	Costo de capital (\$)	Tiempo de vida en años	Tasa de descuento (%)	Costo operación por cada año (\$)	NPV(\$)
85	15	450	550	25	10	92	1385

El costo de capital incluye el costo del módulo fotovoltaico, el costo de la estructura de soporte, y otros costos de equipo. En la Tabla 4, el costo de capital del sistema esta evaluado en \$550 lo cual va a ser evaluado a 25 años con una tasa de descuento del 10%, tomando en cuenta los \$92 dólares semanales por el costo de operación del sistema de cada año se obtiene un valor actual neto de \$1385.

Mientras que la tasa de pérdida termodinámica L , se calculó de acuerdo con la ecuación. (15-17) Las variaciones mensuales de los parámetros Termo-económicos R_{en} , $R_{ex.loss}$, $R_{ex.dest}$ y $R_{ex.total}$ se muestran en la figura 4.

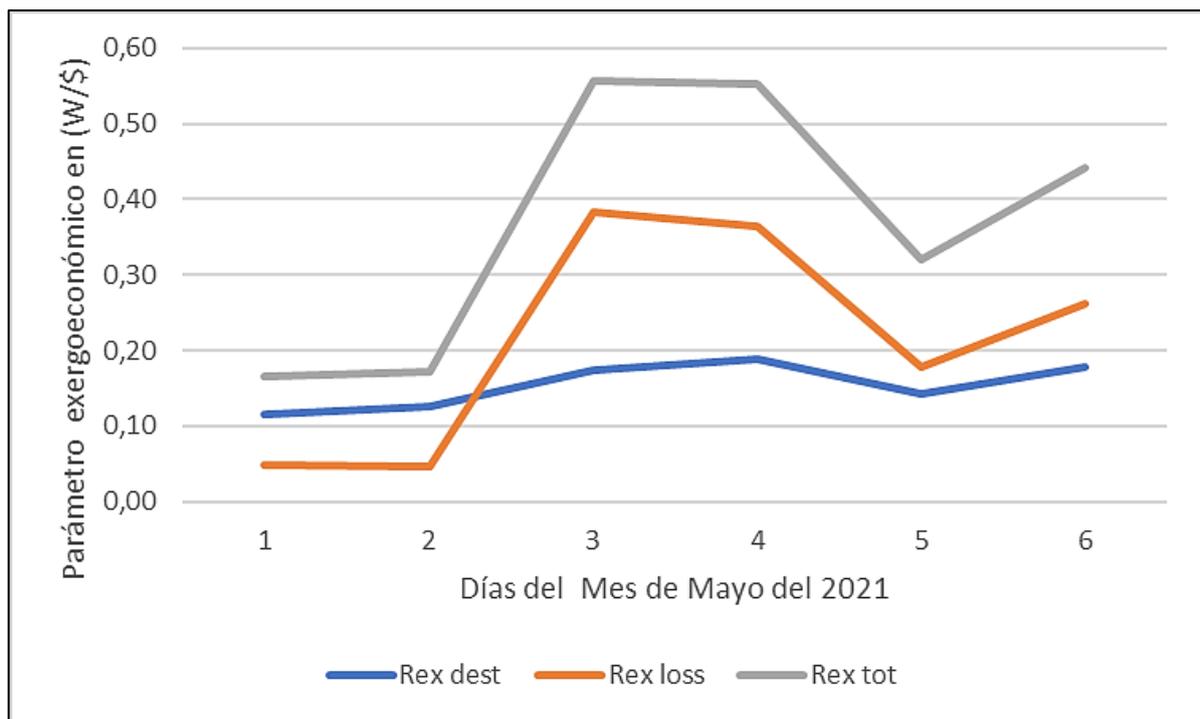


Figura 4. Variación del parámetro exergoeconómico en (W/\$) de un panel solar fotovoltaico ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí

Los valores de radiación solar relativamente más altos se obtuvieron generalmente alrededor de la 13:30 pm, obteniendo $R_{ex.loss}$ con una variación de e 0.05 a 0.38 W/\$, $R_{ex.dest}$ tuvo una variación de e 0.12 a 0.19 W/\$; y finalmente, $R_{ex.total}$ varió de 0.17 a 0.56 W / \$ durante el mes de mayo del 2022. Como se puede observar estos parámetros siguieron una tendencia paralela.

Discusión

Los sistemas fotovoltaicos son una solución confiable, económicamente factible y ambientalmente viable, los resultados obtenidos en la presente investigación para las condiciones climatológicas de Portoviejo- Ecuador concuerdan con las presentadas por (Bayat & Ozalp, 2018) para las condiciones climatológicas de Karabuk-Turquía, como es el caso de la exergía de ingreso y la exergía de salida cuyas variaciones siguen el mismo patrón en ambos estudios debido a que la radiación solar es mayor al medio día y es menor en horas de la tarde, lo cual indica que la radiación solar afecta las exergía de ingreso y de salida.

Lo mismo ocurre cuando comparamos la eficiencia exergética con la radiación solar incidente sobre el panel solar fotovoltaico la cual en ambos estudios tiende a tener un valor paralelo entre ambos valores, lo mismo ocurre con los parámetros obtenidos en el análisis exergoeconómico.

Conclusión

En el presente estudio se realizó un análisis exergético y exergoeconómico a un panel solar fotovoltaico policristalino ubicado en el Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Técnica de Manabí durante el mes de mayo del 2022. En el análisis exergético se calculó la eficiencia exergética según el modelo matemático presentado en el presente estudio, para el análisis exergoeconómico la pérdida de exergía y el valor presente también son calculado llegando a las siguientes conclusiones.

La eficiencia exergética del sistema varió entre los valores 28 a 55% durante el mes de estudio, este parámetro permite identificar las pérdidas de exergía y la destrucción de esta, causadas por las imperfecciones del sistema.

Los valores de eficiencia exergética mínima y máxima se determinaron alrededor de la 9:00 a.m. y 13:00 respectivamente. Esto se debe a que los valores de radiación solar más altos, que generalmente se obtuvieron alrededor de la 13:00 p.m., causan pérdidas y destrucciones térmicas durante el mediodía. Por lo tanto, estos parámetros afectaron negativamente a la salida fotovoltaica. En las mañanas y tardes, en cambio, las pérdidas térmicas eran bajas; por lo tanto, el sistema fotovoltaico tuvo una producción de electricidad mucho mayor.

Un análisis exergoeconómico nos ayuda a entender el costo de pérdida y destrucción dentro del sistema los cuales son calculados entre 0,05 y 0,43 W/\$ entre la suma de la exergía perdida y la exergía destruida.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, S., Diene, N., Diouma, K., Menny, E. B., & Sidi, B. (2018). Energy and exergy analysis of a solar photovoltaic module performance under the Sahelian Environment. *International Journal of Physical Sciences*, 13, 196-205.
- APPA. (2015). Asociación de Empresas de Energías Renovables. <http://www.appa.es/02appa/02b-documentosgeneral.php>.
- ASIF. (2018). Historia de la energía Solar Fotovoltaica. *Asociación de la Industria Fotovoltaica.*, 21(1), pp.34-35.
- Bayat, M. (2016). *Exergoeconomic Analysis of a Solar Photovoltaic Module in Karabük, Turkey* 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5 Nov 2016 Alanya -Turkey.
- Bayat, M., & Ozalp, M. (2018). Chapter 2.10 - Energy, Exergy and Exergoeconomic Analysis of a Solar Photovoltaic Module. In I. Dincer, C. O. Colpan, & O. Kizilkan (Eds.), *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions* (pp. 383-402). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813734-5.00022-6>
- Beltrán-Telles, A. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. Turrialba, Costa Rica: *Ciencia UAT*.
- Cantillo-Guerrero, E. F., & Conde-Danies, F. (2018). Diagnóstico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en el Ecuador. dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4208369.pdf.
- Cardona, Aristizábal, y Andrés Julián. (2020). Método Para Calcular La Eficiencia Cuántica y La Respuesta Espectral de Celdas Solares. Santa Fe de Bogotá, Colombia: *Thompson*.

- Chen, D. Maksimović, and R. W. Erickson. (2014). Analysis and design of a low-stress buck-boost converter in universal-input PFC applications,” IEEE Trans. *Power Electron.*, 21, (2), pp. 320–329.
- Comisión Nacional de Energía. (2017). ¿Qué impactos tiene la energía solar fotovoltaica? ¿cuáles son los mercados fotovoltaicos del futuro?.
- Díaz, J. (2016). Conceptos de energía solar térmica. Blog eficiencia energética y utopía. <https://juanfrancisco207.wordpress.com/2015/01/31/conceptos-de-energia-solar-termica/>.
- González, H. (2016). Manual de Radiación Solar en Colombia (Vol. I y II). Medellín, Colombia: *Universidad Nacional de Colombia*.
- Gül, T. (2014). Integrated Analysis of Hybrid Systems for Rural Electrification in Developing Countries. USA: *Stockholm: Royal Institute of Technology*.
- Henley, E. (2015). Sistemas de unidades. Cálculo de balances de materia y energía. Henley, y E.M. Rosen, editores., pp.31-34.
- Jiménez & Biel, F. (2020). Estudio y simulación de sistemas de conversión fotovoltaica-eléctrica mediante Matlab/Simulink. México: *Editorial Trillas*.
- López, D. (2020). Análisis de los aspectos tecnológicos de la fabricación de celdas fotovoltaicas de silicio cristalino en la perspectiva de su producción en Uruguay. *Energía renovable fotovoltaica*, 23(2), pp. 1-2.
- Ong, T. S., & Chun, H. T. (2013). Net present value and payback period for building integrated photovoltaic projects in Malaysia. *Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 3(2), 18.
- Oriol P. (2020). Radiación solar. *Energía Solar Fotovoltaica, Proyecto RES & RUE Dissemination.*, pp.11-12.
<http://www.cecu.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm>
- Ortiz-Fustillos, S., & Puma-Caiza, D. (2018). *Evaluación técnica y económica de la implementación de sistemas fotovoltaicos para la electrificación de radio bases remotas de CNT*.
- Tsatsaronis, G., & Morosuk, T. (2012). Understanding and improving energy conversion systems with the aid of exergy-based methods. *Int. J. Exergy*, 11(4), 518-542.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1504/IJEX.2012.050261>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior, tesis, proyecto, etc.