

Análisis de Rentabilidad de un Sistema Solar Fotovoltaico Conectado a la Red de CFE Mediante Homer Pro

B. Cortés-Martínez¹, A. Acosta-Banda^{2*}, L. Echavarría Difur³, V. Aguilar-Esteva⁴

¹Ingeniería en Energías Renovables, Universidad del Istmo, 70760, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México

²Instituto de Estudios de la Energía, SECIHTI-Universidad del Istmo, 70760, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México

³Instituto de Estudios de la Energía, Universidad del Istmo, 70760, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México

⁴Ingeniería en Diseño, Universidad del Istmo, 70760, Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México

*benito200217@outlook.com (B.C-M); *adan.acosta.b@gmail.com (A.A-B)

Resumen— En el presente artículo se realizó un estudio de viabilidad económica de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica con un presupuesto de 21 MDP en la región del Istmo de Tehuantepec. En primera instancia, se consideró el consumo diario promedio residencial, siendo de 1,978.14 kWh con una radiación diaria de 5.63 kWh/m², en seguida, se usó la herramienta Homer Pro para obtener datos de radiación de la NASA en la zona, posteriormente, se seleccionaron componentes para el sistema empleando costos promedios a nivel nacional, finalmente, se introdujeron variables económicas a la simulación, considerando la inflación anual del país y la vida útil de los componentes. Los resultados obtenidos indican que, optar por un parque fotovoltaico con estas características no presenta rentabilidad con el tiempo dado que, el remplazo de los inversores y los costos de Operación y Mantenimiento (O&M) durante su funcionamiento incrementan la inversión inicial. A pesar de lo anterior, se presenta un escenario viable empleando la función Homer Optimizer.

Palabras Clave — Energía solar, Energía renovable, Homer Pro, Radiación, Sistema fotovoltaico.

Abstract— In this article, an economic feasibility study of a photovoltaic system interconnected to the electrical grid with a budget of 21 MDP in the Isthmus of Tehuantepec region was carried out. First, the average daily residential consumption was considered, being 1,978.14 kWh with a daily radiation of 5.63 kWh/m², then, the Homer Pro tool was used to obtain radiation data from NASA in the area, subsequently, generic components for the system were selected using average costs at a national level, finally, economic variables were introduced to the simulation, considering the annual inflation of the country and the useful life of the components. The results obtained indicate that choosing a photovoltaic park with these characteristics does not present profitability over time, since the replacement of the inverters and the Operation and Maintenance (O&M) costs during its operation increase the initial investment. Despite the above, a viable scenario is presented using the Homer Optimizer function.

Keywords — Solar Energy, Renewable Energy, Homer Pro, Radiation, Photovoltaic System.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cambio climático, consecuencia del consumo de combustibles fósiles, representa una amenaza que coloca a la humanidad en una situación delicada. Por ello, resulta necesario llevar a cabo una transición energética basada en la descarbonización [1].

Los beneficios de la descarbonización incluyen la reducción del impacto ambiental, la minimización del costo energético, el incremento de la sostenibilidad, la mejora en la eficiencia del sistema, el aporte de estabilidad y resiliencia a la red, y el ahorro de energía, entre otros. Es importante destacar que estos beneficios superan los costos asociados a dicho proceso [2].

El crecimiento de la población mundial conlleva un aumento en el consumo de energía eléctrica. Ante este desafío, una de las alternativas más viables es el aprovechamiento de la energía solar. La cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre en un solo día es aproximadamente diez veces superior a la energía consumida en el mundo durante un año. Por lo tanto, la energía generada por el sol puede ser convertida en electricidad mediante el efecto fotovoltaico [3].

Homer Pro es una herramienta de simulación que analiza múltiples combinaciones de tecnologías con base en operaciones de balance energético a lo largo de un año. Su función es identificar la solución con el menor costo y que, a su vez, integre de manera eficiente los diversos componentes del sistema [4]. Cuando el software encuentra la configuración óptima, Homer Pro estima los costos de operación y mantenimiento, inversión, reemplazo de equipos, ciclos de vida, intereses y combustibles. Además, permite visualizar el flujo energético de los componentes de manera horaria y analizar su comportamiento [5].

En el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos, la viabilidad económica es un factor determinante en la toma de decisiones. La planificación de la inversión y su comparación con otros métodos de generación energética son aspectos fundamentales. En este contexto, aunque los costos de inversión y reemplazo de equipos son relevantes, estos suelen ser predecibles y amortizables a lo largo de la vida útil del proyecto.

Por otro lado, los gastos de operación y mantenimiento son recurrentes y están sujetos a mayores variaciones, convirtiéndose en un factor crítico para la viabilidad económica.

En el trabajo desarrollado por Gavidia-Merino [6], se evaluó la viabilidad económica de un sistema fotovoltaico aislado de la red para una residencia con un consumo diario de 3 kWh en Ecuador, empleando Homer Pro. Se determinó que la radiación solar en el sitio era de 5.04 kWh/m². Posteriormente, se dimensionó un sistema compuesto por dos paneles solares Jinko de 405 W, un inversor Growatt de 3000 W y cuatro baterías de plomo-ácido Formula Star de 155 Ah. Los resultados mostraron que el retorno de inversión se logró en el año seis, generando beneficios hasta el año 25, lo que evidenció la viabilidad del sistema en el contexto de la residencia estudiada.

Por otra parte, Gualotuña-Gualotuña [7], compara dos sistemas de generación de energía, uno solar y otro eólico, para la Isla Baltra en Galápagos, Ecuador, utilizando Homer Pro. Se estableció un consumo energético de 4.99 kWh diarios y una radiación solar promedio de 4.55 kWh/m². El sistema fotovoltaico, aislado de la red, utilizó paneles solares Jinko con costos de 250 USD por kW y 100 USD en O&M. Asimismo, se empleó un inversor SunPower con un costo de 400 USD por kW y 100 USD en O&M, junto con baterías EnerSys PoweSafe valoradas en 350 USD por kW y 100 USD en O&M. Para el análisis, se consideraron una tasa de descuento del 12% y una inflación del 1.9%, con una vida útil del sistema de 25 años. El autor concluyó que el sistema fotovoltaico resultó más económico tanto en inversión inicial como en costos operativos a largo plazo en comparación con el sistema eólico, debido a los menores gastos de mantenimiento.

En el estudio de Ruíz-Altamirano [8], se analizó la viabilidad de tres configuraciones de sistemas solares fotovoltaicos conectados a la red para un comercio de alto consumo en Quimistán, Santa Bárbara, Honduras, empleando Homer Pro evaluando tres escenarios:

1. Un sistema fotovoltaico conectado a la red con respaldo de un generador diésel.
2. Un sistema fotovoltaico conectado a la red con almacenamiento en baterías y respaldo de generador diésel.
3. Un sistema fotovoltaico conectado a la red con respaldo exclusivo de baterías.

El autor concluyó que el segundo escenario fue la opción más rentable, con una relación costo-beneficio de 2.172, un Valor Actual Neto (VAN) de 273,595.25 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 13.42%, un Retorno sobre la Inversión (ROI) del 390.73% y un periodo de recuperación simple de inversión de 10.96 años. El análisis detallado del consumo energético del comercio, con un promedio mensual de 23,182.84 kWh, resaltó la necesidad de soluciones energéticas eficientes y sostenibles. Además, el estudio técnico determinó que la potencia máxima del sistema solar fotovoltaico que puede instalarse en el supermercado Coquín es de 188.1 kWp, debido a las limitaciones del espacio disponible en su techo.

Los sistemas fotovoltaicos generan electricidad a partir de la radiación solar, lo que los convierte en una fuente clave para alimentar equipos eléctricos en zonas alejadas de la red eléctrica o bien ser complementarios en la generación de energía eléctrica y ser conectados a la red de CFE. Además, permiten abastecer de energía a lugares donde la expansión de las líneas de transmisión es inviable, asegurando así el suministro eléctrico en áreas remotas [9]. Es por ello que en el presente trabajo se desarrolló un estudio de viabilidad económica de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica en la región del Istmo de Tehuantepec.

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

A. Descripción de la metodología

A continuación, se describe de manera detallada el procedimiento para la simulación del parque fotovoltaico interconectado a la red eléctrica que consta de las siguientes fases: Ubicación del proyecto, datos del recurso solar, selección de la carga, selección de componentes, conexión a la red eléctrica y parámetros económicos. El diagrama del sistema propuesto se aprecia en la Figura 1.

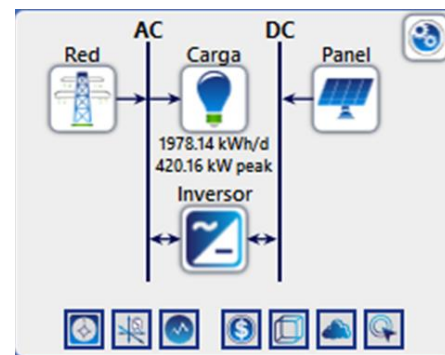


Figura 1.- Diagrama del sistema propuesto

B. Ubicación del proyecto

El proyecto estará ubicado en la Universidad del Istmo Campus Tehuantepec ubicada en la ciudad de Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca. Las coordenadas geográficas son 16°17.3'N y 95°14.5'W como se ve en la Figura 2.



Figura 2.- Ubicación del proyecto

C. Datos del recurso solar

La simulación requiere de una base de datos del recurso solar, Homer Pro brinda la posibilidad de importar una base de datos existente o utilizar datos históricos de la NASA.

Se utilizó la base de datos propuesta por el software donde se obtuvieron datos del índice de claridad, temperatura y radiación promedio diaria ajustándose a 5.63 kWh/m².

D. Selección de la carga

La carga es la cantidad de energía que requiere el establecimiento, su demanda está en función de las horas del día, por lo tanto, se obtiene un perfil de carga diferente de acuerdo a las necesidades.

Para el sistema propuesto se empleó una carga de tipo residencial con un pico de consumo en el mes de junio, las características de consumo se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Características de la carga

Carga del sistema	
Parámetro	Valor
Consumo diario promedio	1,978.14 kWh
Consumo eléctrico anual	\$ 1,155,930.74

E. Selección de componentes

Dada las características del sistema, se requieren únicamente los paneles solares e inversores, para ello se seleccionó componentes genéricos dentro de Homer Pro. Los costos por kW y de O&M se determinaron del reporte anual de la IRENA del 2023 [10] como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2.- Costos de componentes en MXN

Costos por kW de panel e inversor		
Componente	Costo por kW	Costo de O&M
Panel solar	\$15,000.00	\$5,000.00
Inversor	\$4,000.00	\$200.00

Se obtuvo el número de paneles para el parque fotovoltaico considerando el consumo diario promedio y la hora solar pico de la región que fue de 4.5 h. Se requieren 800 paneles de 550 W, los cálculos se realizaron de acuerdo a la ecuación (1).

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{\text{Consumo diario (kWh)}}{\text{HSP} * \text{Potencia del panel (kW)}} \quad (1)$$

F. Conexión a la red

Homer Pro permite simular la red eléctrica solicitando el precio de venta y el precio de compra por kWh, para este análisis corresponde un precio de venta de \$1.6 y \$0.80 pesos para el precio de compra, el cual fue determinado a partir del consumo eléctrico anual.

G. Parámetros económicos

Por último, se introducen los parámetros económicos a la simulación como se observa en la Figura 3.

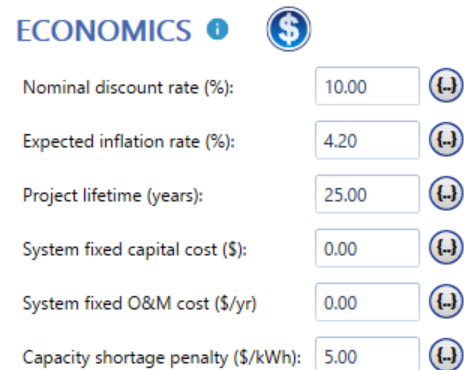


Figura 3.- Parámetros económicos

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos tras la simulación indican que la inversión inicial requerida para el parque fotovoltaico pasa de 8.55 a 45 MDP, este incremento corresponde a los costos de operación y mantenimiento de 2.74 MDP por año durante la vida útil del proyecto. Lo anterior se resume en la Figura 4.

	Base Case
NPC	\$45.0M
Initial Capital	\$8.55M
O&M	\$2.74M/yr
LCOE	\$3.07/kWh

Figura 4.- Resumen de costos

El flujo efectivo del proyecto se aprecia en la Figura 5, el cual muestra la inversión requerida en el año 0, no obstante, en el año 15 termina la vida útil de los inversores por lo que se requiere de una nueva inversión de 1.8 MDP, a partir del año 25 se obtienen ingresos de 0.6 MDP, sin embargo, la vida útil de los paneles solares llega a su fin por lo que la inversión no se recupera.

En adición a lo anterior, la simulación corresponde a un dimensionado limitado a 450 kW, en ella no se determina parámetros económicos como el ROI, IRR y el Simple Payback, por esta razón, se descarta la idea llevar a cabo el proyecto.

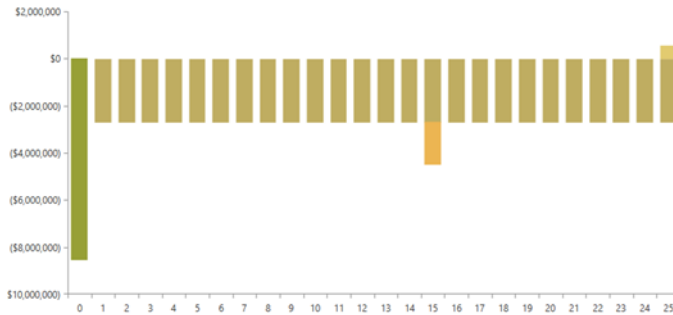


Figura 5.- Flujo de efectivo

Un escenario viable es posible si se emplean los costos recomendados por Escalante-Soberanis para componentes fotovoltaicos de paneles solares e inversores en México utilizando la opción “Homer Optimizer” en Homer Pro. Dichos costos por kW incluyen los gastos por aluminio, cableado e instalación de los mismos [11]. Los costos recomendados se muestran en la Tabla 3

Tabla 3.- Costos recomendados de componentes en MXN

Costos por kW para paneles e inversores	
Tipo	Costo por kW
Panel solar	\$20,000.00
Inversor	\$5,000.00

El sistema propuesto por Homer Pro requiere una capacidad instalada de paneles solares de 173 kW con inversores de 113 kW como se muestra en la Figura 6. Los parámetros económicos permanecieron igual que en el caso anterior.

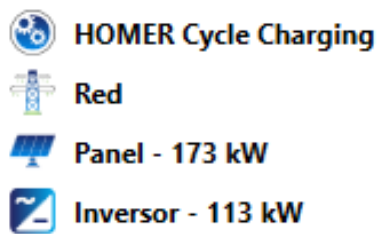


Figura 6.- Sistema optimizado por Homer Pro

De modo que, se obtiene una inversión inicial de 4 MDP para el año 0 y asciende a 14.4 MDP durante la vida útil del sistema fotovoltaico a causa del replazo de los inversores, costos de O&M y compra de energía. Así mismo se obtiene un costo nivelado de energía LCOE de \$1.43 MXN, un IRR del 8% y un ROI de 5.3%, además de una Simple Payback de 10 años como se ilustra en la Figura 7.

IRR	8.0%
ROI	5.3%
Simple Payback	10 yr

Figura 7.- Resultados económicos

Con respecto a los paneles solares, se tiene un factor de capacidad del 18.5% con una producción de 281,175 kWh al año que representa un 36% del total del sistema, el resto se complementa con la compra de energía de la red eléctrica de 493,327 kWh al año. En la Figura 8 se aprecia la producción mensual del sistema.

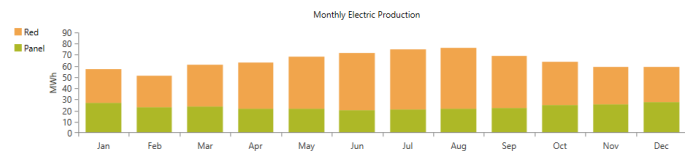


Figura 8.- Producción mensual del sistema

IV. CONCLUSIONES

El proyecto del parque fotovoltaico cumple con el límite de la CRE para centrales de generación de energía, dado que, se requieren de 439.38 kW de capacidad instalada, esto no supera los 0.5 MW establecidos en la Ley de la Industria Eléctrica. Dicho proyecto requiere de 800 paneles de 550 W cada uno, por lo tanto, el dimensionado en la simulación se limitó a 450 kW de capacidad instalada. El parque fotovoltaico no presenta rentabilidad debido a los costos de O&M durante cada año, seguido del remplazo de los inversores para el año 15, a partir del año 25 se empezarían a obtener ingresos, pero la vida útil de los paneles solares termina, por lo que se necesitaría hacer un cambio total, lo cual se traduciría a pérdidas, además de esto, no se determina el ROI, IRR ni el Simple Payback.

Para el segundo escenario propuesto por Homer Pro, éste presenta rentabilidad a los 10 años para un sistema de fotovoltaico de 173 kW de capacidad instalada, a pesar de esto, no es capaz de cubrir la demanda diaria de 1,978.14 kWh para la residencia, por lo tanto, requiere complementarse con la compra de energía de la red pública. En definitiva, la configuración de Homer Pro puede verse como una alternativa a reducir los costos por consumo eléctrico de la red con una rentabilidad a la mitad de su vida útil, sin embargo, puede que diversificando la generación de energía mediante otras tecnologías renovables se presente la rentabilidad deseada para el escenario inicial de 450 kW de potencia instalada.

DECLARACIÓN ÉTICA

La investigación presentada por los autores cumple con principios éticos, respetando la integridad académica y las normativas aplicables. No se identifican conflictos de interés ni vulneraciones a la ética en su desarrollo.

REFERENCIAS

- [1] Rueda N.U., “Descarbonización y Acción Climática,” Cámara Comer. Bogotá, pp. 1–49, 2021.
- [2] Groves D.G. et al., “The Benefits and Costs Of Decarbonizing Costa Rica’s Economy: Informing the Implementation of Costa Rica’s National Decarbonization Plan under Uncertainty,” IDB, pp. 1–9, 2020.
- [3] Fuentevilla J. S., “Diseño Y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico” p. 98, 2012.
- [4] A. J. Martínez-Peralta, B. F. Chere-Quiñónez, L. E. Charcopa-Paz, T. J. Orobio-Arboleda, and C. A. AlcívarVallejo, “Configuración del diseño óptimo de un sistema de energía híbrido solar-eólica conectado a la red utilizando el software HOMER,” *Dominio las Ciencias*, vol. 8, no. 2, pp. 469–479, May 2022, doi: 10.23857/DC.V8I2.2766
- [5] N. R. E. NREL Laboratory, “HOMER. Innovation for our energy future,” NREL, p. 2, 2004 [16]
- [6] Gavidia-Merino A.J. (2023). Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico, en la residencia colina de la cruz de una manera autosustentable mediante la regulación nro. arcernnr-001/2021. Trabajo de fin de grado. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.
- [7] Gualotuña-Gualotuña, A. L. (2024). Análisis comparativo Técnico-Económico de un sistema eólico y solar fotovoltaico a través del Software Homer. Caso de Estudio: Vivienda de 5KWh en la Isla Baltra-Galápagos. Trabajo de fin de grado. Instituto Superior Tecnológico Universitario Rumiñahui. Sangolquí, Ecuador
- [8] Ruíz-Altamirano E. A. (2023). Caso de estudio: costo beneficio de instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica para un comercio de alto consumo en quimistán. Trabajo de fin de grado. Universidad Tecnológica Centroamericana. Santa Bárbara, Honduras.
- [9] Cardozo-Piña A., Prado C., “Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada,” Universidad Nacional Autónoma de México, p. 111, 2008.
- [10] IRENA (2023). Renewable Power Generation Costs in 2023. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [11] Escalante-Soberanis M. (2023, 10 de octubre) Taller “Homer Energy” [Sesión de conferencia] Jornada IER. Mérida Yucatán, México.