

DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO (FOTOVOLTAICO Y BIOMASA) CONECTADO A LA RED EN EL SECTOR LA MOLINA EN QUININDÉ-ESMERALDAS

Design of a hybrid system (photovoltaic and biomass) connected to the grid in the La Molina sector in Quinindé-Esmeraldas

Projeto de um sistema híbrido (fotovoltaico e biomassa) conectado à rede no setor La Molina em Quinindé-Esmeraldas

Alejandro Javier Martínez Peralta*, <https://orcid.org/0000-0003-1176-5001>

Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador

*Autor para correspondencia. email alejandro.martinez@utelvt.edu.ec

Para citar este artículo: Marínez Peralta, A. (2024). Diseño de un sistema híbrido (fotovoltaico y biomasa) conectado a la red en el sector La Molina en Quinindé-Esmeraldas. *Maestro y Sociedad*, 21(4), 2479-2493. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu>

RESUMEN

Introducción: En el presente trabajo de investigación se ha utilizado un modelo de optimización de la microrred para diseñar un sistema de microrred basado en energías renovables: el sistema híbrido solar-biomasa para la electrificación del sector La Molina en Quinindé-Esmeraldas. El objetivo de este trabajo es realizar el modelado y la simulación de un sistema híbrido (fotovoltaico y biomasa) conectado a la red en el sector La Molina Quinindé-Esmeraldas. El sistema híbrido consta de cargas eléctricas, recursos solares, recursos de biomasa y componentes del sistema como la energía solar fotovoltaica, los generadores de biogás, la energía de biomasa, la batería y los convertidores. Se determina la información de entrada sobre las cargas primarias, la disponibilidad de recursos solares y de biomasa, las opciones tecnológicas, el coste de los componentes, las limitaciones y los controles. Materiales y métodos: Se trata de un software que permite el diseño de proyectos de energías renovables, orientados a sistemas híbridos. Con el fin de desarrollar y gestionar adecuadamente este tipo de instalaciones, el Programa de Energías Renovables (PEERR) ha organizado un curso teórico-práctico sobre el uso de HOMER. Resultados: Se realizaron simulaciones horarias con análisis sensibles para calcular la energía de entrada y salida de cada componente y diseñar el sistema basado en energías renovables más favorable. Los resultados optimizados de los sistemas híbridos alternativos basados en energías renovables con diferentes niveles de contribución de los recursos renovables se presentan en este trabajo de investigación dejando en cuenta los costes de la tecnología, la disponibilidad de recursos energéticos y la eficiencia del sistema de energía renovable. Discusión: En esta investigación se analiza el procedimiento sistemático para planificar un sistema híbrido basado en energía fotovoltaica y biomasa y su análisis económico, incluido el cálculo del porcentaje de ahorro y el análisis del periodo de amortización. Proporcionará una solución completa a las zonas remotas que no son accesibles a la red. Conclusiones: Según los resultados de la simulación y la sensibilidad, el sistema con una potencia fotovoltaica de 36.1 kW, cogeneración por biomasa 2 kW un convertidor capacitivo de 3.88 kW, un precio de la energía de red de 0,0449 USD/kWh, y un factor de reducción 3.76% es el sistema más viable desde el punto de vista medioambiental y económico que el sistema actual conectado a la red.

Palabras clave: Energía renovable, sistema híbrido, microrred, optimización, generación de energía.

ABSTRACT

Introduction: In this research work, a microgrid optimization model has been used to design a microgrid system based on renewable energies: the hybrid solar-biomass system for the electrification of the La Molina sector in Quinindé-Esmeraldas. The objective of this work is to model and simulate a hybrid system (photovoltaic and biomass) connected to the grid in the La Molina Quinindé-Esmeraldas sector. The hybrid system consists of electrical loads, solar resources, biomass resources and system components such as solar photovoltaic energy, biogas generators, biomass energy, battery and converters. Input information on primary loads, availability of solar and biomass resources, technological options, component cost, constraints

and controls is determined. Materials and methods: This is a software that allows the design of renewable energy projects, oriented to hybrid systems. In order to properly develop and manage such installations, the Renewable Energy Program (PEERR) has organized a theoretical-practical course on the use of HOMER. Results: Hourly simulations with sensitive analysis were performed to calculate the input and output energy of each component and design the most favorable renewable energy-based system. The optimized results of alternative renewable energy-based hybrid systems with different levels of contribution from renewable resources are presented in this research paper taking into account the technology costs, energy resource availability and efficiency of the renewable energy system. Discussion: This research analyzes the systematic procedure for planning a hybrid system based on photovoltaic energy and biomass and its economic analysis, including the calculation of the savings percentage and the analysis of the payback period. It will provide a complete solution to remote areas that are not accessible to the grid. Conclusions: According to the simulation and sensitivity results, the system with 36.1 kW PV power, 2 kW biomass cogeneration, 3.88 kW capacitive converter, 0.0449 USD/kWh grid power price, and 3.76% reduction factor is the most environmentally and economically viable system than the current grid-connected system.

Keywords: Renewable energy, hybrid system, microgrid, optimization, power generation.

RESUMO

Introdução: Neste trabalho de pesquisa, um modelo de otimização de microrrede foi utilizado para projetar um sistema de microrrede baseado em energias renováveis: o sistema híbrido solar-biomassa para a eletrificação do setor La Molina em Quinindé-Esmeraldas. O objetivo deste trabalho é modelar e simular um sistema híbrido (fotovoltaico e biomassa) conectado à rede no setor La Molina Quinindé-Esmeraldas. O sistema híbrido é composto por cargas elétricas, recursos solares, recursos de biomassa e componentes do sistema, como energia solar fotovoltaica, geradores de biogás, energia de biomassa, baterias e conversores. São determinadas informações de entrada sobre cargas primárias, disponibilidade de recursos solares e de biomassa, opções de tecnologia, custos de componentes, restrições e controles. Materiais e métodos: Trata-se de um software que permite o desenho de projetos de energias renováveis, orientados para sistemas híbridos. Para desenvolver e gerir adequadamente este tipo de instalação, o Programa de Energias Renováveis (PEERR) organizou um curso teórico-prático sobre a utilização do HOMER. Resultados: Simulações horárias com análise sensível foram realizadas para calcular a energia de entrada e saída de cada componente e projetar o sistema baseado em energia renovável mais favorável. Os resultados otimizados de sistemas híbridos alternativos baseados em energia renovável com diferentes níveis de contribuição de recursos renováveis são apresentados neste artigo de pesquisa levando em consideração os custos da tecnologia, a disponibilidade de recursos energéticos e a eficiência do sistema de energia renovável. Discussão: Esta pesquisa analisa o procedimento sistemático de planejamento de um sistema híbrido baseado em energia fotovoltaica e biomassa e sua análise econômica, incluindo o cálculo do percentual de economia e a análise do período de retorno do investimento. Ele fornecerá uma solução completa para áreas remotas que não são acessíveis à rede. Conclusões: De acordo com os resultados da simulação e da sensibilidade, o sistema com uma potência fotovoltaica de 36,1 kW, cogeração de biomassa de 2 kW, um conversor capacitivo de 3,88 kW, um preço de energia da rede de 0,0449 USD/kWh e um fator de redução de 3,76%. é o sistema mais viável ambientalmente e economicamente do que o atual sistema conectado à rede.

Palavras-chave: Energia renovável, sistema híbrido, microrrede, otimização, geração de energia.

Recibido: 9/7/2024 Aprobado: 24/9/2024

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de microrredes son sistemas energéticos controlados a nivel local que emplean diferentes tipos de recursos energéticos renovables (solar, eólica, biomasa, hidráulica, oceánica), generadores de energía (diésel, gasolina, biogás, biodiésel), sistemas de almacenamiento de energía (baterías, volante de inercia, hidrógeno, térmica), cargas (residenciales, comerciales e industriales) y equipos de control (inversores y convertidores) (Mitrofanov *et al.*, 2021).

Un sistema eléctrico de microrred puede estar conectado a la red pública (sincronizado con la red centralizada tradicional) o puede funcionar por separado fuera de la red (desconectado de la red y funcionando de forma autónoma). Las ventajas de utilizar microrredes controladas localmente son la reducción del consumo energético global y del impacto medioambiental, la mejora de la eficiencia energética, la fiabilidad del suministro eléctrico, la reducción de las pérdidas de transmisión, el control de la tensión y la seguridad del suministro eléctrico. Si se produce una emergencia con cortes prolongados (provocados por fuertes tempestades o desastres naturales), el sistema de microrredes puede proporcionar respaldo a la red y ser más independiente energéticamente de ella (Cataño & Leal Juan, 2018). Se ha demostrado que los sistemas híbridos de energía pueden reducir de manera significativa el coste total de la energía producida, al tiempo que proporcionan un suministro más fiable de electricidad mediante la combinación de la energía eléctrica

constituye uno de los factores cruciales en el desarrollo económico y tecnológico de la sociedad actual (Ahmad *et al.*, 2018).

Cada año, la demanda de energía eléctrica crece rápidamente en todo el mundo. La producción de energía eléctrica suele depender de los combustibles fósiles. Como resultado, aumentan las emisiones de CO₂, que no son saludables para el medio ambiente. Con objeto de reducir las emisiones de CO₂ y también de satisfacer las necesidades de generación de electricidad deberíamos adoptar las energías renovables mediante el uso de sistemas híbridos. Las tecnologías de energías renovables para la producción de electricidad son adecuadas para zonas remotas y rurales. Por lo que el uso de sistemas híbridos autónomos que utilizan energías renovables para producir energía resulta más económico en zonas remotas (Al-Najjar *et al.*, 2022). Sin embargo, resulta económico utilizar sistemas híbridos de energía solar y biomasa, especialmente en zonas rurales y remotas, siempre que se disponga de biomasa durante todo el año. En la mayoría de las zonas remotas, el estiércol, los restos de cosechas y otros residuos de cultivos están disponibles libremente. La principal utilidad de este sistema es que requiere menos costes de mantenimiento y es saludable para el medio ambiente. Por lo general, este tipo de sistema es compatible con la generación distribuida y se conecta a microrredes.

El aumento de la población y el uso de nuevas tecnologías han provocado un incremento de la demanda de energía eléctrica, conllevando a mayores emisiones de gases de efecto invernadero (de ahora en adelante GEI), acelerando el cambio climático y a la vez repercutiendo en la economía de la población. La dificultad en el dimensionamiento técnico de un sistema es debido a la intermitencia de las variables meteorológicas, para asegurar la confiabilidad del sistema es necesario combinar más de una fuente de energía renovable, a este tipo de nuevo sistema se lo conoce como sistema híbrido, adicional consta con subsistemas de almacenamiento de energía que funcionan como almacenamiento. Cuando la producción de energía es mayor que la demanda, el exceso de energía se almacena en las baterías, cuando la demanda es mayor que la generación las baterías cumplen la función de generador, esto es debido a las horas de funcionamiento nocturno del sistema o al cambio brusco de alguna variable meteorológica.

Conseguir el modelamiento óptimo de un sistema híbrido donde se asegure la fiabilidad y constancia del suministro a un coste reducido del precio del kWh de energía es una tarea compleja, el correcto dimensionamiento es de suma importancia a la hora de la puesta en marcha del sistema de forma autónoma o sin conexión a la red convencional, el dimensionamiento óptimo asegura el menor precio de la energía con el funcionamiento del mismo en el sistema híbrido (fotovoltaica y biomasa) conectado a la red en el sector La Molina en Quinindé-Esmeraldas.

Actualmente, las redes eléctricas representan un costo importante en los proyectos de repotenciación de redes, razón por la cual se han propuesto realizar modificaciones en estos sistemas con el fin de compensar la demanda de suministro en las horas pico, esto se hace en busca de mitigar la inestabilidad de la red durante el periodo de tiempo con mayor consumo. La utilización de energías renovables cada vez va en aumento, por ello se están implementando nuevos proyectos tomando en cuenta el cuidado del medio ambiente, es así que, desde un punto de vista teórico, se considera a los sistemas híbridos fotovoltaicos y biomasa como fuente de energía renovable.

Con este proyecto se busca presentar una opción de sistema energético amigable con el medio ambiente, donde además se propone optimizar el costo de inversión en repotenciación y mejoras técnicas del sistema de distribución, con lo cual se pretende beneficiar a la población del sector Molina tanto por su futuro crecimiento poblacional como para satisfacer la demanda actual de distribución eléctrica en horas pico. Igualmente, se plantea un beneficio metodológico que se obtendrá a través de este proyecto, de forma tal que se dispondrá de un modelo de estudio vigente para futuros proyectos de ejecución la integración de sistemas híbridos en el sistema de red activa en este sector, aportando así a su vez en el estudio sobre el uso de energías renovables y su contribución al progreso de las mismas. El objetivo de este trabajo es realizar el modelado y la simulación de un sistema híbrido (fotovoltaico y biomasa) conectado a la red en el sector La Molina Quinindé-Esmeraldas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Software Homer

Se trata de un software que permite el diseño de proyectos de energías renovables, orientados a sistemas híbridos. Con el fin de desarrollar y gestionar adecuadamente este tipo de instalaciones, el Programa de Energías Renovables (PEERR) ha organizado un curso teórico-práctico sobre el uso de HOMER.



Figura 1. Captura de Pantalla de HOMER Pro

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Diseño y análisis del sistema

Para calcular la viabilidad de este sistema híbrido de generación de energía conectado a la red, HOMER se utiliza para comparar las diferentes combinaciones de configuraciones de estos 3 componentes principales para satisfacer los requisitos de la carga demandada y lograr el VAN y el COE más bajos para el sistema propuesto con el fin de reducir el coste operativo. Para conseguir este objetivo, se utiliza la función de espacio de búsqueda en HOMER, en la que se proporciona a HOMER los tamaños disponibles en el mercado tanto para el generador de biomasa como para la planta fotovoltaica, además de la capacidad disponible de intercambio de energía con la red nacional a través de la línea aérea de transmisión, para comparar entre las diferentes configuraciones y encontrar la configuración y el tamaño más óptimos que cumplan los requisitos de carga. La modelización de estos componentes en HOMER será la siguiente.

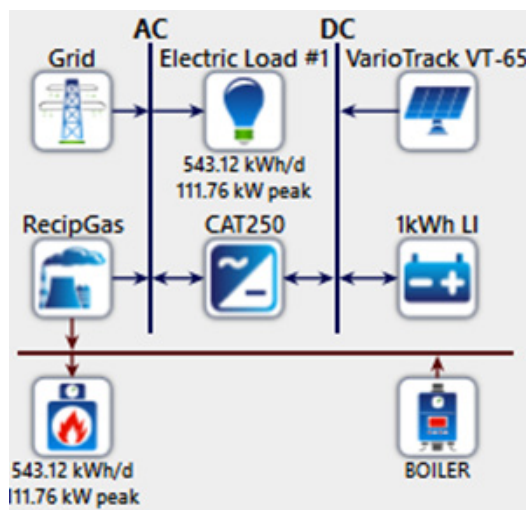


Figura 2. Sistema híbrido de generación de energía conectado a la red

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Evaluación de los recursos accesibles

Se considera en este caso un sistema de generación de energía fotovoltaica y de biomasa conectado a la red. Por lo tanto, los datos disponibles ofrecen la evaluación completa de los recursos energéticos existentes, como la biomasa y la energía solar, que se ilustra a continuación:

Sistemas híbridos

La combinación de un sistema fotovoltaico y un generador de biomasa es una de las mejores opciones y una de las varias soluciones para la electrificación del sector de Molina. El sistema analizado consta de sistema fotovoltaico, banco de baterías, generadores de biomasa, un controlador de carga y un convertidor DC/CA. A

la hora de diseñar y dimensionar el sistema, debe considerarse como un sistema autónomo. Esta restricción conduce a un número infinito de posibles configuraciones del sistema. Se ha considerado 9 residencias (casas) que se encuentra situadas en el sector de Molina, la parroquia Quinindé, Provincia Esmeraldas (Figura 3). Se ha seleccionado el sector de Molina porque presenta condiciones climáticas distintas en cuanto a la disponibilidad de energía solar. La Tabla 1 muestra la insolación horizontal media. Como nos interesa analizar la influencia de las condiciones climáticas, fijamos el perfil de carga para el campus.

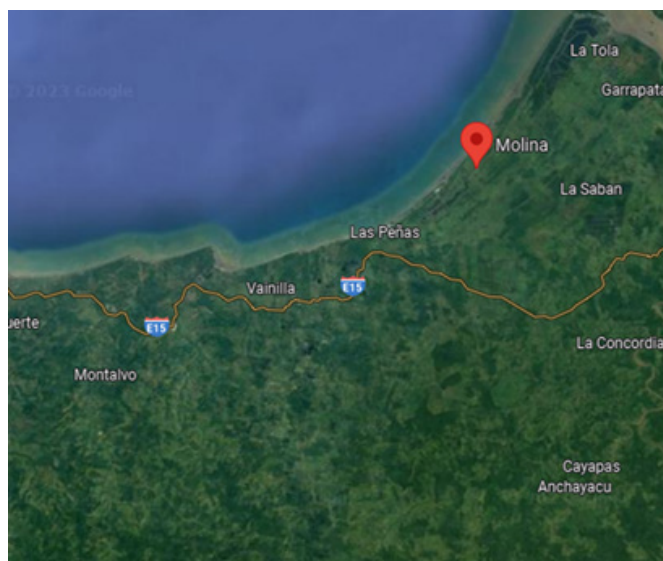


Figura 3. Localización Sector La Molina en Quinindé-Esmeraldas

Fuente: Google Maps (2023)

Tabla 1. Irradiancia Solar Global Horizontal Media Mensual

Meses	Índice de claridad	Radiación diaria Kwh/m2/día
Enero	0.445	4.420
Febrero	0.468	4.820
Marzo	0.531	5.570
Abril	0.520	5.330
Mayo	0.510	4.980
Junio	0.478	4.510
Julio	0.510	4.870
Agosto	0.511	5.100
Septiembre	0.485	5.010
Octubre	0.504	5.190
Noviembre	0.502	5.010
Diciembre	0.470	4.590

La información del recurso solar que se introduce en el programa es la radiación horizontal global media medida a intervalos de 10 minutos a lo largo de los dos años. Junto a los datos del recurso solar, también se utilizarán como datos de entrada la latitud y la longitud de esta zona. La franja horaria es otro parámetro a ajustar. El sector La Molina se encuentra en la latitud: 1°8.9'N, longitud: 79°6.1'W, y con huso horario de GMT +5:00. La radiación solar anual disponible en el sitio de estudio es de 4.95 Kwh/m2/año utilizando HOMER.

HOMER evalúa la potencia de la instalación fotovoltaica durante el año por horas y emplea el valor de la latitud para calcular la radiación media diaria a partir del índice de luminosidad y a la inversa. La insolación solar media diaria anual en esta zona es de 5570 Kwh/m2/día. La eficiencia del sistema fotovoltaico no es un dato HOMER, porque el programa no designa el tamaño del sistema fotovoltaico en m2, sino en kW de capacidad nominal. La capacidad nominal es la cantidad de energía que obtiene el módulo FV en condiciones STC y se tiene en cuenta la eficiencia del panel. Al manejar la capacidad nominal, HOMER no tiene que tratar con la eficiencia, ya que dos módulos con diferentes eficiencias (y la misma superficie) tendrían diferentes tamaños.



Figura 4. Irradiación solar

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Los datos del recurso solar se descargaron el 15/03/2023 14:42:40 de la base de datos National Renewable Energy Lab National Solar Radiation Data base:

- Número de celda: 408131
- Dimensiones de la célula: 40km*40km
- Latitud del punto medio de la célula: 17.012
- Longitud del punto medio de la célula: 81.859
- Radiación media anual: 4.95 Kwh/m2/año.

La Temperatura Ambiente

Se tiene en cuenta la temperatura del aire en el lugar considerado. Afecta significativamente a las características de producción del sistema fotovoltaico. En la Figura 5 se muestra la temperatura media mensual del aire, que oscila entre 24.230 C y 24.800 C, con una media anual de 24,64 C. La temperatura ambiente es superior al valor medio en los meses de abril a octubre, y el valor más alto se registra en julio. El resto de los meses presentan un valor medio bajo, con el valor medio más bajo en enero.

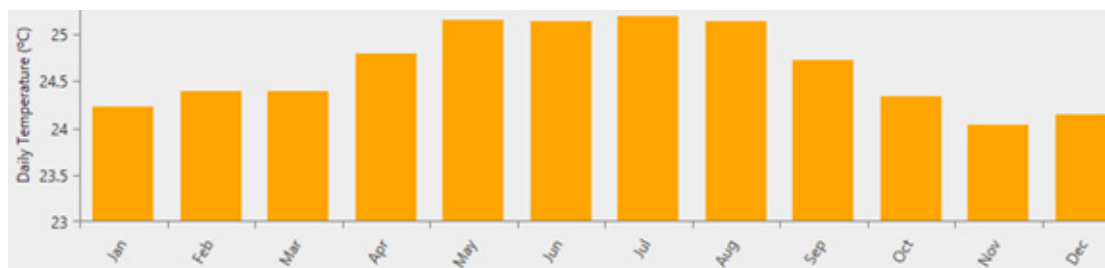


Figura 5. Los Datos de Temperatura Media Mensual

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Datos sobre la Velocidad del Viento

La velocidad media anual del viento disponible en la ubicación del estudio es de 3,72 m/s utilizando HOMER basándose en la entrada de coordenadas del proyecto. Los datos de velocidad hallados por HOMER se presentan en la Figura 6.

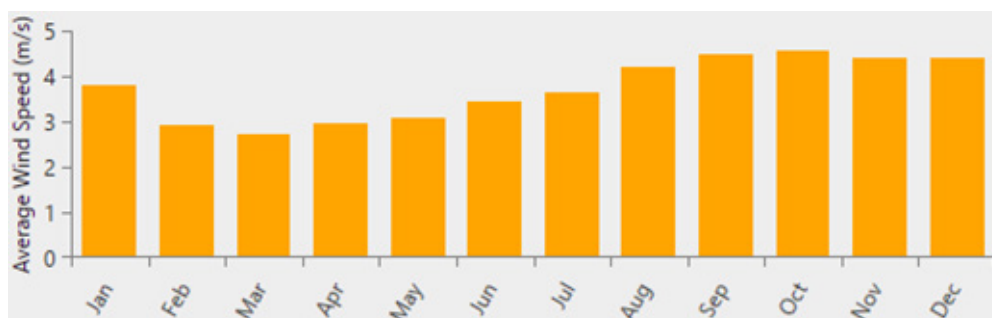


Figura 6. Promedio Mensual de Datos de Viento

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Perfiles por Carga del Lugar

Para este estudio se ha considerado la carga que consumen los habitantes del sector La Molina, según los datos de las cargas recogidas, el consumo diario de electricidad, fueron 10 viviendas tal como se muestra en la Tabla 2. A las cargas restantes se las suministraba únicamente a través de la red eléctrica.

Tabla 2. Consumo de Energía Promedio Diario

Consumo eléctrico de las residencias año 2023	Febrero (kWh)	Marzo (kWh)	Abril (kWh)	Mayo (kWh)	Junio (kWh)	Julio (kWh)	Agosto (kWh)	Septiembre (kWh)	Octubre (kWh)
1	86	93	103	110	97	89	98	108	124
2	115	116	87	116	118	117	119	110	118
3	118	115	118	114	118	116	114	107	119
4	115	119	115	115	119	116	118	108	118
5	85	93	103	111	94	90	97	102	120
6	114	113	114	113	113	114	117	101	117
7	118	118	120	117	120	118	115	111	115
8	87	95	107	113	98	87	93	107	109
9	113	115	91	115	114	115	114	108	119
10	86	93	103	110	98	87	90	116	117
TOTALES	1037	1070	1061	1134	1089	1049	1075	1078	1176

Fuente: (Autor)

Datos de Carga

La carga eléctrica es el extremo del consumo del sistema eléctrico que los proveedores de energía necesitan extraer. La estimación de la carga es lo más importante para el diseño óptimo de cualquier sistema eléctrico y evitar un diseño excesivo que aumente el coste del sistema o un diseño insuficiente que provoque apagones. El perfil de carga se representa en la Figura 7, que muestra un elevado consumo eléctrico en los meses de abril a septiembre. Esto se debe principalmente a la abundancia de actividades de riego en verano, cuando el clima favorece el cultivo de la mayoría de plantas, como cosechas y hortalizas.

El perfil de carga investigado se modifica en el modelo HOMER Pro, definiendo un perfil de demanda media diaria con una variabilidad aleatoria del 10% diario y del 15% horario. La demanda media diaria de energía eléctrica fue de 279,51 kWh/d y el valor máximo de carga durante el día fue de 11,65 kW. Las variaciones horarias, estacionales y anuales de la carga eléctrica de las residencias se presentan en la Figura 8.

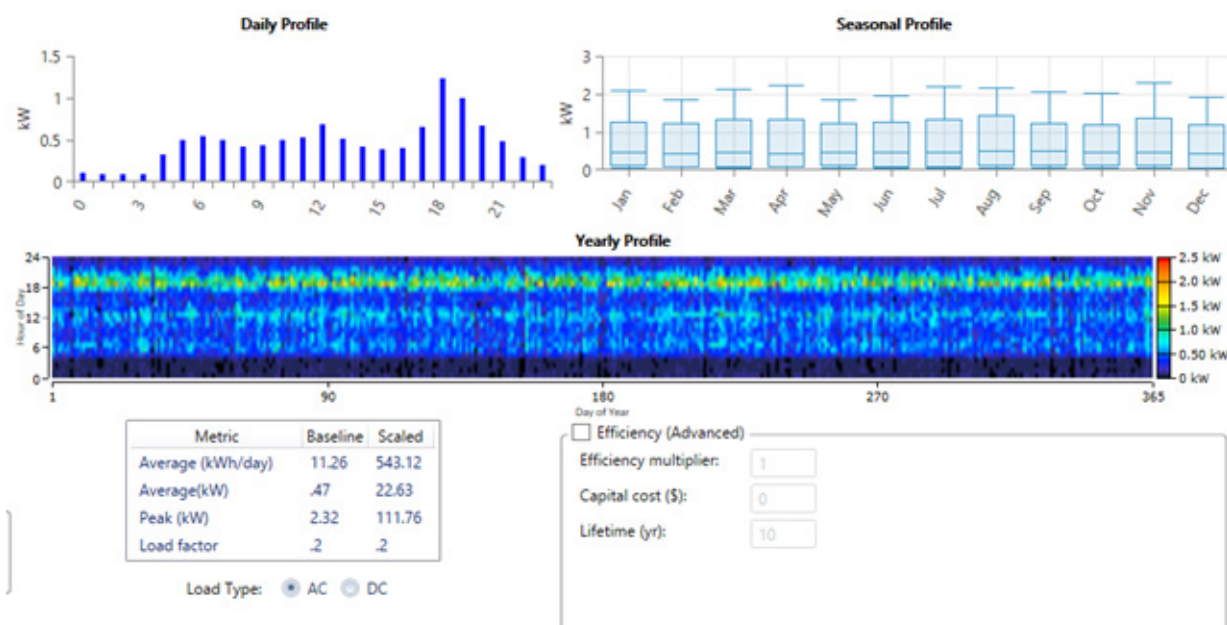


Figura 7. Perfil de Carga Horaria por HOMER Pro

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

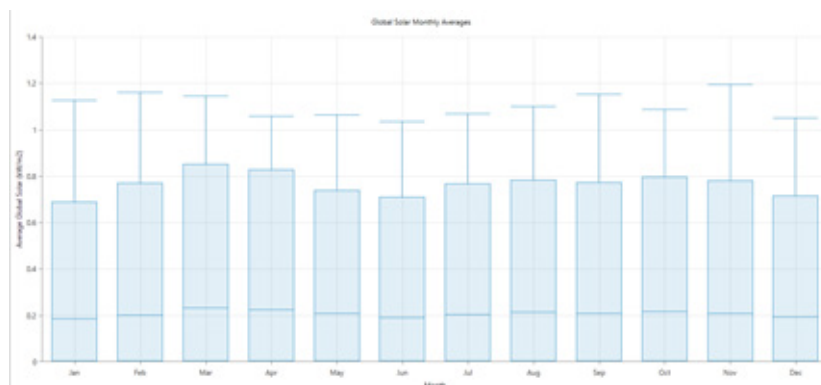


Figura 8. Perfil de Carga Media Mensual del del Sector La Molina

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Optimización del Tamaño y los Costes

Directamente con la tecnología de componentes seleccionada en la biblioteca del software HOMER, hay que introducir la carga eléctrica en la herramienta de modelización. Se introduce la carga primaria a partir de datos de 24 horas y, a continuación, el software modela una carga máxima. Por otra parte, sintetiza la carga mensual a partir de una entrada de datos de 24 horas. La demanda de la carga está a punto de aumentar de las 6:00 a las 9:00 horas. Aproximadamente a la hora de comer, es decir, de 12:00 a 14:00, hay una mayor demanda a la hora de cenar, sin embargo, la hora punta es de 18:00 a 22:00 de la noche. En la Figura 9 se presenta el perfil de carga horaria de la zona de estudio.



Figura 9. Perfil Diario de la Carga Para Todos los Meses

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Evaluación de los recursos de biomasa

La biomasa se considera uno de los recursos energéticos más importantes, ya que contiene una gran variedad de combustibles con diferentes composiciones químicas y propiedades de combustión. Su consumo es vital desde el punto de vista energético y medioambiental. Las fuentes de energía renovables, incluyendo la biomasa (fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agropecuarias, industriales y municipales) contribuyen de manera directa a la reducción del uso de combustibles fósiles, a la diversificación de la matriz energética y, sobre todo, a la mitigación de los gases de efecto invernadero. La biomasa, por sus características, puede ser considerada como un elemento dinamizador en el marco de la economía circular. En Ecuador, la principal fuente para la biomasa proviene del banano, arroz, cacao, caña de azúcar, maíz, palma africana, piña, café, palmito y plátano, incluyendo los residuos de tres actividades pecuarias (avícola, porcina y vacuna).

La energía de la biomasa

La biomasa es la cantidad de materia viva en un determinado hábitat, expresada como el peso de organismos por unidad de superficie. El biogás es una mezcla de gases generalmente dióxido de carbono y metano. Es producido

por microorganismos, especialmente en ausencia de oxígeno. Este proceso se denomina proceso anaeróbico. El biogás también puede desarrollarse en el fondo de los lagos donde la materia orgánica en descomposición se acumula en condiciones húmedas y condiciones anaeróbicas. Y el biodiésel se fabrica a partir de aceites vegetales y grasas animales. La escala media anual Biomasa disponible en el lugar de estudio es de 5,09 (t/d) utilizando HOMER. El principal factor para elegir este tipo de sistema híbrido basado en la biomasa es que en las aldeas de zonas remotas es fácil y económico conseguirla en forma de estiércol de vaca, búfalo, cabra, etc. Durante los días nublados, la producción total de electricidad puede depender de la biomasa.

Tabla 3. Media mensual Datos de biomasa disponibles

Meses	Biomasa disponible (toneladas/día)
Enero	4.234
Febrero	4.457
Marzo	3.572
Abril	4.648
Mayo	5.180
Junio	5.008
Julio	6.123
Agosto	5.670
Septiembre	4.890
Octubre	6.320
Noviembre	5.987
Diciembre	4.234



Figura 10. Los Datos de Biomasa disponible (t/d) Media Mensual

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Economía del Sistema

Una vez introducidos los datos de los recursos y los componentes, HOMER Pro clasifica todos los resultados de la optimización en función de sus costes actuales netos totales (NPC). El NPC se analiza con la ayuda de la siguiente ecuación (Suresh *et al.*, 2020):

$$NPC = \frac{C_T}{CRF(i, N)}$$

Donde C_T es el coste total anualizado (\$/año), i es el tipo de interés real anual (%), N es la vida útil del proyecto (años), y CRF es el capital invertido. que en este estudio es de 25 años de capital. El CRF se calcula mediante la siguiente ecuación (Suresh *et al.*, 2020):

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

El tipo de interés real anual se calcula a partir del tipo de interés nominal y la tasa de inflación utilizando la siguiente ecuación:

$$i = \frac{i_n - f}{1 + f}$$

Donde

i : es el tipo de interés nominal (%), y

F: es la tasa de inflación anual (%).

En este estudio, se toma un 12,75% de tipo de interés nominal y una tasa de inflación anual del 10,84%. Con la ecuación anterior el tipo de interés real es del 1,72% (Podder et al., 2018).

El coste estabilizado de la energía (COE) es el coste por kWh de la central eléctrica en un supuesto ciclo de trabajo y se calcula de la siguiente manera:

$$COE = \frac{c^T}{E_P + E_d + E_{gs}}$$

Donde:

E_P: es la cantidad total de carga primaria a la que el sistema da servicio al año (kWh/año),

E_d: es la cantidad total de carga aplazable a la que el sistema da servicio al año (kWh/año) y

E_{gs}: es la cantidad de energía vendida a la red al año (kWh/año) de energía vendida a la red al año (kWh/año) (Podder *et al.*, 2018).

Estudio económico

El objetivo de realizar una inversión en una instalación solar fotovoltaica es consumir menos energía de la red y utilizar energía propia, por eso es fundamental conocer la rentabilidad de la instalación y comprobar que se va a rentabilizar la inversión. Lo primero que se hará para ello será elaborar un presupuesto para saber cuánto dinero se ha destinado a la instalación y después se realizará un estudio de rentabilidad utilizando los métodos VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno).

Tarifa Eléctrica en el Ecuador

El Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), mediante resolución ARCERNNR-009/2022 del 14 de abril, determinó que la tarifa nacional promedio del servicio eléctrico se mantenga en 9, 2 centavos de dólar por cada Kilovatio-hora (€USD/kWh). Es decir, no existirá ninguna variación en el precio final del servicio para el consumidor (ARCERNNR-009/2022, 2022). La Agencia efectuó los estudios técnicos-económicos, en coordinación con el ente rector del sector el Ministerio de Energía y Minas, para la aplicación de esta resolución.

Desde el año 2020, se ha mantenido el precio de 9,2 €USD/kW, para más de 5' 505. 033 usuarios del servicio de energía. Cabe destacar también que, el Directorio aprobó el Pliego Tarifario para el Servicio de Carga de Energía para vehículos eléctricos mediante la resolución ARCERNNR-011/2022, en función de la política gubernamental dispuesta en el Decreto Ejecutivo N° 238, que establece fomentar un modelo de desarrollo del sector eléctrico con la participación de las empresas públicas, de capital mixto y privado. Con esta planificación, los proveedores del servicio de carga sabrán los valores máximos que podrán cobrar al usuario (ARCERNNR-011/2022, 2022).

RESULTADOS

El objetivo es optimizar los resultados de los análisis descritos anteriormente. En primer lugar, se analizan los resultados de la optimización se analizan en primer lugar, seguidos de la descripción de los resultados de los análisis de sensibilidad.

Resultados de la Simulación

En la Figura 11 se muestran con detalle los resultados de la optimización de un sistema eléctrico híbrido seleccionado.

Architecture				Cost				System		Compare Economics			
VarioTrack VT-65 (kW)	VarioTrack VT-65-MPPT (kW)	RecipGar (kW)	1kWh LI	Grid (kW)	CAT250 (kW)	NPC (\$)	COE (\$)	Operating cost (\$/yr)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	IRR (%)	Simple Payback (yr)	Hours
37.8	4.00	2.00		999.999	3.80	\$152.907	\$0.0449	\$19.403	\$730.74	3.78	34	3.0	8.753
36.1	4.00	2.00	1	999.999	3.88	\$152.927	\$0.0449	\$19.406	\$719.82	3.76			8.753
		2.00		999.999		\$158.074	\$0.0482	\$20.145	\$75.00	0			8.753
		2.00	4	999.999	0.875	\$158.159	\$0.0482	\$20.147	\$143.13	0.000684			8.753

Figura 11. Resultado Optimizado Categorizado por HOMER

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Producción de Electricidad

La producción total de electricidad del sistema híbrido conectado a la red que proponemos (fotovoltaica y biomasa) se obtiene a partir de la fotovoltaica, la biomasa y la red, donde la fotovoltaica, la biomasa y la red proporcionan el 7,92%, el 8,78% y el 83,3%, respectivamente, sin que exista exceso de capacidad y con un excedente de electricidad del 23,7%. La Tabla 4, 5, 6, 7 y la Figura 12 indican la generación eléctrica media mensual y anual del sistema híbrido conectado a la red.

La conservación de la red depende de la configuración del sistema. Mediante la simulación en el software HOMER Pro es posible determinar la cantidad de electricidad que puede comprarse a la red o suministrarse a la compañía eléctrica. Los costes operativos netos anuales y las tarifas energéticas de nuestro sistema propuesto revelan que el coste neto anual de las compras de energía es de 165.809 kWh, donde el coste neto anual de las compras a la red es de 165.780 kWh y el de las ventas a la red es de 28,3 kWh. Ocasionalmente, la red vende un excedente de electricidad durante el día debido a la importante producción solar fotovoltaica, a la cogeneración con energía de biomasa y a factores estacionales que hacen que la potencia vendida a la red sea ligeramente inferior de abril a octubre, tal y como se muestra en la Tabla 8 así como en la Figura 12.

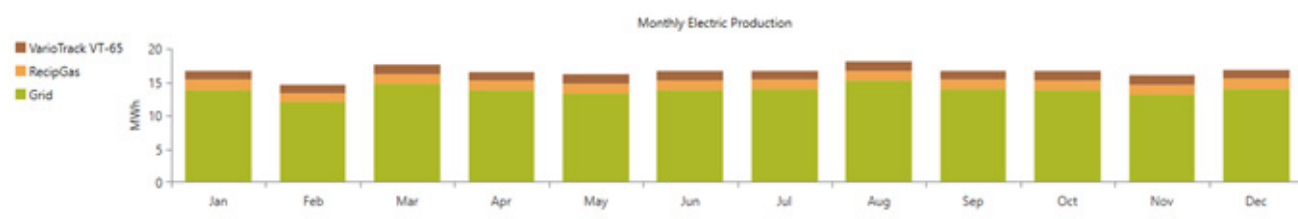


Figura 12. Producción Media Mensual de Electricidad del Sistema

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Tabla 4. Producción por KWh/año de Electricidad del Sistema

Producción	KWh/año	%
Studer VarioTrack VT-65 with Generic PV	15,765	7.92
Generic Gas Recip Genset with CHP (size-your-own)	17,482	8.78
Compras a la red	165,809	83.3
Total	199,055	100

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Consumo por KWh/año de Electricidad del Sistema

En función de los componentes del sistema seleccionados, la tabla de consumo contiene información variable. En ella se enumera la cantidad total de energía eléctrica destinada a servir a cada una de las cargas eléctricas del sistema. Los valores siguientes aparecen en esta tabla cuando son aplicables.

Carga primaria AC servida: El consumo de energía utilizado para dar servicio a las cargas primarias de CA es de 198.239 KWh/año, lo que representa el 100% de la carga servida.

Carga primaria DC servida: La cantidad de energía utilizada para suministrar a las cargas primarias de DC que tiene un valor en 0 KWh/año.

Carga diferible servida: La cantidad de energía utilizada para el servicio del consumo aplazable, que en este caso es de 0 KWh/año.

Ventas a la red: Cantidad total de electricidad vendida a la red durante el año es de 28.3 KWh/año dando así 0.0143% de electricidad vendida a la red.

Carga total servida: La cantidad total de carga eléctrica servida durante el año es de 198,267KWh/año.

Tabla 5. Consumo por KWh/año de Electricidad del Sistema

Consumo	KWh/año	%
Carga primaria de AC	198,239	100
Carga primaria de DC	0	0
Carga diferible	0	0
Ventas de red	28.3	0.0143
Total	198,267	100

Fuente: Elaborado con Homer (2023). Nota: La producción total puede superar la suma del consumo total y el exceso de electricidad debido a las pérdidas en el

Exceso y Escasez

La siguiente tabla define los valores de la primera tabla de Cantidades.

Tabla 6. Exceso y Escasez

Cantidad	KWh/año	%
Exceso de electricidad	47,260	23.7
Carga eléctrica insatisfecha	0	0
Escasez de capacidad	0	0

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Otras Salidas

La siguiente tabla describe las variables de la segunda tabla de Cantidades.

Fracción Renovable: La fracción de la producción eléctrica total que es producida por fuentes renovables tiene un valor de 3.80 por unidades.

Penetración Renovable Máxima: El valor máximo de la penetración renovable que se produce a lo largo del año es su valor 105 por unidades.

Tabla 7. Otras Salidas

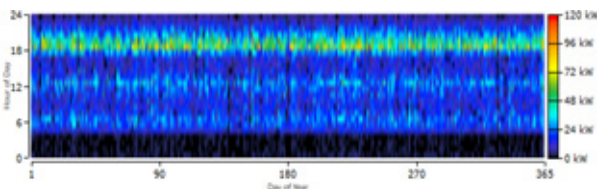
Cantidad	Valor	Unidades
Fracción renovable	3.80	%
Máx. Renovar. Penetración	105	%

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

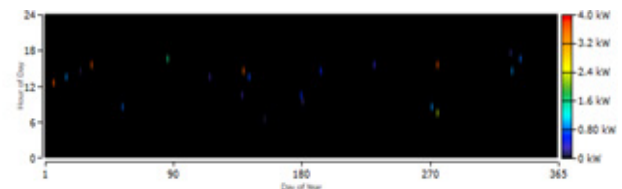
Tabla 8. Operación Anual en Red del Sistema Propuesto

Mes	Energía Comprada (KWh)	Energía Vendida (KWh)	Energía Neta Comprada (KWh)	Carga Máxima (KW)	Tasa Energética US\$	Cargo Por Demanda US\$
Enero	13,857	5	13,852	99	\$692.62	\$0
Febrero	12,053	5	12,048	88	\$602.39	\$0
Marzo	14,730	2	14,728	101	\$736.40	\$0
Abril	13,824	0	13,824	107	\$691.21	\$0
Mayo	13,357	5	13,352	89	\$667.60	\$0
Junio	13,861	0	13,861	93	\$693.06	\$0
Julio	13,903	2	13,901	104	\$695.06	\$0
Agosto	15,225	1	15,225	102	\$761.23	\$0
Septiembre	13,984	0	13,984	98	\$699.21	\$0
Octubre	13,795	7	13,788	96	\$689.39	\$0
Noviembre	13,207	1	13,206	110	\$660.30	\$0
Diciembre	14,011	1	14,011	92	\$700.53	\$0
Anual	165,809	28	165,780	110	\$8,289.01	\$0

Fuente: Elaborado con Homer (2023)



Energía comprada a la red



Energía vendida a la red

Figura 13. Energía Comprada y Suministrada a la Red

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Análisis de Emisiones

El sistema híbrido (fotovoltaico y biomasa) conectado a la red es mucho más respetuoso con el medio ambiente que los actuales sistemas de generador diésel y de conexión a la red. Dado que la energía que

se obtiene del sistema híbrido proporciona una cantidad sustancial de energía, se puede reducir la tasa de combustión de combustible, lo que se traduce en una menor tasa de emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En la Tabla 9 se muestran las emisiones de tres configuraciones de sistemas alternativos para el sector La Molina. Indica que la integración de fuentes de energía renovables en la red reduce las emisiones de gases de efecto invernadero anualmente. Así pues, aunque el sistema solar fotovoltaico conectado a la red propuesto implica cierta combustión de combustible en el proceso de generación de energía, se trata de una tecnología más limpia y beneficiosa para el medio ambiente.

Tabla 9. Emisiones de Diferentes Modelos

Componentes	Cantidad (kg/año)
(Sistema conectado a la red)	
Dióxido de carbono	186,913
Monóxido de carbono	30.0
Hidrocarburos no quemados	0
Partículas en suspensión	0.845
Dióxido de azufre	707
Óxidos de nitrógeno	285

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Estudio Económico Indicadores Económicos

A continuación, se muestran los indicadores económicos que representan el valor de la diferencia entre los dos sistemas.

La tasa interna de rentabilidad (IRR O TIR) es la tasa de descuento a la que el caso base y el sistema actual tienen el mismo costo neto actual. El software HOMER Pro, calcula el TIR determinando la tasa de descuento que hace que el valor actual de la diferencia de las dos secuencias de flujos de caja sea igual a cero.

El rendimiento de la inversión (ROI) es el ahorro anual de costes en relación con la inversión inicial. El ROI es la diferencia anual media de los flujos de caja nominales a lo largo de la vida del proyecto dividida por la diferencia del coste de capital.

La amortización simple de la inversión es el número de años en que el flujo de caja acumulado de la diferencia entre el sistema actual y el sistema del caso base pasa de negativo a positivo. El rendimiento de la inversión es una indicación del tiempo que se tardaría en recuperar la diferencia de costes de inversión entre el sistema actual y el sistema del caso base.

Tabla 10. Indicadores Económicos

TIR	95%
ROI	91%
Recuperación simple de la inversión	1.0 yr

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

Resumen de Costos

El resumen de costos muestra una comparación de costos entre el caso base y el sistema ganador de menor costo.

El coste actual neto (o coste del ciclo de vida) de un componente, formado por el valor actual de todos los costes de instalación y funcionamiento del componente a lo largo de la vida del proyecto, menos el valor actual de todos los ingresos que obtiene a lo largo de la vida del proyecto. El programa HOMER Pro calcula el coste actual neto de cada componente del sistema y del procedimiento en su conjunto.

El Capital Inicial es el costo total instalado del sistema al inicio del proyecto.

El Costo de Operación es el valor anualizado de todos los costos e ingresos que no sean los costos de capital inicial.

El Costo de la Energía (COE) se define en el software HOMER Pro, como el costo medio por kWh de energía

eléctrica útil producida por el sistema.

En la Figura 14 se ilustra de qué forma, el sistema fotovoltaico ahorra costes a lo largo de la vida del proyecto.

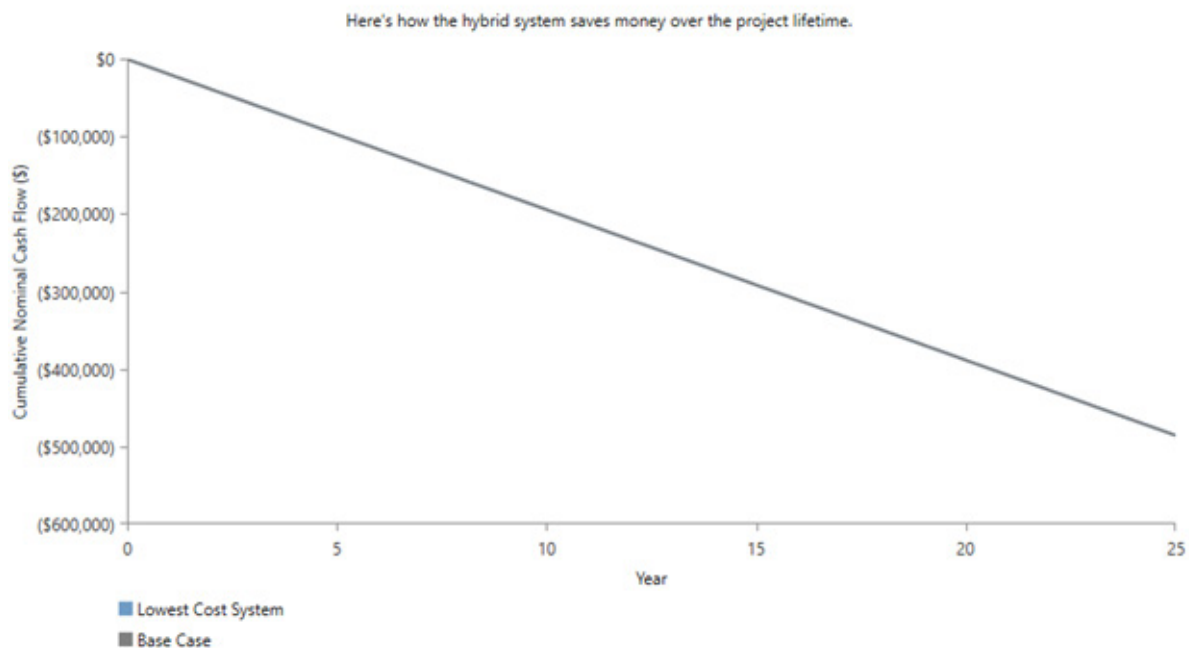


Figura 14. Resultados del Sistema Híbrido

Fuente: Elaborado con Homer (2023).

Tabla 11. Resumen de Costos

	Caso Base	Sistema de menor costo
NPC	\$257,596	\$248,745
Capital inicial	\$75.00	\$865.93
O&M	\$20,145/yr	\$19,391/yr
LCOE	\$0.0482/kWh	\$0.0447/kWh

Fuente: Elaborado con Homer (2023)

CONCLUSIONES

El sistema de producción híbrida a partir de recursos renovables es un método eficaz, limpio y fiable para suministrar electricidad a las zonas rurales. En este trabajo se han investigado las características técnicas, económicas y medioambientales de un sistema híbrido conectado a la red. El sistema híbrido utiliza biomasa, energía solar y gasóleo para suministrar electricidad a un pequeño pueblo del sector La Molina.

Para modelizar cada componente se adoptaron varios enfoques novedosos, incluida la comparación de instalaciones fotovoltaicas centralizadas y descentralizadas, la utilización de biomasa en tanques de fermentación y el uso de dos generadores diésel separados para aumentar la flexibilidad del sistema. Se ha utilizado el programa HOMER para hallar la configuración óptima de las unidades para producir la potencia necesaria con un coste mínimo en distintas condiciones económicas. El estudio aborda el efecto de estos parámetros económicos, como la inflación, la tasa de descuento y el precio del combustible diésel, sobre los costes del sistema. Además, se realizó un análisis de superficie de respuesta para determinar el alcance de los efectos de la capacidad de cada componente sobre el COE y el NPC del sistema óptimo. Los resultados mostraron que el COE del sistema óptimo se encuentra dentro de un rango aceptable para un sistema híbrido renovable, aunque muchos factores podrían ser cruciales a la hora de tomar la decisión final para la construcción del sistema. Es probable que los resultados de este estudio sean beneficiosos para zonas con condiciones climáticas y recursos energéticos similares. Sin embargo, para los inversores y los responsables políticos, los resultados de los análisis de sensibilidad relativos a los factores económicos podrían ser útiles para evaluar el efecto de las condiciones económicas en la rentabilidad de los sistemas híbridos renovables.

En esta investigación se analiza el procedimiento sistemático para planificar un sistema híbrido basado en energía fotovoltaica y biomasa y su análisis económico, incluido el cálculo del porcentaje de ahorro y el análisis

del periodo de amortización. Proporcionará una solución completa a las zonas remotas que no son accesibles a la red. Inicialmente, estos sistemas pueden ser costosos, pero su uso frecuente y la amplia aceptación de la tecnología pueden reducir su costo. Esta ubicación es una buena ubicación para implantar un sistema híbrido conectado a la red, ya que tiene una radiación solar anual de 4.95 Kwh/m²/año, con una demanda diaria de energía de 5570 Kwh/m²/día. Según los resultados de la simulación y la sensibilidad, el sistema con una potencia fotovoltaica de 36.1 kW, cogeneración por biomasa 2 kW un convertidor capacitivo de 3.88 kW, un precio de la energía de red de 0,0449 USD/kWh, y un factor de reducción 3.76 % es el sistema más viable desde el punto de vista medioambiental y económico que el sistema actual conectado a la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, J., Imran, M., Khalid, A., Iqbal, W., Ashraf, S. R., Adnan, M., Ali, S. F., & Khokhar, K. S. (2018). Techno economic analysis of a wind-photovoltaic-biomass hybrid renewable energy system for rural electrification: A case study of Kallar Kahar. *Energy*, 148, 208–234. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.133>

Al-Najjar, H., Pfeifer, C., Al Afif, R., & El-Khozondar, H. J. (2022). Performance Evaluation of a Hybrid Grid-Connected Photovoltaic Biogas-Generator Power System. *Energies*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/en15093151>

ARCERNNR-009/2022. (2022). Resolución Nro. ARCERNNR-009/2022 (pp. 1–11). <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Resolucion-ARCERNNR-009-2022.pdf>

ARCERNNR-011/2022. (2022). Resolución Nro. ARCERNNR-011/2022 (pp. 1–11). <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/05/Resolucion-ARCERNNR-011-2022.pdf>

Cataño Fabian, A. G., & Leal Juan, C. G. (2018). Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10532/T08205.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Mitrofanov, S. V., Kiryanova, N. G., & Gorlova, A. M. (2021). Stationary hybrid renewable energy systems for railway electrification: A review. *Energies*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/en14185946>

Podder, A. K., Hasan, M. R., Roy, N. K., & Komol, M. M. R. (2018). Economic Analysis of a Grid Connected PV Systems: A Case Study in Khulna. *European Journal of Engineering Research and Science*, 3(7), 16. <https://doi.org/10.24018/ejers.2018.3.7.795>

Suresh, V., Krishna, K. S., Venkateswarlu, P. P., & Raja, R. V. (2020). Techno-Economic Optimization of Grid Connected Distributed Energy Systems using HOMER (Vol. 6, Issue March). <http://www.ijmtst.com/volume6/issue03/31.IJMTST060372.pdf>

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Declaración de responsabilidad de autoría

El autor del manuscrito señalado, DECLARA que ha contribuido directamente a su contenido intelectual, así como a la génesis y análisis de sus datos; por lo cual, está en condiciones de hacerse públicamente responsable de él y acepta que su nombres figure en la lista de autores en el orden indicado. Además, ha cumplido los requisitos éticos de la publicación mencionada, habiendo consultado la Declaración de Ética y mala praxis en la publicación.

Alejandro Javier Martínez-Peralta: Proceso de revisión de literatura y redacción del artículo.