

Mini redes híbridas renovables descentralizadas para electrificación sostenible de las zonas costeras sin red

Decentralized renewable hybrid mini-grids for sustainable electrification of off-grid coastal áreas

Minirredes híbridas renováveis descentralizadas para eletrificação sustentável de áreas costeiras fora da rede

Marcos Rodrigo Ibarra Caicedo

marcos.ibarra.caicedo@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-4658-0648>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

RESUMEN

Las comunidades rurales de los países en desarrollo carecen de acceso a formas de energía económicas, fiables y sostenibles, que constituyen factores esenciales para mejorar las condiciones de vida. Estas poblaciones dependen del combustible diésel, que es muy contaminante en comparación con las tecnologías de energías renovables, para satisfacer sus necesidades energéticas. En este estudio se han analizado los sistemas híbridos de energía renovable (SHER), diseñados con el objetivo de salvar la naturaleza fluctuante de las energías renovables, para la electrificación fuera de la red. Los resultados de este estudio que abarca la región costera del cantón de San Lorenzo en la Provincia de Esmeraldas y muestra que es posible ofrecer un suministro eléctrico de mucha mejor calidad durante 12 h a 18 h al día. Además, en el éxito de la integración de los SHER influyen factores como el apoyo del Gobierno Municipal y la organización de la comunidad, que es esencial para mantener estos sistemas en funcionamiento a lo largo de la vida útil del sistema. Los modelos híbridos sugeridos en este estudio pueden reproducirse a lo largo de la franja costera para obtener la máxima difusión de esta tecnología y, por tanto, lograr la diversificación del suministro eléctrico. No obstante, la existencia de ciertos incentivos por parte del gobierno es fundamental para reducir los costes de capital. Estos resultados son especialmente importantes para los países en desarrollo, donde el suministro de electricidad a través de la energía solar fotovoltaica suele ser más rápido y barato que la ampliación de la red. Las conclusiones de este documento son un buen punto de partida para investigar en profundidad los modelos óptimos de diseño y propiedad local, que pueden ayudar a acelerar la implantación y reducir los costes del suministro eléctrico sostenible en zonas alejadas.

Palabras clave: Países en desarrollo Electrificación rural sin conexión a la red, Sistemas híbridos de energía renovable, Fiabilidad del suministro, mini redes híbridas, optimización híbrida de múltiples recursos energéticos (HOMER).

ABSTRACT

Rural communities in developing countries lack access to affordable, reliable and sustainable forms of energy, which are essential factors in improving living conditions. These populations depend on diesel fuel, which is highly polluting compared to renewable energy technologies, to meet their energy needs. In this study, hybrid renewable energy systems (SHER), designed with the aim of bridging the fluctuating nature of renewable energies, have been analyzed for off-grid electrification. The results of this study that covers the coastal region of the canton of San Lorenzo in the Province of Esmeraldas and shows that it is possible to offer a much better quality electricity supply during 12 to 18 hours a day. In addition, the success of the SHER integration is influenced by factors such as the support of the Municipal Government and the organization of the community, which is essential to keep these systems in operation throughout the useful life of the system. The hybrid models suggested in this study can be reproduced along the coastal strip to obtain the maximum diffusion of this technology and, therefore, achieve the diversification of the electricity supply. However, the existence of certain incentives from the government is essential to reduce capital costs. These results are especially important for developing countries, where supplying electricity through solar PV is often faster and cheaper than grid extension. The findings in this paper are a good starting point for further investigation of optimal local design and ownership models, which can help accelerate deployment and reduce costs of sustainable power supply in remote areas.

Keywords: Developing countries Off-grid rural electrification, Hybrid renewable energy systems, Reliability of supply, hybrid mini-grids, hybrid optimization of multiple energy resources (HOME).

RESUMO

As comunidades rurais dos países em desenvolvimento não têm acesso a formas de energia acessíveis, confiáveis e sustentáveis, que são fatores essenciais para melhorar as condições de vida. Essas populações dependem do óleo diesel, que é altamente poluente em comparação com as tecnologias de energia renovável, para suprir suas necessidades energéticas. Neste estudo, sistemas híbridos de energia renovável (SHER), projetados com o objetivo de colmatar a natureza fluante das energias renováveis, foram analisados para eletrificação fora da rede. Os resultados deste estudo que abrange a região costeira do cantão de San Lorenzo na província de Esmeraldas e mostra que é possível oferecer um fornecimento de eletricidade de qualidade muito melhor durante 12 a 18 horas por dia. Além disso, o sucesso da integração do SHER é influenciado por fatores como o apoio da Prefeitura e a organização da comunidade, fundamental para manter esses sistemas em operação durante toda a vida útil do sistema. Os modelos híbridos sugeridos neste estudo podem ser reproduzidos ao longo da faixa litorânea para obter a máxima difusão desta tecnologia e, assim, conseguir a diversificação da oferta de energia elétrica. No entanto, a existência de certos incentivos do governo é essencial para reduzir os custos de capital. Esses resultados são especialmente importantes para os países em desenvolvimento, onde o fornecimento de eletricidade por meio de energia solar fotovoltaica costuma ser mais rápido e mais barato do que a extensão da rede. As descobertas neste documento são um bom ponto de partida para uma investigação mais aprofundada de modelos de propriedade e design locais ideais, que podem ajudar a acelerar a implantação e reduzir os custos de fornecimento de energia sustentável em áreas remotas.

Palavras-chave: Países em desenvolvimento Eletrificação rural fora da rede, Sistemas híbridos de energia renovável, Confiabilidade do fornecimento, mini-redes híbridas, otimização híbrida de recursos energéticos múltiplos (HOME).

I. Introducción

Se calcula que el 13% de la población mundial, especialmente en las regiones del África subsahariana y el sur de Asia, vive sin acceso a la electricidad (Odou et al., 2020). Esto se debe a varios factores, como la ausencia de capacidad financiera para ampliar la red, la densidad y dispersión de la población, caracterizada por un bajo consumo de energía eléctrica que hace inviable la ampliación de la red, y otros aspectos sociales y culturales. En estas regiones, la población depende de los combustibles fósiles (el diésel y el queroseno) para satisfacer sus necesidades energéticas, debido a su fácil adquisición e instalación, aunque estos combustibles presentan algunas desventajas asociadas a la inestabilidad de los precios de los combustibles, las distancias para transportarlos, los altos costes de mantenimiento (O&M) e impactos ambientales negativos (Khodayar, 2017; Odou et al., 2020; Sigarchian et al., 2015).

Las áreas costeras de San Lorenzo (Figura 1) San Lorenzo "Una vida entre la vegetación y los ríos". Esta localidad cuenta con el mejor puerto natural del Ecuador, ubicado ($1^{\circ}15.9'N$, $78^{\circ}51.4'W$) al norte de la provincia de Esmeraldas. Es una región que cuenta con lugares sin contaminación y con su belleza intacta. Asimismo, cuenta con maravillosos ríos, por ejemplo, Cayapas, Bogotá, Tululbí, Cachaví, cada uno de ellos alimentadores del poderoso río Santiago, de donde adicionalmente reciben las aguas de esteros y arroyos y que cuenta con un grado de suministro de energía excesivamente disminuido (GADPE, 2020). Para mejorar la tasa de electrificación rural, el gobierno municipal del canto san lorenzo ha intentado aplicar recursos y tecnologías de energías renovables.

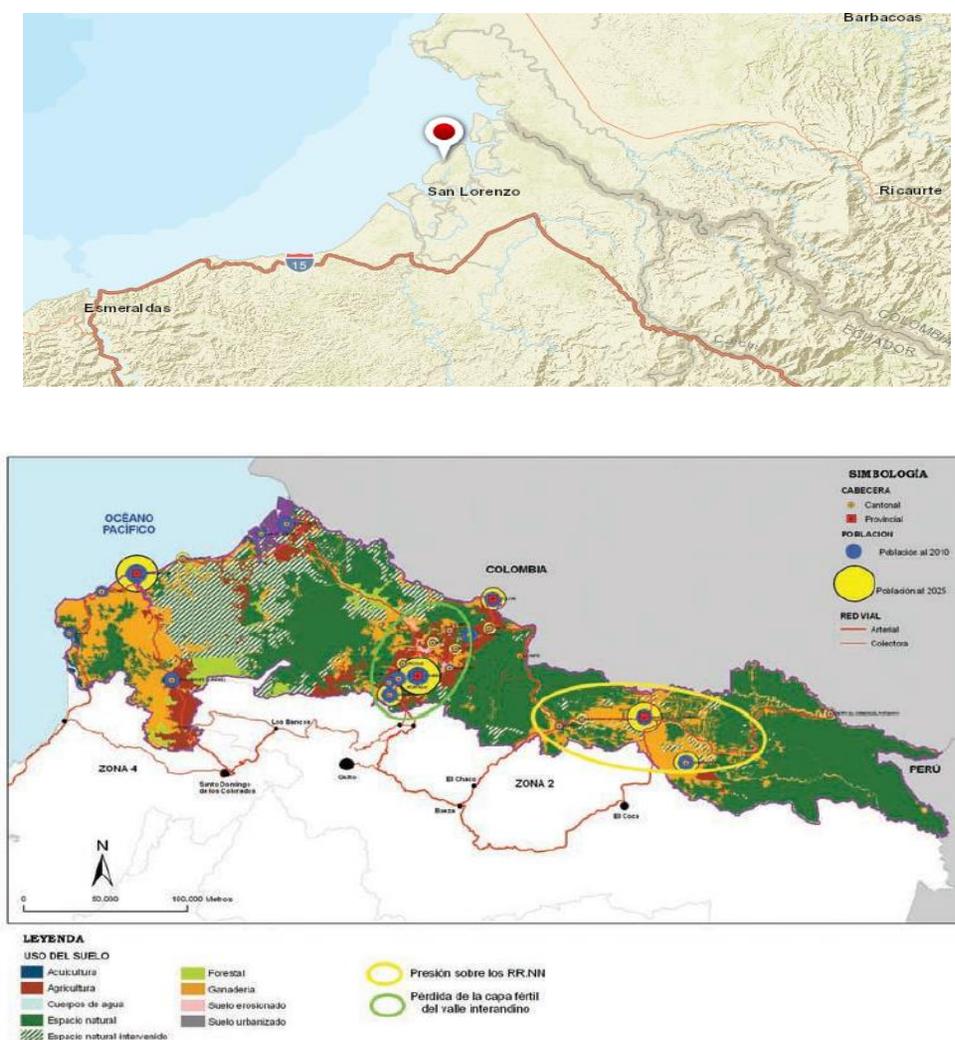


Figura 1. Zonas costeras adecuadas para la energía solar fotovoltaica y eólica

(Fuente: (Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2017)).

Las tecnologías de energías renovables han sido reconocidas por muchos países como una solución para superar los inconvenientes de los combustibles fósiles. Sin embargo, a diferencia de los recursos gestionables, las fuentes de energía renovable (principalmente la solar y la eólica) son variables e inestables y no pueden responder al aumento de la demanda, lo que dificulta la fiabilidad del sistema (Hasanuzzaman & Kumar, 2019; Mersin & Çeliktaş, 2021).

Además, requieren una elevada inversión de capital en comparación con las fuentes convencionales.

Los sistemas híbridos de energía renovable (HRES), que suelen consistir en energías renovables como fuentes primarias más baterías y/o generadores diésel como respaldo, se han aplicado para superar la naturaleza fluctuante de las energías renovables porque los HRES pueden garantizar la disponibilidad de energía cuando una de las fuentes de generación experimenta intermitencia. Estos sistemas también pueden reducir los costes y optimizar el tamaño de los componentes del sistema, reduciendo así los costes de funcionamiento y garantizando el acceso a formas de energía asequibles, fiables y sostenibles (Ismail et al., 2015; Williams et al., 2015).

La investigación abarca tres formas de suministrar electricidad a zonas remotas de la red, las mini redes y los sistemas autónomos descentralizados. Una comparación de estas formas revela que la extensión de la red no es una solución viable para las zonas rurales debido al elevado coste de la ampliación de la red para una densidad de población muy baja y casas dispersas, mientras que las soluciones autónomas se limitan a un hogar/institución.

Las minirredes se consideran una solución óptima (Ahmad et al., 2018; Williams et al., 2015) para la electrificación rural en comparación con las otras dos opciones. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) (Ahmad et al., 2018; Williams et al., 2015), las minirredes van de 1 kW a 10 MW y también incluyen las microrredes. Recientemente, las HRES han atraído

El objetivo que se persigue es la de energías renovables de es aprovechar el potencial de los recursos energéticos renovables y la difusión de las tecnologías, especialmente en las zonas rurales, fomentando y facilitando la inversión tanto del sector público como del privado, para así promover las energías limpias con el objetivo de conseguir que el diez por ciento de la demanda total de energía proceda de fuentes renovables en 2023.

II. Metodología de la investigación

Esta investigación se lleva a cabo sobre la viabilidad de establecer un sistema de energía sostenible fuera de la red en la costera del cantón de San Lorenzo en la Provincia de Esmeraldas. Como base del trabajo de investigación, la fuente primaria fue la recopilación de datos de diferentes fuentes y el análisis mediante el software HOMER para el diseño de sistemas basados en energías renovables. Mientras que la fuente secundaria fue principalmente la revisión de la literatura, es decir, el análisis del contenido de las políticas pertinentes, los informes de investigación, los estudios de casos, los artículos de revistas, las cuestiones de los medios de comunicación impresos/electrónicos e Internet. Nuestra metodología de investigación se resume en la Fig. 2.



Figura 2. metodología de investigación

El sector eléctrico, al tener una función primordial y motriz en la economía pública proyecta su ampliación con los diferentes procedimientos, planes y programas sectoriales del país, que, en su entorno fundamental, permitirán el cumplimiento de los objetivos de mejora significativos del Ecuador.

Plan Maestro de Electricidad 2016-2025 garantizará el suministro del servicio público de energía eléctrica a todos los sectores sociales y productivos del país, en el corto, mediano y largo plazo, con niveles adecuados de seguridad, calidad, observando criterios técnicos, económicos, financieros, sociales y ambientales, y sobre todo; promoviendo la participación pública, privada y de economía mixta y solidaria, en los diferentes proyectos de generación, transmisión, distribución y de eficiencia energética. Con la finalidad de resaltar la infraestructura eléctrica necesaria para asegurar el servicio de energía eléctrica a los emprendimientos circunscritos a "La Estrategia Nacional para el Cambio de la Matriz Productiva" (PLANEE, 2017). Una política gubernamental favorable ayudara a Ecuador a convertirse en el país con mayor crecimiento de sistemas solares domésticos (SHS), que dan servicio a las personas de este país y favorecería a las zonas sin red. Las estadísticas demuestran que el coste de instalación de un sistema de energía fotovoltaica o eólica es comparable al de la electricidad convencional producida con combustibles fósiles si tenemos en cuenta el coste de generación por unidad.

La velocidad media mensual del viento y los datos de insolación solar de la costa de Bangladesh San Lorenzo se resumen en la Tabla 1 y la Tabla 2. La insolación solar media mensual es de 4,68 kWh/m²/día, mientras que la velocidad media mensual del viento es de 4,12 m/s.



Figura 3. Promedio mensual de irradiación diaria e índice de claridad en la zona costera San Lorenzo.

Month	Clearness Index	Daily Radiation (kWh/m ² /day)
Jan	0.438	4.350
Feb	0.454	4.680
Mar	0.490	5.140
Apr	0.480	4.920
May	0.466	4.550
Jun	0.470	4.440
Jul	0.490	4.680
Aug	0.491	4.910
Sep	0.469	4.850
Oct	0.459	4.720
Nov	0.456	4.550
Dec	0.450	4.390

Figura 4. Datos de la irradiación solar global horizontal (GHI) media mensual.

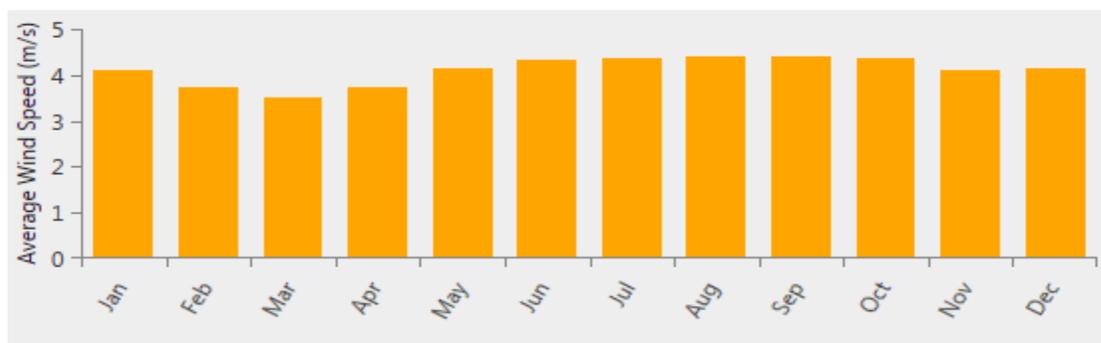


Figura 5. velocidad media mensual del viento en la zona costera San Lorenzo.

Month	Average (m/s)
Jan	4.090
Feb	3.740
Mar	3.510
Apr	3.750
May	4.130
Jun	4.340
Jul	4.370
Aug	4.420
Sep	4.420
Oct	4.370
Nov	4.100
Dec	4.160

Figura 6. Datos de la velocidad media mensual del viento

En las zonas costeras en las que la conexión a la red no es factible o la ampliación de la red no está disponible, las fuentes eléctricas alternativas como la eólica y la solar fotovoltaica pueden ser las soluciones potenciales. Un sistema de energía híbrido autónomo solar-eólico-diesel puede ser una solución rentable para las regiones costeras de Bangladesh, donde las energías renovables son abundantes (Ankur Das Avi et al., 2021; Hasan Ali et al., 2020)

Por lo tanto, basándonos en nuestro análisis exhaustivo de la ubicación geográfica, la política gubernamental, las fuentes de energía renovables disponibles, el análisis coste-beneficio del sistema energético híbrido y la sostenibilidad a largo plazo, San Lorenzo es una solución muy atractiva y factible para llevar a cabo un proyecto de rehabilitación con un sistema energético híbrido solar-eólico de apoyo, tanto económico como efectivo.

III. Configuraciones de sistema propuestas

El sistema off-Grid es una pequeña red de usuarios de electricidad con una fuente de suministro local que no depende de los servicios públicos. Por lo tanto, para San Lorenzo el sistema de energía fuera de la red sería más adecuado, ya que se encuentra en una ubicación remota en la costa de Bangladesh. Los datos de insolación media a largo plazo indican unas perspectivas excelentes para la instalación de sistemas de energía solar que podrían tener entre 7 y 11 horas de generación efectiva (Uddin et al., 2022; Zia Ul Azim et al., 2018). El conjunto solar fotovoltaico propuesto tiene los parámetros que se muestran en la Tabla I.

Tabla I. Parámetros técnicos del conjunto fotovoltaico.

Serial	Parámetro	Cantidad
1	Corriente de salida	DC
2	Vida útil	20 años
3	Ángulo de inclinación	0 grados
4	Reflexión del suelo	20%
5	Pendiente	11,06 Grados Sur

Los aerogeneradores producen electricidad utilizando la fuerza natural del viento para accionar un generador. El viento es una fuente de combustible limpia y sostenible, no genera emisiones y nunca se agotará, ya que se repone constantemente con la energía del sol. La mayoría de los aerogeneradores empiezan a generar electricidad a velocidades de viento de unos 3-4 metros por segundo (m/s).

San Lorenzo también es muy adecuado para la generación de energía mediante turbinas eólicas, ya que la velocidad media mensual del viento es de 4,12 m/s.

Una instalación de energía híbrida eólica-solar necesita un costo de capital relativamente alto para adquirir el sistema, pero un costo relativamente bajo para la operación y el mantenimiento (O&M). Puede tener una vida útil muy larga si el sistema se mantiene correctamente. Asimismo, genera puestos de trabajo e ingresos y disminuye el costo de generación de electricidad por unidad.

Para esta investigación, se considera que cada familia del pueblo tendría una media de 5 miembros y que se instalaría un sistema de energía de 100W para el 40% del total de las familias localizadas, teniendo en cuenta el 60% de diversificación de la carga. Se necesitarían, aproximadamente, 8000 sistemas de energía [(1.03.200 personas/ 5 personas en una familia) x 40% = 8256 sistemas de energía].

El suministro de energía se considera también para 4 horas por la noche. La carga se basa en 4 luces LED (8W cada una), 1 ventilador (40W) y 1 TV (40W) para cada familia. En base a todas las observaciones anteriores, los requisitos para un sistema energético típico de 100W se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Requisitos para un sistema solar doméstico de 100 W.

Serial	Requisito	Cantidad
1	Módulo	100W
2	Capacidad de la batería	6V-360Ah (4 Baterías)
3	Controlador	30 Amperios
4	Número de carga y capacidad	4 Luces LED (3x7W), 01 Ventilador (40W) y 01 TV (40W)
5	Uso de horas por día	03 Horas
6	Carga demandada	2400 kWh/día [(100W x 4 horas x 8000 SHS) /1000]
7	Factor de diversidad	0.6
8	Carga total servida (KWh/día)	1440 kWh/día

Según el análisis anterior, podemos tener 4 (cuatro) opciones diferentes para satisfacer las necesidades energéticas de San Lorenzo.

Opción 1 (sólo sistema solar): Para esta opción, que se muestra en la figura 7, la carga estimada de 500 kW sólo está soportada por el sistema solar. El análisis HOMER se realiza con paneles solares con una inclinación de 11.06, un factor de reducción de potencia del 90% y una vida útil de 20 años.

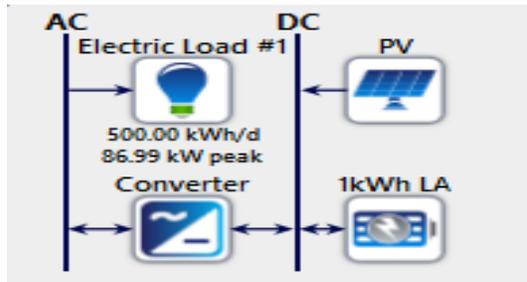


Figura 7. Configuración del sistema propuesto con la opción 1 (sólo sistema solar).

Opción 2 (sólo sistema eólico): Con esta configuración, como se muestra en la figura 8, la carga de 500 kW se soporta únicamente con el sistema eólico. El análisis HOMER se realiza con un aerogenerador del tipo Generic 3 kW, con un eje de 25 metros de altura y una vida útil de 20 años.

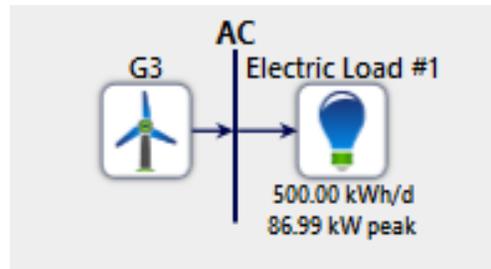


Figura 8. Configuración del sistema propuesto con la opción 2 (sólo sistema eólico).

Con la velocidad media mensual del viento de 4,12 m/s, la curva de potencia obtenida es la que se muestra en la Figura 9. En ella se observa que, con esa velocidad media del viento de 4,12 m/s, la potencia de salida es de unos 3 kW por aerogenerador.

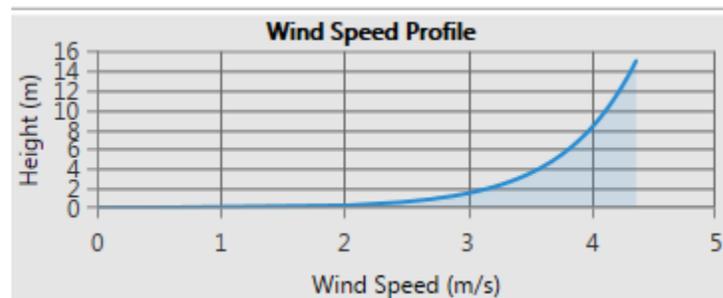


Figura 9. perfil de velocidad del viento de HOMER.

Opción 3 (sistema híbrido solar-eólico): La configuración que se muestra en la figura 10 incluye una carga de 500 kW procedente de un sistema de energía híbrido solar-eólico. El análisis HOMER se realiza considerando una contribución del 60% (300 kW) de la energía solar y del 40% (200 kW) de la energía eólica.

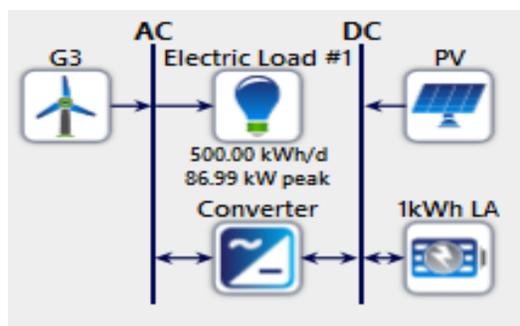


Figura 10. Configuración del sistema propuesto utilizando la opción 3 (sistema de energía híbrida solar-eólica).

Opción 4 (sistema solar-eólico autónomo): Para esta configuración, representada en la figura 12, el sistema autónomo solar-eólico soporta una carga de 500 kW. El análisis HOMER también se realiza considerando una contribución del 60% (300 kW) de la energía solar y del 40% (200 kW) de la energía eólica.

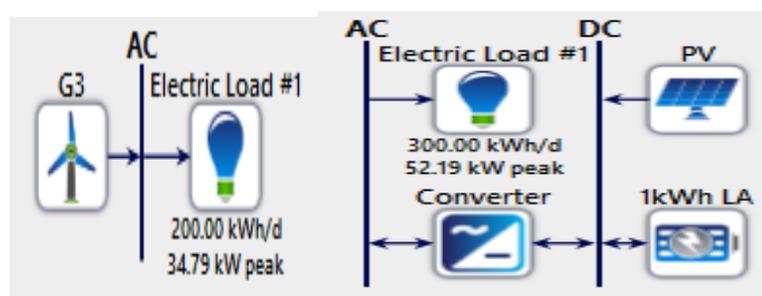


Figura 11. Configuración del sistema propuesto utilizando la opción 4 (sistema solar-eólico autónomo).

IV. Análisis financiero

Las instalaciones energéticas propuestas constan de componentes tales como un conjunto fotovoltaico, turbinas eólicas, baterías, convertidores, etc. en diferentes combinaciones. A continuación, se indican los parámetros técnicos y las hipótesis de costes de cada uno de ellos, que se consideran como datos de entrada para el análisis mediante HOMER. Por último, se realiza el análisis financiero de todo el sistema.

Tabla III. Análisis de costes de una instalación solar fotovoltaica.

Parámetro	Unidad	Valor (BDT)
Coste del capital	BDT/W	100
Coste de reposición	BDT/W	50
Coste de operación y mantenimiento	BDT/Año	50
Vida útil	Años	20
Factor de reducción de potencia	Porcentaje	90

Este sistema propuesto se basa en un aerogenerador Generic 3 kW. Los parámetros técnicos y las hipótesis de coste (1 USD= 96,750 BDT) se indican a continuación:

Tabla IV. Análisis de costes de la turbina eólica

Parámetro	Unidad	Valor (BDT)
Coste del capital	BDT/W	250,000
Coste de reposición	BDT/W	150,000
Coste de operación y mantenimiento	BDT/Año	5000
Vida útil	BDT/Año/ Turbina	20

Para su almacenamiento se emplearán baterías de plomo-ácido (Trojan SSIG 12 255). A continuación, se indican los parámetros técnicos y económicos (1 USD= 96,750 BDT):

Tabla V. Análisis de costes de la batería

Parámetro	Unidad	Valor (BDT)
Coste del capital	BDT/W	7,000
Coste de reposición	BDT/W	6,000
Coste de operación y mantenimiento	BDT/Año	500
Vida útil	Año	3

La mayoría de los electrodomésticos son compatibles con la corriente alterna hoy en día. Como la electricidad generada por la fotovoltaica o la turbina eólica es de corriente continua, se necesita un convertidor para convertirla en corriente alterna.

Tabla VI. Análisis de costes del convertidor

Parámetro	Unidad	Valor (BDT)
Coste del capital	BDT/W	10,000
Coste de reposición	BDT/W	10,000
Vida útil	Año	20

El promedio mensual de producción eléctrica para el sistema de energía híbrida solar-eólica se muestra en la figura 12. A partir de la curva de generación eléctrica media mensual se puede observar que para el mes de enero la generación eléctrica media es de 59.5 MW. La duración típica del día en San Lorenzo para el mes de enero es de aproximadamente 10 horas. Por lo tanto, la producción total de electricidad en enero será de (59.5 X 10) MW,

es decir, 595 MW, que es sólo un 5.95% superior a la generación de 1500 kW prevista. Sin embargo, este tamaño de la instalación está justificado económicamente, tal y como se ha simulado en el software HOMER y se presenta en la tabla VII.

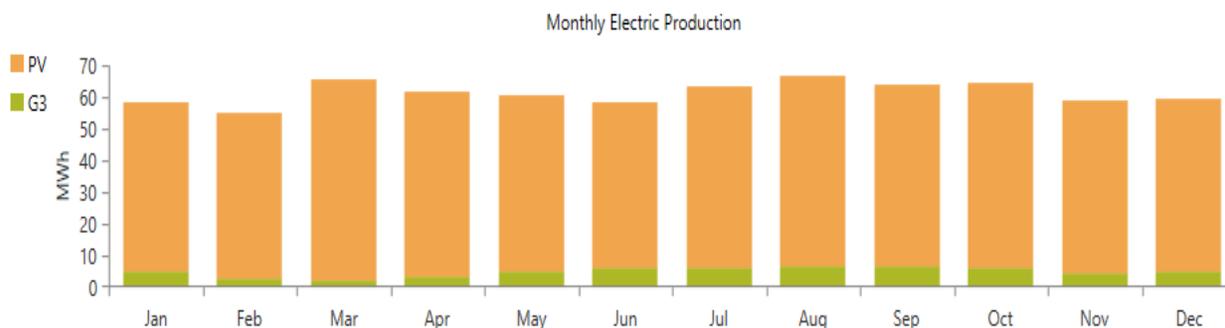


Figura 12. Producción eléctrica media mensual para la configuración del sistema híbrido solar-eólico propuesto (opción 3).

El coste de cada componente se indica en las tablas III a VI. Hemos introducido estos costes en el HOMER y hemos generado los costes energéticos asociados a las cuatro configuraciones propuestas, como se resume en la tabla VII. A partir de los resultados de la optimización, se observa que el sistema de energía híbrida solar-eólica tendría el coste más bajo y, por tanto, sería la opción más factible.

Tabla VII. Resultados de la optimización por categorías

Sensitivity				Architecture							Cost			
Diesel Fuel Price (US\$/L)	Wind Scaled Average (m/s)			PV (kW)	G3	SSIG 12 255	Converter (kW)	Efficiency1	Dispatch	NPC (US\$)	COE (US\$)	Operating cost (US\$/yr)	Initial capital (US\$)	
0.500	3.00			495	89	599	41.2	0	CC	US\$122,062	US\$0.0591	US\$6,139	US\$50,527	
0.500	4.12			388	140	104	103	0	CC	US\$103,806	US\$0.0504	US\$7,445	US\$17,041	
0.500	8.00			191	78	122	26.2	0	CC	US\$46,544	US\$0.0225	US\$2,819	US\$13,693	
1.00	3.00			495	89	599	41.2	0	CC	US\$122,062	US\$0.0591	US\$6,139	US\$50,527	
1.00	4.12			388	140	104	103	0	CC	US\$103,806	US\$0.0504	US\$7,445	US\$17,041	
1.00	8.00			191	78	122	26.2	0	CC	US\$46,544	US\$0.0225	US\$2,819	US\$13,693	
2.00	3.00			495	89	599	41.2	0	CC	US\$122,062	US\$0.0591	US\$6,139	US\$50,527	
2.00	4.12			388	140	104	103	0	CC	US\$103,806	US\$0.0504	US\$7,445	US\$17,041	
2.00	8.00			191	78	122	26.2	0	CC	US\$46,544	US\$0.0225	US\$2,819	US\$13,693	

Las instalaciones energéticas gubernamentales previstas para San Lorenzo consisten en una minicentral eléctrica, paneles solares y generadores de reserva. El sistema energético híbrido solar-eólico propuesto en esta investigación se utilizará únicamente para uso residencial. Almacenará energía en las baterías y esta energía se utilizará durante 4 horas a partir de la tarde para ampliar sus horas efectivas de trabajo y conseguir desarrollar técnicas y formación para el futuro.

V. Conclusión

Este proyecto de sistema de energía híbrida solar-eólica se ha propuesto para apoyar al 40% de ellos mediante el establecimiento de 8.000 sistemas de energía sobre una base benéfica además de instalaciones de suministro energético que el Gobierno hubiera establecido. La financiación inicial no será un problema por parte de la(s) agencia(s) donante(s) si este estudio de viabilidad puede ser justificado. Este servicio puede ampliarse con la asignación de un presupuesto adicional por parte del Gobierno o de los donantes. El valor actual neto (VAN) del sistema de energía híbrida solar-eólica sería de 122,062.30 millones de BDT (0,728 millones de USD). Y el coste anual sería de 0.05906 millones de BDT.

Seguramente será un esfuerzo prioritario que contribuirá al desarrollo personal de la población de San Lorenzo. De este modo, se fomentará la educación impartida a los alumnos durante la noche, se reforzarán las medidas de seguridad adoptadas por el gobierno local a fin de garantizar una mejor sostenibilidad del número de beneficiarios de la población costera del cantón San Lorenzo. Además, dado que el gasto no es muy elevado, se prevé que el financiamiento del proyecto tampoco sea un problema.

Este proyecto se ha propuesto para un apoyo de 20 años. El suministro de un sistema de energía híbrida solar-eólica en San Lorenzo promoverá la "energía verde", evitando los riesgos medioambientales derivados del uso de combustibles fósiles para la generación de electricidad. Además, con la ejecución de las obras del proyecto de desarrollo en curso, se espera que las costas de San Lorenzo tengan excelentes perspectivas de turismo en un futuro próximo. La necesidad de energía en las costas de San Lorenzo, su ubicación geográfica, la disponibilidad de recursos solares y eólicos, el esfuerzo de suministrar "energía verde" y, sobre todo, la idoneidad económica justifica la viabilidad de establecer un sistema de energía híbrida solar-eólica fuera de la red para la costa de San Lorenzo con el fin de reforzar el suministro energético.

REFERENCIAS

- 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>.
- Ankur Das Avi, Fayaz, T., Bidyut Baran Saha, & Ghosh, S. (2021). Optimization of Solar, Wind and Biomass-Based Hybrid Renewable Energy System in St. Martin's Island, Bangladesh. In *Proceedings of International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES)* (Vol. 7, pp. 122–128). <https://doi.org/10.5109/4738577>.
- GADPE. (2020). San Lorenzo. In *The Americas* (pp. 643–646). <https://doi.org/10.4324/9781315073828-158>.
- Hasan Ali, M., Suzauddin Yusuf, S., Washim Akram, M., & Mahmud Silva, T. (2020). *Investigating the Feasibility of Stand-Alone Solar-Natural Gas Hybrid Power Generation System for Remote Island*.
- Hasanuzzaman, M., & Kumar, L. (2019). Energy supply. In *Energy for Sustainable Development: Demand, Supply, Conversion and Management*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814645-3.00004-3>.
- Ismail, M. S., Moghavvemi, M., Mahlia, T. M. I., Muttaqi, K. M., & Moghavvemi, S. (2015). Effective utilization of excess energy in standalone hybrid renewable energy systems for improving comfort ability and reducing cost of energy: A review and analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 726–734. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.051>.
- Khodayar, M. E. (2017). Rural electrification and expansion planning of off-grid microgrids. *Electricity Journal*, *30*(4), 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2017.04.004>.
- Mersin, G., & Çeliktaş, M. S. (2021). Integration of Renewable Energy Systems. *Handbook of Smart Energy Systems*, 1–24. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72322-4_93-1.
- Odou, O. D. T., Bhandari, R., & Adamou, R. (2020). Hybrid off-grid renewable power system for sustainable rural electrification in Benin. *Renewable Energy*, *145*, 1266–1279. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.032>.
- Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial. (2017). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2012-2022 ESMERALDAS. In *Prefectura de Esmeraldas* (p. 248).
- PLANEE. (2017). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035. In *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035* (pp. 1–112).
- Sigarchian, S. G., Paleta, R., Malmquist, A., & Pina, A. (2015). Feasibility study of using a biogas engine as backup in a decentralized hybrid (PV/wind/battery) power generation system - Case study Kenya. *Energy*, *90*, 1830–1841. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.008>.
- Uddin, M. N., Biswas, M. M., & Nuruddin, S. (2022). Techno-economic impacts of floating PV power generation for remote coastal regions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *51*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101930>.
- Williams, N. J., Jaramillo, P., Taneja, J., & Ustun, T. S. (2015). Enabling private sector investment in microgrid-based rural electrification in developing countries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *52*, 1268–1281. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.153>.
- Zia Ul Azim, S. M., Mohiuddin Uzzal, M., Saleque, A. M., & Abdur Rahman, M. (2018). Feasibility study of off-grid sustainable energy system for coastal bhasan char to rehabilitate rohinga refugees. *AiUB Journal of Science and Engineering*, *17*(3), 67–74. <https://doi.org/10.53799/ajse.v17i3.11>.