

enerLAC

Revista de
Energía de
Latinoamérica
y el Caribe

Generación
de energía
en PTAR

Pronóstico
energía eólica
en Uruguay

Simulación
sistema
fotovoltaico
en Haití

Operación
óptima de
baterías

Transición
sistemas de
energía eléctrica

Pronósticos
hidrológicos y
el sistema eléctrico

Modelo numérico
de la combustión de
tronco cilíndrico



© Copyright Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) 2019. Todos los derechos reservados.

ISSN: 2602-8042 (Impresa)

ISSN: 2631-2522 (Electrónica)

Dirección: Av. Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y
Fernández Salvador.
Quito - Ecuador

Página web Revista ENERLAC: <http://enerlac.olade.org>

Página web OLADE: www.olade.org

Mail ENERLAC: enerlac@olade.org

Teléfonos: (+593 2) 2598-122 / 2598-280 / 2597-995



COMITÉ EDITORIAL

Alfonso Blanco
SECRETARIO EJECUTIVO DE OLADE

Pablo Garcés
ASESOR TÉCNICO DE OLADE

Marcelo Vega
COORDINADOR DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DE LA
ASOCIACIÓN DE UNIVERSIDADES GRUPO MONTEVIDEO
(AUGM)

COMITÉ AD-HONOREM

Andrés Romero C.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Leonardo Beltrán.
Institute of the Americas. México.

Manlio Coviello.
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Mauricio Medinaceli.
Investigador independiente. Bolivia.

Ubiratan Francisco Castellano.
Investigador independiente. Brasil.

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

DIRECTOR GENERAL
Alfonso Blanco

DIRECTORES EJECUTIVOS
Pablo Garcés
Marcelo Vega

COORDINADORA DE PRODUCCIÓN
Blanca Guanocunga. Bibliotecaria OLADE

COLABORADORES

Raquel Atiaja. *Técnica de Área Informática OLADE*

Ana María Arroyo. *Diseño y diagramación*

REVISORES

Santiago Garrido. *Universidad Nacional de Quilmes. Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología. Argentina.*

Emilia Ruggeri. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET – IESCT). Universidad Nacional de Quilmes. Argentina.*

Diego Coronel Bejarano. *Universidad Nacional de Asunción. Grupo de Investigación en Sistemas Energéticos (GISE - FPUNA). Paraguay.*

Luciana Clementi. *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.*

José Javier Alonso Mateos. *Universidad Internacional de Valencia. España.*

Oscar Oviedo. *Universidad Nacional de Córdoba (UNC - INFIQC). Argentina.*

Alfredo Cagua Yagua. *Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda (UNEFM). Venezuela.*

Byron Chilingua Mazón. *Consultor independiente. Ecuador.*

Reynaldo Payano Almanzar. *Investigador independiente. Chile.*

Iván López. *Universidad de la República (UdelaR) - FING-IMFIA. Uruguay.*

Cristhian Carrasco Villanueva. *Universidad Mayor de San Andrés (UMSA). Bolivia.*

Ojilve Ramón Medrano Pérez. *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (CCGS). México.*

Diseño de la portada y contraportada Ana María Arroyo y Francisco Pérez.

NOTA DE RESPONSABILIDAD DE CONTENIDO

Las ideas expresadas en este documento son responsabilidad de los autores y no comprometen a las organizaciones mencionadas.

SIMULACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UNA COMUNIDAD EN HAITÍ

Wesly Jean ¹, Antonio C. P. Brasil Junior ²

Recibido: 12/02/2020 y Aceptado: 06/04/2020
ENERLAC. Volumen IV. Número 1. Junio, 2020 (44-55).



Foto de Stephen Walker en Unsplash.

1 Ingeniero de Producción, Máster en Ciencias Mecánicas de la Universidad de Brasilia (Brasil). Estudiante de doctorado en Ciencias Mecánicas de la Universidad de Brasilia (Brasil), previsión de finalización marzo, 2021. Tiene experiencia en Sistemas de Energía para Comunidades Aisladas, Energías Renovables, Generación Solar Distribuida, Eficiencia Energética, Iluminación Pública y Nexus Agua-Energía-Comida. weslyjean999@gmail.com

2 Ingeniero Mecánico por la Universidad Federal de Pará (Brasil). Master en Ingeniería Mecánica por la Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro (Brasil). Doctor en *Thermique et Energétique* por la *École Centrale de Lyon* (Francia). Actualmente profesor titular en la Universidad de Brasilia (Brasil). Las actividades académicas del profesor están asociadas con el Departamento de Ingeniería Mecánica y el Centro para el Desarrollo Sostenible de la Universidad de Brasilia (Brasil). brasiljr@unb.br

RESUMEN

La energía generada por el sol se considera actualmente una de las alternativas más esperanzadoras en la generación de electricidad necesaria para satisfacer las necesidades de la humanidad. Entre las formas habituales de energía solar se encuentran los sistemas fotovoltaicos, que convierten la radiación solar directa y difusa en electricidad. Para las localidades sin electricidad de fuentes convencionales, las alternativas de generación de electricidad que utilizan tecnologías de sistemas fotovoltaicos se consideran viables, además de proporcionar el desarrollo social y económico de la región. Por lo tanto, este artículo presenta el proyecto de un sistema fotovoltaico aislado de la red convencional para una comunidad aislada en Haití. En este país donde existe un gran potencial para la generación de electricidad por radiación solar. Los estudios muestran que en la mayor parte del país la irradiación solar varía de 5 a 7 kWh/m²/día. Este sistema se proyectará utilizando la herramienta informática HOMER. El proyecto en cuestión tiene como objetivo hacerlo viable a través del programa de asistencia social del gobierno haitiano llamado “*Banm lavi, banm limyè*” (Dame vida, dame electricidad), que tiene como objetivo hacer que la electricidad esté disponible para las comunidades remotas y económicamente vulnerables.

Palabras clave: Acceso a la Energía, Electrificación Rural, Energía Solar, HOMER, Pobreza, Haití.

ABSTRACT

*The energy generated by the sun is currently considered one of the most hopeful alternatives in the generation of electricity needed to meet the needs of humanity. Among the usual forms of solar energy are photovoltaic systems, which convert direct and diffuse solar radiation into electricity. This electricity generation can be harnessed in a decentralized manner. For localities without electricity from conventional sources, electricity generation alternatives using photovoltaic systems technologies are considered viable, besides providing the social and economic development of the region. Thus, this paper presents the project of a photovoltaic system isolated from the conventional grid for an isolated community in Haiti. Haiti is a country where there is great potential for solar radiation. Studies show that in most of the country solar irradiation ranges from 5 to 7 kWh/m²/day. This system will be projected using the HOMER tool. The project in question aims to make it viable through the Haitian government's social assistance program called “*Banm lavi, banm limyè*” (give me life, give me electricity) which aims to make electricity available to remote and economically vulnerable communities.*

Keywords: Energy Access, Rural Electrification, Solar Energy, HOMER Tool, Poverty, Haiti.

INTRODUCCIÓN

La demanda mundial total de energía representa actualmente el 17% de la electricidad y se espera que aumente en 2050 al 23% según la Agencia Internacional de Energía (AIE), porque la población mundial debe superar la marca de los 9 mil millones para 2050 (UNFPA, 2011). Por lo tanto, debido a este aumento en la demanda, la capacidad de generación debe ampliarse. Actualmente, la matriz energética mundial está compuesta por varias fuentes primarias, como petróleo, carbón, gas natural, hidroeléctrico, eólico y solar. A pesar de estas opciones de generación de energía, los combustibles fósiles prevalecen y siguen siendo la base del suministro de energía primaria de los países (Slimani *et al.*, 2016). Las fuentes fósiles causan preocupación constante al medio ambiente debido al aumento de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), causan daños a la calidad de vida, el aumento de las temperaturas y la acidez del suelo (Krakowski *et al.*, 2016). Las emisiones de CO₂ de los combustibles fósiles se señalan como una de las causas del calentamiento global, otro problema son los desastres ecológicos causados por la perforación de pozos petroleros.

REN21 (2019) define las fuentes de energía renovables como todas las fuentes de energía de producción continua que el hombre transforma en energía útil para satisfacer sus necesidades. Según el mismo autor las fuentes de energía limpia para 2040 representarían el 56% del suministro mundial de energía. Esta expansión se debe a varios factores, como la escasez de combustibles fósiles, la necesidad de reducir la dependencia de los productos derivados del petróleo y, finalmente, el problema ambiental con las emisiones de gases contaminantes.

Durante la última década, la tecnología fotovoltaica ha demostrado potencial para convertirse en una fuente importante de generación de energía para el mundo. Incluso en tiempos

de crisis financiera y económica, la capacidad instalada acumulada en todo el mundo continúa mostrando un fuerte crecimiento. De 2008 a 2018, la capacidad instalada de energía fotovoltaica aumentó significativamente, en 2018, la capacidad instalada (505 GW) fue treinta y tres veces mayor que toda la potencia instalada hace una década (15 GW) en todo el mundo (REN21, 2019).

En total, se estima que mil millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a la electricidad y, sin embargo, 2.8 mil millones usan alguna forma de biomasa y/o madera para cocinar y calentar, según un estudio realizado por el Banco Mundial en asociación con la AIE. (AIE, 2018). El acceso a la electricidad es esencial para el desarrollo humano, la calidad de vida y el desarrollo económico de cualquier sociedad. El acceso a las personas para obtener electricidad se ha convertido en una preocupación importante en los últimos años. La ONU lanzó en 2011 el programa “Energía sostenible para todos”, que será 100% para 2030. Y una de las alternativas para lograr este objetivo es duplicar la proporción de energía renovable en el mundo, principalmente utilizando sistemas solares no conectado a la red o sistemas *off-grid*. Los sistemas fotovoltaicos autónomos o independientes son sistemas que suministran electricidad a comunidades remotas que no están conectadas a la red de distribución de electricidad de la empresa de servicios públicos locales (AIE, 2018). Algunos estudios en el mundo destacan la importancia de los sistemas solares fuera de la red. Irfan y col. (2019) estudiaron un sistema solar fuera de la red en una comunidad en Pakistán. Analizaron algunas configuraciones, con una irradiación promedio de 5.46 kWh/m²/día, el mejor sistema podría producir 1,496 kWh/kWp anualmente, más de lo necesario para docenas de hogares individuales. Para una pequeña comunidad en India, Arora (2013) diseñó un sistema solar fuera de la red con capacidad para algunos hogares. El autor señaló que a pesar del alto costo del banco de baterías, el sistema es importante para llevar

electricidad a las personas que aún viven sin electricidad. Carvalho (2013) diseñó un sistema fotovoltaico aislado para una comunidad remota en Xapuri en la región amazónica brasileña. Midieron el consumo mensual en los hogares de los residentes y descubrieron que el consumo mensual no es más de 10 kWh/mes. Analizaron que el sistema ha traído beneficios a las familias, como la iluminación en hogares y escuelas, que permiten a los estudiantes estudiar de noche. Además, el proyecto proporcionó aumentos de ingresos para los residentes con actividades artesanales. Aparte de eso, algunos de ellos fueron contratados como agentes que ayudan en el mantenimiento del sistema y reciben R\$ (reales) 700,00 mensuales.

Ante esto, este proyecto propone buscar una solución para el suministro de energía de una aldea aislada en Haití utilizando energía solar local y tecnologías. La propuesta está en línea con el programa del gobierno haitiano “*Banm limyè, banm lavi*”, cuyo objetivo es electrificar a todas las comunidades del país. El trabajo tiene como objetivo diseñar el sistema fotovoltaico a través de la herramienta HOMER, que simula las configuraciones del sistema, como los costos, los componentes, la cantidad de opciones tecnológicas y la disponibilidad de los recursos energéticos disponibles (Islam *et al.*, 2012).

UBICACIÓN DEL ESTUDIO

Hay varias comunidades aisladas en Haití y, como todas las comunidades remotas, se caracterizan por un bajo poder adquisitivo de la población, una logística de transporte inadecuada y en algunos casos el aislamiento de los servicios regulares de suministro de electricidad y una baja densidad de población. Según Villaça (2011, p. 10) “La pobreza y los escasos servicios energéticos van de la mano y mantienen una relación sinérgica”. Generación de electricidad a través de fuentes alternativas utilizando los recursos son bien establecido en muchos países y puede ser una solución viable para la generación de electricidad en estas comunidades y

es un negocio social, económico y ambientalmente viable para mejorar la calidad de vida de las personas en dichas comunidades.

El área de estudio es un pueblo llamado “*Paulin*”. Se encuentra a unos 50 km de la ciudad de *Port-de-Paix*, en el noroeste de Haití (a unos 217 km de la capital de Haití, Puerto Príncipe), en la costa atlántica. El pueblo está atravesado por un gran río conocido como *Trois Rivières*, que para muchos es la principal causa de su aislamiento. Tiene latitud 19,92 Norte, longitud -72,85 Este y elevación 36 m. Los principales cultivos locales son café, plátanos, arroz, tabaco y cacao. Además, otro medio de vida es la pesca. Los habitantes exportan madera y leña e importan carne de res y cerdo. El IDH de la región es 0.498. El pueblo no tiene electricidad, el sistema de iluminación de las casas es a través de queroseno y una lámpara de biomasa convencional. El precio del queroseno es de 0.606 \$/litro, lo que se considera muy alto según el nivel de vida de las personas de la comunidad.

Durante la última década, la tecnología fotovoltaica ha demostrado potencial para convertirse en una fuente importante de generación de energía para el mundo.

METODOLOGÍA

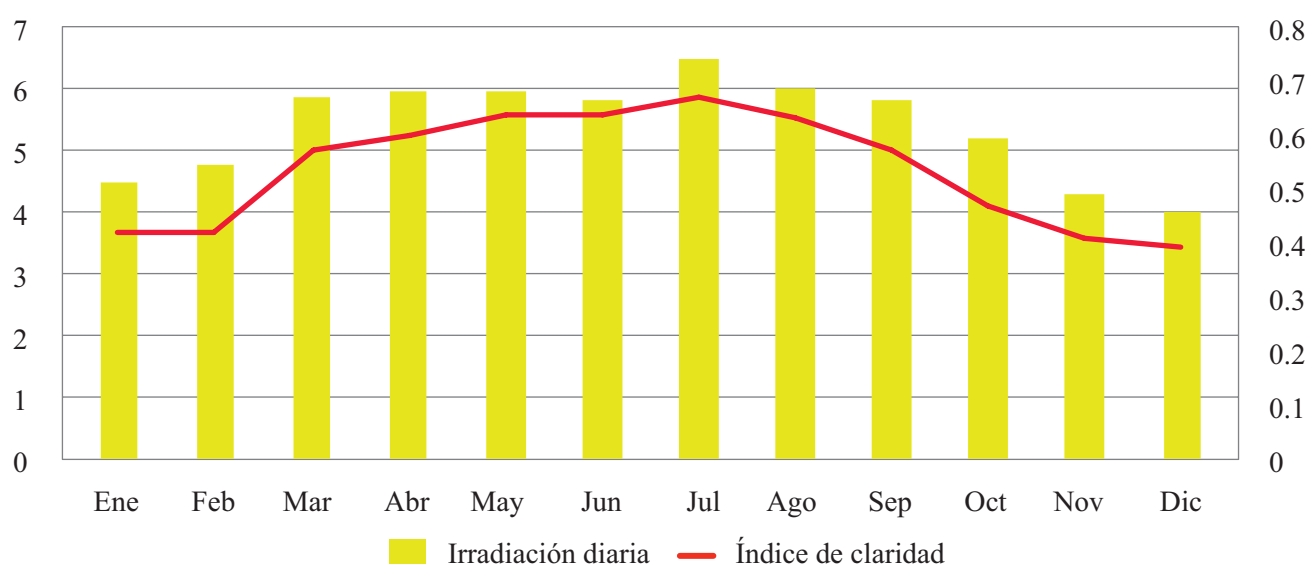
Irradiación solar en el sitio de estudio

Haití tiene un excelente potencial de energía renovable, según las evaluaciones, el país teóricamente tiene el potencial de satisfacer plenamente la demanda de electricidad a través de fuentes y tecnologías renovables que están actualmente disponibles (Worldwatch, 2014). La irradiación horizontal diaria global varía de 5 a 7 kWh/m²/día en la mayor parte del país

y se aproxima a 8 kWh/m²/día en ciertas regiones (Worldwatch, 2014).

En el sitio de estudio, los valores promedio de irradiación solar para cada mes y el índice de claridad atmosférica “*Clearness Index*” se muestran en la figura 1. Entre los meses de marzo y septiembre se encuentra el intervalo con las intensidades de irradiación más altas y se destacan para julio y diciembre con mayor y menor radiación solar durante el año respectivamente.

Figura 1. Promedio mensual de irradiación solar global diaria en la aldea.



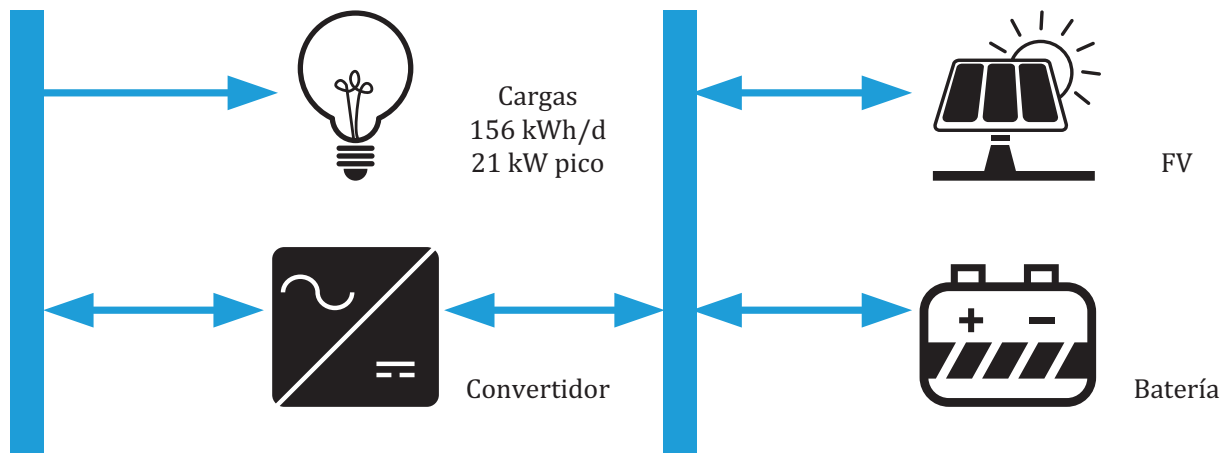
Fuente: Elaboración de los autores.

Simulación

La herramienta HOMER simula todos los costos que ocurren durante la vida del proyecto, incluido el costo inicial (CI), el reemplazo de componentes dentro de la vida del proyecto y el mantenimiento, como lo muestran (Brasil Jr *et al.*, 2015). Para este estudio se consideró y simuló un día típico y esta carga diaria se consideró constante durante todo el año. Los datos relacionados con la carga de electricidad en la aldea se obtuvieron de la base de datos de ubicaciones cercanas a la población de bajos ingresos (EDH, 2018). Este cargo tiene en cuenta el sistema de iluminación, los electrodomésticos y los equipos domésticos.

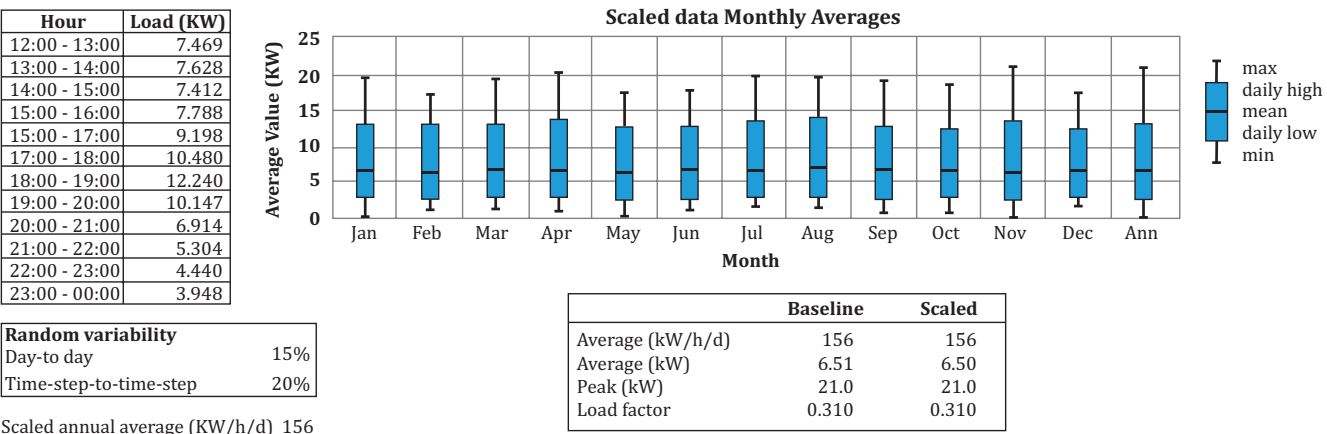
El diagrama esquemático del modelo se presenta en la figura 2. Este modelo contiene paneles solares (FV), un convertidor de potencia y un banco de baterías utilizado para cumplir con los requisitos de carga de la aldea. Los datos de entrada incluyen radiación solar, datos de carga, especificaciones técnicas, datos de costos de módulos fotovoltaicos y convertidores. Los datos de carga eléctrica se presentan en la figura 3, con un promedio anual escalonado de 156 kWh/día, con un factor de carga de 0.31 y la demanda máxima “*peak*” es de 21 kW. Y finalmente, los datos de entrada para cada componente del sistema se presentan en la tabla 1 a continuación.

Figura 2. Arquitectura del sistema fotovoltaico en estudio.



Fuente: Elaboración de los autores.

Figura 3. Demanda de carga en el pueblo.



Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla 1. Datos de entrada para modelado del sistema.

COMPONENTES	TAMAÑO (kW)	COSTO (US\$/kW)	REEMPLAZO (US\$/kW)	O&M (US\$/h)	VIDA ÚTIL (AÑO)
FV	53.2	71,484	71,484	0	20
BANCO BATERÍA	96	107,161	107,161	0	4
CONVERTIDOR	96 (4X20)	13,519	13,519	0	15

Fuente: Elaboración de los autores.

Donde, O&M representa operación y mantenimiento, y FV corresponde al sistema fotovoltaico.

Sistema FV- Batería

En este sistema, el generador fotovoltaico produce electricidad de corriente continua (CC) en proporción directa a la radiación solar global que llega a la aldea. Como se informó anteriormente, el pueblo está a 36 m del nivel del mar, 19° 56'16" Norte y 72° 49' 55" Este. El banco de baterías almacena energía de CC. La corriente CC se convierte en corriente alterna (CA) por medio de un convertidor de frecuencia y esta corriente una vez convertida está lista para su uso. El sistema está controlado por un controlador de carga que se encarga de proteger las baterías, controlar su proceso de carga y descarga, extender su vida útil y garantizar una mayor eficiencia en el almacenamiento de la energía producida.

Costo de Energía: El costo de la energía (COE) es un indicador comúnmente utilizado para comparar el costo de la electricidad de diferentes fuentes. Para analizar la relación costo-beneficio, esta investigación comparó el costo de la electricidad de la red convencional, el costo de la energía solar fotovoltaica y el precio del combustible, ya que es una comunidad donde las personas no tienen acceso a la electricidad. El nivel estimado de costo de electricidad en kWh se calcula mediante la siguiente ecuación (Baurzhan *et al.*, 2016):

$$(Ec. 1) \quad COE = \frac{\sum_{K=1}^n \frac{I_C + M_C + F_C}{(1+d)^c}}{\sum_{K=1}^n \frac{E_a}{(1+d)^c}}$$

Donde c representa el costo, el costo de inversión se indica mediante I_c , el costo de mantenimiento por M_c , el costo de combustible por F_c , el año por k , la cantidad de electricidad producida en kWh por E_a , la tasa de descuento por d y la vida tecnológica de la operación por n .

Haití tiene un excelente potencial de energía renovable, según las evaluaciones, el país teóricamente tiene el potencial de satisfacer plenamente la demanda de electricidad a través de fuentes y tecnologías renovables que están actualmente disponibles.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En los resultados de la simulación, la herramienta HOMER sugirió un sistema (configuración azul) de 53.2 kW equivalente a 380 paneles solares como el más viable. Un convertidor de frecuencia de 24 kW y un banco de baterías de 96 V. El voltaje del sistema es equivalente a 296 Freedom DF4001 (0.240kAh/0.220kAh) baterías estacionarias. Se espera que el costo de capital de este sistema alcance \$125,877, también tiene un costo operativo anual de \$9,587 por año, un costo neto actual (NPC) de \$248,429 y un costo de energía (COE) de 0.341 \$/kWh, según la tabla 2. Este sistema se considera el más viable debido a su menor costo de capital inicial y COE en comparación con las otras configuraciones como se muestra en la tabla 2.

Como se indicó anteriormente, el costo del combustible en la localidad es de 0.606 \$/litro, el COE del sistema propuesto (0.341 \$/kWh) es mucho más bajo, lo que indica que dicho sistema sería más viable en comparación con la compra de combustible para uso doméstico en la región.

Tabla 2. Configuraciones simuladas y el sistema de aldea ideal.

PV (kW)	DF4001	Conv. (kW)	Initial capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
53.2	96	24	\$125,877	9,587	\$248,429	0.341	1.00	4.0
53.2	120	24	\$134,565	11,418	\$280,527	0.385	1.00	4.0
53.2	96	35	\$163,054	10,575	\$298,232	0.410	1.00	4.0
53.2	120	35	\$171,743	12,406	\$330,329	0.454	1.00	4.0

Fuente: Elaboración de los autores.

Especificaciones Técnicas de Componentes

Tabla 3. Especificaciones técnicas de los componentes del sistema.

PANEL SOLAR	Potencia máxima (Pmax)	150W
	Tensión de potencia máxima (Vm)	18,3V
	Corriente de potencia máxima (Im)	8,20A
	Tipo de celda	Silicio Policristalino
	Eficiencia del módulo	15.15%
	Dimensiones (mm)	1480 x 680 x 35 (mm)
	Vida útil	25 años
CONVERTIDOR	Modelo	YT-3000P
	Máxima potencia de salida continua	3000w
	Capacidad pico	6000w
	Máxima eficiencia continua	90%
	Frecuencia	60Hz
	Tensión de entrada	24v DC
	Tensión de salida	220v AC ± 5%
BATERÍA	Capacidad de amperios-hora (Ah) a 25°C	240 Ah para descarga en 100 h y 220 Ah para descarga en 20 h
	Tensión	12 V
	Corrientes de descarga (A)	2.4 por 100 h e 11 por 20 h
	Par de torsión	Mínimo de 9 N.m y Máximo de 11 N.m
	Tensión flotante	de 13.2 a 13.8 V a 25°C
	Tensión de carga/ecualización	de 14.4 a 15.5 V a 25°C
	Vida útil	4 años

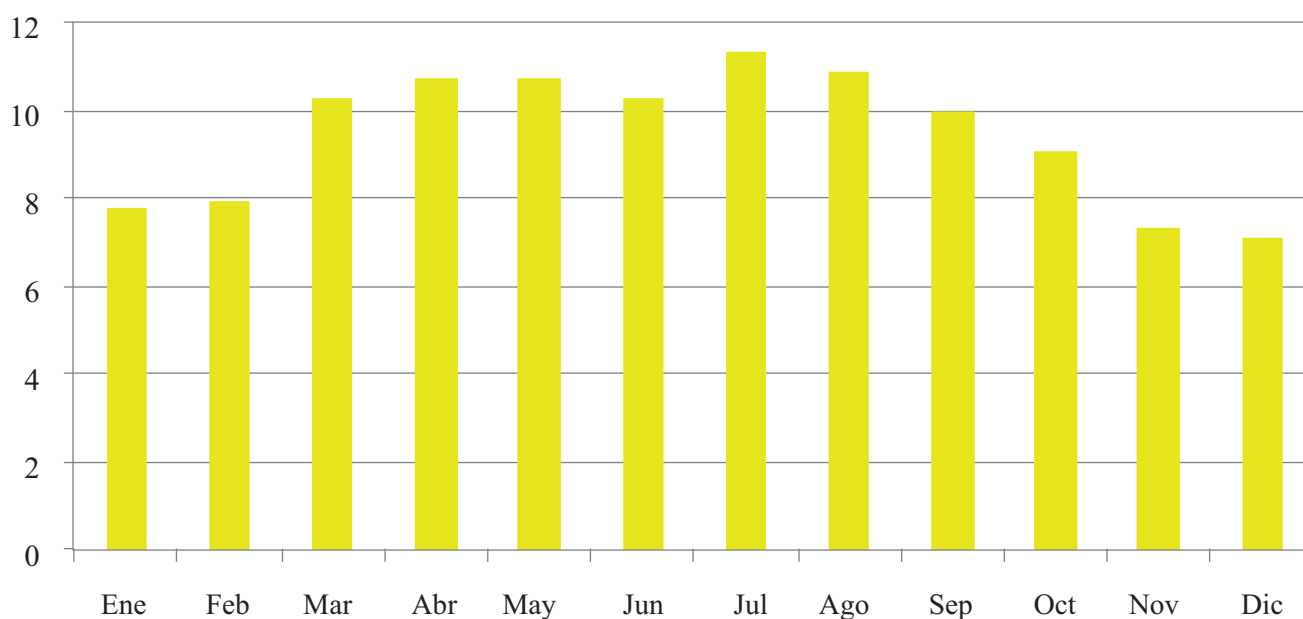
Fuente: Elaboración de los autores.

Análisis de Rendimiento Energético

Como se señaló anteriormente, debido a la fuerte irradiación solar en la localidad, con un promedio de $5.26 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, el sistema proyectado podría satisfacer las necesidades energéticas de la aldea con un 100% de energía solar. La potencia mensual del sistema, como se presenta en la figura 4, muestra una variación de aproximadamente 7 kW en diciembre y aumenta un máximo de 11.5 kW en julio, que son los meses en que la radiación es respectivamente mínima y máxima.

Los paneles fotovoltaicos no tienen costos de reemplazo o mantenimiento durante la vida del proyecto de 25 años. Después de 25 años, el sistema seguirá siendo 80% eficiente.

Figura 4. Promedio mensual de la potencia del sistema FV.

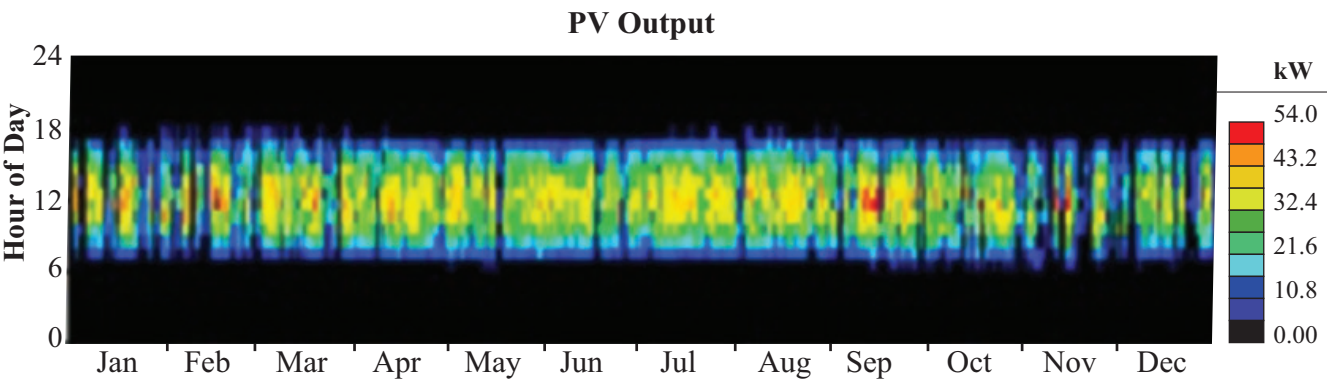


Fuente: Elaboración de los autores.

La figura 5 muestra la salida o cantidad de energía generada por los paneles, para cada hora del día durante todo el año en el pueblo. De 00:00 a 06:00 y de 18:00 a 00:00, el módulo no produce energía, pero de 06:00 a 18:00 genera grandes cantidades de energía, dependiendo de la hora y mes del año. El mes con la generación más baja es diciembre, la energía generada

puede ser inferior a 10.8 kW, según el día. De hecho, julio es el mes con la mayor producción, la energía generada es de 43.2 kW y puede llegar a 54.0 kW dependiendo del día y la hora. Durante los períodos en que no hay generación o baja generación de paneles, el banco de baterías cargadas podría proporcionar toda la energía que necesita la comunidad.

Figura 5. Producción mensual de paneles solares para cada hora del día.



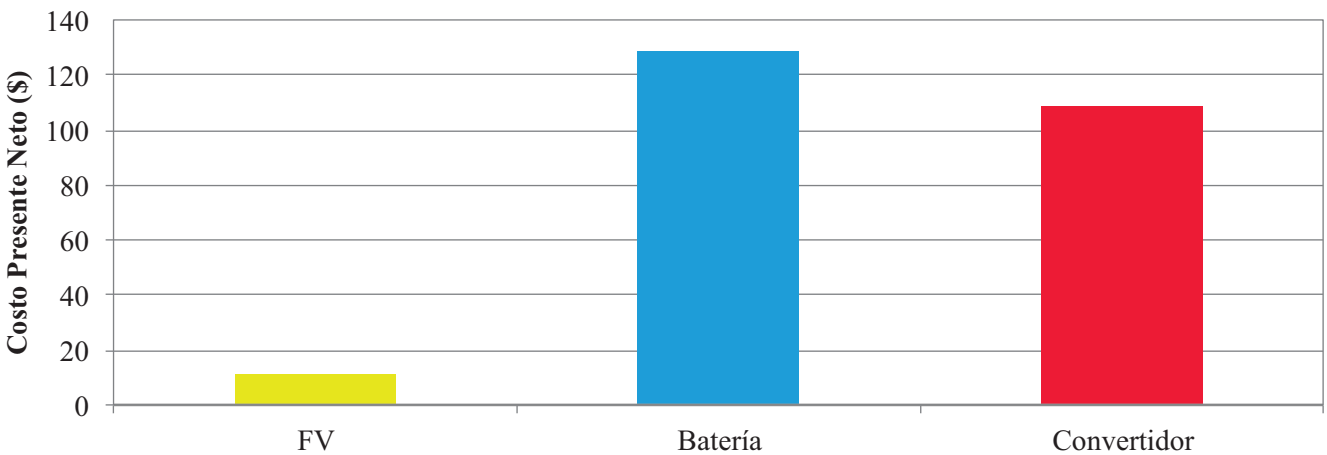
Fuente: Elaboración de los autores.

Análisis Económico

Las estimaciones del costo total del sistema y el costo de sus componentes principales (FV, banco de baterías y convertidor) se muestran en la figura 6. Los costos iniciales de capital, reemplazo, operación y mantenimiento (O&M) y recuperación se resumen en tabla 3. Lo que se puede observar es que la mayor parte del costo

neto actual (NPC) total entre los componentes se concentra en el banco de baterías, porque éste tiene un costo por su reemplazo cada cuatro años durante el ciclo de vida del sistema. El costo más bajo es para paneles fotovoltaicos ya que no tienen costos de reemplazo o mantenimiento durante la vida del proyecto de 25 años. Después de 25 años, el sistema seguirá siendo 80% eficiente.

Figura 6. Resumen de flujo de efectivo “Cash Flow Summary” para cada componente del sistema.



Fuente: Elaboración de los autores.

El capital presupuestado para el sistema es de \$125,877, para el reemplazo de reemplazo es de \$136,675 y los costos de operación y mantenimiento son nulos. El PV, el banco de baterías y los componentes del convertidor tendrán un costo total de \$11,379, \$128,390 y \$108,660 respectivamente, lo que representa el sistema con un costo presente neto de \$248,429 (tabla 4). Este presupuesto es el más bajo en comparación con los costos de implementación de sistemas convencionales que dependen de líneas de transmisión y distribución, equipos, distancias, entre otros.

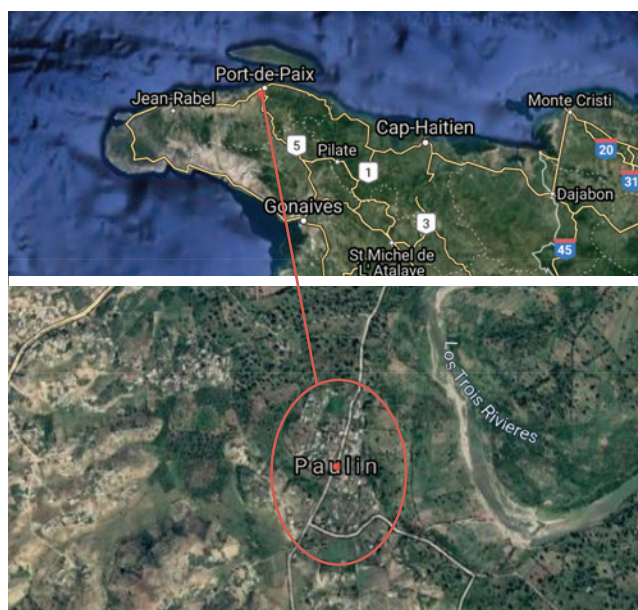
Tabla 4. Los costos de los componentes del sistema.

COMPONENTES	CAPITAL (\$)	REEMPLAZO (\$)	O&M (\$)	TOTAL (\$)
FV	10,008	3,120	0	11,379
BANCO BATERÍA	34,755	99,708	0	128,390
CONVERTIDOR	81,114	33,846	0	108,660
SISTEMA	125,877	136,675	0	248,429

Fuente: Elaboración de los autores.

CONCLUSIONES

Para satisfacer las necesidades energéticas de la aldea “Paulin” en el noroeste de Haití, este estudio se realizó con un sistema de energías solar 100%. El proyecto tiene un costo actual neto de \$248,429, prácticamente ningún costo de mantenimiento y un costo de reemplazo de \$136,675 debido al reemplazo del banco de baterías cada cuatro años. El proyecto aún tiene costos más bajos en comparación con los sistemas convencionales que podrían implementarse en la comunidad. El COE del sistema más viable es \$/kWh 0.341, que es más bajo que el precio del combustible (\$/litros 0.606) utilizado por los aldeanos. El precio del combustible se considera alto, ya que son las personas de muy bajos ingresos quienes dependen de la agricultura no rentable para tener una calidad de vida adecuada. Además



del daño al medio ambiente por el uso de este tipo de combustible y la biomasa tradicional, se encuentran los riesgos para la salud por el uso de lámparas de queroseno para iluminar los hogares de una población que ya sufre de mala atención médica.

La metodología modelo presentada por la herramienta HOMER para la evaluación del potencial de energía solar en la producción de energía fotovoltaica y los resultados encontrados en este trabajo se pueden aplicar a otras comunidades del archipiélago. Lo que en consecuencia puede proporcionar electrificación, desarrollo social y mejorar la calidad de vida de las poblaciones de comunidades pobres del país que utilizan energías renovables.

REFERENCIAS

- Arora, P.R. (2013). World's highest off-grid solar pv potential in india search and penetrate, International Journal of Scientific and Research Publications. Volume 3, Issue 8, ISSN 2250-3153.
- Baurzhan, S.; Jenkins, G.P. (2016). On-Grid Solar PV: Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in Sub-Saharan African countries? Renewable and Sustainable Energy Review, 60, 1405–1418.
- BNEF, (2019). Global trends in clean energy investment. Bloomberg New Energy Finance (BNEF). Report Bloomberg EMEA summit, <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>, [Accedido: 14-October-2019].
- Brasil Jr., A. C. P., Silveira, E. F. y Taygoara, F. O. (2015). Hybrid energy scenarios for Fernando de Noronha archipelago. Energy Procedia 00.
- Carvalho, C.R.F. (2013). Sistema fotovoltaico isolado: uma aplicação prática no projeto Xapuri. Pós-Graduação, Universidade de Lavras, MG, Brasil.
- EDH, (2018). Les ménages et la consommation d'énergie. Électricité d'Haïti (EDH). [Accedido: 11-March-2020].
- EPIA, (2019). European photovoltaic industry association. Report global market outlook for photovoltaics until. <http://www.fotovoltaica.com/fv-look.pdf> [Accedido: 05-October-2019].
- IEA, (2018). Photovoltaic power systems. International Energy Agency (IEA). <http://www.iea-pvps.org/index.php?id=6>, [Accedido: 04-October-2019].
- Islam, A.K.M. S., Md.Mustafizur, R., Md.Alam, H.M. and Firoz, A. (2012). Hybrid energy system for St. Martim Island, Bangladesh: An Optimized model. Procedia Engineering 49.
- Krakowski, V., Assoumou, E., Mazauric, V. and Maïzi, N. (2016). Reprint of feasible path toward 40–100% renewable energy shares for power supply in France by 2050: A prospective analysis. Applied Energy, Vol. 184, pp 1529 - 1550.
- Muhammad Irfan, Zhen-yu, Z., Munir, A. and Abdul, R. (2019). A Techno-economic analysis of off-grid solar PV system: A case study for Punjab Province in Pakistan. Processes, MDPI journal.
- Slimani, M. El A., Amirat, M., Bahria, S., Kurucz, I., Aouli, M. and Sellani, R. (2016). Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic/thermal solar collector: Configuration suitable for an indirect solar dryer. Energy Conversion and Management, Vol. 125, pp 209 - 221.
- UNFPA, (2011). Report on the state of world population 2011. United Nations Fund Population (UNFPA). <https://www.unfpa.org/publications/state-world-population-2011>, [Accedido: 25-Setiembre-2019].
- Villaça, A. L. (2011). A Implantação de mini-redes de energia solar em comunidades isoladas do Amazonas. Thesis, Departamento de Engenharia, Lavras, MG, Brazil, pp. 10.
- Worldwatch, (2014). Feuille de route pour un système énergétique durable en Haïti: Exploiter les ressources énergétiques nationales pour mettre en place un système électrique fiable, abordable et adapté aux changements climatiques. Roadmap – Worldwatch Institute and Ministère des Travaux Publics, Transports, Énergie et Communications, Port-au-prince, Haïti.