

ENERGÍAS ALTERNATIVAS DE APLICABILIDAD EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VENEZUELA: CASO ISLA DE COCHE

Alexis Barroso

abarroso@ucab.edu.ve

Centro de Investigación de Ingeniería / Universidad Católica Andrés Bello-Caracas

RESUMEN

La Isla de Coche, junto a Margarita y Cubagua, componen el estado de Nueva Esparta, posee una población de 8.985 hab (Censo 2011). Pertenece a categoría de las denominadas comunidades remotas o aisladas, que presentan a una serie de problemas debido a su aislamiento geográfico; siendo el acceso a la energía eléctrica uno de ellos. La isla de Coche depende de plantas diesel para la generación de electricidad, con limitada capacidad instalada, equipos envejecidos, poco mantenimiento, altos costos del combustible, elevadas emisiones de gases de efecto invernadero y acceso al combustible. Sin embargo, en los últimos años, las fuentes de energías renovables se han utilizado a nivel mundial para resolver estos problemas. El objetivo fue plantear un sistema híbrido, en base a energías renovables, para la alimentación eléctrica de la isla. Con datos obtenidos de NASA Power se tiene promedios de irradiación solar y velocidad del viento. El software HOMER se utilizó para la modelización del sistema y la optimización de los costos del mismo. Se propone una micro red conformada por un sistema híbrido solar-PV/eólico/diesel con un banco de baterías de respaldo. La zona posee un enorme potencial en energías alternativas del tipo solar y eólico. La irradiación solar promedio es de 5,38 kWh/m²/día y la velocidad del viento promedio de 7,03 m/sg. Esto permitió establecer un diseño óptimo donde al diversificar las fuentes se obtiene un sistema con mayor confiabilidad, el costo de inversión es de 9,5x10⁶\$, comparado con el costo de un cable submarino de alrededor de 12,18x10⁶\$.

Keywords: energía alternativa, electricidad, energía fotovoltaica, energía eólica.

ALTERNATIVE ENERGIES OF APPLICABILITY IN THE ELECTRICITY GENERATION IN VENEZUELA: COCHE ISLAND CASE

ABSTRACT

Coche Island, Margarita and Cubagua, make up the Nueva Esparta state, and it has a population of 8,985 inhabitants (2011 Census). It belongs to the category of remote or isolated communities, which have a series of problems due to their geographic isolation, one of them is the electricity access. Coche island depends on diesel plants for electricity generation, with limited installed capacity, aging equipment, poor maintenance, high fuel costs, high greenhouse gas emissions and access to fuel. However, in recent years, renewable energy sources have been used worldwide to solve these problems. The objective was to propose a hybrid system, based on renewable energies, to supply electricity to the island. With data obtained from NASA Power we have averages of solar irradiation and wind speed. HOMER software was used for system modeling and cost optimization. A microgrid consisting of a solar-PV/wind/diesel hybrid system with a backup battery bank is proposed. The area has an enormous potential for alternative solar and wind energy. The average solar irradiation is 5.38 kWh/m²/day and the average wind speed is 7.03 m/sg. This allowed establishing an optimal design where diversifying the sources results in a system with greater reliability, the investment cost is \$9.5x10⁶, compared to the cost of a submarine cable of around \$12.18x10⁶

Key Words: alternative energy, electricity, photovoltaic power, wind power.

ENERGIAS ALTERNATIVAS DE APLICABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA VENEZUELA: CASO ISLA DE COCHE

RESUMO

A Ilha de Coche, junto com Margarita e Cubagua, formam o estado de Nueva Esparta, tem uma população de 8.985 (Censo 2011). Pertence à categoria das chamadas comunidades remotas ou isoladas, que apresentam uma série de problemas devido ao seu isolamento geográfico; o acesso à eletricidade é um deles. A ilha depende de usinas a diesel para geração de eletricidade, com capacidade instalada limitada, equipamentos antigos, pouca manutenção, alto custo de combustível, altas emissões de gases de efeito estufa e acesso a combustível. No entanto, nos últimos anos, fontes de energia renováveis têm sido usadas globalmente para resolver esses problemas. O objetivo foi propor um sistema híbrido, baseado em energias renováveis, para o abastecimento elétrico da ilha. Com os dados obtidos da NASA Power existem médias de irradiação solar e velocidade do vento. O software HOMER foi utilizado para modelar o sistema e otimizar seus custos. Uma micro rede é proposta consistindo de um sistema híbrido solar-PV/eólico/diesel com um banco de baterias de backup. A área tem um enorme potencial em energias alternativas do tipo solar e eólica. A irradiação solar média é de 5,38 kWh/m²/dia e a velocidade média do vento é de 7,03 m/s. Isso permitiu estabelecer um desenho ótimo onde diversificando as fontes se obtém um sistema com maior confiabilidade, o custo de investimento é de \$ 9,5x10⁶, comparado com o custo de um cabo submarino de cerca de \$ 12,18x10⁶.

Palavras-chave: energia alternativa, eletricidade, energia Fotovoltaica, energia eólica.

Recibido: 31 de marzo 2023 | **Aceptado:** 08 de mayo de 2023

Introducción

La energía proveniente del sol en forma de luz y calor puede ser transformada gracias a los avances tecnológicos, su uso está plenamente justificado, en conjunto con la eólica han estado en pleno desarrollo en los últimos años. Las iniciativas internacionales tienen como objetivo reducir el impacto humano en el cambio climático y están presionando para reducir las emisiones de carbono, lo que requiere la transición a la energía limpia.

Por otra parte, las comunidades remotas se enfrentan regularmente a una serie de problemas debido a su aislamiento geográfico; uno de ellos es el acceso a la energía eléctrica (Goldemberg & Lucon, 2010). Estas zonas por lo general dependen de plantas diesel para la generación, que presentan problemas tales como limitada capacidad eléctrica instalada, equipos envejecidos, poco mantenimiento, altos costos del combustible, elevadas emisiones de gases de efecto invernadero y la logística del combustible. Sin embargo, en los últimos años, las fuentes de energía renovable se han utilizado para resolver algunos de estos problemas.

En el pasado, el suministro de electricidad representaba altos costos y mayor impacto ambiental, desde el enfoque tradicional de los sistemas de potencia, ya que se requería la ampliación de la red de transmisión y distribución para conectar poblaciones aisladas, haciendo inviable tales inversiones. Pero, las nuevas tecnologías han originado una revolución, emergiendo así la generación distribuida, que rompe con el enfoque tradicional de generación, transmisión, distribución y consumidores (Hunt & Shuttleworth, 1996). En este aspecto, las micro redes juegan un papel importante como forma alternativa a la integración de fuentes renovables de energía a los sistemas de potencia.

Una micro red es básicamente un sistema que conecta las cargas eléctricas con fuentes de generación distribuidas. Éstas pueden funcionar conectadas a la red eléctrica o de forma autónoma, se caracterizan por ser de bajo impacto ambiental y pueden incorporar sistemas de generación de energías renovables, que unido a un sistema de almacenamiento se están haciendo cada vez más populares gracias a la disminución de sus costos.

Las micro redes ofrecen importantes beneficios

Barroso Alexis

para los usuarios y para la red eléctrica en general, tales como mayor confiabilidad al introducir diferentes fuentes; mayor calidad de energía mediante la gestión de cargas locales; reducción de la emisión de carbono mediante la diversificación de fuentes de energía; operación económica al reducir los costos de transmisión y distribución (T&D); utilización de GD renovables menos costosas; y ofrecer eficiencia energética (Parhizi, Lotfi, Khodaei, & Bahramirad, 2015).

En cuanto a la energía solar en Venezuela, las primeras mediciones de la incidencia solar en Venezuela datan del año 1983, cuando el Ministerio Medio Ambiente y Recursos Renovables en conjunto con la Fuerza Aérea Venezolana estimaron un potencial de 4,5 kWh/m²/día en el Estado Amazonas y de 6,4 kWh/m²/día en el noroeste del país. Dividiendo las zonas en Bueno y Muy Bueno en función de la incidencia solar. En el 2004 se presentó las estimaciones realizadas por el entonces Ministerio de Energía y Petróleo para el Plan de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2005-2024 (MEP, 2004) como se muestra en la Figura 1. Es decir, se posee condiciones idóneas para la explotación de este recurso.

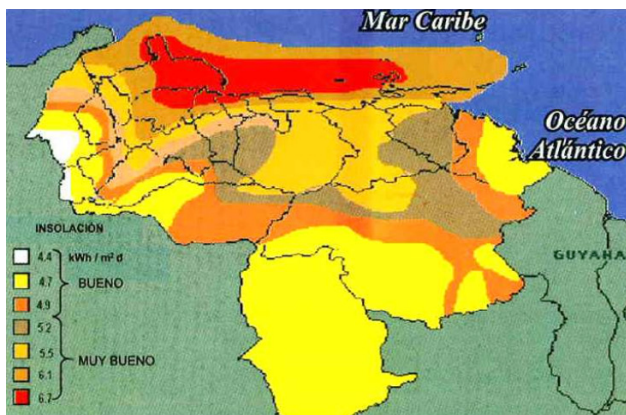


Figura 1: Zonas de Potencial Solar (Ministerio de Energía y Petróleo-2004)

Por su parte, el potencial de energía eólica en Venezuela, la Figura 2 se puede apreciar el mapa de las líneas de vientos en Venezuela, donde se observa las penínsulas de la Guajira y Paraguaná, las cuales son barridas por los vientos alisios, la mayor parte del año, soplan desde el mar caribe con rumbo nordeste -suroeste. Poseen gran potencial para grandes sistemas de generación.

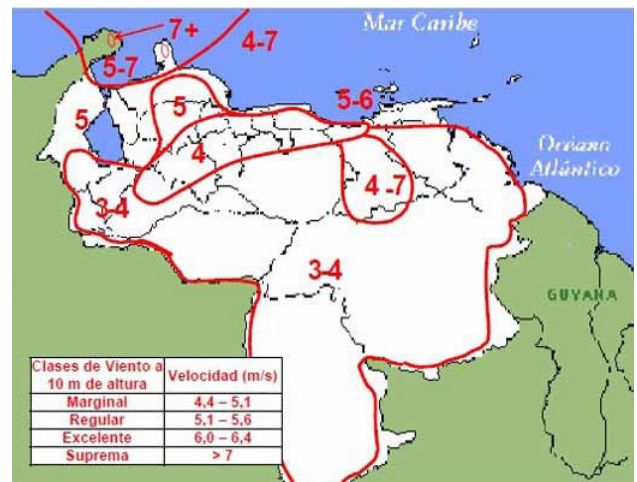


Figura 2: Mapa de líneas de Vientos en Venezuela a 10 m de altura (MEP, 2004)

En los estados Falcón, Zulia y Nueva Esparta, los valores promedios medidos en las estaciones meteorológicas son mayores o iguales a los 5 m/s, a 10 mts de altura. Llegándose a registrar valores supremos mayores a 7 m/sg. Estos valores en la magnitud del viento significan que se podría desarrollar la energía eólica a mediana y gran escala. Produciendo oportunidades para la generación de energía eléctrica que mejoren la calidad de servicio en zonas urbanas, reduciendo los racionamientos aplicados actualmente por déficit de generación.

Metodología

Se realizó una simulación de una micro red mediante un programa de optimización, con tres escenarios de energías alternativas y su combinación, aplicado a la Isla de Coche, Región Insular, Venezuela. Las simulaciones fueron realizadas en HOMER (Hybrid Optimization Model for Electric Renewable), el cual permite calcular los costos nivelados de electricidad (LCOE, por sus siglas en inglés), de manera de comparar tecno-económicamente las diferentes configuraciones. La salida de potencia del arreglo fotovoltaico se obtiene a través de la ecuación (1):

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} [1 + \alpha (T_c + T_s)] \quad (1)$$

Donde f_{PV} es el factor de reducción de potencia del panel solar, toma en cuenta la reducción de salida en condiciones reales para tener en cuenta factores como la

suciedad de los paneles, las pérdidas de cableado, el sombreado, el envejecimiento, temperatura. YPV es la capacidad del panel en kW, IT la radiación solar que incide en el arreglo fotovoltaico (kW/m²), IS radiación incidente en condiciones de prueba estándar (1 kW/m²), α coeficiente de dilatación, Tc temperatura del panel fotovoltaico y Ts es la temperatura bajo condiciones estándar 25 °C.

En cuanto a la turbina eólica la manera de cuantificar la energía potencial, es a través de la ecuación (2) que calcula la potencia disponible por unidad de área barrida por las hélices de la turbina:

$$P_t = 0,5\rho C_p \sum (V_i^3 t_i) \quad (2)$$

Donde V_i es la velocidad media para un intervalo, t_i relación entre el número de horas correspondientes al intervalo de tiempo elegido con respecto al total de número de horas, C_p el coeficiente de potencia de la turbina de viento dado por el fabricante, ρ es la densidad del aire. El cálculo de los costos asociados con la generación de energía se realiza mediante la ecuación (3):

$$C_{VPN} = \frac{C_{\text{anual tot}}}{FRC} \quad (3)$$

Donde $C_{\text{anual total}}$ es el costo total anualizado y FRC es el factor de recuperación de capital y está dado (4):

$$FRC(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4)$$

N es el número de años e i la tasa de interés. Para poder realizar comparaciones entre las diferentes tecnologías empleadas en la generación de energía eléctrica, a través de diversas fuentes, se usa el costo nivelado de electricidad (LCOE) como:

$$LCOE = \frac{C_{\text{anual tot}}}{E_t} \quad (5)$$

E_t es la energía total suministrada en un año. Los estudios se realizaron en tres escenarios combinados con las plantas diesel existentes en la isla. Las condiciones de irradiación solar promedio es de 6,2 kWh/m²/día, velocidad del viento promedio anual de 7,8 m/sg, ubicación espacial Latitud 10.782587°, longitud -63.940198°, valores obtenidos de Global Solar Atlas (Atlas, 2022) y NASA Power (NASA, 2021). Dichos escenarios son:

- Escenario 1: Solar-Eólica-Batería-Planta Diesel.
- Escenario 2: Solar-Batería- Planta Diesel.
- Escenario 3: Eólica-Batería- Planta Diesel.

Resultados y Discusión

La curva de demanda diaria estimada de la isla de Coche se presenta en la Figura 3, la cual se basa en información del sistema eléctrico de la isla (Censo, 2014) y método de estimación de la demanda (Westinghouse, 1965).

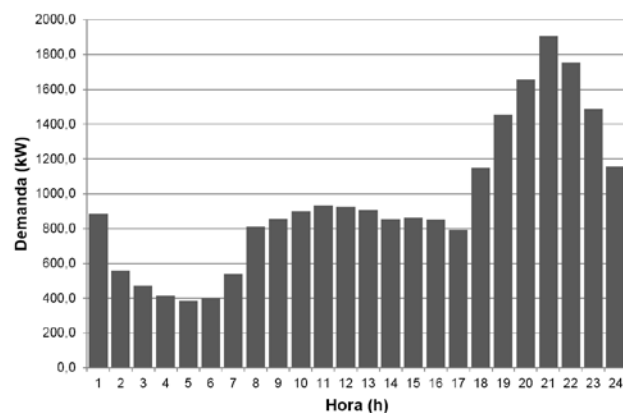


Figura 3: Curva de demanda Isla de Coche (fuente: Propia)

Con una demanda máxima de 1.906 kW y energía diaria de 22.920 kWh, para el primer año, con un crecimiento anual de 2%. Se simuló los tres escenarios, descritos anteriormente. La tabla I muestra los resultados, tomando como base el costo nivelado (LCOE, por sus siglas en inglés).

Tabla 1: Resultados a partir de los precios nivelados de energía (LCOE)

#	Combinación de la energías alternativas	Capital (\$)	LCOE (\$/ kWh)	Costos Operación y Mantenimiento Anual (\$)	Fración de Energía Renovables (%)	Costo del Combustible Anual (\$)
1	Solar-Eólica-Batería-Plantas Diesel	9.519.969	0,19	528.206	88	290.357
2	Solar-Batería-Plantas Diesel	3.907.500	0,24	1.870.234	39	1.792.084
3	Eólica-Batería-Plantas Diesel	7.120.000	0,3	1.832.356	68	1.689.956

Barroso Alexis

La microred propuesta para la Isla de Coche está constituida por un sistema fotovoltaico de 2,8 MWp, parque eólico con capacidad de 4 MWp y una configuración de baterías de litio de 2 MWh. Dicha combinación representa el menor costo nivelado (LCOE), con una disponibilidad de varias fuentes primarias de energía, aumentando la confiabilidad en el suministro de electricidad. Además, se tomó en cuenta las plantas diesel existentes en el sistema. El comportamiento se presenta en la Figura 4, donde se muestra la relación generación- demanda con las diferentes tecnologías, en un ciclo de una semana. Por otra parte, el 88% de la potencia generada es de carácter renovable, disminuyendo el uso de combustible, dichas plantas solo operarán cuando sea necesario, por indisponibilidad de la energía solar fotovoltaica y la eólica.

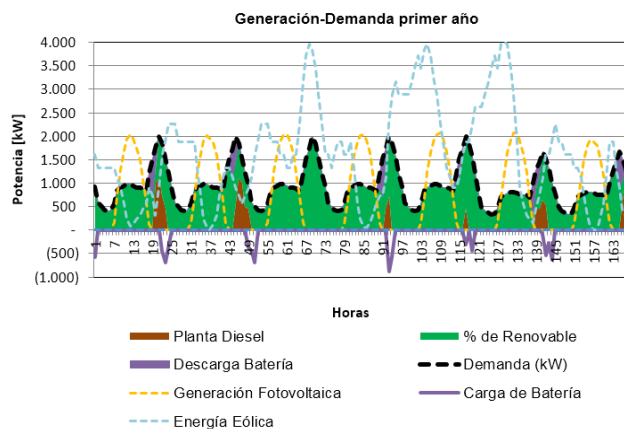


Figura 4: Curva Generación-Demanda (Fuente propia con datos obtenidos de Homer)

Para el combustible diesel se toma un costo de 0,5 \$/l para cada caso, siendo este el precio actual en Venezuela. En cuanto a una posible interconexión del sistema, según

(Nieradzinska, Maclver, & Gill, 2016) el kilómetro de cable submarino a 33 kV oscila los 1,35 millones de dólares, como un estimado. La conexión con la Isla de Margarita podría ser desde El Yaque, a través de la subestación Aeropuerto, implicando un recorrido de alrededor de 9 km de cable submarino, que oscila los 12,18 millones de dólares. Dependiente del suministro eléctrico de la Isla de Margarita y de sus racionamientos de energía eléctrica.

Conclusión

En este trabajo se propone una microred formada por un sistema híbrido solar fotovoltaico/eólica/diésel con un banco de baterías de respaldo. El mismo fue simulado y optimizado para la Isla de Coche, zona aislada del sistema eléctrico nacional, al sur de la Isla de Margarita. A la vista de los resultados de la simulación, la producción eléctrica del sistema óptimo asciende a 20.833 MWh/año, de los cuales el sistema solar fotovoltaico solar, el sistema de energía eólica y el generador diésel contribuyen en un 23%, 49% y 9%, respectivamente y la energía almacenada en las baterías aportan un 19%. Basándose en la comparación de los impactos económicos y medioambientales, es evidente que el sistema híbrido con un 88% de penetración de las energías renovables es rentable a largo plazo y evitaría el uso de combustibles de origen fósil. La posición geográfica del país ofrece condiciones idóneas para la explotación de las diferentes energías alternativas.

Referencias

- MPPEE. (2014). *Anuario Estadístico Sector Eléctrico Venezolano*.
- N. Hatzigiorgiou, M. D. (2002). *Modeling of New Forms of Generation and Storage*. CIGRE Technical Brochure.
- NASA. (08 de 05 de 2021). *POWER Data Access Viewer v2.0.0*. (NASA) Recuperado el 15 de 01 de 2022, de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Nieradzinska, K., Maclver, C., & Gill, S. (2016). *Optioneering analysis for connecting Dogger Bank offshore wind farms to the GB electricity network*. Elsevier Renewable Energy, 120-129.
- Parhizi, S., Lotfi, H., Khodaei, A., & Bahramirad, S. (2015). *State of the Art in research on Microgrids: A Review*. IEEE Access.
- Ministerio de Energía y Minas. (2004). *PDSN 2005-2024*. Caracas: MEM.
- Rigoberto Andressen, C. L. (2012). *Energía eólica evaluación meteorológica de su aprovechamiento en Venezuela*. Instituto de Geografía y Desarrollo Regional y de los Postgrado en Geografía, UCV, 28(43).

Belmonte, J. F. (2009). *Integración de las energías renovables en procesos de ordenamiento territorial*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) , 13, 41-48.

Torresolarenergy.com. (2013). *Estructura de una torre Termosaolar*.

Westinghouse. (1965). *Distribution Systems*. Pennsylvania.

Copérnico