



*Análisis del Potencial Eólico y solar para la Implementación de un Sistema Híbrido de Generación Eléctrica Ubicadas en una Comunidad Rural Oriental de la Provincia de Zamora Chinchipe*

*Analysis of the Wind and Solar Potential for the Implementation of a Hybrid Electricity Generation System Located in an Eastern Rural Community of the Province of Zamora Chinchipe*

*Análise do Potencial Eólico e Solar para a Implementação de um Sistema Híbrido de Geração de Eletricidade Localizado em uma Comunidade Rural Oriental da Província de Zamora Chinchipe*

Diego Patricio Ávila-Villavicencio <sup>I</sup>  
[diego.avila@ucacue.edu.ec](mailto:diego.avila@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7160-3277>

Trajano Javier Gonzalez-Redrovan <sup>II</sup>  
[tjgonzalezr@ucacue.edu.ec](mailto:tjgonzalezr@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9978-5367>

Daniel Orlando Icaza-Álvarez <sup>III</sup>  
[dicaaaa@ucacue.edu.ec](mailto:dicaaaa@ucacue.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-9989-6809>

**Correspondencia:** [diego.avila@ucacue.edu.ec](mailto:diego.avila@ucacue.edu.ec)

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Revisión

**\*Recibido:** 01 de Noviembre de 2021 **\*Aceptado:** 18 Diciembre de 2021 **\* Publicado:** 10 de Enero de 2022

- I. Jefatura de Posgrados - Maestría en Energías Renovables, Ingeniero Eléctrico, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- II. Especialista en Docencia Universitaria, Magister en Energías Renovables, Ingeniero Eléctrico, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- III. Especialista en Gerencia de Empresas de Telecomunicaciones, Magister en Electricidad Mención en Sistemas Eléctricos de Potencia, Magister en Gestión de Telecomunicaciones, Ingeniero Eléctrico, Maestría en Energías Renovables, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

## Resumen

Con el propósito de hacer un estudio de pre factibilidad para vinculación de diferentes fuentes de generación de energía eléctrica renovables como los son: eólicas, solares, para dotar de energía a una zona rural marginal denominada El Plateado, Parroquia La Canela, Perteneciente al Cantón Palanda, Provincia de Zamora Chinchipe.

El propósito de esta investigación es cubrir demandas de energía en zonas alejadas y dar alternativas a las Empresas Distribuidoras del País para la combinación de fuentes de energía renovables en pequeña escala.

Mediante el software Homer Pro se determinará si es factible o no energéticamente cubrir las demandas requeridas.

**Palabras claves:** Combinación de fuentes de energías renovables; Palanda; pequeña escala; Software Homer Pro; Energía; Potencia.

## Abstract

With the purpose of doing a pre-feasibility study for linking different sources of renewable electricity generation such as: wind, solar, to provide energy to a marginal rural area called El Plateado, La Canela Parish, belonging to the Canton Palanda , Province of Zamora Chinchipe.

The purpose of this research is to cover energy demands in remote areas and provide alternatives to the Distribution Companies of the Country for the combination of small-scale renewable energy sources.

Using the Homer Pro software, it will be determined whether or not it is energetically feasible to cover the required demands.

**Keywords:** Combination of renewable energy sources; Palanda; small scale; Homer Pro software; Energy; Power.

## Resumo

Com o objetivo de fazer um estudo de pré-viabilidade para vincular diferentes fontes de geração de eletricidade renovável, como: eólica, solar, para fornecer energia a uma área rural marginal chamada El Plateado, freguesia de La Canela, pertencente ao Cantão Palanda, província de Zamora Chinchipe.

O objetivo desta pesquisa é cobrir demandas de energia em áreas remotas e fornecer alternativas às Distribuidoras do País para a combinação de fontes de energia renovável de pequena escala. Utilizando o software Homer Pro, será determinado se é ou não viável energeticamente para atender as demandas requeridas.

**Palavras-chave:** Combinação de fontes renováveis de energia; Palanda; pequena escala; Software Pro Homer; Energia; Poder.

## **Introducción**

El Plateado se encuentra a unos 23 km de la red de la empresa eléctrica, y su ubicación está considerada como de reserva biológica, por lo que dotar de energía eléctrica mediante el servicio de distribución de redes aéreas tendría un impacto negativo al medio ambiente debido al desbroce que se debe realizar para su construcción y mantenimiento además que representa un valor elevado económicamente en su ejecución. El utilizar centrales térmicas, provoca la utilización de recursos energéticos no renovables como los combustibles fósiles por lo que aumenta la contaminación y sus costos son elevados.

Es por tal razón que se propone hacer un análisis de las características energéticas solares y eólicas y aprovechar la radiación solar velocidades de viento. Para ello se basarán del atlas solar ecuatoriano de igual manera con las características del viento. Esto debido a que cerca de la zona no existe una estación meteorológica.

El avance tecnológico que ha tenido los equipos de generación eléctrica renovable es motivo para poder ser utilizados en diferentes condiciones climatológicas, su dimensionamiento y altura de la turbina eólica, la cantidad de los paneles fotovoltaicos serán seleccionados en base a la demanda requerida por la población. El sistema híbrido tiene la característica de proporcionar un mayor rendimiento que la generación de manera individual.

## **Ubicación**

La implementación del presente proyecto se lo pretende realizar en el Sector El Plateado, de La Parroquia La Canela, Cantón Palanda, Provincia de Zamora Chinchipe. La localización exacta del proyecto presenta las siguientes coordenadas: 17S 737723; 9497155 en el sistema UTM. Actualmente poseen un servicio de energía eléctrica por medio de paneles solares que se

dimensionó para una cantidad menor de viviendas. En la actualidad abastece a la comunidad pero que se encuentra saturada su sistema de generación.

### Sistema Fotovoltaico en Ecuador

En Ecuador los últimos años ha existido un cambio en la matriz energética apostando por las energías renovables y disminuyendo las de generación con combustibles fósiles.

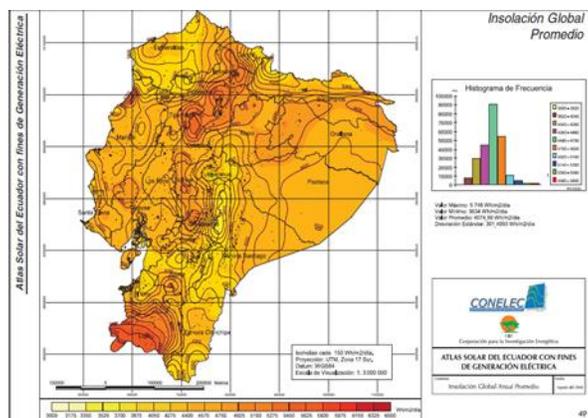
DESCRIPCIÓN	Generación Biomasa	Generación Eólica	Generación Fotovoltaica	UNIDAD
TIPO	Renovable	Renovable	Renovable	
POTENCIA	407,75	93,81	36,06	GWh
PORCENTAJE	1,55	0,38	0,14	%

**Tabla 1.-** Datos de generación eléctrica

**Fuente:** Elaboración Propia, datos obtenidos de Plan maestro de Electricidad 2016-2025[1]

Como se puede apreciar en la tabla la energía solar fotovoltaica todavía no aporta con un valor elevado (0,14%) comparado con las otras fuentes, sin embargo ha existido un incremento de su uso en los últimos años, especialmente en el sector residencial.

El Ministerio de Energías del Ecuador por medio de la antigua entidad EX - CONELEC planteó en el año 2008 el Atlas Solar con fines de generación eléctrica. Este documento indica la capacidad de radiación directa y difusa, la misma que está expresada en Wh/m<sup>2</sup>/día. Este Atlas también nos muestra la cantidad de insolación en las diferentes provincias, siendo las de mayor potencial: Carchi, Imbabura y Loja.[2]



**Fig. 1.-** Mapa de Radiación del Ecuador

**Fuente:** Atlas Solar del Ecuador

## **Sistema Eólico en Ecuador**

Respecto al recurso eólico, el Ecuador ha generado de igual manera por parte del ministerio de electricidad el Atlas eólico de todo el País, esto permite cuantificar sus cantidades en las diferentes regiones para poder aprovechar este recurso natural.

La generación eólica en el Ecuador está alrededor del 0.38% de la total producida. En la región costanera se tiene velocidades de alrededor de 7 m/s, en la región andina en particular en la provincia de Loja con vientos de 12.4 m/s, en la zona oriental en especial en la provincia de Zamora Chinchipe con vientos menores al 5 m/s. [3]

Con los datos proporcionados anteriormente se puede verificar que existe un mejor aprovechamiento del recurso eólico en la región sierra en particular en la Provincia de Loja. Esta para la producción de energía en grandes escalas. En Ecuador existen hasta el momento 3 proyectos de eólicos, el de mayor potencia (16,5 MW) ubicado en la provincia de Loja en el cerro Villonaco, y los otros dos ubicados en las Islas Galápagos de 2,4 – 3,2 MW.

El sector en estudio perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe, no posee un viento con características para generación en gran escala, esto a 30 mts sobre el nivel del suelo, según el Atlas de Generación Eólica.

En el programa Homer Pro nos indica una velocidad promedio del viento alrededor de los 3,9 m/s.

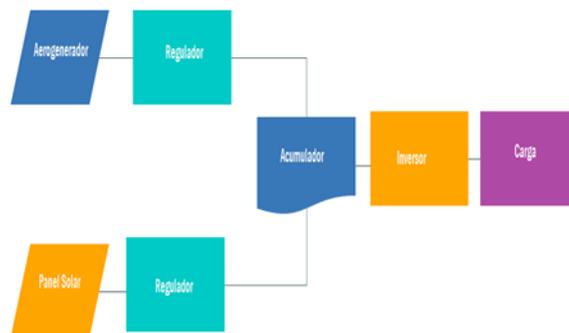
## **Sistemas Híbridos**

Un sistema híbrido consiste en la combinación de diferentes fuentes de generación eléctricas, estas fuentes pueden ser renovables o no renovables. Las diferentes combinaciones depende de las características y condiciones del lugar donde se pretende dotar de energía eléctricas, estas combinaciones pueden ser por ejemplo: Eólico-fotovoltaico; eólico-fotovoltaico-hidráulico, entre otras.

Para lugares muy distantes donde no es posible conectarse a la red de energía eléctrica se pueden realizar las combinaciones anteriormente mencionadas con un sistema de almacenamiento por medio de baterías. Estas son buenas alternativas para sistemas autónomos.

El proceso a seguir para determinar la potencia de generación utilizada en el sistema híbrido es dimensionar cada uno de los elementos de generación, para ello analizamos las condiciones meteorológicas de la zona como son velocidades del viento y radiación solar. Los sistemas

híbridos tienen una ventaja de confianza ante los sistemas de generación de una sola fuente ya que al no depender de una sola fuente de generación aumenta en el sistema la confiabilidad del suministro de electricidad.



**Fig2.** Esquema de Generación Híbrida  
**Fuente:** Elaboración Propia, basado del Autor Cuco Pardillo

## Desarrollo de la Metodología

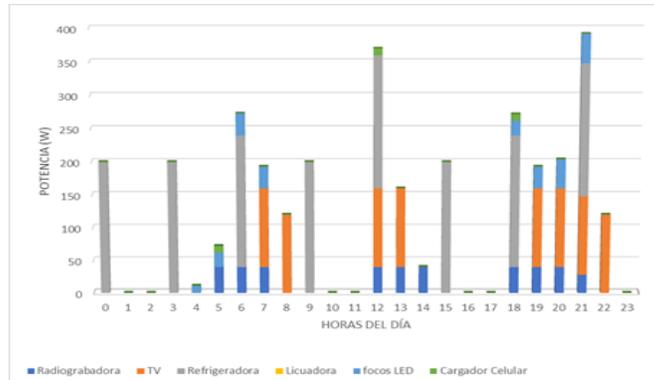
### Determinación de la Demanda

La comunidad de El Plateado, está conformada actualmente por 20 familias, un centro comunitario y una cancha de uso múltiple, tiene la siguiente característica de la carga típica de cada vivienda:

DEMANDA ENERGÉTICO						
ITEM	Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Potencia TOTAL (W)	Horas / día	Energía (Wh/día)
1	focos LED-interior	5	11	55	4	220
2	TV	1	120	120	4	480
3	Refrigeradora	1	200	200	8	1600
4	Licudora	1	200	200	0.03	6
5	DVD	1	15	15	2	30
6	Radiograbadora	1	40	40	6	240
8	Cargador de Celuar	1	10	10	1.25	12.5
POTENCIA INSTALADA (W)				640		
ENERGÍA REQUERIDA POR DÍA (Wh/día)						2588.5

**Tabla N°2.-** Demanda por vivienda  
**Fuente:** Elaboración Propia, Datos proporcionados de la EERSSA

Estimando el consumo de cargas durante todo el día tenemos la siguiente curva de cargas de los consumos en horas, se puede apreciar que en las horas siguientes existe un mayor consumo de energía: 06:00 – 12:00 – 21:00



**Fig3.** Diagrama de Carga  
**Fuente:** Elaboración Propia, basado del Autor INEL

Considerando un rendimiento global de toda la instalación de 0,693 nos proyecta una demanda energética de:

$$Demanda\ Energética = \frac{Energía\ Total\ Diaria}{Rendimiento\ Global}$$

$$Demanda\ Energética = 3735,21\ Wh/día$$

Con estos valores calculados procedemos a dimensionar cada una de las fuentes generadoras fotovoltaicas.

### Resultados del Recurso Solar

Los datos de radiación solar que se muestran fueron tomados del Atlas solar de Ecuador y contrastados con la información de la base de datos de la National Aeronautics and Space Administration-NASA.

Al analizar los datos de radiación solar (Fig. 4), se puede observar que el mes de mayor radiación es noviembre, con un promedio de 4950 Wh/m2.día; el de menor radiación es junio con 3750 Wh/m2.día y la radiación promedio en el año es de 4187.5 Wh/m2.día, por lo que se considera que existe un buen potencial para el desarrollo de la energía solar fotovoltaica. Los cálculos preliminares de diseño de forma manual se determinaron que el proceso de simulación se llevará a cabo con un generador Fotovoltaico (FV) de potencia 14,9 kWp

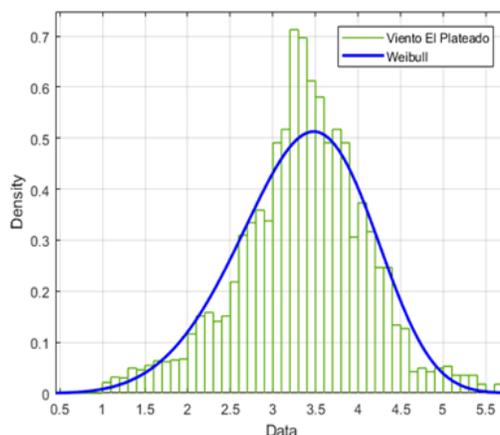


**Fig. 4** Irradiación promedio  
Fuente: Elaboración Propia,

### Resultados del Recurso Eólico

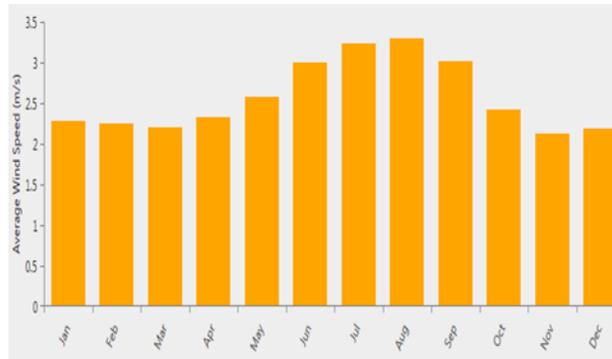
Al estar ubicado, el sector en análisis, en una zona marginal rural se hace necesario utilizar los sistemas aislados de pequeña escala.

La base de datos de la NASA ofrece los valores de velocidad de viento promedio mensual de los años 2015 al 2020. Para el procesamiento de estos datos se usó el software Matlab, se determinó el histograma de frecuencias y se ajustaron los mismos a una distribución de probabilidad de Weibull que es la más empleada para caracterizar la frecuencia de ocurrencia de una velocidad de viento. Como parámetros de dicha distribución se determinaron el factor de forma de 4,968 y el factor de escala de 3,64 quedando está representada gráficamente en la Fig. 5.



**Fig 5.** Histograma de Frecuencias y Distribución de Weibull  
Fuente: Elaboración Propia

En la Fig. 6 se muestran las velocidades de viento promedio mensuales, es de señalar la velocidad promedio anual, 3,07 m/s, y los mese con más recurso son los meses de julio y agosto.



**Fig 6.** Velocidades de viento promedio mensuales  
**Fuente:** Atlas del Ecuador

Para determinar la factibilidad del uso de un aerogenerador de 1KW en el mercado

Por lo que se considerará un valor medio de las mediciones anteriores por una cantidad de 2,47 m/s

### **Aplicación de los Datos Obtenidos**

El sistema de generación de energía eléctrica propuesto se basa en el aprovechamiento de energía, eólica y fotovoltaica. La finalidad del estudio es determinar la factibilidad para realizar la combinación de estas dos fuentes a través de un sistema híbrido para alimentar la demanda eléctrica propuesta.

Los sistemas híbridos pueden tener múltiples configuraciones en función del factor de participación de cada fuente con la finalidad de suplir la demanda. El Software HOMER Pro determina un parámetro que se denomina Unmet electricit load (demanda eléctrica insatisfecha) que determina la mejor combinación y estrategia para determinar si el sistema eléctrico es capaz de satisfacer la demanda.

A continuación se muestra el modelo desarrollado para realizar los diferentes análisis de factibilidad.

En la Fig.7 se muestra el esquema del sistema híbrido eólico fotovoltaico diseñado para la zona El Plateado así como sus principales componentes. HOMER Pro es capaz de simular muchas posibles variantes de sistemas y hacer un análisis económico de cada una por separado; lo que permite comparar usando criterios como el costo de la energía, demanda insatisfecha, capital inicial y cash flow de cada variante, para decidir cuál es la más adecuada para las necesidades de la Zona El Plateado.



Fig. 7 Modelamiento del Sistema Propuesto en el Software Homer pro

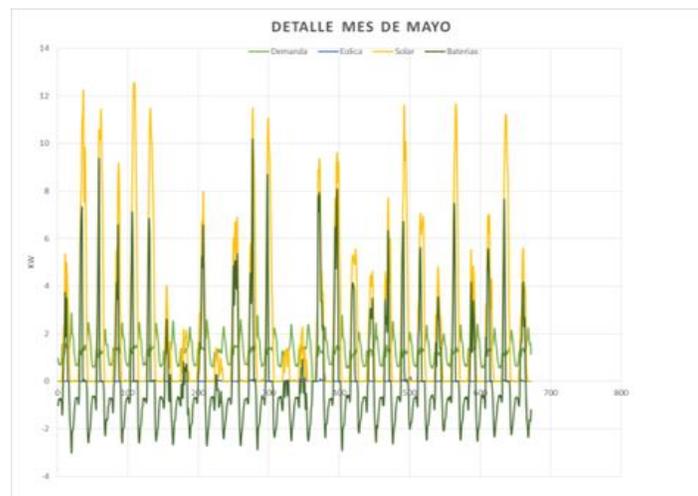
Las variables de resultados de un año de simulación y optimización del sistema propuesto, del cual se realiza un filtro para el mes pico en donde la demanda es alta, es decir, el mes de mayo. En el mismo Anexo se puede encontrar los campos tanto de indicadores como Unmet electricity load y el Excess Electricity que permiten hacer una validación técnica del sistema. A continuación se detalla las capacidades del sistema simulado.

DIMENSIONAMIENTO	
DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICA
SISTEMA FOTOVOLTAICO	14,9 kWp
BATERÍAS	Cantidad: 72
	Tamaño del String: 8
	String en paralelo: 9
	Tensión: 48 V
INVERSOR	4 Kw
AEROGENERADOR	1 Kw

Tabla N°3.- Demanda por vivienda  
Fuente: Elaboración Propia, Datos proporcionados de la simulación HomerPro

## Discusión

En cuanto a fiabilidad del sistema está estrechamente relacionada con la demanda insatisfecha que para este sistema es de alrededor de 0.0664%, ya que en la medida que disminuyen las interrupciones del servicio eléctrico se dispone de un sistema más fiable o de mayor calidad. Esto representa un 4.113kWh/año que a breves rasgos son 5.85 horas sin suministro de electricidad al año. Si bien cierto el valor es relativamente bajo se puede considerar la colocación de un grupo electrógeno de emergencia.



**Fig. 8.-** Detalle de simulación mes de mayo

De esta gráfica se puede observar que el aporte de generador eólico es mínimo, este escenario se repite a lo largo del año. Por lo que no es recomendable colocar un aerogenerador en el sector por su bajo aporte lo que ocasionaría incremento en el costo del sistema y no aportaría mayormente al mix energético diario. En aporte energético al año es de 87.67Kwh/año

Se puede apreciar que el sector tiene un buen recurso solar que puede ser explotado, de manera individual por cada casa o mediante una microred, para lo cual recomienda hacer un análisis económico de los dos sistemas. El aporte energético anual es 18357.17 kwh año.

## Conclusiones

La zona El Canelo posee buenas condiciones de radiación fotovoltaica por lo que el mayor aprovechamiento energético que se le pudiera dar es por medio de este tipo de recurso natural.

No así con la parte eólica al estar en una zona de vegetación muy densa no facilita la circulación del viento por lo que no se recomienda el uso de la energía eólica debido a la baja producción ya que el mayor aporte energético durante la simulación es del recurso solar.

La imposibilidad que se tiene al acceso a la red eléctrica se hace necesaria en considerar este tipo de generación en la zona para poder tener un estilo de vida digno.

Debido a la intermitencia que se tiene tanto con el recurso eólico, en mayor proporción, que la fotovoltaica, se hace necesario dentro del sistema de generación un grupo electrógeno que garantice el suministro de electricidad a la zona.

## Referencias

1. E. T. I. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Plan Maestro de Electricidad 2016-2025," ed: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017.
2. C. CONELEC, "Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica," ed: Obtenido de <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09...>, 2008.
3. "<ATLAS EÓLICO ECUADOR MEER 2013.pdf>."
4. A. del Ecuador, "Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica," Regist. Of, no. 418, pp. 1-28, 2015.
5. R. N. ARCONEL, "004/15.(2015)," Requerimientos Técnicos para la conexión y operación de generadores renovables no convencionales a las redes de transmisión y distribución.
6. "<regulacion\_conelec\_002\_13.pdf>."
7. "<031-16-Derogatoria-Regulacion-001-13.pdf>."
8. S. Cuco Pardillos, "Manual de energía eólica. Desarrollo de proyectos e instalaciones," Colección Manual de referencia, 2017.
9. <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/en-el-mundo-ya-hay-medio-teravatio-20190417>