

Análisis del potencial de energía eólica a partir de mediciones in situ en Atahualpa - Santa Elena

Julio Barzola¹, Mayken Espinoza², Ángelo Vera³,
Ángel Valencia⁴, Fausto Cabrera⁵, Carlos Briones⁶,

Fecha de recepción:
20 de julio, 2016

Fecha de aprobación:
24 de noviembre, 2016

Resumen

En Ecuador, durante los últimos 10 años se ha iniciado la exploración y aprovechamiento de recursos energéticos renovables tales como el eólico, solar y biomasa. Por eso, con la finalidad de incentivar la producción eléctrica de este tipo de energía, por parte de los respectivos entes oficiales se han publicado Atlas solares y eólicos, así como también regulaciones y normativas. Estos atlas nos brindan una panorámica de las posibles zonas del país donde se podrían explotar dichos recursos; sin embargo, se requiere de un mayor detalle y análisis del potencial solar o eólico en el lugar en específico. El presente trabajo detalla el procedimiento para analizar el potencial de energía eólica a partir de lecturas obtenidas in situ, en la parroquia de Atahualpa – Provincia de Santa Elena durante un ciclo anual. Los resultados muestran que, a 4 metros de alturas, las velocidades de viento son muy bajas en esta localidad, mayores al promedio anual las lecturas correspondientes a la temporada seca. Con el uso de interpolación mediante el modelo exponencial se podrían lograr mayores velocidades y aprovechar la implementación de microturbinas.

Palabras claves: Energía eléctrica, energía eólica, Atahualpa, ciclo anual.

Abstract

Since 10 years ago, Ecuador has begun to explore and take advantage several renewable energy resources such as wind energy, solar energy and biomass. Therefore, with the aim to promote the electricity generation from these energy sources, wind and solar maps have been published by the corresponding official bodies. Regulations and requirements have been also established. The mentioned maps give to us a view of the possible country zones where these resources can be exploited. However, it requires a more detailed analysis of the solar and wind potential for a specific place. The current work gives the detail of the procedure

¹Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Físicas y matemáticas. e-mail: julio.barzolam@ug.edu.ec
Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas. e-mail: jjbarzol@espol.edu.ec

²Máster en Enseñanza de la Física (ESPOL). mayken.espinoza_andaluz@energy.lth.se

³Profesor investigador, Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, averari@ulvr.edu.ec

⁴Profesor investigador, Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, avalenciab@ulvr.edu.ec.
Docente, Universidad Técnica de Babahoyo, e-mail: avalenciab@utb.edu.ec

⁵Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil y Docente Investigador, fcaerberam@ulvr.edu.ec

⁶Profesor investigador, Universidad de Guayaquil, carlos.brionesga@ug.edu.ec

to analyze the potential of wind energy from measurements obtained in-situ, Atahualpa parish in Santa Elena province, during a year period. The results show that, to 4 meters height the wind speed values are very slow. The wind speed values higher than the average are presented during the dry season. Applying interpolation by means of the exponential model, higher speeds can be obtained and microturbine systems can be implemented.

Keywords: Electrical energy, wind energy, Atahualpa, annual period.

Introducción

La energía eólica hace referencia a la energía que se puede obtener a partir de la energía cinética del aire en movimiento, y está a la vez relacionada con la energía solar, ya que el calentamiento desigual de la superficie del planeta genera los movimientos de masa de aire en la atmósfera. Históricamente se ha aprovechado la energía eólica y se han mejorado la tecnología empleada, los nuevos materiales, los métodos para buscar lugares factibles para instalar parques eólicos, entre otros (MEER, s. f.).

En Ecuador, durante los últimos 10 años se ha iniciado la exploración y aprovechamiento de diversos recursos energéticos renovables, tales como el eólico, solar y biomasa, lo cual se evidencia en los reportes estadísticos anuales de la energía eléctrica (ARCONEL, 2016). Por eso, con la finalidad de incentivar la producción eléctrica de este tipo de energía, por parte de los respectivos entes oficiales del Estado, se han publicados Atlas solares (UNIDO, 2008) y eólicos (MEER, s. f.), así como regulaciones y normativas. Estos atlas nos brindan una panorámica de las posibles zonas del país donde se podrían explotar estos recursos. Sin embargo, se requiere de un mayor detalle y análisis del potencial solar o eólico en el lugar específico.

Este artículo hace referencia al proyecto de investigación codificado como ULVR-14-34, del cual se han cumplido los objetivos reflejados en respectivas publicaciones, en Pavón, Barzola, Cabrera, Briones y

Espinoza (2015) se presentaron resultados preliminares con los primeros meses de mediciones del potencial solar y eólico en Atahualpa; luego, en Pavón y Barzola (2015) se desarrolló una estimación del perfil de carga eléctrica de los hogares situados en Atahualpa mediante una aplicación de encuesta en el lugar; por otra parte, en Barzola, Espinoza, Pavón y Cabrera (2016) se analiza y propone un Sistema eléctrico aislado usando como fuentes, recursos 100% renovables tales como solar y eólico; y finalmente, en Barzola, Espinoza y Cabrera (2016) se analiza un sistema eléctrico híbrido solar-eólico-diesel en el cual se considera como componente del sistema un generador a diesel con un respectivo análisis de este combustible con subsidio estatal o sin éste.

Este artículo continúa con el análisis de factibilidad de los recursos renovables en la Península de Santa Elena, pero ahora enfocado al tipo eólico, se presenta una metodología a ser considerada para evaluar el potencial de energía eólica en la parroquia de Atahualpa, con la finalidad de analizar la factibilidad del recurso eólico para la generación de energía eléctrica. Para esto, se requiere como información: i) datos del lugar de estudio; ii) datos meteorológicos: velocidad del viento, dirección del viento, temperatura ambiente, altura de la estación.

a. Lugar de estudio

Según un reporte estadístico publicado por ARCONEL (2014) se evidencia que las provincias con menor cobertura de

electricidad son Napo, Pastaza y Santa Elena; con coberturas del 86.97%, 87.58% y 90.81%, respectivamente.

La provincia de Santa Elena es una de las provincias con menor cobertura de electrificación del país. No obstante, consta con recursos energéticos renovables aprovechables para sistemas de electrificación (Pavón, Barzola, Cabrera et al., 2015), de ahí que, la parroquia Atahualpa fue seleccionada como punto geográfico para la presente investigación.

Esta provincia se ubica en la región más occidental del Ecuador, en el perfil costero ecuatoriano. Es conocida a nivel nacional por la gran cantidad de balnearios que posee y por las actividades pesqueras como fuente de ingreso. Por otra parte, la población es de aproximadamente 3600 personas, distribuidas en 850 viviendas. Del total de viviendas, el 75,6% carecen de servicios básicos, entre ellas la electrificación (INEC, 2010). El clima en esta región es clasificado como árido o desértico. En cuanto a precipitaciones, el promedio anual es de entre 125 a 150 mm. Similar

al resto del territorio ecuatoriano, Atahualpa tiene dos temporadas: la lluviosa y la seca. La temporada seca es entre junio y noviembre, mientras que la temporada lluviosa va de diciembre a mayo. El 90% de la pluviosidad anual se registra durante la temporada lluviosa. Las temperaturas oscilan entre los 21 y 40° C (Pavón, Barzola, Cabrera et al., 2015).

Un gráfico descriptivo de la ubicación es presentado en la figura 1.

b. Estación meteorológica

La estimación adecuada del potencial energético requiere de la medición de las posibles fuentes energéticas in situ. Debido a esto, la instalación de una estación meteorológica forma parte fundamental del proceso de análisis para el conocimiento de la oferta energética.

La instalación de la estación meteorológica en Atahualpa se efectuó durante el mes de febrero de 2015 y sus coordenadas geográficas fueron: -2.311833, -80.773787.

La estación está conformada por di-



Figura 1. Ubicación de Atahualpa respecto al continente, país y provincia. En el último cuadro, Atahualpa se encuentra mostrado con la marca roja.

Fuente: Google maps.

ferentes sensores que permiten medir en intervalos de tiempo de 10 minutos valores de radiación solar, velocidad y dirección de viento. Además, se miden parámetros como humedad relativa, precipitación de lluvias y temperatura ambiental. Los datos obtenidos de la estación meteorológica son enviados en tiempo real desde el punto de medición vía GSM lo cual permite que sean revisados vía internet, pero también pueden ser descargados vía USB desde el lugar donde se encuentra instalada. La Figura 2 muestra una imagen de la estación meteorológica instalada en Atahualpa para la ejecución del proyecto.

El resto del artículo se divide de la siguiente manera: Sección II presenta la metodología considerada en este estudio. Sección III expone los resultados y discusión del potencial

eólico. Finalmente, las conclusiones del artículo son presentados en la Sección IV.

Metodología

En un estudio de Bañuelos (2011) expone ciertas actividades a ejecutar para efectuar el análisis del potencial eólico, los cuales se han considerado para nuestro caso de estudio en la parroquia Atahualpa:

- Obtención de datos del viento.
- Determinación de velocidades promedio, rosas de los vientos, mediante hojas de cálculos de Excel y software especializado como WRPLOT.
- Evaluación matemática del lugar de estudio, usando la herramienta matemática de extrapolación de viento a alturas diferentes.



Figura 2. Estación meteorológica instalada en Atahualpa. Los sensores permiten la medición de las diferentes variables involucradas en el estudio.

a. Obtención de datos del viento

Como se indicó en el apartado de la introducción de este artículo, se instaló una estación meteorológica para que durante un año se recolecten mediante sus sensores, parámetros tales como temperatura ambiental, humedad relativa, insolación solar, niveles de lluvia, velocidades y direcciones del viento. Los sensores recolectaban automáticamente información meteorológica del lugar cada 10 minutos. La veleta y anemómetro se instalaron a una altura de 4 metros sobre el nivel del suelo.

b. Determinación de velocidades promedio y rosas de los vientos

Las mediciones se llevaron a cabo en el ciclo anual de abril 2015-marzo 2016. Se hicieron visitas de campo junto a los estudiantes auxiliares de investigación del proyecto para realizar actividades de mantenimiento y descarga de datos in situ en la estación meteorológica. Luego, se realizó el procesamiento de esta información utilizando el software Hoboware. Adicionalmente, se tabuló y sintetizó la información mediante hojas de cálculos. Para la generación de las rosas de los vientos se utilizó el software WRPLOT.

c. Evaluación matemática del viento a distintas alturas

Por otra parte, las turbinas eólicas no suelen estar muy cercanas al suelo, de ahí que el rotor puede estar ubicado a distintas alturas. Además, la velocidad del viento varía en función de la altura. En Bañuelos (2011) se reportan 3 tipos de modelos matemáticos para el cálculo de velocidades a distintas alturas, el método de Monin-Obukhov, el método

de la ley exponencial de Hellmann y el método de la ley de perfil logaritmo del viento.

No obstante, el método más usado es la Ley exponencial de Hellmann, el cual relaciona las velocidades de vientos en dos alturas distintas. La ecuación (1) expresa la mencionada ley:

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (1)$$

Donde V es la velocidad de viento en el sitio a la altura H; V_0 es la velocidad en el sitio a la altura de H_0 ; H es la altura a extrapolar; H_0 es la altura de medición y α es el coeficiente de la función exponencial, el cual se lo puede estimar mediante la expresión:

$$\alpha = \frac{1}{\ln\left(\frac{13.45}{Z}\right)} \quad (2)$$

Donde Z es el coeficiente de rugosidad expresado en metros.

Resultados

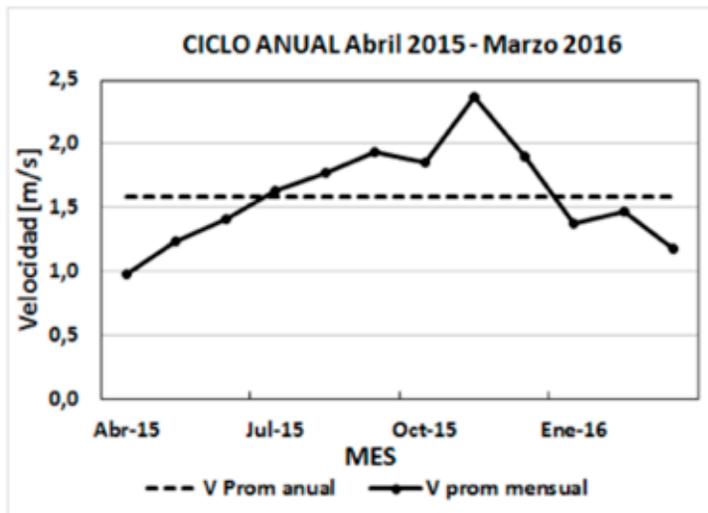
En la tabla 1 aparece la recopilación de las velocidades que se recolectaron a 4 m de altura. Diariamente la estación meteorológica hizo el registro de 144 lecturas de la velocidad, es decir, en un mes de 30 días, se registraron 4320 lecturas.

La figura 3 muestra la tendencia promedio mensual de las velocidades de viento durante el ciclo anual de las mediciones efectuadas,

La figura 4 muestra las velocidades de viento a 4 distintas alturas, usando la ecuación (1) y considerando la ley de potencia de un séptimo como es presentado por Bañuelos (2011) es decir $\alpha = 1/7$. Las alturas consideradas fueron 4 m (base), 10 m, 20 m y 30 m en los que se interpolaron velocidades.

Tabla 1. Promedios mensuales de las velocidades de viento durante el ciclo anual de estudio.

Mes	Prom. Diario Alto [m/s]	Prom. Diario Bajo [m/s]	Promedio mensual [m/s]
Abril 2015	1.47	0.5	0.98
Mayo 2015	1.50	0.96	1.23
Junio 2015	2.09	0.92	1.41
Julio 2015	2.34	0.88	1.63
Agosto 2015	2.57	1.23	1.77
Septiembre 2015	2.69	1.11	1.94
Octubre 2015	2.52	1.32	1.85
Noviembre 2015	3.45	1.52	2.37
Diciembre 2015	2.47	1.40	1.90
Enero 2016	1.92	0.85	1.37
Febrero 2016	2.58	0.70	1.47
Marzo 2016	1.81	0.44	1.18

**Figura 3.** Velocidad promedio mensual del ciclo anual medido en Atahualpa.

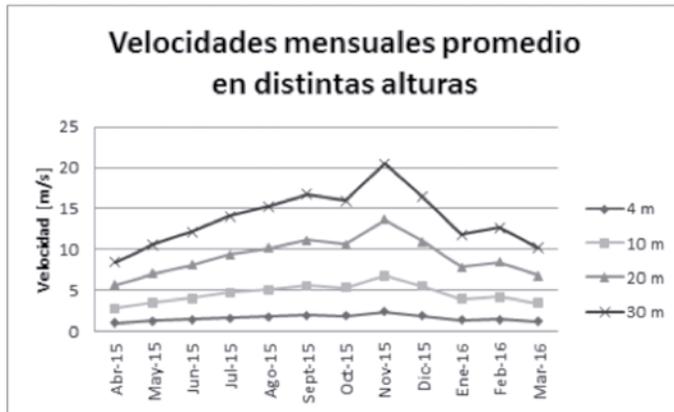


Figura 4. Velocidad promedio mensual estimada para alturas 10, 20 y 30 m.

En cuanto a la dirección del viento, las figura 5 muestra la rosa de los vientos durante el ciclo anual medido in situ.

En la figura 6 se muestra la rosa de los vientos superpuesta con las coordenadas geográficas y Google Earth.

En la figura 7 se muestra una distribución de frecuencias de los vientos durante el ciclo

anual de medición.

Discusión (análisis)

En la tabla 1 se muestra la velocidad promedio diario más alta y baja del mes, así como el promedio mensual. Se evidencia que el mes de noviembre 2015 es el que mayor promedio mensual tiene respecto al resto de meses de este ciclo anual estudiado.

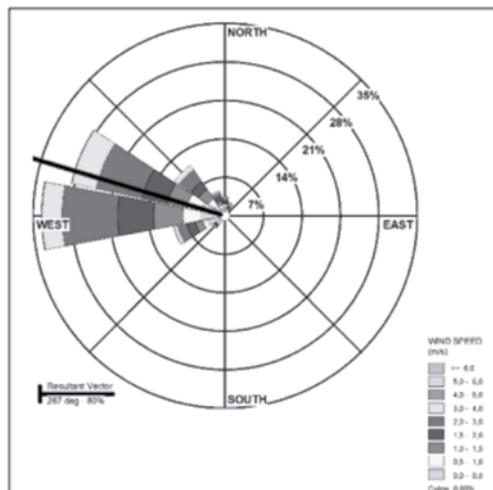


Figura 5. Rosa de los vientos del ciclo anual analizado.



Figura 6. Panorámica de la rosa de los vientos vista desde Google Earth.

Por otra parte, la figura 3 muestra la tendencia promedio mensual de las velocidades de viento durante el ciclo anual de las mediciones efectuadas, el promedio mensual durante este intervalo fue de 1.59 m/s. Además, se evidencia que solamente las velocidades promedio de 6 meses (de julio a diciembre) sobrepasan a la media anual, es decir, coincidente con la temporada seca de esta localidad, de bajas precipitaciones.

En vista de que el rotor de la turbina eólica se la puede ubicar a una mayor altura, la

Figura 4 muestra las velocidades de viento a 4 distintas alturas. Es notorio que a mayor altura se podrían tener mayores velocidades del viento, pero no suficientes para su aprovechamiento en alta escala.

En cuanto a la dirección del viento, la figura 5 muestra la rosa de los vientos durante el ciclo anual medido in situ. Los resultados evidencian que el 80% de los vientos tienen una dirección de 287° con respecto al norte.

En la figura 6 se muestra la rosa de los vientos

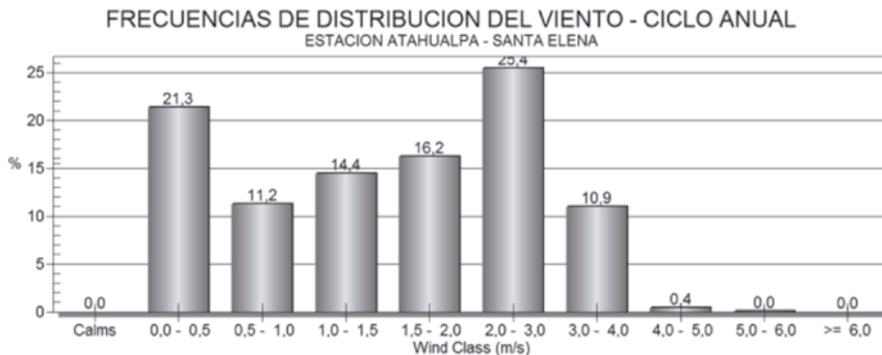


Figura 7. Distribución de frecuencias de las velocidades de viento en Atahualpa.

superpuesta con las coordenadas geográficas y Google Earth. Se puede notar que el viento sopla con dirección hacia el océano. Es decir, el rotor de la turbina debería ubicarse en sentido contrario a esta dirección para aprovechar el potencial eólico.

En la figura 7 se muestra una distribución de frecuencias de los vientos durante el ciclo anual de medición. Se puede notar que, a la altura de los 4 m de medición, aproximadamente el 25.4% de los vientos tienen velocidades que oscilan entre 2 y 3 m/s, luego le sigue el 21.3% de vientos con velocidades entre 0 y 0.5 m/s, y el tercer aporte se da con un 16.2% de vientos cuyas velocidades oscilan entre 1.5 y 2 m/s. El 63.1% de las mediciones de las velocidades del viento están dentro del intervalo de 0 a 2 m/s, siendo muy escaso este potencial para ser aprovechado a gran escala.

Conclusiones

Considerando las mediciones y registro de la velocidad y orientación del viento durante un ciclo anual en la parroquia Atahualpa, a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo, evidenciamos que el recurso eólico es escaso, pues en promedio, las velocidades del viento no están dentro el intervalo de 3 a 4 m/s que es la mínima velocidad de arranque para accionar el rotor de las turbinas (WindPowerPro, 2016). No obstante, se podría aprovechar mayores velocidades mediante la interpolación de alturas, para que el rotor de la turbina alcance los 10 o 20 metros. Para lo mencionado, un análisis de costo y beneficio es requerido.

En Barzola, Espinoza, Pavón, et al. (2016) se presenta un estudio técnico - económico mediante el software Homer, de un sistema de potencia solar - eólico, en el cual, una limitada cantidad de micro-turbinas podrían formar parte del sistema, pero su producción

eléctrica llegaría solo a cubrir un 17.58% anual, corroborando así el escaso recurso eólico presente en la parroquia Atahualpa.

Referencias

- ARCONEL. (octubre de 2015). *Indicadores del Sector Eléctrico Ecuatoriano*. Recuperado de goo.gl/xo13Aq
- ARCONEL. (2016). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano* [Información en línea]. Recuperada de goo.gl/p3zjPe
- Bañuelos, F. (2011). Impacto de la Generación Eléctrica usando Fuentes de Energía Eólica en la red Eléctrica Nacional (Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México). Handle: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/4634>
- Barzola, J., Espinoza, M. y Cabrera, F. (2016). Analysis of Hybrid Solar / Wind / Diesel Renewable Energy System for off-grid Rural Electrification. *Internacional Journal of Renewable Energy Research*, 6(3), 1146-1162.
- Barzola, J., Espinoza, M., Pavón, C. y Cabrera, F. (2016). Solar-Wind Renewable Energy System for Off-Grid Rural Electrification in Ecuador. *14 LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*, San José, Costa Rica, 20-22 de julio de 2016. Recuperado de goo.gl/HjTsJx
- INEC. (2010). *Resultados del Censo del 2010*. Recuperado de <http://goo.gl/w4aAhy>
- MEER. (s. f.). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable presentó el primer atlas eólico del Ecuador* [Artículo en línea]. Recuperado de <https://goo>

gl/9BJi5K

Pavón, C. y Barzola, J. (julio-diciembre de 2015). Estimación de la demanda energética mensual mediante encuesta aplicada en la Provincia de Santa Elena. *Revista Científica Yachana*, 4(2), 1-12.

Pavón, C., Barzola, J., Cabrera, F., Briones, C. y Espinoza, M. (2015). Fuentes de Energías Renovables como potencial de producción eléctrica en zonas rurales del Ecuador. *13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering*

and Technology, Santo Domingo, República Dominicana. DOI: 10.13140/RG.2.1.2680.3684

UNIDO. (2008). *Observatory for Renewable Energy in Latin America and Caribbean* [App en línea]. Recuperado de <https://goo.gl/ZcuZwX>

WindPowerPro. (2016). Wind turbine power output variation with steady speed. En *Wind Power Program*. Recuperado de goo.gl/E5gwLJ

Para citar este artículo utilice el siguiente formato:

Barzola, J., Espinoza, M., Vera, A., Valencia, A., Cabrera, F. y Briones, C. (noviembre de 2016). Análisis del Potencial de Energía Eólica a partir de mediciones in situ en Atahualpa – Santa Elena. *YACHANA, Revista Científica*, 5(3), Edición Especial, 103-112.