

Marco Antonio Ramos Espinal

marco.ramos@unah.edu.hn

ORCID: <https://0000-0003-1386-4026>

Doctor en Ciencias con Orientación en Ciencias Administrativas UNICAH, Master en Energías Renovables Universidad Europea del Atlántico, labora para la Universidad Nacional Autónoma de Honduras como profesor en la Facultad de Ingeniería, Honduras.

Cómo citar este texto:

Ramos Espinal MA. (2021). Potencial de Energía Eólica en San Antonio de Oriente, Honduras, Centro América. REEA. No. 8, Vol III. Agosto 2021. Pp. 279-288. Centro Latinoamericano de Estudios en Epistemología Pedagógica. URL disponible en: <http://www.eumed.net/rev/reea>

Recibido: 11 de marzo 2021.

Aceptado: 18 de mayo de 2021.

Publicado: agosto de 2021.

Indexada y catalogado por:



Título: Potencial de Energía Eólica en San Antonio de Oriente, Honduras, Centro América.

Resumen: El presente artículo científico muestra la estimación de la potencia útil y energía en el Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, a partir de las series de tiempo que ofrece la NASA GEOVANNI sobre la velocidad del viento en m/s a una altura de 10 m de referencia, realizado a partir de los datos de 2010 a 2016 y con la construcción de la distribución de densidad de Weibull, así como de las distribuciones acumuladas, el uso de la estadística descriptiva para el establecimiento de las constantes de forma y escala. Se logró obtener el potencial del emplazamiento 43.88 así como del nivel de energía que se puede producir al año 384.41 . El trabajo se realizó en forma personal y presente mostrar una brecha para que se pueda considerar la generación utilizando recursos renovables en Honduras.

Palabras clave: *Energía Eólica, Ingeniería, energía Renovable, conservación del medio ambiente.*

Title: Wind energy potential in San Antonio de Oriente, Honduras Central America.

Summary: This scientific article shows the estimation of the useful power and energy in the Municipality of San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras, from the time series offered by NASA GEOVANNI on the wind speed in m / s at a reference height of 10 m, made from the data from 2010 to 2016 and with the construction of the Weibull density distribution, as well as the cumulative distributions, the use of descriptive statistics to establish the shape constants and scale. It was possible to obtain the potential of the site 43.88 as well as the level of energy that can be produced per year 384.41 . The work was carried out personally and presently showing a gap so that generation using renewable resources can be considered in Honduras.

Key words: *Aeolian energy, Ingeniería, Renewable energy, conservation of the ambient midway.*

Título: Potencial de Energia Eólica no Santo Antonio do Oriente, Honduras, Centro a América.

Resumo: O presente artigo científico mostra a estimativa da potência útil e energia no Município do Santo Antonio do Oriente, Francisco Morazán, Honduras, a partir das séries de tempo que oferece a Nasa GEOVANNI sobre a velocidade do vento em m/s a uma altura de 10 m de referência, realizado a partir dos dados de 2010 a 2016 e com a construção da distribuição de densidade do Weibull, assim como das distribuições acumuladas, o uso da estatística descritiva para o estabelecimento das constantes de forma e escala. Conseguiu-se obter o potencial da convocação 43.88 assim como do nível de energia que se pode produzir ao ano 384.41 O trabalho se realizou em forma pessoal e presente mostrar uma brecha para que se possa considerar a geração utilizando recursos renováveis na Honduras.

Palavras chave: *Energia Eólica, Engenharia, energia Renovável, conservação do meio ambiente.*

Introducción.

San Antonio de Oriente es uno de los 28 municipios de del Departamento de Francisco Morazán, Honduras, ubicado en el valle del Zamorano, constituido por 10 aldeas y 66 caserios, cuyo origen se remonta al año 1600 en la comunidad de San Antonio de Yusguare, tal como se confirma en actas que datan de 1826, ya en 1889 cuando se dá la división política territorial, aparece como distrito formado por los municipios de Maraita, Tatumbula y Valle de Ángeles, con un clima lluvioso y cuya actividad económica es el cultivo de granos básicos y caña de azúcar, crianza de ganado vacuno, equino, ovino, porcino y caprino con tres rios, el Cobre, Salado y Yeguaré, ubicado a una altitud de 1400 msnm (Palacios & Flores, 2012, p. 221).

La estadística de la situación social y economía hondureña se resume en algunos de los siguientes datos(BCH, 2020):

- a. PIB por sectores: agricultura (18.8 %), industria (28.4 %), servicios (57.8 %)
- b. PIB per cápita: USD 2,548
- c. Inflación (IPC): 4,2 %
- d. IDH: 0,623
- e. Población bajo la línea de pobreza: 64 %
- f. Coef. de Gini: 0.505

Para el Municipio de San Antonio de Oriente, el índice de Gini es de 0.518 el segundo más desigual en el Departamento de Francisco Morazán (Robles, 2003), lo que representa un reto significativo para ofrecer mejores condiciones de vida a los pobladores, ya que la energía eléctrica es un factor clave para potenciar las actividades que desarrolla la comunidad en general. Por otro lado a 2015, la capacidad instalada para la generación eléctrica en Honduras fue Termoeléctrica 36.1%, Hidroeléctrica 28.4%, Biomasa 7.5%, eólica 6.7%, Cogeneración 2.3%, Carbón 1.8% y Solar Fotovoltaica 17.2% (Bertrand & Álvarez, 2020).

Breve referente teórico

Considerando como una variable aleatoria la velocidad del viento, es posible

representarla con la utilización de la distribución de probabilidad de Weibull (Funiber, 2012, p. 33), la cual incluye dos las constantes k y c, y que se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Donde f (v) es la función de densidad de probabilidad de Weibull

v= es la velocidad del viento en m/s.

k= es el factor de forma, sin dimensiones

c= factor de escala, m/s.

La función de densidad acumulada, se define como (Navidi, 2006, p. 263):

$$P(v \leq v_0) = \int_0^{v_0} \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} dv = 1 - e^{-\left(\frac{v_0}{c}\right)^k}$$

Y además,

$$P(v > v_0) = 1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{v_0}{c}\right)^k}\right) = e^{-\left(\frac{v_0}{c}\right)^k}$$

De la expresión anterior se deduce que si se dispone de lecturas de velocidad del viento en m/s, a una altura de referencia en una localidad determinada, en intervalos de tiempo definido, se puede construir una distribución de frecuencias de dichas velocidades y con los datos empíricos calcular lo siguiente (Montgomery & Runger, 2009, p. 193):

Aplicando logaritmos en ambos lados:

$$\ln(P(v > v_0)) = \ln\left(e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}\right)$$

$$\ln(P(v > v_0)) = -\left(\frac{v}{c}\right)^k$$

Una vez más logaritmos,

$$\ln\left(\ln\left(P(v > v_0)\right)\right) = \ln\left(\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)$$

$$\ln\left(\ln\left(P(v > v_0)\right)\right) = k \ln\left(\frac{v}{c}\right) = k \ln(v) - k \ln(c)$$

Por lo que se tiene;

$$\ln\left(\ln\left(P(v > v_0)\right)\right) = k \ln(v) - k \ln(c)$$

Haciendo cambio de variable,

$$y = \ln\left(\ln\left(P(v > v_0)\right)\right)$$

$$x = \ln(v)$$

$$b = k \ln(c)$$

Y resulta,

$$y = kx + b$$

Por lo que, a partir de los datos se puede calcular usando la regresión lineal, la pendiente y el intercepto, y de esa manera definir k y c, para una localidad determinada. La posibilidad de la generación de energía eléctrica puede ser evaluada a partir de la función de densidad de probabilidad ya que la potencia, se define como (Funiber, 2012, p. 34):

$$P_{media} = \int_{v_0}^{v_1} P_d f(v) dv$$

Donde P_d es la potencia disponible del viento en W.

$f(v)=$ es la función de densidad de probabilidad calculada a partir de los datos de la velocidad del viento en m/s.

v_0 y v_1 son valores de velocidad en m/s de referencia. La potencia disponible al multiplicarse por el coeficiente de Betz da como resultado la potencia máxima del lugar. Luego, la multiplicación de la potencia máxima y las horas, se obtiene la energía en $\frac{W-h}{m^2-año}$ para el emplazamiento.

Metodología.

Para el desarrollo de la investigación se siguió lo siguiente:

1. Se obtuvo una serie de tiempo del sitio NASA GEOVANNI (NASA, 2021) con el siguiente detalle
 - a. Nombre de la serie de tiempo: Wind speed at 10 m above displacement heighth, time average (MAT1NXSLV V5.2.0)
 - b. Units [m/s]
 - c. Source: MERRA MODEL
 - d. Temp. Res: Hourly
 - e. Spat.Res: 0.5 x 0.667°
 - f. Begin date: 2010-01-01
 - g. End date: 2016-02-29
 - h. Referencias del lugar:
 - i. Latitud: 13.7329 y longitud: -87.4017
 - ii. Latitud: 14.2383 y longitud: -86.6107
2. Con la serie de tiempo se construyó la distribución de frecuencia correspondiente y se calcularon las siguientes variables:
 - a. Frecuencias relativas acumuladas, para establecer el valor empírico de $P(v > v_0)$
 - b. Calcular las variables
 - i. $y = \ln\left(\left(P\left(v > v_0\right)\right)\right)$

- ii. $x = \ln(v)$
 - iii. Determinar a través de la regresión lineal, la pendiente y el intercepto
 - c. Cálculo de la constante k y c de la distribución de probabilidad
3. Estimar la función de densidad teórica a partir de k y c
 4. Calcular la potencia media del viento y la potencia máxima, amabas por unidad de área
 5. Calcular la energía disponible por unidad de área
 6. Establecer el potencial del lugar

Resultados y su análisis. Serie temporal y distribución de frecuencias

La serie temporal MAT1NXSLV V5.2.0 obtenida contiene 54024 datos, a partir del 01 de enero de 2010 a las 00:30 horas hasta al 29 de febrero de 2016 a las 23:30 en intervalos de una hora, y con ella se elaboró la distribución de frecuencias de 25 clases con el límite inferior de la primera clase 0.044472 m/s y límite superior de la última clase de 15.348 m/s, con ancho de clase de 0.612158 m/s, el valor de las constantes resultaron, $k=2.47678524$ y $c=6.98641914$ m/s.

Potencia disponible por unidad de área

La potencia disponible por unidad de área (densidad de potencia) a partir de los valores encontrados es:

$$\frac{P_d}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

y la potencia media por unidad de área(Jain, 2011, p. 30):

$$\frac{P_{media}}{A} = \int_{v_0}^{v_1} \frac{1}{2} \rho v^3 f(v) dv$$

La función de densidad usando los valores encontrados es:

$$f(v) = \frac{2.47678524}{6.98641914} \left(\frac{v}{6.98641914} \right)^{2.47678524-1} e^{-\left(\frac{v}{6.98641914} \right)^{2.47678524}}$$

Potencia máxima por unidad de área.

La potencia máxima por unidad de área se determina con el uso del coeficiente de Betz (Bianchi et al., 2007, p. 12), el cual es igual a $\frac{16}{27}$ por lo tanto, la potencia máxima disponible es igual a:

$$\frac{P_{\text{máx}}}{A} = \int_{v_0}^{v_1} \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho v^3 \cdot f(v) dv$$

El valor de la potencia máxima será aproximada considerando la sumatoria de las potencias individuales calculadas de la siguiente manera;

$$\frac{P_{\text{máx}}}{A} = \int_{v_0}^{v_1} \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho v^3 \cdot f(v) dv \approx \frac{8}{27} \sum_{v=0.044472}^{v=15.348} \rho v^3 \cdot f(v) \cdot 0.612158$$

Con $\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3}$ (Jha, 2011, p. 71) la velocidad puntual, la cual es el punto medio de cada una de las clases y la función de densidad se evalúa en el mismo punto.

La potencia máxima disponible en el lugar resulta en $135.86 \frac{W}{m^2}$ y el potencial eólico del emplazamiento es $1,190.13 \frac{kW-k}{m^2-año}$. La potencia útil, considerando un $C_p=0.4$, eficiencia

eléctrica=0.85 y eficiencia mecánica =0.95 (Burton et al., 2011, p. 7) se tiene que la potencia es $43.88 \frac{W}{m^2}$ y con un potencial de $384.41 \frac{kW-k}{m^2-año}$

Conclusiones.

1. Por sus propias características, el viento es un recurso que está disponible en toda la superficie de la tierra y en la región centro oriental de Honduras no es excepción y permite la generación de energía eléctrica, lo que a su vez potencia el desarrollo en los países más empobrecidos y contribuye a la disminución de las emisiones de CO₂.
2. En San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, existe disponibilidad máxima de potencia de $135.86 \frac{W}{m^2}$ y un potencial de $1,190.13 \frac{kW-k}{m^2-año}$, sin embargo, si se considera valores típicos de coeficiente de potencia del rotor y del equipo eléctrico y mecánico, se tiene que la potencia es $43.88 \frac{W}{m^2}$ y con un potencial de $384.41 \frac{kW-k}{m^2-año}$
3. Dada las condiciones de desigualdad y pobreza del Municipio de San Antonio de Oriente, la energía eólica representa una posibilidad concreta de generar energía a partir del viento de forma aislada para concentraciones de casas de habitación, para la agricultura y las demás actividades económicas.
4. El desarrollo de proyectos, en un país con las condiciones de Honduras, requerirá de la puesta en marcha de políticas adecuadas y oportunas, además, del apoyo y colaboración de países amigos.
5. La determinación del potencial en términos de densidad de potencia, es un elemento crucial ya que a partir de ese valor se puede establecer las características de los aerogeneradores particulares y por consiguiente de los demás elementos de un sistema aislado o de un parque.

Referencias.

- BCH. (2020). *Boletín Estadístico*. www.bch.hn
- Bertrand, T. Z., & Álvarez, H. (2020). Estado Actual de la Energía Hidroeléctrica en Honduras. Análisis del 2007 al 2017. *Revista de la Escuela de Física*, 8(1), 60–79.

- Bianchi, F. D., Battista, H. D., & Mantz, R. J. (2007). *Wind Turbine Control Systems principles, modelling and gain scheduling design*. Springer.
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook* (2da ed.). Wiley.
- Funiber. (2012). *Energía Eólica*.
- Jain, P. (2011). *Wind Energy Engineering*. McGraw Hill.
- Jha, A. R. (2011). *Wind Turbine Technology*. CRC Press.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2009). *Probabilidad y Estadística aplicadas a la Ingeniería* (2da ed.). Limusa Wiley.
- NASA. (2021). *EarthData, Giovanni the birdge between data and science v4.34*.
https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/#service=ArAvTs&starttime=2010-01-01T00:00:00Z&endtime=2016-02-29T23:59:59Z&bbox=13.7239,-87.4017,14.2383,-86.6107&data=MAT1NXSLV_5_2_0_UV10M_mag&dataKeyword=Wind%20Speed
- Navidi, W. (2006). *Estadística para Ingenieros y Científicos*. McGraw Hill.
- Palacios, S. A., & Flores, F. O. (2012). *Honduras Geográfica* (2a ed.). Ediciones Ramsés.
- Robles, M. (2003). Estimación de indicadores de pobreza y desigualdad a nivel municipal en Honduras. *BID/MECOVI, Honduras*.