

VALORACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO EN LA ZONA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA, MÉXICO

Jesús B. Marcos¹, Fernando O. González¹, José Roberto Yáñez Espinosa²

¹Universidad Politécnica de Puebla,

²Instituto Tecnológico de Puebla

jbmarcos@hotmail.com_f-er-oz@hotmail.com

RESUMEN

En años futuros la humanidad tendrá que enfrentarse, desde un punto de vista energético, a un problema muy serio que es la falta de petróleo, ya que con esta fuente da movimiento al mundo en el que vivimos y sin él, como se ha venido pronosticando debido al aumento de la población que demanda cada vez más energía, será catastrófico. Es por eso el interés de buscar nuevas opciones para contrarrestar la falta del combustible fósil y, entre las fuentes de energías alternativas renovables eólica y solar, la que se emplea en gran medida es la eólica debido a que es competitiva desde el punto de vista de los costos. De esta forma la Universidad Politécnica de Puebla trabaja en investigación, análisis de datos y desarrollo de prototipos para las energías sostenibles. Es así que, con los datos que se presentan en este trabajo en el periodo 01 de enero al 30 de septiembre de 2012 se tienen promedios de: velocidad del viento 2.8 m/s, presión barométrica 1002 mbar, temperatura 17 °C, humedad relativa 59%, proporcionando un potencial eólico de 5673.6 W.

Palabras Clave: Aerogeneradores, energía eólica, potencial eólico, velocidad del viento.

1. INTRODUCCIÓN

Desde tiempos remotos la energía eólica se ha utilizado como una fuerza motriz para poder trasladar mercancías en embarcaciones a través de los ríos como el Nilo [1], Tigris y Éufrates y establecer comercio entre culturas, de igual forma para impulsar molinos de viento como los hallados en la región de Sijistán, entre Irán y Afganistán o los de Grecia y Holanda que se utilizaban prácticamente para bombeo de agua y molienda de granos [2]. Sin embargo la utilización de este recurso fue en decadencia debido a la utilización en gran medida del combustible fósil y a la difusión de la electricidad que se tuvo en la revolución industrial.

No obstante, debido al cambio climático, la necesidad de buscar nuevas formas de obtener energía limpia ha centrado la atención nuevamente hacia el recurso del viento ya que es prácticamente un recurso inagotable, no contamina y con la utilización de tecnología, instrumentos y equipos como un aerogenerador, que forma parte de los parques eólicos (Figura. 1) que no solamente se utilice para extracción de agua o molinos sino que, es posible contrarrestar deficiencias de energía eléctrica sin deteriorar el medio ambiente, claro, la instalación de estos aparatos resulta en ocasiones relativamente costoso, pero a la larga se sentirán los resultados positivos, específicamente en el campo económico [3].

Además, por la manifestación indirecta de la energía solar y al poco porcentaje de radiación solar que es de un 1 a 2% en las capas altas de la atmósfera, que finaliza en la transformación de la energía cinética de los vientos [4] y conforme a los beneficios que otorga la energía eólica y el impacto que está causando en el mundo, es preciso mostrar el potencial eólico que se puede alcanzar en la zona centro – oeste del estado de Puebla a partir de datos proporcionados por alumnos y docentes de la Universidad Politécnica de Puebla, además de dar a conocer algunas ventajas y desventajas que tendría en dicha zona.



Fig. 1. Parque eólico La Venta, Oaxaca, México.

2. METODOLOGIA

La información recabada para este trabajo fue adquirida mediante instrumentos como la estación meteorológica que está ubicada en la parte posterior del edificio D1 y a un costado del LT1 de la Universidad Politécnica de Puebla de la marca Davis y modelo Vantage pro2 Plus que cuenta un anemómetro, veleta y sensores de humedad y temperatura entre algunos y cuyas coordenadas se aprecian en la tabla 1, en la figura 2 se observa su ubicación de la universidad.

Tabla 1. Coordenadas de la e estación meteorológica UPP # 1.

| Valor | Descripción |
|------------------|---------------------|
| 1905'42'' | Latitud Norte |
| 9822'04'' | Longitud Oeste |
| 2222 msnm | Altitud |
| 10 / Dic. / 2007 | Inicio de operación |



Figura 2. Ubicación geográfica de la Universidad Politécnica de Puebla.

Para la medición de los parámetros del viento, se usa el equipo que se encuentra a una altura de 2 metros del nivel del suelo como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Anemómetro y veleta que forman parte de la estación meteorológica.

Para la obtención del potencial eólico de la zona son necesarios algunos factores [5], [6] importantes entre los cuales se destacan la velocidad del viento, la densidad del aire y el tamaño del rotor del aerogenerador.

Para obtener la velocidad del viento se utiliza la base de datos que proporciona la estación meteorológica que hace una captura en función del tiempo por lo que resultan mediciones de cada 30 minutos durante el periodo comprendido del 01 de enero al 30 de septiembre del año 2012.

El siguiente factor se calcula en función del promedio de la temperatura y de la altura de la región donde se están realizando las mediciones tomando como constante el valor de 1.225 Kg/m³ que pertenece a la presión a nivel del mar con una temperatura de 15 °C.

Para el tamaño del rotor se toman instrumentos comerciales con el fin de hacer un estimado de cuanta potencia eólica se halla en la zona. Para fines de cálculo se tomó un aerogenerador comercial cuyas especificaciones [7] se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de aerogenerador comercial.

| Aerogenerador Comercial | |
|-------------------------|----------------------|
| Empresa | VESTAS |
| Modelo | V 27 |
| Potencia nominal | 225 KW |
| Diámetro de rotor | 27 m |
| Área de barrido | 572.5 m ² |
| Numero de palas | 3 |
| Altura de eje | 31.5 m |
| Viento inicial | 3.5 m/s |

Se toma en consideración la ecuación (1) de densidad de potencial eólico. Esta ecuación es de gran utilidad para determinar la mejor ubicación para el desarrollo de la energía eólica

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (Ec. 1)$$

Continuando, para calcular la potencia máxima que puede entregar un aerogenerador se utiliza la ecuación (2) [8] en la cual se incluye el área barrida por las alabes del equipo.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (Ec. 2)$$

Donde **P** es la potencia que se expresa en W, **ρ** es la densidad del aire en Kg/m³ del punto a tratar, **A** es el área del rotor expresada en m² y **v** es el promedio de las velocidades del viento en m/s al cubo.

Se considera además, la ecuación (3) la cual manifiesta la variación de la densidad del aire [9].

$$\rho = 1.225e^{\left[\frac{-z}{8435} \frac{(T-15)}{288}\right]} \quad (Ec. 3)$$

Siendo la altura de la zona medido en metros sobre el nivel del mar el valor de z , y grados centígrados el valor de T .

Algunos otros factores influyen también como estaciones del año, cultivo, orografía y obstáculos ya sean temporales o permanentes. Es por ello que utilizamos expresiones teóricas para determinar perfiles de velocidad dependiendo de la altura donde se cuente con la información. La ley exponencial de Hellmann es una de estas expresiones que se usa para relacionar la velocidad del viento a distintas alturas, esta ley es expresada por la ecuación (4).

$$\frac{v_f}{v_o} = \left[\frac{H_f}{H_o}\right]^\alpha \quad (Ec. 4)$$

Donde v_o es la velocidad de referencia a una altura H_o también de referencia, y v_f es la velocidad final a calcular a una altura H_f determinada, α es el exponente de Hellman o coeficiente de fricción, el cual depende del tipo de terreno donde se hacen las mediciones [10].

En la tabla 3 se muestra el perfil vertical del viento según la ley de Hellman de acuerdo a la altura con el terreno [11].

Tabla 3. Valores del exponente de Hellam respecto a la rugosidad del terreno.

| Tipo de Terreno | Coficiente de Hellman |
|--------------------------------------|------------------------|
| Lugares llanos con hielo o hierba | $\alpha = 0,08 - 0,12$ |
| Lugares llanos (mar, costa) | $\alpha = 0,14$ |
| Terrenos poco accidentados | $\alpha = 0,13 - 0,16$ |
| Zonas rústicas | $\alpha = 0,2$ |
| Terrenos accidentados o bosques | $\alpha = 0,2 - 0,26$ |
| Terrenos muy accidentados o ciudades | $\alpha = 0,25 - 0,4$ |

Mediante la herramienta de cómputo de Excel y Windographer [12] se realiza el analisis de los datos para poder presentarlos de forma gráfica y tener una persepción de como es el comportamiento del flujo delviento en la zona durante el tiempo de captura.

3. RESULTADOS

Los datos que se observan en la tabla 4 representan promedios de los parámetros requeridos para este estudio y proporcionados por la estación

meteorológica, así mismo el valor de la densidad del aire

Tabla 4. Valores promedio del análisis del equipo y resultado de la densidad de aire en el área de estudio.

| Parámetro | Promedio |
|--------------------------|----------|
| Velocidad del viento m/s | 2.8 |
| Presión barométrica mbar | 1002 |
| Temperatura °C | 17 |
| Humedad relativa % | 59 |

A continuación se presenta la gráfica que se obtuvo del análisis de la base de datos proporcionados por la estación meteorología figura. 4.

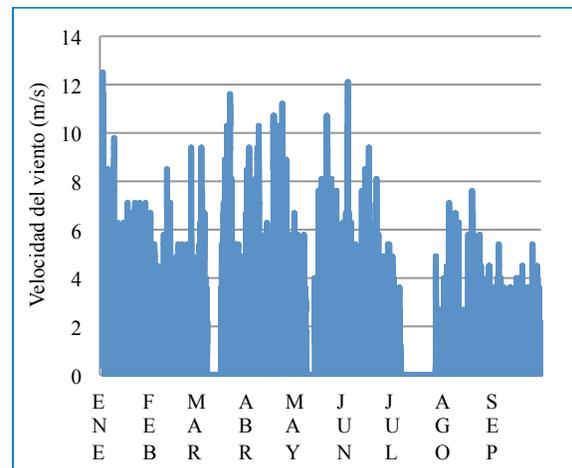
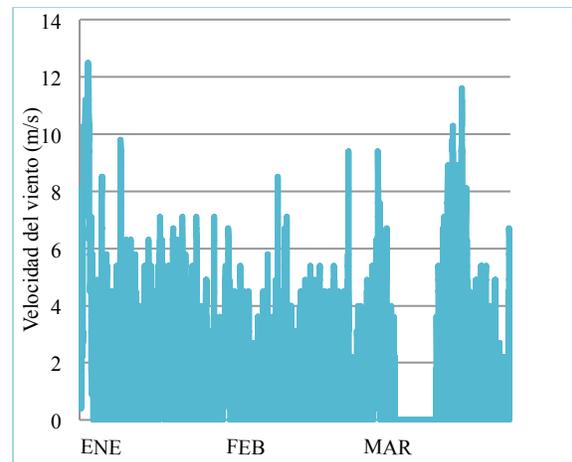
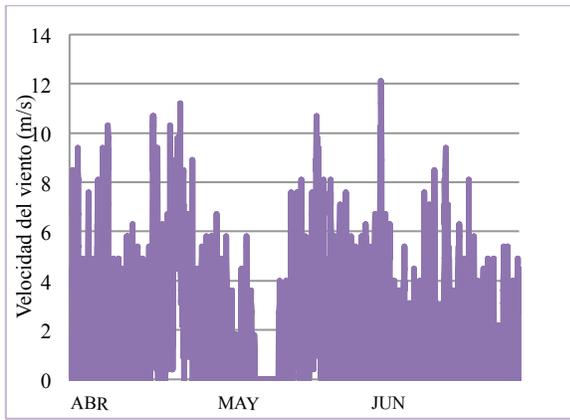


Figura 4. Velocidad del viento durante el periodo Enero – Septiembre de 2012.

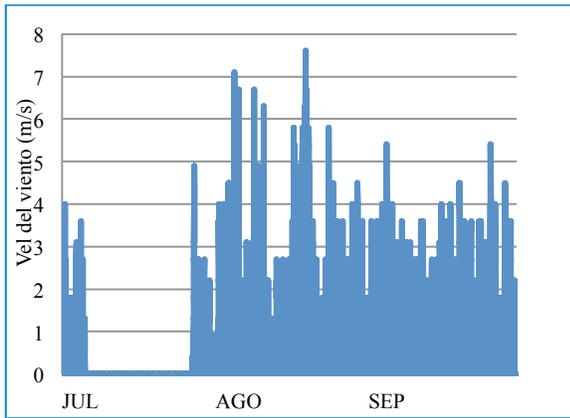
En las figuras 5, 6 y 7 se aprecia de forma gráfica la variación de la velocidad del viento por trimestres durante el periodo de muestro que realizó la estación meteorológica.



(5)



(6)



(7)

Figura (5), (6) y (7) velocidad del viento recabada por trimestres del tiempo de estudio.

En la figura 8 podemos observar los promedios de la velocidad del viento por mes durante el periodo evaluado.

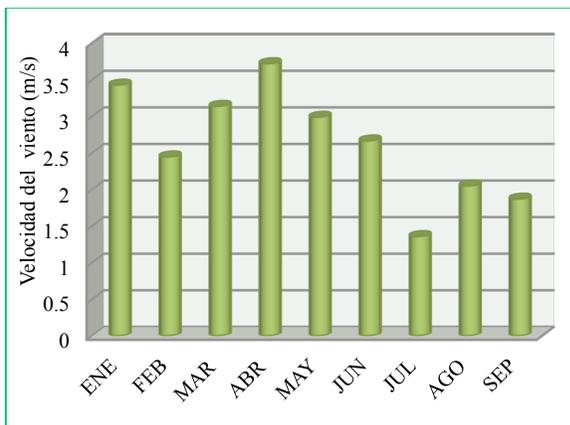


Figura 8. Grafica de promedio de la velocidad del viento en los meses Enero a Septiembre de 2012

De acuerdo a las gráficas anteriores, se calculó el promedio de la velocidad del viento durante el periodo evaluado que es de 2.8 m/s y podemos apreciar de igual forma que la velocidad máxima que se obtuvo en la región es de 12.5 m/s.

Para la densidad del aire hacemos uso de la ecuación (3), donde se sustituyen los valores de la temperatura promedio del rango evaluado y la altitud de la zona ecuación (5) dando como resultado 0.9029 Kg/m³

$$\rho = 1.225e^{\left[\frac{-2222}{8435} \cdot \frac{(17-15)}{288}\right]} = 0.9029 \quad (Ec. 5)$$

Con los valores de la densidad del aire, el área barrida por el aerogenerador y el promedio de las velocidades del viento durante el periodo de estudio, se logró calcular la densidad de potencial eólico con la ecuación (1) de la cual tenemos un resultado de 9.9 W/m². Por otra parte, también se obtuvo la potencia eólica máxima, con ayuda de la ecuación (6), que puede entregar el aerogenerador comercial Vestas V27el cual brinda un potencial de 5673.6 W.

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) (0.9029 \text{ Kg/m}^3) (572.5 \text{ m}^2) (2.8 \text{ m/s})^3 = 5673.6 \text{ W} \quad (Ec. 6)$$

Además, debido a que la estación meteorológica se encuentra a solo 2 metros de altura, provee de datos del viento no tan confiables debido a la superficie que presenta el terreno y a los obstáculos que impiden un flujo constante del viento es por ello que se utilizó la fórmula de Hellman. Donde se sustituyeron los valores ecuación (7) para determinar cuál es la velocidad del viento a una altura de 40 metros.

$$v_f = 2.8 \left[\frac{40}{2}\right]^{0.16} = 4.5 \text{ m/s} \quad (Ec. 7)$$

Dando un valor de 4.5 m/s a dicha altura.

La figura 9 muestra el comportamiento de la temperatura recabados por el sensor la estación el cual dio un promedio total de 17 °C.

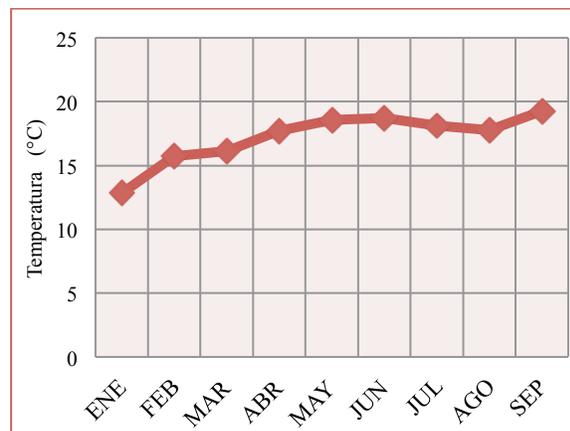


Figura 9. Promedio de temperaturas (°C) durante los meses Enero – Septiembre de 2012

En la gráfica de la figura 10 se aprecia el promedio de la temperatura que varía a lo largo del día durante el tiempo de evaluación de los datos.

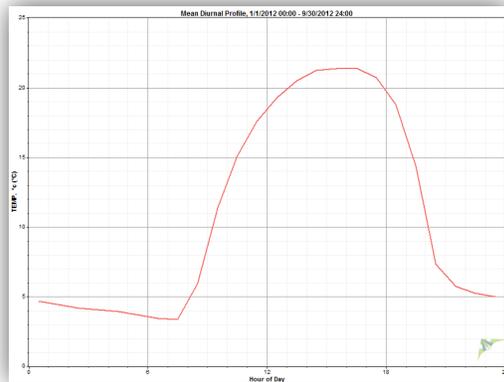


Figura 10. Promedio de la temperatura en el día de enero a septiembre de 2012.

A continuación se visualiza en la figura 11 la dirección del viento a partir de las frecuencias de los datos de la estación meteorológica.

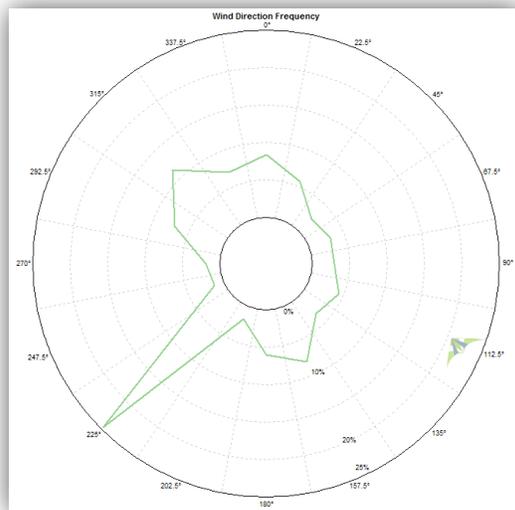


Figura 11 Rosa de los vientos. Frecuencia de la dirección del viento.

4. CONCLUSIONES

Con este análisis de datos que se realizó se deduce que la zona presenta un buen recurso de energía eólica ya que presenta promedio de 2.8 m/s que puede ser utilizada para la generación de energía eléctrica.

Cabe mencionar que con el aerogenerador presentado que entrega una potencia de 5673.6 W puede proporcionar un potencial energético de aproximadamente 136.1 KWh/día lo que viene

siendo unos 49.7 MWh/año, suponiendo que el aerogenerador trabaja las 24 horas durante los 365 días del año a plena potencia.

Este trabajo ayudara a comprender de mejor forma el comportamiento del viento en la región y que la energía eólica reduce en gran medida la dependencia del petróleo, ahorra costos y lo importante que no daña al medio ambiente para la generación eléctrica.

5. REFERENCIAS

- [1] M. Pasqualetti, R. Righter y P. Gipe, «History of Wind Energy,» de *Encyclopedia of Energy*, Elsevier Inc, 2004, pp. 419 - 433.
- [2] J. Moragues y A. Rapallini, «Energía Eólica,» *Instituto Argentino de la Energía General Mosconi*, 2003.
- [3] L. O. Bouzareñs, «Energía Eólica: Origen, Realidad y Perspectiva,» *Revista Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente*, vol. 27, pp. 12-14, 2007.
- [4] P. C. Garrido, Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Doméstica, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2009.
- [5] F. B. Ruedas, C. Á. Camacho, J. A. S. García y D. E. M. Morales, «Análisis y Validación de Metodología Usada para la Obtención de Perfiles de Velocidad del Viento,» Reunión de verano, RVP-AI/2008, Acapulco Gro., 2008.
- [6] J. F. Manwell, J. G. Mcgowan y A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Design and Application*, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [7] Wind Pioneer, «Wind Pioneer LTD,» 2013. [En línea]. Available: www.windpioneer.co.uk.
- [8] J. M. A. Valle, Validación Física del Modelo de Aerogeneradores por Efectos Disipativos., México: UNAM, 2012.
- [9] J. L. F. Díaz, J. M. G. González y V. M. G. Saldívar, «Evaluation of the eolic potencial of a zone located in the state of Zacatecas, Mexico,» *Tecnología, Ciencia, Educación. Redalyc*, pp. 95 - 98, 2010.
- [10] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, USA: John Wiley and Sons, 2004.
- [11] P. F. Díez, *Energía Eólica*, España Cantabria, 2000.
- [12] Mistaya Engineering Inc, «windographer,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.windographer.com/>.