

## Análisis Estadístico de la Velocidad del Viento en Mazatlán Sinaloa

GALÁN, Néstor\*†, OROZCO, Eber, MEJIAS, Nildia y MELLADO, Carlos

Recibido 7 de Julio, 2015; Aceptado 8 de Septiembre, 2015

### Resumen

En este artículo se analizan las velocidades de viento presentes durante el mes de Mayo en la ciudad de Mazatlán, Sinaloa, México. Partiendo de las primeras mediciones obtenidas de la estación meteorológica instalada en las instalaciones de la Universidad Politécnica de Sinaloa. Como las mediciones de la velocidad del viento se realizaron a 10 m de altura, se desea conocer las velocidades de viento que se tendrían a la altura de 55 y 85 m, que es la altura de dos bujes de aerogeneradores Enercon diferentes. Este estudio tiene como objetivo conocer el recurso eólico disponible y la densidad de potencia eólica al interior de la ciudad a diferentes alturas.

### Contribución

La contribución principal de este trabajo, es el manejo de datos estadísticos para determinar el recurso eólico disponible en la ciudad de Mazatlán.

**Velocidad media del viento, Desviación estándar, Potencia eólica, Densidad media de potencia eólica**

### Abstract

The wind speeds are analyzed in this article during the month of May in Mazatlan Sinaloa, Mexico. Starting from the first measurements obtained from the meteorological station installed at the Universidad Politécnica de Sinaloa. As measurements of wind speed were made at 10 m height, we want to know how are the wind speeds at 55 and 85 m, which are the hub heights of two different Enercon wind turbines. This study aims to determine the available wind resource and wind power density within the city at different heights.

### Contribution

The main contribution of this work is the management of statistical data to determine the wind resource available in the Mazatlan City.

**Mean wind speed, Standard deviation, Wind power, Mean wind power density**

**Citación:** GALÁN, Néstor, OROZCO, Eber, MEJIAS, Nildia y MELLADO Carlos. Análisis Estadístico de la Velocidad del Viento en Mazatlán Sinaloa. Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico 2015, 2-4: 288-294

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ngalan@upsin.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

La generación eólica es actualmente la fuente de mayor utilización y crecimiento entre las demás fuentes alternativas de energía [1]. La energía eólica ha demostrado cierta superioridad en comparación con las fuentes de energía tradicionales, por lo que se considera una energía renovable de las más preciadas, limpia, abundante, barata, inagotable y que además es parte del medio ambiente [2].

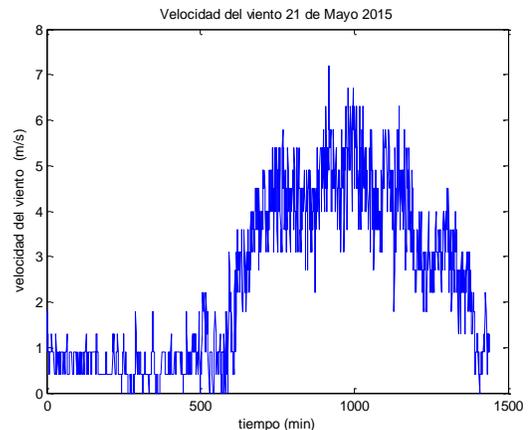
La energía eólica es literalmente inagotable y abundante en todo el mundo, lo cual puede ser utilizado como una fuente interna prometedora de energía en varios países. Más importante aún, con el continuo desarrollo de nuevas tecnologías de generación eólica, esta se ha convertido en una fuente de energía renovable con los más bajos precios de generación [3].

Hoy en día, la recolección de la energía eólica ha sido ampliamente extendida en todo el mundo. En México hay en operación una capacidad de generación eólica instalada de 1,677 MW, están por entrar en operación próximamente 2,792 MW y en proceso de obra se tiene una capacidad estimada de 1,594 MW de generación eléctrica. Preeviendo una capacidad de generación eólica instalada en un futuro cercano de 6,446 MW [4].

En la Universidad Politécnica de Sinaloa recientemente se ha instalado una estación meteorológica con la finalidad de obtener datos reales de los diferentes recursos naturales de la zona, que ayudarán a crear una base de datos estadísticos que servirán de referencia a los diferentes proyectos e investigaciones que están realizando el cuerpo académico de la carrera de Ingeniería en Energía a partir del recurso solar y eólico.

En este trabajo se analizan las mediciones de la velocidad del viento obtenidas durante el mes de mayo. Los valores medidos son con una frecuencia de muestreo de 1 min, y se promedian para intervalos de una hora de amplitud, con los cuales se realiza un tratamiento estadístico definiendo la velocidad media (o estacionaria) y la desviación estándar. Sentando de esta forma las bases para la evaluación del recurso eólico de un año como mínimo a distintas alturas que se planea realizar en la Universidad.

Durante las 24 hrs de muestreo se ha observado un largo período de vientos en calma, teniendo solo 8 horas de vientos aprovechables que están entre las 11:00 y las 19:00 hrs (660 – 1,140 min), como se muestra en el gráfico 1, es por este motivo que solo se tomará este intervalo de horas para la evaluación del recurso eólico.



**Gráfico 1** Velocidad del viento 21 Mayo 2015

El artículo comienza tratando lo relacionado al proceso de datos estadísticos de la velocidad del viento, continuando con el análisis numérico estadístico que se realiza a la velocidad para determinar la densidad de potencia y la potencia eólica disponible, mencionando la metodología desarrollada y los resultados obtenidos, así como las conclusiones.

**Tratamiento Estadístico de los datos del viento**

Varias herramientas matemáticas han sido utilizadas para el análisis de datos de la velocidad del viento. Entre estas herramientas, se destacan el uso de parámetros de centralización como la media aritmética,

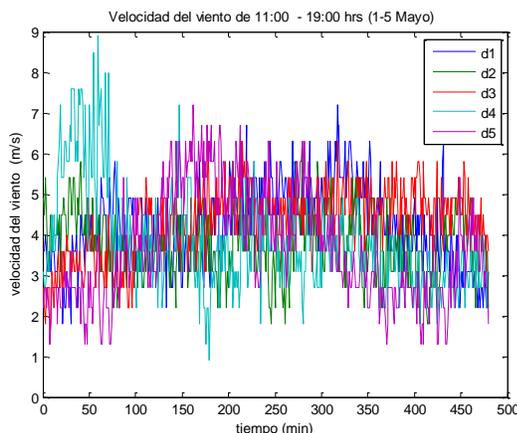
$$\bar{v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i \tag{1}$$

y parámetros de dispersión como la desviación estándar o típica para un conjunto de *N* datos de velocidad,

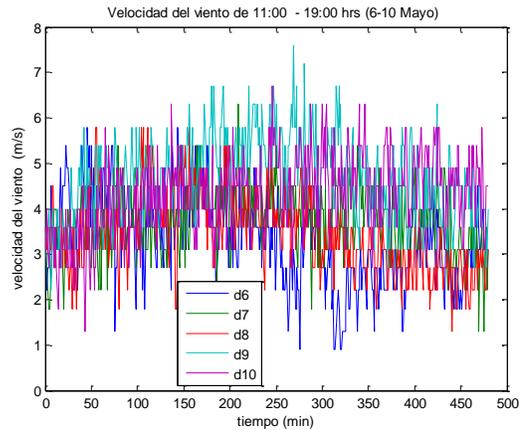
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \tag{2}$$

de donde *v<sub>i</sub>* es la velocidad muestra en un minuto.

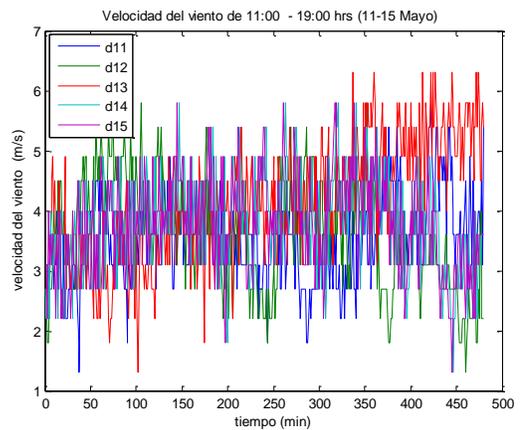
Estos parámetros básicos nos permitirán conocer la velocidad media y la desviación estándar del viento en intervalos de una hora dentro del rango de las 11:00 – 19:00 hrs. del mes de mayo del 2015, según los datos obtenidos con la estación meteorológica. El comportamiento de la velocidad del viento en este mes se muestra en los graficos del 2 al 7. Para finalmente obtener los valores promedio diarios del mes.



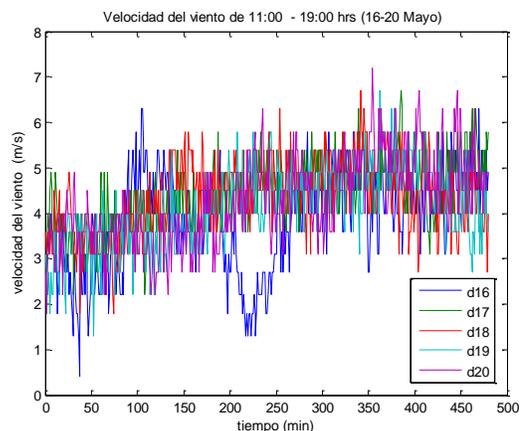
**Grafico 2** Velocidad del viento del 1-5 Mayo



**Grafico 3** Velocidad del viento del 6-10 Mayo



**Grafico 4** Velocidad del viento del 11-15 Mayo



**Grafico 5** Velocidad del viento del 16-20 Mayo

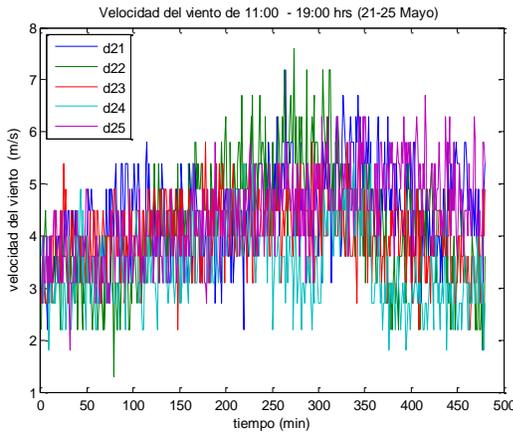


Grafico 6 Velocidad del viento del 21-25 Mayo

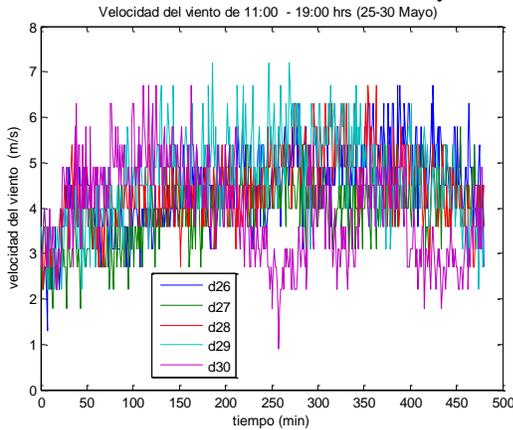


Grafico 7 Velocidad del viento del 25-30 Mayo

**Análisis estadístico del viento**

En el análisis estadístico además de la velocidad media y la desviación estándar, se incluye la densidad de potencia media del viento y la potencia eólica disponible.

Estos resultados de velocidad media y desviación estándar permitirán estimar en un segundo trabajo, el factor de forma  $k$ ,

$$k = \left( \frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1.086} \tag{3}$$

y el factor de escala  $c$  en (m/s) es,

$$c = \bar{v} \left( 0.568 + \frac{0.433}{k} \right)^{-1/k} \tag{4}$$

De la Función de Densidad de Probabilidad (FDP) de Weibull, que permite a partir de la distribución de la velocidad del viento calcular su potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador [5].

La FDP es expresada como,

$$f(v) = \frac{k}{c} \left( \frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{v}{c} \right)^k} \tag{5}$$

La velocidad del viento es medida a 10 m de altura (ubicación de la estación meteorológica), por lo que es necesario extrapolar los datos de velocidad del viento a la altura del buje del sistema de conversión de energía eólica seleccionado, mediante la siguiente expresión de la ley de potencia:

$$\frac{v'_w}{v_w} = \left( \frac{h'}{h} \right)^\alpha \tag{6}$$

Donde,  $v_w$  es la velocidad de viento medida a la altura  $h$ ,  $v'_w$  es la velocidad del viento a la altura  $h'$  del buje, el factor  $\alpha$  depende del tipo de rugosidad de la superficie y de la estabilidad atmosférica [6].

Numericamente  $\alpha$  se encuentra en el rango de 0.1-0.3, adoptando para terrenos de asentamiento eólico el valor de 1/7.

Máquina Eólica	$V_0$ (m/s)	$V_m$ (m/s)	$V_n$ (m/s)	$P_n$ (kW)	$h$ (m)	Diámetro Rotor (m)
E-40-6.44	2.5	28	12	600	50	44
E-66-18.70	2.5	28	12	1800	98	70

**Tabla 1** Datos técnicos de dos máquinas eólicas ENERCON.



Figura 1 Aerogenerador ENERCON

Los datos técnicos del aerogenerador ENERCON, son mostrados en la figura 1. Este tipo de aerogenerador ha sido seleccionado para determinar la velocidad de viento a la altura del buje, esta altura corresponde al tipo de máquina que es especificada en la tabla 1. En este caso la altura del buje está a 50 m y a 98 m sobre el nivel del piso [7].

La densidad de potencia media del viento ( $P_D$ ) expresada en  $\text{Watts/m}^2$ , en el lugar de instalación se calcula como:

$$P_D = \frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \rho \bar{v}_w^3 \quad (7)$$

Con la potencia eólica disponible  $P_w$  en Watts,

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A \bar{v}_w^3 \quad (8)$$

De los cuales  $A$  es el área de barrido del aerogenerador en  $\text{m}^2$ ,  $\rho$  es la densidad del aire ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ).

**Metodología a desarrollar**

La velocidad media del viento diaria y la desviación estándar se calculan en base a mediciones efectuadas a 10 m de altura. Estos valores medios se recalculan para 50 m y 98 m de altura.

La densidad de potencia media del viento diaria, se obtiene para las tres alturas propuestas, 10, 50 y 98 metros. El área de barrido para determinar la potencia eólica disponible se obtiene en base a los diámetros de los rotores de los aerogeneradores según la altura del buje.

**Resultados**

Los resultados de la velocidad media, desviación estándar, densidad de potencia media del viento y potencia eólica disponible en la ciudad de Mazatlán Sinaloa, México, a 10 m, 50 m y 98 m se presentan en los graficos del 8 – 11.

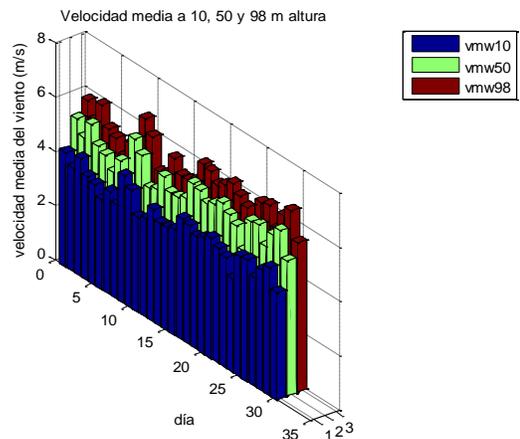


Grafico 8 Velocidad del viento media

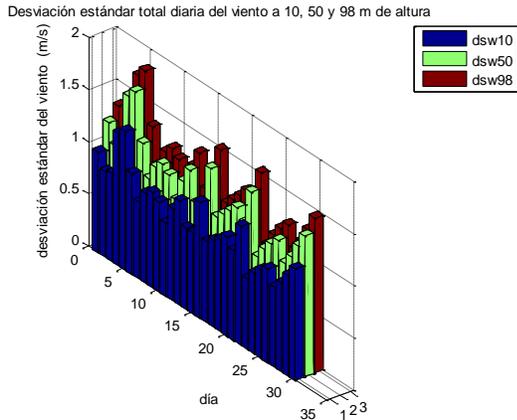


Grafico 9 Desviación estándar diaria del viento

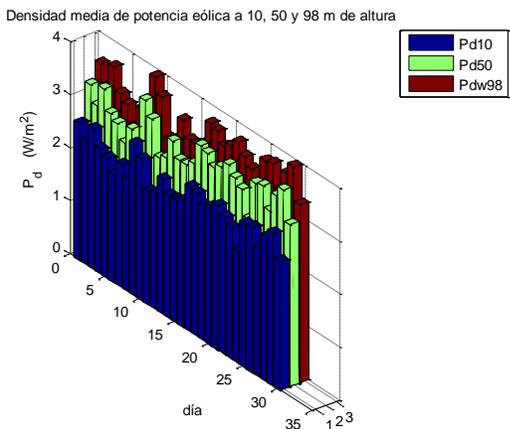


Grafico 10 Densidad de potencia media del viento

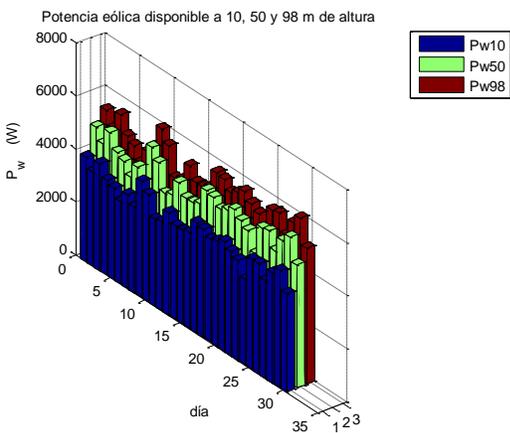


Grafico 11 Potencia eólica disponible

Conclusiones

La velocidad media del viento aprovechable esta por arriba de los 90 m de altura, al interior de la ciudad de Mazatlán, que es una velocidad de viento influenciada por la rugosidad del terreno y muy diferente a la velocidad del viento frente al mar. Hay un intervalo de cuatro horas diarias donde el viento está por arriba de la media, lo que influye de forma directa en el cálculo de la potencia eólica disponible ya que está se eleva al cubo de la velocidad del viento.

Este es solo el inicio del tratamiento de datos obtenidos con la estación meteorológica, esperando que en el transcurso de un año se pueda obtener la primera media anual y así determinar de forma completa la distribución de Weibull para poder determinar el verdadero potencial energético existente en la ciudad de Mazatlán Sinaloa, México.

Referencias

Z. Lubosny, “Wind Turbine Operation in Electric Power Systems Advanced Modeling”, Springer, 2003.

Chang TP. Estimation of wind energy potential using different probability density functions. Appl Energy 2011; 88(5):1848–56.

Wagner HJ, Mathur J. Introduction to wind energy systems: basics, technology and operation. Springer Science & Business Media; 2012.

Subsecretaría de planeación y transición energética, SENER. <http://www.energia.gob.mx/>

Shu Z., Li Q. y Chan P. (2015). Statistical Analysis of Wind Characteristics and Wind Energy Potential in Hong Kong. Energy Conversion and Management Elsevier (2015).

Villarubia, M. (2013). Ingeniería de la Energía Eólica. España: Alfaomega.

Chauhan, A. y Saini R. (2014). Statistical Analysis of wind Speed Data Using Weibull Distribution Parameters. Proceeding of 2014 1st International Conference on Non Conventional Energy (ICONCE 2014).