

# Evaluación del potencial eólico en el campus de la Universidad Santo Tomás Tunja

EVALUATION OF WIND POTENTIAL ON THE CAMPUS OF SANTO TOMÁS UNIVERSITY, TUNJA – COLOMBIA

Recepción: 2012 - 07 - 01 | Aceptación: 2012 - 11 - 23

**Resumen** — Este artículo presenta información sobre el análisis de las velocidades características de los vientos que se presentan en la ciudad de Tunja-Colombia, para poder determinar el potencial eólico en el campus de la Universidad Santo Tomás de esta ciudad. Los valores de velocidad utilizados para el estudio fueron registrados directamente en la zona de interés con la ubicación de una estación meteorológica en este lugar.

Los datos registrados son utilizados para determinar la distribución de Weibull característica en la zona de estudio. Este tipo de distribución se utiliza para comprobar el potencial eólico de cualquier zona con posible potencial. Se presenta además el procedimiento necesario que se tiene que hacer con los datos registrados en campo para poder obtener la distribución de Weibull incluidos el factor de forma  $k$  y el factor de escala  $c$  (m/s). Finalmente se consigue el potencial eólico de la zona de estudio.

**Palabras Clave** — Aerogenerador, distribución de la velocidad del viento, energía eólica, potencial eólico.

Para citar este artículo /  
To reference this article /  
Para citar este artículo.

Álvarez, C, William F., & Alvarado, F, Andrea, C., & Martínez, T, Laura, A. (2013). Evaluación del potencial eólico en el campus de la Universidad Santo Tomás Tunja. *Ingenio Magno*. Vol 4, pp. 27-31.

**William F. Álvarez Castañeda**

Ingeniero Electrónico, MSc (c) en Ingeniería énfasis energías alternativas en la Universidad Libre, profesor de la Universidad Santo Tomás. [walvarez@ustatunja.edu.co](mailto:walvarez@ustatunja.edu.co)

**Andrea C. Alvarado Fajardo**

Ingeniero Electrónico, MSc (c) en Ingeniería énfasis energías alternativas en la Universidad Libre [andrea.alvaradof@unilibrebog.edu.co](mailto:andrea.alvaradof@unilibrebog.edu.co)

**Laura A. Martínez Tejada**

Ingeniero Electrónico, candidato a MSc en la UPTC, profesor de la Universidad Santo Tomás [lmartinez@ustatunja.edu.co](mailto:lmartinez@ustatunja.edu.co)

**Abstract** — This paper presents the analysis of specific wind speeds that occur in the city of Tunja, Colombia in order to determine the wind potential on the campus of Santo Tomas University. Speed values used for the study were recorded directly in the area of interest with a weather station installed in the study location.

The recorded data are used to determine the Weibull distribution in the study area. This type of distribution is used to check the wind potential in any area. Also the required procedure to manage the recorded data is presented to obtain the Weibull distribution, including the factor form  $k$  and the scale factor  $c$  (m / s). Finally, the wind potential of the study area is obtained.

**Key Words** — Distribution of wind speed, wind energy, wind potential, wind turbine.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la energía eólica no es nuevo, siempre ha acompañado al hombre desde tiempos remotos. Gracias a la energía eólica fue posible que Cristóbal Colón descubriera las nuevas tierras de América y con esta hazaña cambiara la historia de la humanidad.

En el nuevo mundo, en nuestro país y lógicamente en el departamento de Boyacá, la presencia de la energía eólica y su uso también tiene una historia y ha sido aprovechada en diferentes actividades especialmente para la molienda de granos. El uso de los molinos de viento se puede verificar según consta en la biblioteca virtual del banco de la república de Colombia, donde se menciona que por una cédula dada en Valladolid el 2 de septiembre de 1549, se comisiona a la Audiencia de Santa Fe para que estudie la solicitud elevada por Hernán Suárez de Villalobos, vecino de Tunja, para que se le permitiera hacer un molino en un repartimiento de indios cerca de la ciudad (Friede, 1965, citado por Biblioteca Virtual Biblioteca Luis Ángel Arango, 2011). Había ya varios en la jurisdicción de Tunja en 1571 (López de Velasco, 1894, García, 1952, citado por Biblioteca Virtual Biblioteca Luis Ángel Arango, 2011).

Actualmente el país cuenta con el atlas de viento, desarrollado por la Unidad de Planeamiento Minero y Energético UPME. Este trabajo debe ser tomado sólo como una referencia del potencial energético y no como un resultado definitivo, pues en Colombia, debido a su compleja topografía se encuentran variaciones regionales de la velocidad del viento que hacen complejo tener un valor promedio en regiones extensas, adicionando además la baja densidad de estaciones que fueron utilizadas para la generación del atlas (solo 111) considerando la amplia zona de estudio, por eso, para estudios más rigurosos se sugiere desarrollarlos directamente en la zona de interés (UPME & Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales, 2006).

La ciudad de Tunja, capital del departamento de Boyacá es conocida en Colombia, no sólo por aspectos culturales, sino además por las características especiales de su clima donde se distinguen sus fuertes y fríos vientos, prácticamente todos los días del año. Tan importantes son estas características, que en su plaza principal, la plaza de Bolívar, existe una de las esquinas más conocidas de la ciudad denominada como "la esquina de la pulmonía" este nombre es dado por los lugareños debido a que en este lugar son persistentes los vientos fuertes y fríos.

En la parte nororiental de la ciudad de Tunja, está ubicado el Campus de la Universidad Santo Tomás, en este lugar también se hacen presentes los fuertes vientos, claro está, no con la misma intensidad como en la esquina de la pulmonía, la razón para esto, son las características topográficas de la ciudad, pues la plaza de Bolívar está en un punto más alto de la ciudad en comparación con el Campus de la Universidad aunque la distancia entre ellas no supera los 3 km. (Google earth, 2013).

Debido a las condiciones actuales del mundo, donde se está buscando utilizar cada vez más las energías alternativas, y considerando las bondades de la energía eólica y el desarrollo de las nuevas tecnologías para explotar este recurso, es necesario conocer el potencial de energía que se puede obtener, y un buen lugar para este estudio corresponde al campus de la Universidad Santo Tomás.

## 2. METODOLOGÍA

La información utilizada para este trabajo fue obtenida mediante una estación meteorológica Davis Vantage Pro 2, instalada en la parte superior del edificio (Giordano Bruno) en el campus de la Universidad Santo Tomás de la ciudad de Tunja, localizado a  $5^{\circ} 33' 86''$  de latitud norte y  $73^{\circ} 20' 07''$  de longitud oeste con una altura de 2820 msnm. La estación está ubicada a 14 m. sobre el nivel del suelo. Esto se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de la estación meteorológica.  
Campus Universidad Santo Tomás-Tunja.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos con los primeros ocho meses de registro. Durante este período se logra tener un total de 5289 registros eliminando los correspondientes a las velocidades de calma que tienen un valor de 0 m/s debido a que no poseen valor de energía cinética del viento para la generación de energía.

Posteriormente al registro de los datos en el lugar de estudio se debe realizar la clasificación de velocidades, determinar la frecuencia de las velocidades haciendo uso de la distribución de Weibull, para finalmente poder determinar el potencial eólico de la zona de estudio. Un ejemplo de los datos obtenidos del muestreo se muestra en la Figura 2, los cuales corresponden a datos de velocidad registrados en la semana del 2 al 8 de marzo del presente año, por el software WeatherLink. En esta figura se observa que durante los días de la semana existen momentos en los cuales la velocidad del viento presente en el lugar alcanza velocidades próximas a 6 m/s, llegando incluso a velocidad superior a 7 m/s registrada el día viernes 8 de marzo de 2013.

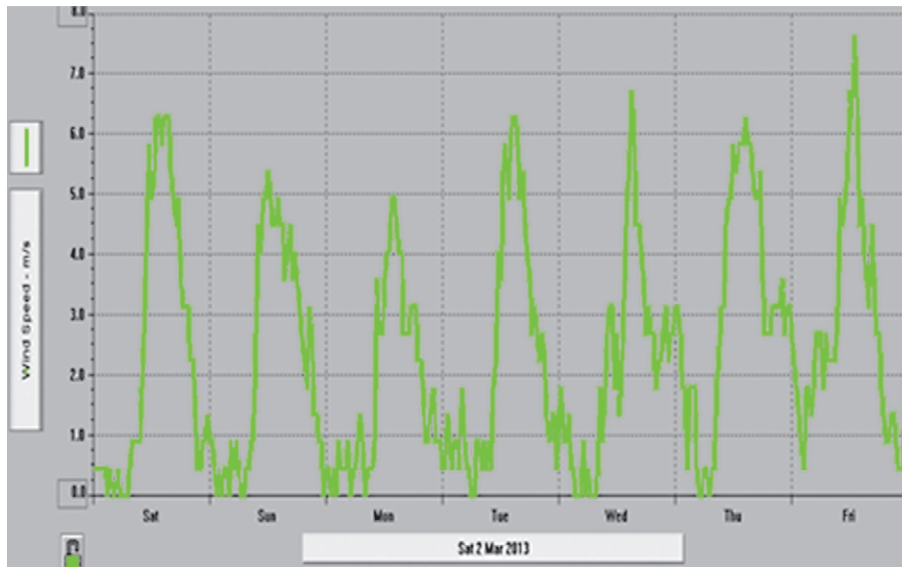


Figura 2. Datos de velocidad registrados por la estación, semana del 2 al 8 de Marzo de 2013.

### 2.1 Clasificación de velocidades

Para determinar el potencial eólico, existente en una determinada zona, se deben clasificar las velocidades registradas según la frecuencia con la que se ocurrieron cada una de ellas, para esta categorización es importante no considerar los registros en los cuales la velocidad es de 0 m/s, es decir, los vientos de calma que no poseen energía cinética para la generación de energía.

La clasificación realizada a los datos se hace para que inicie en valores cuya velocidad esté entre 0,5 m/s y 1,0 m/s, seguida por velocidades entre 1,0 m/s y 1,5 m/s. La clasificación continúa aumentando en 0,5 m/s hasta tener finalmente velocidades mayores a 3,0 m/s. para tener una caracterización de los datos y determinar la frecuencia de los vientos óptimos para la generación de energía. La clasificación de la frecuencia de las velocidades registradas se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las velocidades.

CLASIFICACIÓN DE LOS DATOS POR FRECUENCIA EN UN DÍA. CAMPUS USTA		
Escala (m/s)	Número de Datos	Frecuencia (%)
0,5	1957	37,00
1	397	7,51
1,5	386	7,30
2	341	6,45
2,5	302	5,71
3	1906	36,04
<b>Total datos</b>	<b>5289</b>	

### 2.2. Distribución de Weibull

Determinar el potencial eólico, está relacionado con establecer los parámetros de la ecuación de distribución de Weibull, correspondientes al parámetro de escala c en m/s que determina la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio y el parámetro de forma k que indica el grado de dispersión de los registros, con estos se puede establecer la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento, establecida por la ecuación (1) y es conocida como distribución de la velocidad del viento de Weibull (Silva, Alves, Cavalcanti, & Dantas, 2002).

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

Para determinar los parámetros de la ecuación de Weibull, se utilizó el ajuste de mínimos cuadrados que corresponde a la ecuación de probabilidad de Weibull (Espinoza-arenal, Saldaña-Flores, & Rivera-Blanco, 2011), mostrada en la ecuación (2).

$$p_i(v \leq v_i) = 1 - e^{-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Esto se logró utilizando el método de regresión lineal propuesto por Touré (2005), donde relaciona las variables (Touré, 2005), el proceso se ve reflejado por las ecuaciones (3), (4), (5) y (6).

$$y_i = \text{Ln}[-\text{Ln}(1 - p_i)] \quad (3)$$

$$x_i = \text{Ln}(v_i) \quad (4)$$

$$a = -k\text{Ln}(c) \quad (5)$$

$$b = k \quad (6)$$

Estos valores son posibles de obtener a partir de la ecuación conseguida del ajuste lineal realizado a los datos registrados por la estación Davis Vantage Pro 2. En la Figura 3, se muestra la regresión lineal obtenida a partir de los datos obtenidos de la medición.

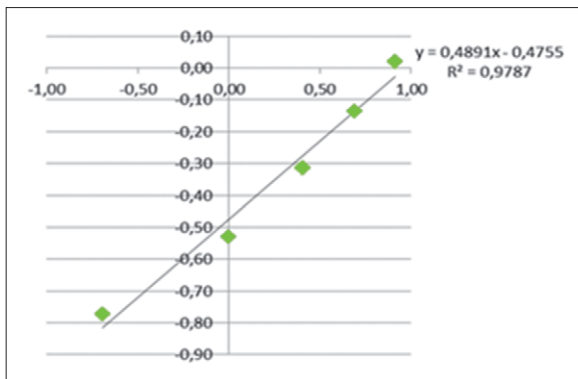


Figura 3. Ajuste lineal datos registrados Campus Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja.

La ecuación obtenida en el ajuste es (7).

$$y = 0,4891x - 0,4755 \quad (7)$$

De la cual se pueden identificar los valores del factor de forma k y el valor a.

$$a = -0,4755$$

$$k = 0,4891$$

Utilizando estos valores se encuentra el factor de escala c despejando de la Ecuación 5.

$$c = e^{-\frac{a}{k}} \quad (8)$$

$$c = 2,6437$$

Finalmente se determina la ecuación de Weibull (9) para el lugar de estudio.

$$P(v) = \left(\frac{0,4891}{2,6437}\right) * \left(\frac{v}{2,6437}\right)^{0,4891-1} * e^{\left(\frac{-v}{2,6437}\right)^{0,4891}} \quad (9)$$

Se realizó la gráfica de la distribución de Weibull, para confirmar los resultados obtenidos, y se encontró el comportamiento típico cuando se tiene un valor k de 0,5. Este comportamiento es presentado en la Figura 4.

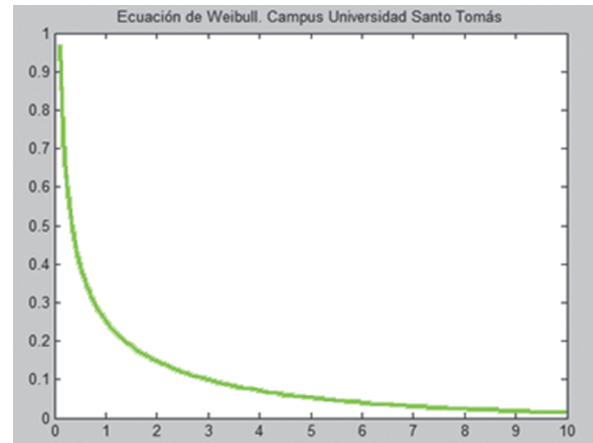


Figura 4. Distribución de Weibull para la zona de estudio

### C. Potencial eólico de la zona de estudio.

Utilizando los valores del factor de forma k y el factor de escala c, obtenidos y presentados en la Tabla II, se determinó el potencial eólico.

Tabla II. Factor de forma y factor de escala para la zona de estudio.

Estación	Factor de forma K	Factor de escala c m/s
Campus Universidad Santo Tomás	0,4891	2,6437

El factor de escala c en m/s indica la velocidad promedio del lugar de estudio, y el factor de forma k es un índice de dispersión de los datos y la frecuencia con la que se presenta la velocidad promedio (Anderson, 2013). Se determinó la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio con un valor de 2,64 m/s.

Utilizando la ecuación general (10) para determinar el potencial eólico (Fajardo-Díaz, García-González, & García-Saldívar, 2010).

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * r^2 * \pi \quad (10)$$

La variación de la densidad en el lugar de estudio está determinada por la Ecuación (11).

$$\rho = 1,225e^{\left[\left(\frac{-Z}{8435}\right) - \left(\frac{T-15}{288}\right)\right]} \quad (11)$$

Donde el valor Z es el valor de la altura en m snm, que para Tunja es de 2782 m snm, y T es la temperatura promedio en °C, que es de 13 °C, para obtener un valor de densidad igual a 0,887 kg/m<sup>3</sup>.

Finalmente reemplazando los resultados obtenidos en la ecuación general para determinar el potencial eólico y para efectos de cálculo se supone un aerogenerador BORNAY 6000 cuyas características técnicas se ven en la tabla III.

Tabla III. Características aerogenerador BORNAY 6000.

Características Técnicas	
Número de hélices	3
Díámetro	4 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Contrario a las agujas del reloj
Sistema de Control	1. Regulador electrónico
	2. Pasivo por inclinación

Fuente: Autor

$$\text{Potencial eólico} = \frac{1}{2} * (0,887 \text{ kg/m}^3) * (2,6437 \text{ m/s})^3 * (2 \text{ m})^2 \pi = 102,97 \text{ W} \quad (12)$$

Con esto, la potencia alcanzada utilizando un aerogenerador BORNAY 6000 en la zona de estudio es de 102,97 W.

### 3. CONCLUSIONES

- La velocidad promedio del viento registrado en la zona de estudio es de 2,64 m/s no alcanza la velocidad de arranque para el aerogenerador BORNAY 6000 de 3,5 m/s, por esta razón muy difícilmente se puede conseguir que el aerogenerador logre la potencia nominal con las características mencionadas.
- La frecuencia con la que es posible obtener la velocidad promedio en el día es del 48%. Prácticamente el aerogenerador sólo estará en funcionamiento un poco menos de 12 horas durante un día.
- En la ciudad de Tunja hacen presencia los fuertes vientos, pero éstos se presentan solamente en algunos momentos del día y no son muy frecuentes, teniendo como resultado una velocidad promedio de viento baja de 2,64 m/s.
- Realizar un proyecto de energía eólica en la zona de estudio no es recomendable, debido a que la velocidad promedio del viento y la frecuencia del mismo son muy bajos.

### REFERENCIAS

1. Anderson, B. A. (2013). The (Lost) Art of Wind Turbine Technology Selection Cost, Brand aren't the Only Factors to Consider, (1), pp. 4–8.
2. Fajardo-Díaz, J. L., García-González, J. M., & García-Saldívar, V. M. (2010). Evaluación del potencial eólico de una zona del estado de Zacatecas, México Evaluation of the eolic potencial of a zone located in the state of Zacatecas, Mexico, pp. 2008–2011.
3. Fyrippis, I., Axaopoulos, P. J., & Panayiotou, G. (2010). Wind energy potential assessment in Naxos Island, Greece. *Applied Energy*, 87(2), 577–586. doi:10.1016/j.apenergy.2009.05.031
4. Hernández-Escobedo, Q., Espinosa-Arenal, F., Saldaña-Flores, R., & Rivera-Blanco, C. (2011). Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el estado de veracruz, assessment to wind power for electricity generation in the state of veracruz (México), pp. 215–221.
5. De Castro, C., Mediavilla, M., Miguel, L. J., & Frechoso, F. (2011). Global wind power potential: Physical and technological limits. *Energy Policy*, 39(10), pp. 6677–6682. doi:10.1016/j.enpol.2011.06.027
6. Köse, R. (2004). An evaluation of wind energy potential as a power generation source in Kütahya, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 45(11-12), pp. 1631–1641. doi:10.1016/j.enconman.2003.10.016
7. Oliver, J. (2009). Velocidad y dirección de viento para la evaluación del potencial eólico. Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República de Montevideo-Uruguay, pp. 1–5.
8. Silva, B. B., Alves, J. J. A., Cavalcanti, E. P., & Dantas, R. T. (2002). direção P otencial eólico na direção pr edominante do v ent o no Nor deste br asileir o Nordeste brasileir asileiro predominante vent ento Wind energy potential for the prevailing, pp. 431–439.
9. Studies, P. G. (2011). Analysis of seasonal Wind Speed and Wind Power Density Distribution in Aimangala Wind form At Chitradurga Karnataka using two Parameter Weibull Distribution, (3), 3–6.
10. Touré, S. (2005). Investigations on the Eigen coordinates method for the 2 parameter weibull distribution of wind speed. *Renewable Energy*, 30(4), 511–521. doi:10.1016/j.renene.2004.07.007
11. UPME, (2006). U. de planeación minero energética, & Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales, I. Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia (p. 169).