

Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos

Analysis of wind potential through the Weibull distribution function and wind rose

DOI: 10.17981/ladee.03.01.2022.4

Fecha de recibido 18/04/2022. Fecha de aceptado 17/05/2022

Andrés De Ávila S.

Universidad de la Costa. Barranquilla (Colombia)
adeavila7@cuc.edu.co

Dairo Pérez

Universidad de la Costa-CUC. Barranquilla (Colombia)
dperez68@cuc.edu.co

José Jiménez Cardozo

Universidad de la Costa-CUC. Barranquilla (Colombia)
jjimenez135@cuc.edu.co

Para citar este artículo:

A. De Ávila, D. Pérez y J. Jiménez, "Análisis del potencial eólico a través de la función de distribución de Weibull y Rosa de los vientos", *LADEE*, vol. 3, no. 1, pp. 40–46, 2021. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.4>

Resumen— El presente estudio tuvo como objetivo analizar los datos de velocidad del viento de una estación meteorología en Colombia. Para ellos se analizaron los datos de velocidad del viento para un periodo de 24 horas durante un mes. Se observaron tendencias similares de la velocidad del viento en diferentes días, donde la velocidad del viento más alta y baja pertenecían al día 2 y el día 4. Se aplicaron las funciones de distribución de Weibull y Rosa de los vientos para encontrar la mejor herramienta de ajuste a los datos de velocidad del viento y Para determinar el potencial de energía eólica y determinar la dirección o direcciones que permitan maximizar la energía captada por la turbina, y de esta manera instalar los aerogeneradores en la ubicación más idónea.

Palabras clave— Energía eólica; velocidad del viento; funciones de distribución; Weibull; Rosa de vientos

Abstract— The objective of this study was to analyze wind speed data from a meteorological station in Colombia. For this purpose, wind speed data were analyzed for a 24-hour period during one month. Similar wind speed trends were observed on different days, where the highest and lowest wind speed belonged to day 2 and day 4. The Weibull distribution functions, and wind rose were applied to find the best fitting tool to the wind speed data and to determine the wind energy potential and determine the direction(s) to maximize the energy captured by the turbine, and thus install the wind turbines in the most suitable location.

Keywords— Wind energy; wind speed; wind speed; distribution functions; Weibull; Wind Rose

I. INTRODUCCION

Con el rápido desarrollo de la economía mundial, la demanda de energía ha aumentado drásticamente. Para hacer frente a la escasez de energía fósil tradicional, la energía verde se ha convertido en la dirección del desarrollo de los gobiernos en varios países del mundo [1]. Como energía verde y renovable, la generación de energía eólica se ha aplicado y desarrollado ampliamente en todo el mundo [1]. Según el World Wind Energy Association, la capacidad total instalada de energía eólica alcanzó los 597 GW a finales de 2018. En 2019, la nueva capacidad instalada de energía eólica aumentó los 50.1 GW. Los datos de energía eólica de 2019 no se han publicado, pero la nueva capacidad instalada estimada es de 61.8 GW [1].

Muchos países de todo el mundo han adoptado políticas para aprovechar energías renovables con el fin de reducir su dependencia de los recursos energéticos no renovables. Desde 1990, las fuentes de energía renovables han crecido a una tasa media anual del 2.0%, que es ligeramente mayor que la tasa de crecimiento del suministro total de energía primaria en el mundo, la cual es del 1.7%. Representan el 24.5% de la generación mundial en 2017, después del carbón y por delante del gas, la energía nuclear y el petróleo. En el mismo año, la energía eólica representó alrededor del 4% de la generación de electricidad mundial [2].

La producción de energía de la turbina depende en su mayoría de la capacidad del viento. Con la estimación de los recursos eólicos producto de las características de viento y teniendo la curva de potencia de la turbina eólica, es posible calcular la producción de energía.

La energía eólica puede determinarse mediante análisis estadísticos, especialmente para los cálculos. En ese caso, la variación de la velocidad del viento se caracteriza por una función de distribución de probabilidad. Para calcular la energía eólica, es necesario encontrar los parámetros de distribución [3].

II. TEORÍA/METODOLOGÍA

A. Distribución de Weibull

Un análisis estadístico adecuado de los datos eólicos es una fase importante para la evaluación del recurso eólico. La selección de la función de distribución de la velocidad del viento influye en el cálculo de la energía eólica disponible o en el rendimiento de la turbina en lugares elegidos, y aporta un impacto significativo en la rentabilidad de la inversión. La distribución de frecuencias de la velocidad del viento es representada por varias funciones de densidad de probabilidad, incluyendo la función gamma, la beta la función logarítmica, la función log-normal, las distribuciones de Rayleigh y Weibull. Analizando la literatura y las normas internacionales se puede ver que la distribución de Weibull de dos parámetros es el modelo matemático más común y ampliamente utilizado para estimar la energía eólica disponible en aplicaciones prácticas de ingeniería. Además, se utiliza para los cálculos de energía en programas comerciales [4].

La evaluación detallada y precisa del potencial eólico de un sitio requiere un procesamiento estadístico de los datos medidos de la velocidad del viento. Generalmente la variación en las velocidades del viento depende de una serie de factores, como los geográficos, ubicación, condiciones climáticas, paisaje y perfil de la superficie. Además, la elección de la función de distribución del modelo depende en factores como que los datos medidos sean discretos o continuos, simétrico o asimétrico y si los datos son asimétricos entonces si está sesgada positiva o negativamente [5].

La estimación de la energía del viento disponible en un sitio, en el que se propone la ubicación de una turbina eólica, es uno de los pasos preliminares en la planificación de un proyecto de energía eólica:

- La función de distribución de probabilidad continua (ecuación 1), escrita por Waloddi Weibull en 1951, cuyo método se centró específicamente para energía eólica, debido a su flexibilidad, en cuanto a los parámetros que determinan las características del viento y la zona, ajustándose a los datos experimentales [6].

$$f(v) = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V_{prom}}{c}\right)^k\right] \quad (1)$$

Donde el parámetro de forma “ K ” no tiene unidades y se puede obtener de la siguiente manera (ecuación 2):

$$k = \left(\frac{\sigma}{V_{prom}}\right)^{-1.086} \quad (2)$$

En este caso sigma (σ) es la desviación estándar obtenida a partir de la gráfica de la velocidad con respecto al tiempo. Para el factor de escala, las unidades son las mismas de la velocidad que para este caso es en m/s y está dada así (ecuación 3): [6]

$$c = \frac{V_{prom}}{\left(y\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right)} \quad (3)$$

Los valores de x deben estar contenidos entre 1 y 2, para este parámetro, debido a que, si el parámetro de forma es superior a 2, esta toma la función de distribución de RAYLEIGH, que es una distribución que parte de Weibull y puede variar en el análisis.

A partir de los valores de los parámetros de forma y de escala se sustituyen en la ecuación (1) y se logra conocer la distribución ajustada a la información del recurso eólico en la zona, la cual se puede graficar junto a la gráfica del histograma de frecuencia [6].

B. Rosa de los vientos

Rosa de los vientos, llamada así por la antigua forma de dividir un círculo para señalar los diferentes rumbos. Utilizada principalmente para proporcionar la dirección o direcciones frecuentes de los vientos representadas en un diagrama circular, permitiendo de esta manera ubicar el aerogenerador en un sitio idóneo.

En la evaluación de los recursos eólicos disponibles en un determinado sitio, de terreno complejo o con varias direcciones de vientos predominantes, es interesante tener el uso de una probabilidad conjunta, función de densidad. Es decir, tener el uso de un continuo modelo de la rosa de los vientos, el cual posibilita analizar la variabilidad de las características energéticas del viento en términos de velocidad y dirección. El conocimiento de estas características permite que los aerogeneradores se posicionen de tal manera que se pueda maximizar la energía captada. Se debe tener en cuenta la probabilidad de que los vientos más intensos no sean los que soplan más horas al año desde una dirección en particular [7], siendo este un aspecto importante a la hora de decidir la orientación del viento en la cual serán instalados los aerogeneradores.

III. RESULTADOS

A. Distribución de Weibull

Para la caracterización de los datos y realizar una distribución de la velocidad de los vientos utilizamos la famosa distribución de Weibull, siendo este uno de sus aplicativos más importantes y confiable. La función de Weibull es la más recomendada por la Norma internacional IEC 61400-12, como la función de ajuste más fiable utilizada para aproximar los datos medidos de la velocidad del viento [5].

Para la realización del presente estudio se utilizaron los valores de velocidad del viento de un mes, aproximadamente 744 horas. Estos datos fueron proporcionados por una estación meteorológica.

A continuación, se describe el proceso (Fig. 1; Fig. 2) y los resultados obtenidos (Tabla 1) utilizando la distribución de Weibull.



Fig. 1. Histograma de la velocidad promedio del viento por día.
Fuente: Elaborada por los autores.



Fig. 2. Histograma de la velocidad promedio del viento por hora.
Fuente: Elaborada por los autores.

TABLA 1. RESULTADO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA

Velocidad	#Horas	Probabilidad de Weibull	Densidad de potencia W/m ²
0	38	5.069079746	0.195045068
1	70	13.59817518	33.11573251
2	153	30.342553	279.7329156
3	150	25.56245275	621.3055386
4	105	13.53690692	701.1323189
5	87	7.578276068	736.1220398
6	51	2.913184747	452.2547594
7	43	1.409289785	346.6862541
8	19	0.36232571	126.3911866
9	17	0.170277888	83.54221038
10	7	0.035182087	23.31008659
11	2	0.004392841	3.957393453
12	2	0.002295547	2.548500542
Total		100.5843923	3410.293982

Fuente. Elaborada por los autores.

Con la información obtenida en los dos histogramas anteriores producto de procesos estadísticos (Fig. 1; Fig. 2), podemos observar el promedio de velocidades del viento por días y por horas. De esta manera obtenemos en que días y en qué horas del día podemos obtener las mayores o menores velocidades del viento de las 744 estudiadas.

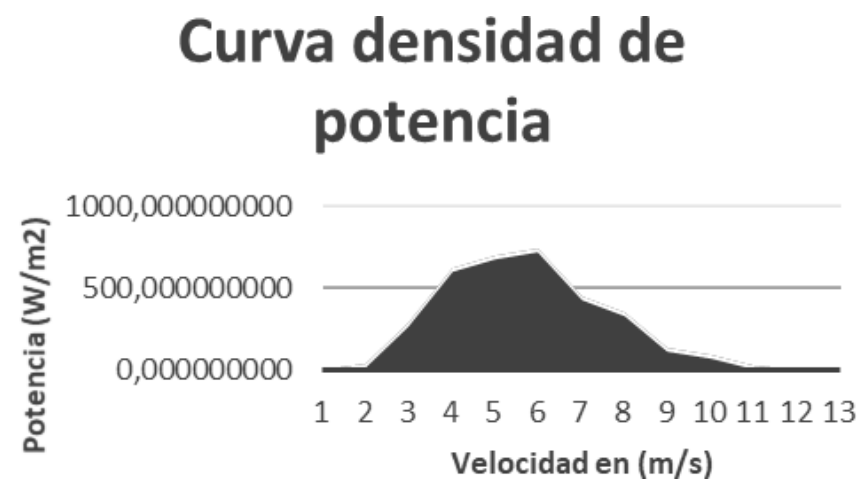


Fig. 3. Curva de densidad de potencia.
Fuente: Elaborada por los autores.

Producto de la curva de densidad ilustrada anteriormente (Fig. 3), se evidencia que entre las velocidades de 4 m/s y 6 m/s se genera la mayor potencia, obteniendo de esta manera la mayor producción del aerogenerador. De igual manera entre estas mismas velocidades se encuentra el rango óptimo de funcionamiento, ya que a menor velocidad la producción de energía sería nula y a mayor velocidad el equipo entraría en rango donde se podrían presentar riesgos operacionales.

El resultado de nuestra curva de densidad de potencia (Fig. 3) nos ratifica lo dicho por la literatura en cuanto al diseño de estos equipos, exponiendo que no por el hecho de obtener mayores velocidades de viento nos va a garantizar mayor producción de energía.

TABLA 2. RESULTADO DE LA ESTIMACIÓN DE ENERGÍA.

Vel.	# Horas	P. Weibull	Potencia W	Potencia* P	Energía Wh
0	38	5.06908	0.00	0.00	0.00
1	70	13.59818	23.57	320.53	22437.36
2	153	30.34255	188.57	5721.83	875440.45
3	150	25.56245	636.44	16268.94	2440341.56
4	105	13.53691	1508.60	20421.73	2144281.44
5	87	7.57828	2946.48	22329.22	1942641.93
6	51	2.91318	5091.51	14832.52	756458.36
7	43	1.40929	8085.13	11394.30	489954.72
8	19	0.36233	12068.77	4372.83	83083.69
9	17	0.17028	17183.85	2926.03	49742.52
10	7	0.03518	23571.82	829.31	5805.14
11	2	0.00439	31374.09	137.82	275.64
12	2	0.00230	40732.10	93.50	187.00
Valor estimado para las 744 horas de evaluación					8810649.8
Valor estimado en Kwh/día					293.688327

Fuente. Elaborada por los autores.

La anterior Tabla 2 determina la estimación de energía, es decir de 293.6 kWh/día, teniendo en cuenta un promedio de consumo diario de 7.95 kWh, obtenemos que alcanzaría para energizar un total de 36 viviendas.

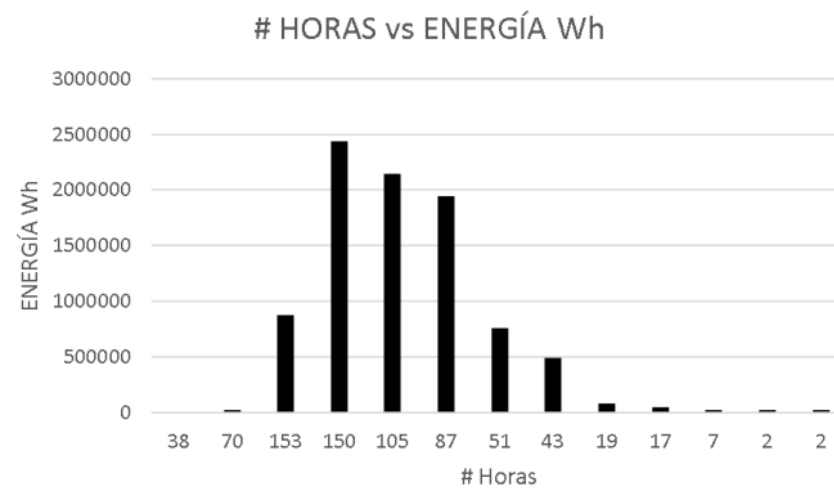


Fig. 4. Número de Horas vs Energía estimada.
Fuente. Elaborada por los autores.

En la Fig. 4 podemos observar que cuando el generador estuvo encendido 150 horas con una velocidad de 3 m/s a 4 m/s y se presenta la mayor generación de energía de 2440.3 kWh.

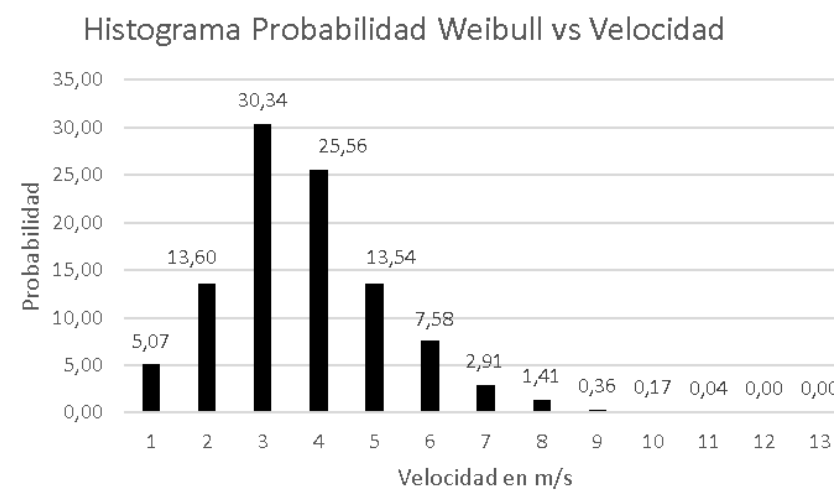


Fig. 5. Probabilidad de Weibull vs Velocidad.
Fuente. Elaborada por los autores.

Las mayores probabilidades (Fig. 5) son cuando se opera entre 3 m/s y 4 m/s con una probabilidad del 55.9%, cuando el aerogenerador opera más eficientemente a esas velocidades.

B. Rosa de Vientos

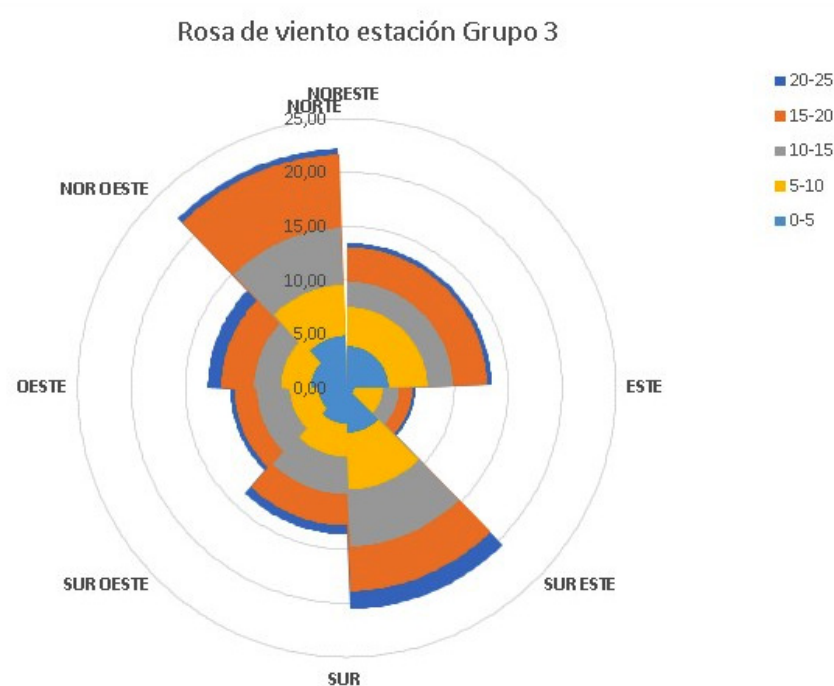


Fig. 6. Rosa de vientos.
Fuente. Elaborada por los autores.

Podemos detallar como es más factible emplazar el aerogenerador en la dirección NOR OESTE-NORTE, esto se determina con el rango entre 3 y 4 es decir los colores gris y naranja que salieron de los datos ajustados, con información que suministra la gráfica de la rosa de los vientos (Fig. 6), la cual es muy importante para realizar la selección adecuada del aerogenerador.

IV. CONCLUSIONES

- La distribución de Weibull es un método muy fiable para estimar el potencial de energía eólica teórica disponible.
- El conjunto de datos de velocidad del viento utilizados, la función de distribución de Weibull proporciona información significativa para la variación en velocidad del viento y densidad de potencia media del sitio investigado.
- Hubo tendencias similares para la velocidad del viento en diferentes días del mes. La media general de la velocidad del viento en los diferentes días y horas fue de 8.0 m/s mientras que el valor más alto y el valor más bajo media del viento se dieron en el día 2 y el día 4.
- La distribución de la velocidad del viento determina la energía eólica disponible y el rendimiento de un sistema de conversión de energía para un lugar concreto.
- Se ofrecen ejemplos adecuados, basados en un conjunto de datos reales, para examinar la eficacia de la distribución de Weibull.
- La medición del viento en el lugar es el método más fiable.
- Con una cantidad limitada de datos de viento de un lugar determinado, se puede utilizar el método estadístico

REFERENCIAS

- [1] Z. Tian, "A state-of-the-art review on wind power deterministic prediction," *Wind Eng*, vol. 45, no. 5, pp. 1374–1392, Jul. 2020. <https://doi.org/10.1177/0309524X20941203>
- [2] J. A. Guarienti, A. Kaufmann, A. Menegati, A. R. de Oliveira, J. P. Ottonelli & I. Kaufmann, "Performance analysis of numerical methods for determining Weibull distribution parameters applied to wind speed in Mato Grosso do Sul, Brazil," *Sustain Energy Technol Assessments*, vol. 42, no. 7, pp. 100854–100854, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100854>
- [3] P. Wais, "A review of Weibull functions in wind sector," *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 70, pp. 1099–1107, Apr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.014>
- [4] P. Wais, "Two and three-parameter Weibull distribution in available wind power analysis," *Renew Energy*, vol. 103, pp. 15–29, Apr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.041>
- [5] M. Shoaib, I. Siddiqui, Y. M. Amir & S. U. Rehman, "Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function," *Renew Sustain Energy Rev*, vol. 70, pp. 1343–1351, Apr. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.037>
- [6] D. Corte, F. Sierra y G. Valencia, "Validación del modelo matemático 'Función de densidad de probabilidad (pdf) de Weibull', evaluando el recurso eólico en la zona del caribe colombiano: caso estudio", *Prospectiva*, vol. 13, no. 2, pp. 38–46, 2015. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.485>
- [7] J. A. Carta, P. Ramírez & C. Bueno, "A joint probability density function of wind speed and direction for wind energy analysis," *Energy Convers Manag*, vol. 49, no. 6, pp. 1309–1320, Jun. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.01.010>