

Parámetros de la función de Weibull para la región sur de Tamaulipas, México

Alicia Yarely Castillo-Medellín ¹, Jorge Ramírez-Muñoz ², Valaur Ekbalam Marquez-Baños ³, y Román Guadarrama-Pérez ^{4*}

¹ Estudiante de Ingeniería Química, TecNM/Instituto Tecnológico Superior de El Mante, Ciudad Mante, Tamaulipas, C.P. 89930, México

² Departamento de energía, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, CDMX, Ciudad de México, C.P. 02128, México

³ Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230, México

⁴ Departamento de Ingeniería Química, TecNM/Instituto Tecnológico Superior de El Mante, Ciudad Mante, Tamaulipas, C.P. 89930, México

* Autor de correspondencia: rquadrarama@itsmante.edu.mx

Energías Renovables (Energía eólica)

Recibido: 23 de junio de 2025 Aceptado: 15 de agosto de 2025 Publicado: 29 de enero de 2026
DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i1.555>

Resumen: En el estado de Tamaulipas, México, se han identificado poblaciones consideradas con pobreza energética. Por lo tanto, existe la necesidad de implementar estrategias que permitan que estas poblaciones cuenten con energía eléctrica. En este sentido, la instalación de aerogeneradores tipo Savonius puede ser una alternativa viable. Uno de los criterios más importantes para determinar la viabilidad en el uso de un aerogenerador es la velocidad del viento en la zona de interés. Una manera de caracterizar la velocidad del viento es mediante la función de distribución de Weibull. En esta función están presentes dos parámetros a determinar, los cuales son el factor de forma y el factor de escala. Con la finalidad de determinar la viabilidad, en cuanto a velocidad de viento, para la instalación de aerogeneradores en zonas con pobreza energética, en este trabajo se hace un estudio en tres municipios del sur Tamaulipas, estos son: Ciudad Victoria, Ciudad Mante y Tampico. A partir de datos proporcionados por CONAGUA, se determinó la velocidad promedio del viento mediante el cálculo de los parámetros de la función de Weibull. Los resultados obtenidos muestran que en las tres ciudades estudiadas se encuentran velocidades del viento adecuadas para la puesta en marcha de turbinas tipo Savonius.

Palabras clave: Potencial eólico, Energía eólica, Factor de escala, Factor de forma, Función de frecuencia

Weibull function parameters for the southern region of Tamaulipas, Mexico

Abstract: In the state of Tamaulipas, Mexico, communities have been identified as experiencing energy poverty. Therefore, there is a need to implement strategies that allow these ensure these communities have access to electricity. In this sense, the installation of Savonius-type wind turbines may be a viable alternative. One of the most important criteria for determining the viability of using a wind turbine is the wind velocity in the area of interest. One way to characterize wind velocity is through the Weibull distribution function. This function includes two parameters to be determined: the shape factor and the scale factor. With the aim of determining the feasibility, in terms of wind speed, for the installation of wind turbines in areas experiencing energy poverty, this study examines three municipalities in southern Tamaulipas: Ciudad Victoria, Ciudad Mante, and Tampico. Using data provided by CONAGUA, the average wind velocity was determined by calculating the parameters of the Weibull function. The results show that all three cities have the appropriate velocity for the operation of Savonius-type turbines.

Keywords: Wind potential, Wind power, Scale factor, Shape factor, Frequency function

Introducción

Hoy en día el uso de energía eléctrica es clave para el desarrollo humano tanto a nivel sociedad como individual. Por ejemplo, como sociedad se requiere de energía para proveer servicios esenciales como agua potable, drenaje, salud, educación, iluminación y transporte (Santillán, 2021). Por otro lado, el uso de energía individual suele asociarse al consumo energético en el hogar, esto debido a que el hogar es considerado el espacio donde las personas perciben un estado de bienestar y confort, originado por servicios como cocina, ventilación, iluminación y tecnología, lo cual mejora la productividad del ser humano (Dorado & Núñez, 2021).

Aunque se tiene conciencia sobre la necesidad energética básica de la población mundial, existen hogares con dificultades para acceder al servicio de energía, ya sea por el costo o por la disponibilidad del servicio (Dorado & Núñez, 2021). Con la finalidad de brindar energía a toda la población, los miembros de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) aprobaron en 2015 el objetivo 7 de la Agenda 2030 Para el desarrollo sostenible (ONU, 2015). Derivado de este compromiso, en 2021 la ONU informa que el 13% de la población mundial no tenía acceso a energía eléctrica y para el 2023 esta cifra disminuyó a 9%, lo que representa 675 millones de personas (ONU, 2023).

En México, de acuerdo con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en 2020, el 1% de la población nacional no cuenta con electricidad en sus hogares o está no cubre en su totalidad sus necesidades básicas (cocción de alimentos, refrigeración, entretenimiento, iluminación y calentamiento de agua), de tal manera que aproximadamente 1.2 millones de personas distribuidas a lo largo del país son consideradas en pobreza energética (INEGI, 2020). Con la finalidad de suministrar de energía eléctrica a comunidades con pobreza energética, la Secretaría de Energía (SENER) clasifica estas localidades en dos sectores: (1) Aquellas que pueden ser atendidas mediante la extensión de líneas de distribución, y (2) localidades que se encuentran alejadas o inaccesibles a una línea de distribución, denominadas localidades aisladas (SENER, 2017). En particular, en el estado de Tamaulipas, la SENER ha identificado al norte; los municipios de Méndez y Miguel Alemán, y al sur; los municipios de Gómez Farías, González, Llera y Ocampo (SENER, 2022).

De acuerdo con la Comisión de Energía de Tamaulipas (CETAM), el Estado de Tamaulipas se encuentra en una ubicación geográfica privilegiada, ya que cuenta con diferentes fuentes de energía renovable, es decir, solar, eólica y oceánica. Respecto a la fuente de energía eólica, a 120 metros de altura, la mayoría del territorio cuenta con un potencial eólico superior a $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ y en regiones cercanas a la costa central y norte se tiene un potencial mayor a $700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (CETAM, 2021). En este sentido, en Tamaulipas, se encuentran operando 13 parques eólicos, de tal manera que es el segundo estado con mayor producción de energía limpia (Energy, 2024). Si bien, estos parques se encuentran distribuidos a lo largo del estado, por ejemplo, al norte en el municipio de Reynosa, en el centro en el municipio de Güemes y al sur en el municipio de Llera, las condiciones geográficas de las localidades aisladas no permiten la conexión a las subestaciones eléctricas instaladas. Por tal motivo, surge la necesidad de buscar una estrategia para atender esta problemática.

En este sentido, se propone utilizar el potencial eólico de las comunidades consideradas aisladas mediante pequeñas turbinas, por ejemplo, tipo Savonius, las cuales pueden operar a menor altura que las turbinas instaladas en parques eólicos y en un intervalo de velocidad del viento entre 0.15 y $5.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Dewan *et al.*, 2023). Con este fin, el objetivo de este trabajo es dar a conocer la velocidad del viento en la zona sur del estado de Tamaulipas, considerando que las variaciones en la velocidad pueden ser representadas mediante la función de distribución de Weibull.

Materiales y Métodos

Los datos de velocidad del viento fueron obtenidos de la información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA, 2025) de las estaciones más cercanas a los municipios de Gómez Farías, González, Llera y Ocampo, es decir, las estaciones de Cd. Victoria, Cd. Mante y Tampico. Los datos corresponden a los meses de marzo, abril y mayo de 2025.

Función de distribución acumulada de Weibull

La función de distribución de Weibull es frecuentemente utilizada analizar el potencial del eólico (Yancachajlla Tito & Vilca Huayta, 2022). Esta función indica la fracción de tiempo durante la cual el viento tiene una cierta velocidad (u) y puede ser expresada como (Serban *et al.*, 2020):

$$f(u) = \begin{cases} \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} & u > 0, \\ 0 & u < 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde k es el factor de forma de Weibull y c es el factor de escala. k indica el grado de dispersión de la velocidad del viento, por lo que un factor de forma pequeño indica una distribución de la velocidad del viento relativamente grande alrededor de la velocidad promedio, mientras que un factor de forma más grande indica una distribución de la velocidad del viento relativamente pequeña alrededor del promedio. Mientras que c indica la velocidad promedio del viento.

La función de distribución acumulada $F(u)$ se obtiene integrando la función de distribución [ecuación (1)] y nos da la fracción de tiempo durante la cual la velocidad del viento es igual o menor que la velocidad promedio. $F(u)$ puede ser escrita como (Serban *et al.*, 2020):

$$F(u) = \int_0^u \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} du = 1 - e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (2)$$

Cálculo de k y c

Para determinar los parámetros k y c de la función de distribución de Weibull se linealizó la ecuación (2):

$$F(u) - 1 = e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k}, \quad (3)$$

$$\text{Ln}[F(u) - 1] = \text{Ln}\left[e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k}\right], \quad (4)$$

$$\text{Ln}[F(u) - 1] = -\left(\frac{u}{c}\right)^k, \quad (5)$$

$$\text{Ln}\{-\text{Ln}[F(u) - 1]\} = \text{Ln}\left[\left(\frac{u}{c}\right)^k\right], \quad (6)$$

$$\text{Ln}\{-\text{Ln}[F(u) - 1]\} = k \text{Ln}\left(\frac{u}{c}\right), \quad (7)$$

$$\text{Ln}\{-\text{Ln}[F(u) - 1]\} = k \text{Ln}(u) - k \text{Ln}(c). \quad (8)$$

De tal manera que los datos de velocidad del viento fueron ajustados mediante la ecuación (8), en la cual, la pendiente representa el valor de k y de la ordenada al origen puede ser obtenido el valor de c .

Resultados y Discusión

En la Figura 1 se presentan las distribuciones de la velocidad del viento. En las Figuras 1-a), b) y c) se muestran los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de CONAGUA, así como, como la representación de estos mediante la función de distribución de Weibull para Cd. Victoria, Cd. Mante y Tampico, respectivamente. En estas Figuras se puede observar que la función de distribución de Weibull describe bastante bien el comportamiento de la velocidad del viento en las zonas evaluadas.

En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos para los parámetros de la función de distribución de Weibull, es decir el factor de forma (k) y el factor de escala (c). Se puede observar que k tiene un valor muy similar en las tres diferentes zonas de estudio. Los valores obtenidos para el parámetro de forma k , cercanos a 2.2 en las tres estaciones analizadas, indican que la dispersión de la velocidad del viento en estas zonas es moderada y relativamente uniforme. Por otro lado, el parámetro de escala c , que representa la velocidad promedio del viento, varía entre 4.9 y 6.7 m·s⁻¹, siendo la estación de Tampico la que presenta el mayor potencial eólico, seguida por Cd. Mante y Cd. Victoria.

Tabla 1. Valores de los parámetros de la función de distribución de Weibull

Zona	k	c
Cd. Victoria	2.2	4.9
Cd. Mante	2.2	5.3
Tampico	2.3	6.7

Autores como Martheyn-Lizarazo y Rubio-Ramírez (2017) mencionan que las turbinas eólicas tipo Savonius pueden operar a partir de una velocidad promedio de viento de 3 m·s⁻¹ e incluso Sarma *et al.* (2014) reporta, para una turbina tipo Savonius con área de barrido de 0.6 m², una generación de 2.4 W al operar con una velocidad promedio de viento de 0.9 m·s⁻¹. Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, las zonas Cd. Victoria, Cd. Mante y Tampico pueden ser consideradas para la instalación de turbinas eólicas de uso residencial, por ejemplo, tipo Savonius, para la generación de energía eléctrica.

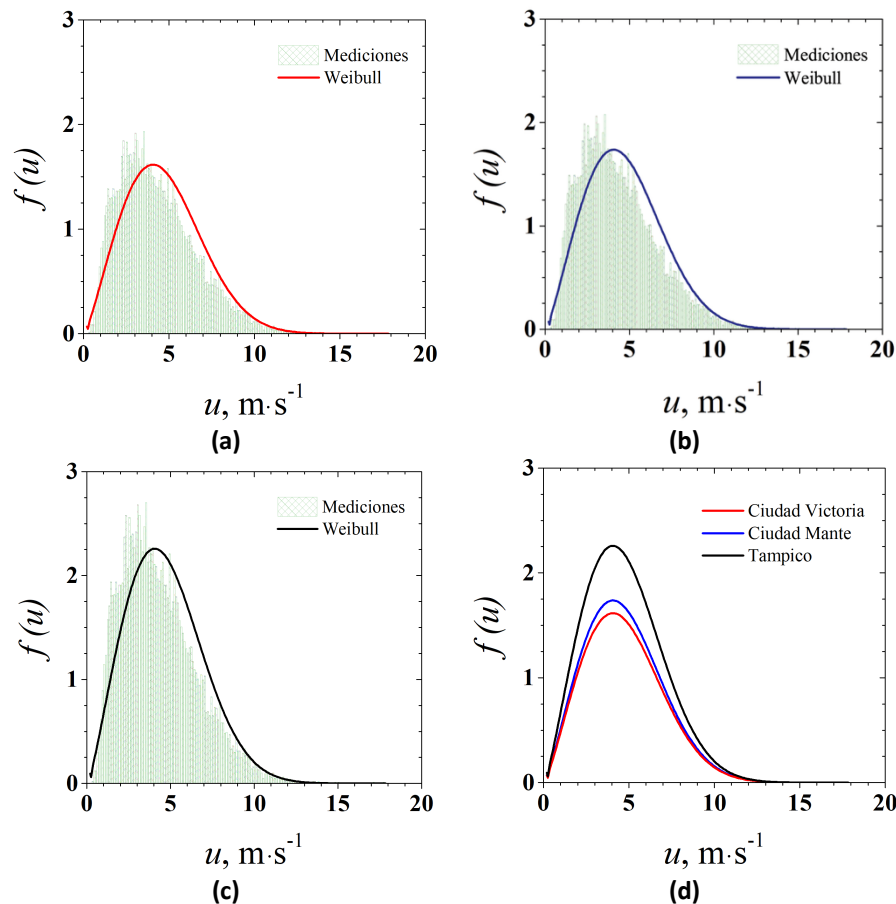


Figura 1. Datos de velocidad de viento: a) Cd. Victoria, b) Cd. Mante, c) Tampico, y d) Comparación en la distribución de Weibull

Conclusiones

Para determinar la viabilidad en el uso de aerogeneradores es necesario conocer el potencial eólico, en este sentido, la función de distribución de Weibull es una herramienta útil. Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir que el uso de la función de distribución de Weibull representa adecuadamente el comportamiento estadístico de la velocidad del viento en la zona sur del estado de Tamaulipas. Esta representación probabilística es útil para evaluar el potencial eólico en regiones donde no existen mediciones directas y continuas del viento.

Estas condiciones sugieren que, si bien las velocidades registradas no alcanzan los valores óptimos para grandes aerogeneradores, sí podrían ser aprovechadas mediante turbinas de eje vertical tipo Savonius, que pueden operar eficientemente a bajas velocidades del viento y a alturas reducidas. Esto abre una vía factible para el aprovechamiento local de energía eólica en comunidades aisladas del sur de Tamaulipas que actualmente enfrentan condiciones de pobreza energética. En consecuencia, los datos presentados respaldan la viabilidad técnica del uso de microgeneración eólica con aerogeneradores tipo Savonius como estrategia complementaria para la electrificación de localidades alejadas en el sur de Tamaulipas, México, en línea con los objetivos de acceso universal a la energía establecidos en la Agenda 2030.

Bibliografía

- CETAM. (2021). *Programa de fomento y aprovechamiento sustentable de la energía para el estado de Tamaulipas*.
- CONAGUA. (2025). *Estaciones meteorológicas automáticas (EMAS)*. Recuperado el 16 de junio de 2025 de <https://surl.lt/kemxxf>
- Dewan, A., Tomar, S. S., Bishnoi, A. K., & Singh, T. P. (2023). Computational fluid dynamics and turbulence modelling in various blades of Savonius turbines for wind and hydro energy: Progress and perspectives. *Ocean Engineering*, 283, 115168. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115168>

- Dorado, A. L. E., & Núñez, M. P. C. (2021). Características de la pobreza energética en México: un enfoque desagregado. *Revista Legislativa de Estudios Sociales y de Opinión Pública*, 14(30), 77–116.
- Energy, G. (2024). *Tamaulipas proyecta 20 nuevos parques eólicos para 2030*. Recuperado el 6 de junio de 2025 de <https://surl.ltu/tsyuwr>
- INEGI. (2020). *Información demográfica y social. Censo de población y vivienda 2020*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Martheyn Lizarazo, G. A., & Rubio Ramírez, C. R. (2017). Diseño de un prototipo de turbina eólica clase híbrido para bajas corrientes de aire. *Revista Cubana de Ingeniería*, 8(1), 30–37. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/61>
- ONU. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado en 2025 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- ONU. (2023). *Informe de los objetivos de desarrollo sostenible. Edición especial*. Naciones Unidas. <https://bit.ly/3z69jsA>
- Santillán, O. S. (2021). *Análisis de la pobreza energética y su impacto en el desarrollo sustentable de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sarma, N. K., Biswas, A., & Misra, R. D. (2014). Experimental and computational evaluation of Savonius hydrokinetic turbine for low velocity condition with comparison to Savonius wind turbine at the same input power. *Energy Conversion and Management*, 83, 88–98. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.03.070>
- SENER. (2017). *Por ciento de cobertura nacional*. Secretaría de Energía.
- SENER. (2022). *Relación de localidades del componente de instalación en sistemas aislados*. Secretaría de Energía.
- Serban, A., Paraschiv, L. S., & Paraschiv, S. (2020). Assessment of wind energy potential based on Weibull and Rayleigh distribution models. *Energy Reports*, 6, 250–267. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.08.048>
- Yancachajlla Tito, U., & Vilca Huayta, O. A. (2022). Caracterización del viento con la función de Weibull para una zona altoandina, Laraqueri – Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24, 190–198.