



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ANUAL (PEA), EN LA CIUDAD DE BOCA DEL RÍO, VERACRUZ

**EVALUATION OF THE WIND POWER POTENTIAL
FOR ANNUAL ENERGY PRODUCTION (PEA), IN THE
CITY OF BOCA DEL RÍO, VERACRUZ**

Erika Jazmín De la Cruz Ángel

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, México

José Alfredo Inclán Barragán

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, México

Guadalupe González Mejía

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, México

Jessica Rosario Grajeda Rosado

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, México

William Alejandro Castillo Toscano

Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias Navales, México

Evaluación del Potencial Eólico de Producción de Energía Anual (PEA), en la Ciudad de Boca del Río, Veracruz

Erika Jazmín De la Cruz Ángel¹

eridelacruz@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0001-2617-0708>

Facultad de Ingeniería Mecánica y
Ciencias Navales
México

José Alfredo Inclán Barragán

jinclan@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0009-0351-0851>

Facultad de Ingeniería Mecánica y
Ciencias Navales
México

Guadalupe González Mejía

guadalupegonzalez@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0003-0639-7942>

Facultad de Ingeniería Mecánica y
Ciencias Navales
México

Jessica Rosario Grajeda Rosado

jgrajeda@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0002-9843-7552>

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
México

William Alejandro Castillo Toscano

wcastillo@uv.mx

<https://orcid.org/0009-0003-1385-4523>

Facultad de Ingeniería Mecánica y
Ciencias Navales
México

RESUMEN

Este estudio evalúa el potencial eólico para estimar la producción anual de energía (PAE) en Boca del Río, Veracruz. El objetivo principal es evaluar la viabilidad de la generación de energía eólica en esta zona mediante el análisis de datos meteorológicos de velocidad del viento registrados durante 2024. La metodología se basó en el procesamiento estadístico de 8,546 registros horarios para obtener la estadística mensual y anual de los vientos. Se seleccionó un aerogenerador específico (ENAIR 30PRO) para modelar la producción energética, calculando el Factor de Planta y el Factor de Disponibilidad. Los resultados indican una velocidad media anual de viento de 2.58 m/s, clasificada como "Brisa Suave", con una WPD promedio de 10.81 W/m². La producción anual equivalente (PAE) estimada fue de 613.66 kWh/año, con un Factor de Planta del 2.46%, lo que sugiere un potencial eólico modesto pero cuantificable para la ubicación estudiada.

Palabras clave: evaluación, potencial eólico, producción de energía anual

¹ Autor principal.

Correspondencia: guadalupegonzalez@uv.mx

Evaluation of the Wind Power Potential for Annual Energy Production (PEA), in the City of Boca del Río, Veracruz

ABSTRACT

This study evaluates the wind power potential to estimate annual energy production (AEP) in Boca del Río, Veracruz. The main objective is to assess the feasibility of wind power generation in this area by analyzing meteorological data on wind speed recorded during 2024. The methodology was based on the statistical processing of 8,546 hourly records to obtain monthly and annual wind statistics. A specific wind turbine (ENAIR 30PRO) was selected to model energy production, calculating the Capacity Factor and Availability Factor. The results indicate an average annual wind speed of 2.58 m/s, classified as "Gentle Breeze," with an average WPD of 10.81 W/m². The estimated annual equivalent production (AEP) was 613.66 kWh/year, with a Capacity Factor of 2.46%, suggesting a modest but quantifiable wind power potential for the studied location.

Keywords: assessment, wind potential, annual energy production

*Artículo recibido 30 noviembre 2025
Aceptado para publicación: 30 diciembre 2025*



INTRODUCCIÓN

La transición energética hacia fuentes renovables se ha consolidado como una imperiosa necesidad global ante los desafíos del cambio climático y la creciente demanda de energía. Entre estas fuentes, la energía eólica emerge como una de las alternativas más limpias y sostenibles, aprovechando la fuerza cinética del viento para generar electricidad sin emitir gases de efecto invernadero. Su desarrollo no solo contribuye a la diversificación de la matriz energética, sino que también reduce la dependencia de los combustibles fósiles, promoviendo así la seguridad energética y la protección ambiental. (De la Cruz Ángel, Inclán Barragán, González Mejía, Grajeda Rosado, & Díaz Abascal, 2024)

El presente estudio se enfoca en evaluar el potencial eólico para la producción anual de energía (PAE) en la ciudad de Boca del Río, Veracruz, una región costera del Golfo de México con características geográficas y climáticas particulares que podrían favorecer el aprovechamiento del recurso eólico. Esta zona, influenciada por sistemas meteorológicos tropicales y condiciones locales, representa un espacio de interés para la exploración de energías renovables, especialmente en un contexto nacional donde la transición energética aún enfrenta importantes retos de implementación.

El objetivo principal de esta investigación es cuantificar el potencial de generación de energía eólica en Boca del Río mediante el análisis estadístico de datos meteorológicos de velocidad y dirección del viento correspondientes al año 2024. Para ello, se propone una metodología que integra el cálculo de la densidad de potencia eólica (WPD), la selección de un aerogenerador específico y la estimación de la producción energética anual, considerando factores técnicos como el coeficiente de potencia, el factor de planta y el factor de disponibilidad de la máquina.

Este trabajo se enmarca en un contexto regional donde la identificación de fuentes de energía renovable es crucial para el desarrollo de proyectos de autoabastecimiento y la posible integración de sistemas híbridos, como la combinación de energía eólica y fotovoltaica. Además, contribuye a llenar un vacío de información local sobre el recurso eólico, ofreciendo datos técnicos que pueden servir como base para futuras inversiones o políticas públicas orientadas a la generación distribuida y la sostenibilidad energética en el estado de Veracruz.



METODOLOGÍA

La palabra "eólico" proviene de la antigua Grecia, específicamente de Eolo, la deidad que representaba los vientos en su mitología. El viento mismo surge como consecuencia del calor del sol, que calienta de forma desigual la superficie de la Tierra, un fenómeno que se ve influenciado además por el movimiento de rotación de nuestro planeta. (González Mejía, De la Cruz Ángel, Inclán Barragán, Pacheco Martinez, & Ponce Ávila, 2025)

Para poder aprovechar esta fuerza como recurso energético, es fundamental estudiar detenidamente el comportamiento del viento. Esto implica ir más allá de su velocidad promedio y examinar sus fluctuaciones a lo largo del día, la noche y las estaciones, cómo aumenta su fuerza con la altitud, la potencia de los cambios repentinos y los registros históricos extremos recopilados durante períodos extensos, típicamente de dos décadas. (Moreno Cevallos, 2021).

La relevancia de esta energía reside en sus numerosos beneficios. Se trata de un recurso renovable, limpio y una alternativa crucial para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el calentamiento global. Resulta rentable y, al no depender de la quema de materiales, no genera emisiones que degraden la atmósfera, la tierra o las aguas subterráneas.

Su integración con otras fuentes, como la energía fotovoltaica, facilita la creación de redes eléctricas auto-suficientes. Sus contras, principalmente la alteración del paisaje y la sonoridad de sus aspas, son insignificantes cuando se sopesan frente a sus enormes ventajas, posicionándola como una opción sólida y prometedora para la transición energética. (Eraso Checa, Escobar Rosero, Fernando Paz, & Morales, 2018).

La procedencia del viento se define según el punto cardinal de origen. Así, se dice que un viento es del Oeste cuando la masa aérea proviene de esa dirección. Las mediciones confirman que la orientación eólica oscila constantemente alrededor de un rumbo promedio.

El análisis de los datos y/o registros de velocidad y dirección del viento cotidianos posibilita la creación, para cada sitio, de un gráfico circular que revela los porcentajes de tiempo en los que el viento ha soplado desde una orientación concreta. Estas representaciones pueden generarse para intervalos de diversa duración. Esta herramienta permite analizar el comportamiento habitual del viento tanto en ciclos anuales como en las variaciones diarias. (Barzola, y otros, 2016).



La evaluación del potencial eólico se realizó a partir de los registros de velocidad y dirección del viento del 2024 del Observatorio Meteorológico Boca del Río, esta estación meteorológica pertenece al SMN (Servicio Meteorológico Nacional) y proporciona los datos oficiales con instrumentos que cumplen la normativa de medición de velocidad y dirección del viento. (Inclán Barragán, Campos Domínguez, Vidal Santo, Ortiz Martínez, & Domínguez Márquez, 2025).

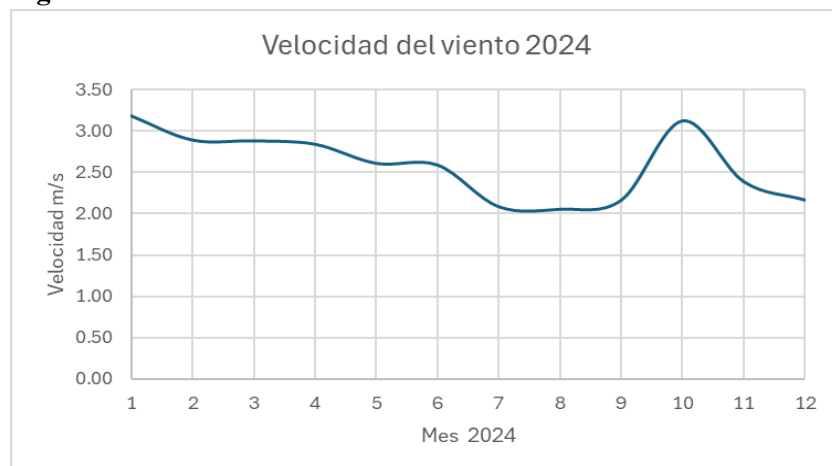
Del estudio realizado en el año 2024 a 8546 registros horarios, se realizó la estadística a la velocidad del viento obteniéndose la moda, la velocidad promedio, la desviación estándar y la velocidad máxima, siendo estas las más importantes. En la tabla 1 se presenta un resumen de estas variables contra el mes del año 2024, la tabla 1 concentra el resumen anual de los registros obtenidos de la velocidad del viento a través de un anemómetro colocado sobre un mástil a 10 metros sobre la superficie y a 25 msnmm, la lectura de velocidades del viento está en una zona urbana desarrollada y cerca de la costa.

Tabla 1 Estadística de la velocidad del viento del año 2024

Mes 2024	Número de datos	Moda	Velocidad Promedio (m/s)	Desviación Estándar	Velocidad máxima (m/s)
Enero	743	0.80	3.18	2.62	13.30
Febrero	672	2.20	2.89	2.07	11.10
Marzo	743	1.10	2.88	1.79	10.97
Abril	719	2.20	2.84	1.70	10.35
Mayo	743	2.80	2.61	1.26	6.70
Junio	715	2.80	2.59	1.33	7.20
Julio	739	1.10	2.09	1.03	6.40
Agosto	737	2.20	2.06	0.97	5.00
Septiembre	710	2.20	2.17	1.35	9.52
Octubre	743	2.20	3.12	2.04	10.67
Noviembre	719	1.10	2.39	1.58	9.37
Diciembre	563	1.10	2.17	2.00	14.20

De la tabla 1 se genera la figura 1, donde se observa el comportamiento anual de la velocidad del viento mediante un gráfico.

Figura 1 Gráfico de tendencia anual de la velocidad del viento en el 2024



La figura 1, muestra la tendencia de la velocidad del viento, según los meses el gráfico muestra que los meses de septiembre a febrero son de mayores vientos y los meses de marzo a agosto son los de menor velocidad del viento. El viento se establece en una escala de velocidades llamada Beaufort, que lo clasifica en 17 categorías, las cuales se muestran en la tabla 2. (López López, y otros, 2008).

Tabla 2 Clasificación del viento en escala Beaufort

Grados Beaufort	Nudos		m/s		km/h		Descripción	Presión superficie en N/m ²	
	de	a	de	a	de	a		de	a
0	<	1	0	0.2	<	1	Calma		
1	1	3	0.3	1.5	1	3	Ventolina	0	0.3
2	4	6	2.1	3.1	7.4	11.1	Brisa Suave	0.6	1.2
3	7	10	3.6	5.1	13	18.5	Brisa Leve	2	3
4	11	16	5.7	8.2	20.4	29.7	Brisa Moderada	4	9
5	17	21	8.8	10.8	31.5	38.9	Viento Refrescante	10	15
6	22	27	11.3	13.9	40.8	50	Viento Fuerte	17	25
7	28	33	14.4	17	51.9	61.2	Viento muy Fuerte	27	38
8	34	40	17.5	20.6	63	74.1	Temporal	40	55
9	41	47	21.1	24.2	76	87.1	Temporal Fuerte	58	76
10	48	55	24.7	28.3	89	101.9	Temporal muy Fuerte	79	104
11	56	63	28.8	32.4	103.8	116.8	Tempestad	108	137
12	64	71	32.9	36.5	118.6	131.6	Huracán	141	174
13	72	80	37.1	41.2	133.4	148.3		179	220
14	81	89	41.7	45.8	150.1	164.9		226	273
15	90	99	46.3	51	166.8	183.5		279	338
16	100	108	51.5	55.6	185.3	200.1		344	402
17	109	118	56.1	60.7	202	218.7	Ciclón	409	480

En base a la tabla 2 y la figura 1, se observa que el rango de velocidades para la ciudad de Boca del Río, Veracruz está entre 2 y 3 m/s, el cual está en escala 2 Brisa Suave, que está dentro de vientos débiles.

La energía eólica se fundamenta en la energía cinética del viento, definida en la ecuación 1.

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad Ec. (1)$$

Donde: m es la masa del aire en (kg), y v es la velocidad del viento en (m/s).

Tomando las variables que afectan la energía cinética del viento tenemos la ecuación 2.

$$E_c = \frac{1}{2}\rho Av^3t \quad Ec. (2)$$

Donde: ρ es la densidad del aire en (kg/m³), A el área en (m²) y t el tiempo en (s).

La ecuación 2 no representa la energía eólica que podemos obtener, ya que las máquinas no convierten toda la energía en trabajo, hay que considerar el rendimiento de la máquina llamado C_p y se obtiene mediante la ecuación 3.

$$P_{wind} = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 \quad Ec. (3)$$

Donde: C_p es el coeficiente de potencia de la máquina en (%).

Existe una medida para evaluar el recurso eólico disponible, llamado densidad de potencia eólica WPD, del inglés Wind Power Density, que se define en la ecuación 4.

$$WPD = \frac{1}{2} * \rho * v^3 \quad Ec. (4)$$

Donde: WPD es la densidad de potencia eólica en (W/m²).

Existe una realidad en la cual sabemos que difícilmente la máquina eólica va a generar el cien por ciento del tiempo, hay un periodo de horas donde no va a funcionar y entonces no va a producir energía, y un periodo donde si, a la relación entre estos periodos de le llama Factor de disponibilidad y se define en la ecuación 5.

$$FD = \frac{HA - HP}{HA} \quad Ec. (5)$$

Donde: FD es el Factor de Disponibilidad, HA las horas anuales (8760) y HP las horas de parada de la máquina, donde no se produce energía.



El factor de disponibilidad relaciona tiempos, pero también se necesita relacionar potencias, tenemos un Factor de Planta que hace corresponder la potencia media y la potencia nominal definida en la ecuación 6.

$$F_P = \frac{ETG}{PN * HA} \text{ Ec. (6)}$$

Donde: F_P es el Factor de Planta en (%), ETG es la Energía Total Generada por la máquina eólica en (Kw/Hr), PN es la Potencia Nominal de la máquina eólica en (Kw) y HA son las horas del año (8760 Hr).

En base a todas las variables mencionadas y los términos que aplican se define la Producción Anual Equivalente (PAE), que se define como la producción anual de energía de la máquina eólica y se menciona en la ecuación 7.

$$PAE = P_{gen} * F_P * 8760 * FD \text{ Ec. (7)}$$

Donde: PAE es la producción anual equivalente en (Kw/hr año), P_{gen} la potencia del generador en (Kw).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basados en el estudio de vientos del 2024, (Inclán Barragán, Campos Domínguez, Vidal Santo, Ortiz Martínez, & Domínguez Márquez, 2025). Y agregando el WPD y Potencia de la máquina, tenemos la tabla 3, donde se muestra el resumen anual de la estadística de los vientos.

Tabla 3 Resumen anual de la estadística de vientos del 2024

Mes 2024	Velocidad Promedio (m/s)	Densidad del aire (kg/m3)	Horas (Hr.)	WPD (W/m2)	Potencia máquina (W/m2)
Enero	3.18	1.19	744	19.13	88.96
Febrero	2.89	1.19	672	14.36	66.77
Marzo	2.88	1.18	744	14.09	65.53
Abril	2.84	1.17	720	13.40	62.30
Mayo	2.61	1.15	744	10.22	47.53
Junio	2.59	1.16	720	10.08	46.85
Julio	2.09	1.17	744	5.34	24.83
Agosto	2.06	1.17	744	5.11	23.78
Septiembre	2.17	1.16	720	5.93	27.56
Octubre	3.12	1.18	744	17.92	83.31
Noviembre	2.39	1.18	720	8.05	37.45
Diciembre	2.17	1.19	744	6.08	28.27



Para obtener los valores de Potencia de la máquina, se seleccionó un mini generador eólico marca ENAIR modelo 30PRO-48V-3000W con las siguientes características mostradas en la tabla 4.

Tabla 4 Datos de placa de aerogenerador ENAIR 30PRO-48V-3000W

Marca	Modelo	Diámetro	Área	C _p	Potencia	Potencia Nominal
ENAIR	30PRO	3.8 m	11.34 m ²	0.41	3 kW	1.9 kW

Los valores de promedio anual se muestran en la tabla 5.

Tabla 5 Valores promedio de la estadística anual de vientos 2024

Velocidad Promedio (m/s)	Densidad del aire (kg/m ³)	Horas (Hr.)	WPD (W/m ²)	Potencia máquina (W/m ²)
2.58	1.17	8760	10.81	50.26

Con la estadística realizada y el aerogenerador seleccionado, se procede a evaluar la producción de energía anual, el Factor de Disponibilidad se encuentra en el rango de 85 a 95%, dependiendo de la vejez del equipo, el estado de la red y los paros programados.

La energía total generada por la máquina (ETG) se calcula con la ecuación 3

$$ETG = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * v^3 * HA = 0.41 * 0.5 * 1.17 * 11.34 * (2.58)^3 * 8760 = 409.18 \text{ Kw/hr}$$

El Factor de Planta se obtiene de la ecuación 6

$$F_p = \frac{ETG}{PN * HA} = \frac{409.18}{1.9 * 8760} = 0.02458 = 2.46\%$$

Ya se tienen todas las variables de la ecuación 7 para calcular la Producción Anual de Energía (PAE), que se muestra a continuación:

$$PAE = P_{gen} * F_p * 8760 * FD = 3000 * 0.02458 * 8760 * 0.95 = 613.66 \frac{\text{Kw}}{\text{hr}} \text{ año}$$

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que el potencial eólico en la zona de Boca del Río, Veracruz es limitado para proyectos de generación a gran escala. Con una velocidad media anual de 2.58 m/s, clasificada como "Brisa Suave" en la escala de Beaufort, el recurso eólico disponible se sitúa en el rango más bajo de aprovechamiento energético. La densidad de potencia eólica promedio de 10.81 W/m² y la producción anual equivalente de 613.66 kWh/año confirman que esta zona no presenta las condiciones óptimas para instalaciones eólicas convencionales.



Sin embargo, los resultados no descartan completamente su utilización. La evaluación técnica revela que, aunque modesto, existe un potencial específico para aplicaciones de pequeña escala, particularmente en sistemas autónomos o híbridos que complementen otras fuentes renovables. La variabilidad estacional identificada, con mayores velocidades entre septiembre y febrero, sugiere la posibilidad de un aprovechamiento estacional que podría optimizarse con tecnologías de baja potencia y bajo costo de inversión inicial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barzola, J., Espinoza, M., Vera, Á., Valencia, Á., Cabrera, F., & Briones, C. (2016). Análisis del potencial de energía eólica a partir de mediciones in situ en Atahualpa - Santa Elena. *YACHANA*, 5(3), 103-112.
- De la Cruz Ángel, E. J., Inclán Barragán, J. A., González Mejía, G., Grajeda Rosado, R. M., & Diaz Abascal, P. (2024). Estudio de Comportamiento de Velocidad del Viento en Boca del Río Mediante Distribución Weibull. *Ingeniantes*, 2(1), 23-28.
- Eraso Checa, F., Escobar Rosero, E., Fernando Paz, D., & Morales, C. (2018). Metodología para la determinación de características del viento y evaluación del potencial de energía eólica en Túquerres - Nariño. *Científica*, 31(1), 19-31.
- González Mejía, G., De la Cruz Ángel, E. J., Inclán Barragán, J. A., Pacheco Martínez, C., & Ponce Ávila, J. (2025). EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A DIFERENTES ALTURAS: ESTUDIO TEMPORAL Y ESPACIAL EN BOCA DEL RÍO, VERACRUZ. *Ciencia Latina*, 9(1), 6245-6255.
- Inclán Barragán, J. A., Campos Domínguez, A., Vidal Santo, A., Ortiz Martínez, F., & Domínguez Márquez, J. (2025). Evaluación de la potencia eólica disponible, mediante Inteligencia Artificial en Boca del Río, durante el año 2024. *Ciencia Latina*, 7606-7619.
- López López, J. L., González García, C., Zermeno de León, M. E., Mendoza Otero, E., Pacheco Martínez, J., Ortiz Lozano, J. Á., & Araiza Garaygordóbil, G. (2008). Estadística preliminar de los vientos para la zona urbana de Aguascalientes. *Investigación y Ciencia*, 20-27.
- Moreno Cevallos, J. R. (2021). Uso de la energía eólica en generación eléctrica para una vivienda que requiere 4 kWh/día. *Sapienza*, 1-13.

