



Title: Graphical Interface for Wind Resource Estimation in a Region, Case Study: Cuatrociénegas, Coahuila de Zaragoza, Mexico

Authors: MERAZ-BECERRA, Fernando, SOLIS-CARDOZA, Víctor Manuel and CARRILLO-MARTÍNEZ, Jesús María

Editorial label MARVID: 607-8695

VCICA Control Number: 2023-01

VCICA Classification (2023): 010923-0001

Pages: 20

RNA: 03-2010-032610115700-14

MARVID - Mexico

Park Pedregal Business. 3580-
Adolfo Ruiz Cortines Boulevard –
CP.01900. San Jerónimo Aculco-
Álvaro Obregón, Mexico City
Skype: MARVID-México S.C.
Phone: +52 | 55 6159 2296
E-mail: contact@marvid.org
Facebook: MARVID-México S. C.
Twitter: @Marvid_México

www.marvid.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Introducción

México tiene un potencial eólico estimado de 70 GW, sin embargo, hasta el año 2022 solo se aprovechaban 7.3 GW. Esto se debe entre otros factores, a la falta de análisis del recurso eólico en muchas de las regiones del país, especialmente en aquellas donde el potencial eólico no es evidente (MEP, 2023).

Objetivo

Impulsar el aprovechamiento eólico en todo el país, se ha desarrollado una aplicación gratuita que analiza detalladamente el recurso en cualquier región utilizando los registros anuales de su velocidad y dirección del viento.

Metodología

Métodos utilizados

La densidad de energía media del viento (DEM_V) en una región se puede estimar a partir de :

- Integración de la curva de potencia instantánea.
- Velocidad cúbica media.
- Función de densidad de probabilidad de Weibull (FDPW).

Integración de la curva de potencia instantánea

1. Se calcula la densidad de potencia instantánea en el viento (DPI) a partir de cada una de las velocidades de viento registradas por la estación meteorológica automática (EMA) cada 10 minutos durante al menos un año en la región de interés:

$$DPI_i = \frac{1}{2} \rho v_i^3 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

$\rho \rightarrow$ Densidad del aire $\left(1.225 \frac{kg}{m^3} \right)$

$v \rightarrow$ Velocidad del viento $\left(\frac{m}{s} \right)$

2. Se genera la curva de densidad de potencia instantánea anual.

3. Se integra numéricamente respecto al tiempo la curva de potencia instantánea para obtener la densidad de energía del viento total del año (DEVT). En este paso el resultado final también se multiplica por 10, ya que la mayoría de las EMA registran sus mediciones cada 10 minutos y es necesario que la curva de potencia instantánea este formada por mediciones cada minuto.

$$DEVT = 10 \left(\frac{1}{2} DPI_1 + \sum_{i=2}^{n-1} DPI_i + \frac{1}{2} DPI_n \right) T \left[\frac{W * minuto}{m^2} \right]$$

4. Se obtiene la DEMV por hora:

$$DEMV = DEVT \left[\frac{W * minuto}{m^2} \right] \left[\frac{1 hora}{60 minuto} \right] = \frac{1}{60} DEVT \left[\frac{W * hora}{m^2} \right]$$

Velocidad Cúbica Media

La velocidad del viento mensual varía alrededor de $\pm 30\%$ a $\pm 35\%$ por encima de la velocidad media del viento en un lugar típico durante el año. Por lo tanto, la velocidad del viento utilizada para determinar la densidad de energía anual (DEVT) es (Pishgar-Komleh et al., 2014):

$$V_{rmc} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3 \right)^{\frac{1}{3}} \left[\frac{m}{s} \right]$$

La densidad de energía anual es (Patel, 2006):

$$DEVT = \frac{1}{2} \rho V_{rmc}^3 \left[\frac{W * \text{año}}{m^2} \right]$$

Se convierte la DEVT a DEMV en W*hora:

$$DEM V = DEVT \left[\frac{W * \text{año}}{m^2} \right] * \left[\frac{365 \text{ dia}}{1 \text{ año}} \right] * \left[\frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ dia}} \right] = DEVT (365 * 24) \left[\frac{W * \text{hora}}{m^2} \right]$$

Función de densidad de probabilidad de Weibull (FDPW)

La FDPW indica la frecuencia probable a la que ocurrirá la velocidad especificada en la región de estudio, está dada por (Murthy, 2017; Patel, 2006; Ozat & Celiktas, 2016; Wu et al., 2011):

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

Donde v es la velocidad del viento (m/s), $k > 0$ es el factor de forma (adimensional) y $c > 0$ es el factor de escala " m/s ". La velocidad cubica media se calcula a partir de (Justus, 1977; Akdag & Guler, 2015; Christofferson & Gilette, 1987):

$$V_{rmc} = \int_0^{V_{max}} v * f(v) dv \left[\frac{m}{s}\right]$$

La densidad de energía anual calculada a partir de la FDPW es:

$$DEMT = \frac{1}{2} \rho \int_0^{v_{max}} v^3 * f(v) dv \left[\frac{W * año}{m^2} \right]$$

Después de algunos cálculos, la DEMT se puede calcular directamente a partir de la función Gamma y los parámetros de Weibull:

$$DEMT = \frac{1}{2} \rho c^3 \Gamma \left(\frac{k+3}{k} \right) \left[\frac{W * año}{m^2} \right]$$

Se convierte la DEVT a DEMV en W*hora:

$$DEMV = DEVT (365 * 24) \left[\frac{W * hora}{m^2} \right]$$

Estimación de los parámetros de Weibull

Existen al menos 15 métodos para estimar los parámetros c y k de la FDP de Weibull. En este artículo solo se presentarán los cuatro métodos más comunes: desviación estándar de Justus, MDEJ (Justus et al., 1977), desviación estándar de Lysen, MDEL (Lysen, 1983), momentos simplificados, MMS (Azad et al., 2014), y momentos ponderados de probabilidad, MMPP (Usta, 2016). En la tabla 1 se resumen las ecuaciones utilizadas en cada método para estimar por los parámetros c y k .

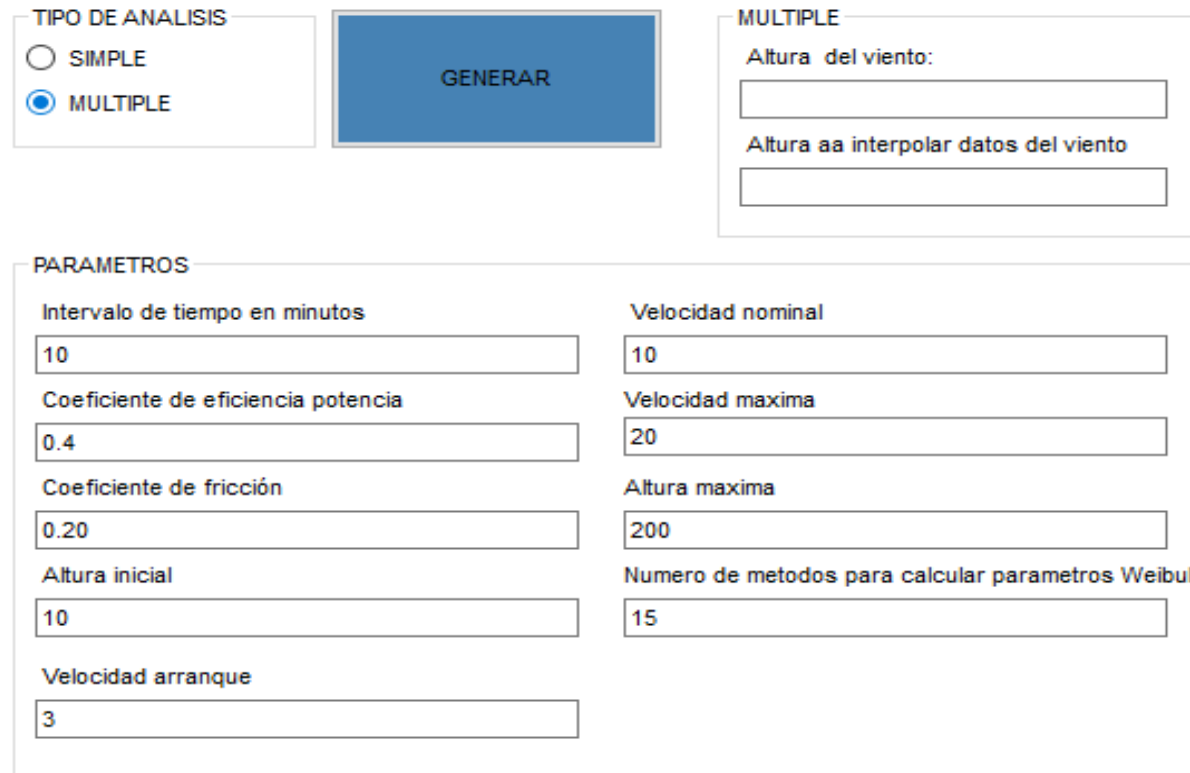
	Parámetro de Forma (k)	Parámetro de Escala (c)
MDEL	$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1.086} \quad (11)$	$c = \frac{\bar{v}}{\left(0.568 + \frac{0.433}{K}\right)} \quad (15)$
MDEJ		
MMS	$k = \left(\frac{0.9874 \bar{v}}{\sigma}\right)^{1.0983} \quad (12)$	$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (16)$
MMPP	$k = \frac{\ln(2)}{\ln(\bar{C})} \quad (13)$	
	$\bar{C} = \frac{\bar{v}}{\frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n v_i(n-1)} \quad (14)$	

Tabla 1 Ecuaciones para determinar los parámetros de la FDP de Weibull para los cuatro métodos utilizados.

Resultados

Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica fue creada en C#.NET, un lenguaje de programación orientado a objetos que ofrece un entorno de desarrollo robusto, facilidades de diseño y librerías que le permiten interactuar con programas de cálculo numérico como Matlab (figura 1).



TIPO DE ANALISIS

SIMPLE

MULTIPLE

GENERAR

MULTIPLE

Altura del viento:

Altura aa interpolar datos del viento

PARAMETROS

Intervalo de tiempo en minutos: 10

Coeficiente de eficiencia potencia: 0.4

Coeficiente de fricción: 0.20

Altura inicial: 10

Velocidad arranque: 3

Velocidad nominal: 10

Velocidad maxima: 20

Altura maxima: 200

Numero de metodos para calcular parametros Weibul: 15

Figura 1. Interfaz gráfica desarrollada.

Caso de estudio

La funcionalidad de la interfaz gráfica fue probada a partir de los datos de velocidad y dirección del viento registrados cada 10 minutos por la EMA de Cuatrociénegas, Coahuila de Zaragoza durante el año 2022. En la tabla 2 se muestra la DEMV obtenida a partir de los tres métodos abordados en la metodología. Se asumió un valor para C_p de 0,4, que es típico para turbinas eólicas comerciales (THE WIND POWER, 2023).

MÉTODO		RESULTADO [kWh/m ²]	Error [%]
DEMV_IPI		486.7061	-
DEMV_VRMC		493.8962	1.48
DEMV_FDPW	MDEL	766.0859	57.4
	MDEJ	499.9966	2.73
	MMS	492.0928	1.11
	MMPP	493.8962	1.48

Tabla 2. Valor de DEM obtenida por diversos métodos.

Comportamiento de la velocidad del viento

En la figura 2 se muestra el porcentaje de ocurrencia de cada velocidad del viento, siendo las velocidades de 5 m/s y 6 m/s las de mayor frecuencia con un 14.9% y 15% del total registrado.

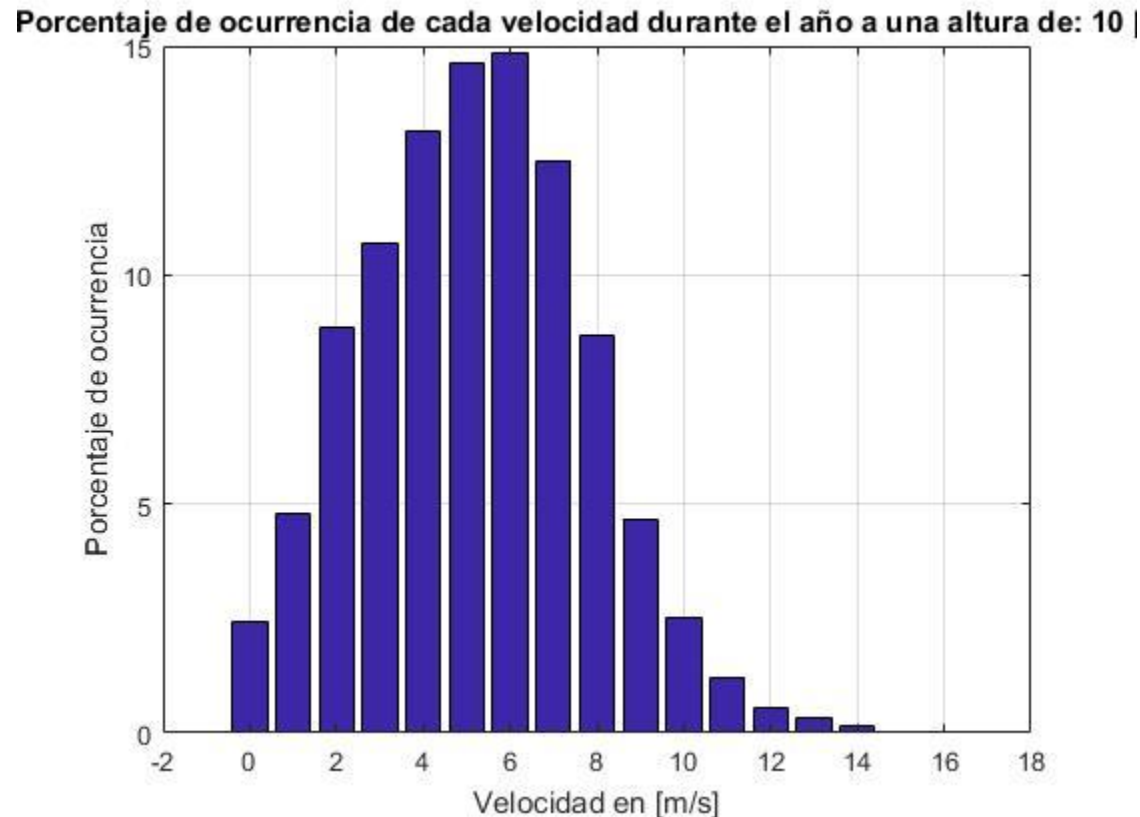


Figura 2. Porcentaje de ocurrencia anual de cada velocidad del viento.

Comportamiento de la dirección del viento

La rosa de los vientos permite determinar qué tan estable es la dirección del viento a lo largo del año. Ya que, aunque la velocidad sea alta, si la velocidad del viento es turbulenta no será aprovechable por un aerogenerador de eje horizontal.

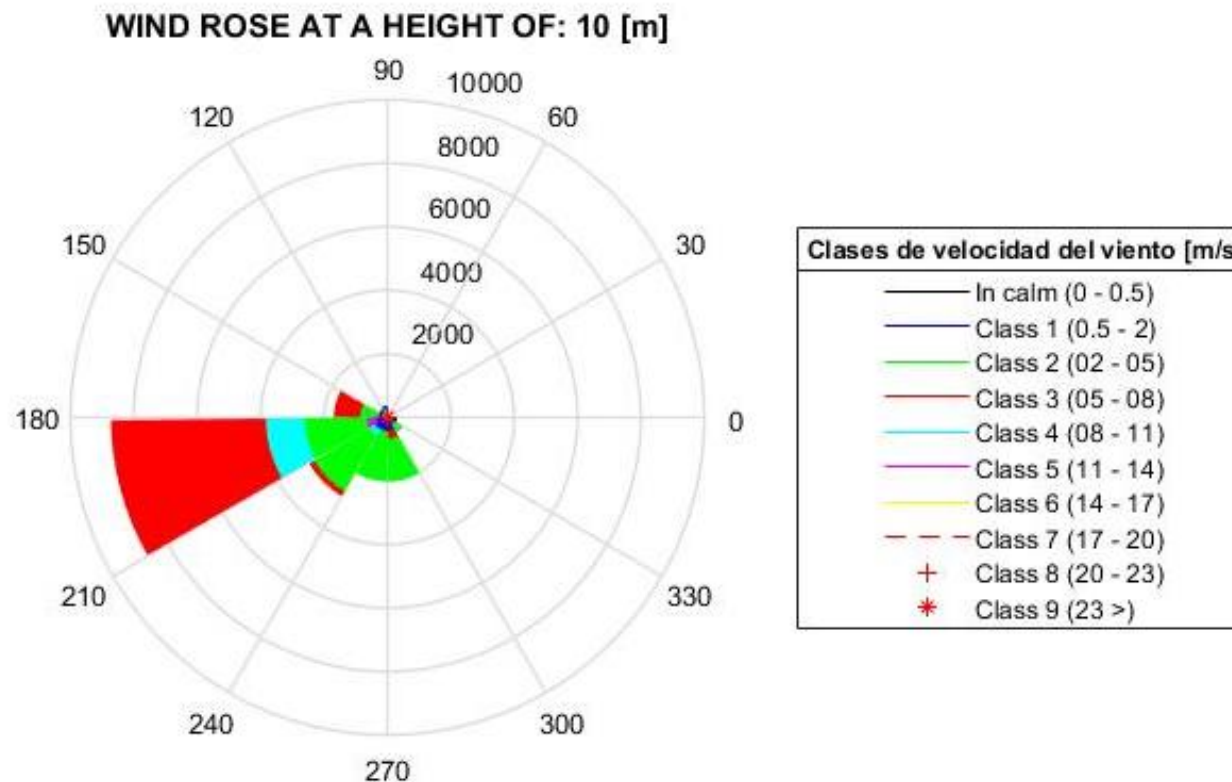


Figura 3. Rosa de los vientos de la región estudiada.

Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible afirmar que la aplicación desarrollada para determinar el recurso eólico de una región de interés funciona correctamente ofreciendo la información necesaria para determinar la factibilidad técnica de la instalación de un aerogenerador comercial de cualquier potencia.

En cuanto al caso de estudio, se concluye que es técnicamente factible la instalación de un aerogenerador comercial de eje horizontal de baja potencia (velocidad de arranque típica es de 3 m/s) en la región de Cuatrociénegas, Coahuila de Zaragoza.

Trabajo a futuro

Se pretende agregar a la funcionalidad de la interfaz gráfica lo siguiente:

- Más métodos para la estimación de la DEM a partir de la FDP de Weibull.
- La capacidad de extrapolar los resultados a distintas alturas aunque no se cuente con mediciones reales en las mismas.
- El cálculo de la potencia instantánea a partir de un valor para la densidad del aire específico y no aproximado.
- La determinación de los parámetros de Weibull con una precisión aceptable cuando la distribución de la frecuencia de la velocidad del viento es multimodal.

Referencias

- Akdag S. A. & Guler O, (2015). *A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation*. Energy Conversion and Management.
- Azad A. K., Rasul Mohammad Golam and Yusaf Talai, (2014). *Statistical Diagnosis of the Best Weibull Methods for Wind Power Assessment for Agricultural Applications*. Energies.
- Christofferson R. & Gilette D., (1987). A simple estimator of the shape factor of the two parameter Weibull distribution. Correspondence.
- Justus C. G., Hardraves W. R., Mikhail A. and Graber D., (1977). *Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distributions*. Journal of applied meteorology.
- Lysen. E. H., (1983). *Analysis wind regimes*. Introduction to wind energy. Consultancy services wind energy developing countries.
- MEP, Mexico Energy Partners LLC. (2023). *Las claves del éxito de la energía eólica*. Mexico Energy Partners LLC. Recuperado el 21 de Junio de 2023 de: <https://mexicoenergyllc.com.mx/es/blogs/mexico-energy-insights/keys-to-success-for-wind-energy-in-mexico>.
- Murthy, K. S. R. & Rahi, O. P. (2017). *A comprehensive review of wind resource assessment*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

- Ozat C. & Celiktas M. S., (2016). *Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region*. Energy Conversion and Management.
- Patel M. R. (2006). *Wind Speed and Energy*. En Taylor & Francis Group, Wind and Solar Power Systems; Designs, Analysis, and Operation. CRC Press.
- Pishgar-Komleh S. H., Keyhani A. and Kefeepari P., (2014). *Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (a case study Firouzkooh county of Iran)*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- THE WIND POWER (2023). *Online access: Manufacturers and turbines*. Recuperado el 21 de Junio de 2023 de: https://www.thewindpower.net/index_es.php
- Usta I., (2016). *An innovative estimation method regarding Weibull parameters for wind energy applications*. Energy.
- Wu Bin, Lang Yongqiang, Navid, Zargari Samir, (2011). *Power Conversion and Control of Wind Energy Systems*. WILEY.



© MARVID-Mexico

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. VCICA is part of the media of MARVID-Mexico., E: 94-443.F: 008- (www.marvid.org/booklets)