

Recibido 13 de septiembre de 2024. Aceptado 29 de noviembre de 2024. Publicado 19 de diciembre de 2024.  
ISSN: 2448-7775

# Implementación de una GUI en MATLAB para Evaluar el Potencial Eólico y la Producción Energética

FRANCISCO J. MUÑOZ ROJAS<sup>1</sup>, EBER E. OROZCO G.<sup>1</sup>, JUAN A. CABANILLAS O.<sup>2</sup>, NÉSTOR D. GALÁN H.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Sinaloa, Mazatlán, Sinaloa, México.

<sup>2</sup>Exus Management Partners, México.

\*Autor de Correspondencia: ngalan@upsin.edu.mx

**RESUMEN** Este artículo presenta un estudio detallado del recurso eólico utilizando programación en MATLAB para analizar y modelar los datos obtenidos. Se utilizaron datos de velocidad del viento recolectados durante un año, los cuales fueron procesados para evaluar el potencial energético de un sitio específico. Se implementaron algoritmos para calcular la distribución de Weibull, un modelo comúnmente utilizado para caracterizar la variabilidad del viento, y se desarrollaron scripts para optimizar el análisis de la densidad de potencia y el factor de capacidad de aerogeneradores. Además, se compararon los resultados con las especificaciones técnicas de los modelos más recientes de aerogeneradores de empresas líderes en el sector. Se realizan dos estudios en ETAP máquina-bus infinito para conocer el comportamiento de los flujos de potencia de los aerogeneradores en sus condiciones nominales con banco de capacitores y sin la compensación de reactivos. Este enfoque computacional permite obtener una visión amigable y precisa del rendimiento de estas máquinas y su viabilidad en el desarrollo de proyectos eólicos en la región estudiada, contribuyendo a la planificación y toma de decisiones en energías renovables.

**PALABRAS CLAVE**— Interfaz Matlab, Potencial Eólico, Generación energía.

## I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un recurso esencial en nuestras vidas, alimentando desde la iluminación de nuestros hogares hasta el funcionamiento de equipos médicos vitales. A menudo subestimamos su importancia, pero las consecuencias de una interrupción masiva de energía serían catastróficas, provocando colapsos económicos y pérdidas millonarias. Por ello, la seguridad energética es un asunto de interés nacional.

En México, la generación de energía eléctrica se basa principalmente en centrales termoeléctricas, de ciclo combinado y carboeléctricas, que dependen de la quema de combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente al cambio climático. Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI), en México se emiten anualmente 737 millones de toneladas de dióxido de carbono, de las cuales el 64% provienen del sector energético. Esto equivale a 472 millones de toneladas de gases de efecto invernadero liberadas a la atmósfera sólo para la producción de energía eléctrica [1].

Estos datos subrayan la urgencia de reevaluar nuestras fuentes de energía. Por lo tanto, es crucial que México y otros

países inviertan en tecnologías más limpias y eficientes para asegurar un futuro energético más sostenible y reducir el impacto ambiental de la generación eléctrica. Existen diversas alternativas para la producción de energías limpias, entre ellas la hidroeléctrica, fotovoltaica, nuclear y eólica. En particular, la energía eólica se obtiene a partir de la fuerza del viento, aprovechando su energía cinética para generar electricidad. Esta fuente de energía es renovable, limpia y ha ganado relevancia a nivel mundial debido a su bajo impacto ambiental. En México, la capacidad eólica instalada alcanzó los 8.3 GW en 2023, lo que representa el 9% de la electricidad generada en el país, posicionándolo como el séptimo productor mundial de energía eólica. Con un total de 3,175 turbinas distribuidas en 15 estados, México ha demostrado un firme compromiso con la transición hacia energías más sostenibles [2].

El análisis del recurso eólico es un paso crucial antes de la instalación de un parque eólico. Este proceso permite evaluar las velocidades medias del viento en una región, estimar la generación anual de energía, seleccionar las turbinas más adecuadas y determinar la viabilidad económica del proyecto. Realizar un análisis exhaustivo es esencial para asegurar la rentabilidad y eficiencia del parque eólico.

Para facilitar este análisis, existen diversas herramientas de programación que optimizan el procesamiento de datos. Una de las más destacadas es el GUIDE de MATLAB, que permite desarrollar interfaces gráficas y realizar simulaciones precisas del comportamiento del viento y su impacto en la generación de energía. Este tipo de herramientas son fundamentales para mejorar la precisión de los estudios y asegurar el éxito de los proyectos eólicos, contribuyendo así a la expansión de las energías limpias en el país.

## II. DESARROLLO

Se desarrolla una interfaz gráfica de usuario utilizando GUIDE de MATLAB [3], con el objetivo de analizar las características del recurso eólico en un lugar en específico, en este caso se toman datos de la ciudad de Saltillo, Coahuila [4]. La herramienta creada permite realizar un análisis detallado de las propiedades del viento en la región, proporcionando varios resultados clave para la evaluación del potencial eólico, centrado en la aplicación de métodos estadísticos y probabilísticos para la caracterización del recurso eólico y la generación de energía mediante aerogeneradores.

Se exploran los estudios de tendencia central y dispersión, esenciales para la comprensión de la variabilidad de los datos eólicos, así como el análisis de distribución de frecuencias que permite identificar patrones clave en la velocidad del viento. Se implementa la distribución de probabilidad de Weibull, una herramienta crucial en la modelación de la variabilidad del viento y la estimación del potencial energético. Finalmente, se estudia la generación de energía en dos modelos de aerogeneradores: Vestas y Energon [5], tomando de referencia sus curvas características y la frecuencia de los vientos en la región, con el objetivo de optimizar la planificación y operación de proyectos eólicos.

De forma adicional se realizan dos tipos de estudio de flujos de potencia en ETAP, bajo la configuración máquina-bus infinito con el objeto de conocer el comportamiento de ambos aerogeneradores utilizados en la interfaz desarrollada en Matlab, estos estudios son: sin compensación de reactivos y con compensación de reactivos, bajo condiciones nominales de operación.

### A. ESTUDIO DE TENDENCIA CENTRAL Y DISPERSIÓN

Una de las informaciones más importantes sobre el espectro del viento disponible en un lugar es su velocidad media. En términos sencillos, la *velocidad media* ( $V_m$ ) viene dada por la Ec. (1), donde  $V_{wi}$  es la velocidad del viento y  $n$  es el número de datos muestreados.

$$V_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{wi} \quad (1)$$

Para cálculos de energía eólica, la velocidad media debe ponderarse por su contenido de potencia al calcular el promedio, Ec. (2) [6].

$$V_m = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{wi}^3 \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

Una medida estadística que cuantifica la dispersión o variabilidad de un conjunto de datos respecto a su media es la desviación estándar ( $\sigma$ ), Ec. (3). La desviación estándar proporciona información sobre cuánto varían las velocidades individuales del viento en relación con la velocidad media. Los valores más bajos de  $\sigma$  indican la uniformidad del conjunto de datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{wi} - V_m)^2} \quad (3)$$

La *intensidad de turbulencia*, Ec. (4), es un parámetro crítico en la evaluación del recurso eólico y el diseño de aerogeneradores, ya que describe el nivel de fluctuaciones de velocidad del viento alrededor de su valor medio. Es un indicador de la variabilidad del viento en términos de dirección y magnitud, y puede afectar significativamente el rendimiento y la durabilidad de los aerogeneradores.

$$I = \frac{\sigma}{V_m} \quad (4)$$

Otra forma de presentar los resultados de velocidad del viento es la rosa de los vientos, que es una representación gráfica utilizada para mostrar la distribución de las frecuencias de dirección y velocidad del viento en un punto geográfico específico, Fig. 1. En la planificación de parques eólicos, conocer la dirección predominante del viento permite optimizar la disposición de las turbinas. Colocar las turbinas adecuadamente minimiza el "efecto sombra" (cuando una turbina bloquea el viento a otra) y maximiza la producción de energía. La información proporcionada por la rosa de los vientos es esencial en los estudios de viabilidad de proyectos eólicos.

### B. ESTUDIO DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIAS

Para comprender mejor la variabilidad del viento, los datos suelen agruparse y presentarse en forma de distribución de frecuencias. Esto nos da información sobre el número de horas en las que la velocidad se encuentra dentro de un rango específico [7].

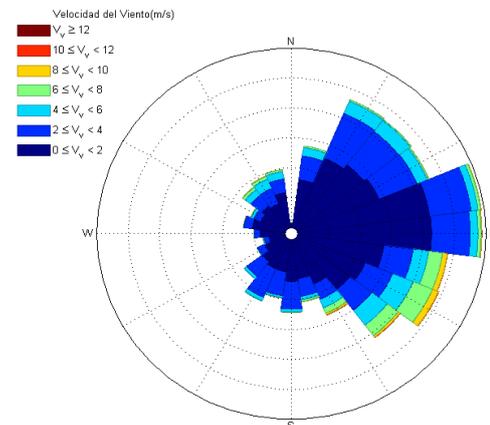


Fig. 1. Rosa de los vientos.

Para elaborar la distribución de frecuencias, el dominio de la velocidad del viento se divide en intervalos iguales y se cuenta el número de veces que el registro de viento se encuentra dentro de este intervalo. Estos intervalos permiten organizar y resumir datos continuos de la velocidad del viento en categorías discretas, facilitando el análisis y la interpretación de patrones en la distribución del viento, en este estudio consideramos un intervalo por cada incremento de velocidad de 1m/s.

La *frecuencia relativa* ( $f_r$ ), Ec. (5), indica la proporción del tiempo que el viento sopla dentro de un determinado rango de velocidades o direcciones, en comparación con el total de mediciones realizadas. Se utiliza para analizar y comprender la distribución de las velocidades del viento y su dirección en un sitio específico, lo que es esencial para la evaluación del recurso eólico.

$$f_r = \frac{n_i}{N} \quad (5)$$

En el contexto de la energía eólica las *frecuencias relativas acumuladas*, se pueden calcular para intervalos de velocidad del viento o direcciones, proporcionando una idea clara de cómo se distribuyen los datos acumulativamente.

La *frecuencia relativa acumulada mayor* (FAM), representa la cantidad o proporción de observaciones con un valor inferior o igual al límite superior de un intervalo de clase específico Ec. (6).

$$F_R > = 1 - \sum_{i=1}^k f_{r_i} \quad (6)$$

La *frecuencia relativa acumulada menor que* (FAmi), representa la cantidad o proporción de observaciones con un valor superior o igual al límite inferior de un intervalo de clase específico. Ec. (7).

$$f_r \leq = \sum_{i=1}^k f_{r_i} \quad (7)$$

### C. ESTUDIO DE PROBABILIDAD DE WEIBULL

Entre todas las funciones de distribución de probabilidad disponibles, la distribución de Weibull es, sin duda, uno de los modelos más frecuentemente aplicados para el análisis estadístico de las características del viento y la evaluación del potencial de energía eólica. En general, la función de distribución de Weibull ha sido aplicada casi unánimemente por los investigadores involucrados en el análisis de la velocidad del viento en todo el mundo [8]. Este estudio adopta la función de distribución de Weibull, Ec. (8), de dos parámetros para el análisis de las características del viento:

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v_w}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v_w}{c}\right)^k} \quad (8)$$

El factor de forma que es adimensional, Ec. (9).

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad (9)$$

y el factor de escala en m/s, Ec. (10).

$$c = \frac{v_m}{\Gamma(x)} \quad (10)$$

donde la función gamma puede determinarse mediante la ecuación estándar Ec. (11).

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} \exp^{-t} t^{x-1} dt \quad (11)$$

A la luz de estudios previos, se ha proporcionado una colección de diferentes métodos para la estimación de los parámetros de Weibull. Justus et al. encontraron que el método de ajuste por mínimos cuadrados proporciona la mejor distribución de Weibull para observaciones de velocidad del viento durante 30 meses. Conradsen et al. sugirieron que el método de máxima verosimilitud debería ser preferido debido a su eficiencia en muestras grandes, aunque requiere una minimización iterativa. Seguro y Lambert señalaron que el método de máxima verosimilitud es deseable para analizar series temporales de datos de viento, mientras que el método de máxima verosimilitud modificado es más apropiado para analizar datos de viento en formato de distribución de frecuencias [9].

### D. ESTIMACIÓN ENERGÉTICA DEL VIENTO

La evaluación de la energía disponible en el régimen eólico predominante en un emplazamiento es uno de los pasos preliminares en la planificación de un proyecto de energía eólica. La densidad de energía eólica y la energía disponible en el régimen a lo largo de un periodo suelen tomarse como un estándar de medida para evaluar el potencial energético.

La potencia eólica disponible ( $P_w$ ) en Watts (W), Ec. (11), se refiere a la cantidad de energía que puede ser extraída del viento por una turbina eólica. Esta potencia depende de varios factores, principalmente la densidad del aire, el área barrida por las palas del aerogenerador, y la velocidad del viento,

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V m^3. \quad (11)$$

La *densidad de potencia eólica media* ( $P_D$ ) es la potencia disponible en el sitio en el régimen para una unidad de superficie en W/m<sup>2</sup>, es calculado por la Ec. (12).

$$P_D = \frac{\frac{1}{2} \rho A V m^3}{A} = \frac{1}{2} \rho V m^3. \quad (12)$$

La *potencia aerodinámica* ( $P_t$ ) en W, es la cantidad de energía que un aerogenerador puede extraer del viento y convertir en energía mecánica. Esta potencia es una fracción de la potencia eólica disponible, dependiendo de la eficiencia aerodinámica del rotor. La potencia aerodinámica tiene en cuenta tanto el límite teórico de captura de energía, establecido por el límite de Betz, como las características del diseño del aerogenerador, Ec. (13).

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A V m^3 C_p \quad (13)$$

La estimación de la producción energética se lleva a cabo para los aerogeneradores Vestas y Energon, utilizando como referencia la distribución horaria de la velocidad del viento y sus curvas características. Este análisis tiene como finalidad comparar la viabilidad de ambas máquinas en términos de generación anual de energía.

### E. ESTUDIO DE FLUJOS DE POTENCIA A AEROGENERADORES

Los estudios de flujos de potencia son fundamentales en la planificación y diseño de la expansión futura de los sistemas de generación eólica, así como en la determinación de las condiciones óptimas de operación de los parques eólicos existentes.

A través de estos estudios, se obtiene información clave como la magnitud y el ángulo de fase del voltaje en cada nodo del sistema, así como las potencias activas y reactiva que circulan por cada línea de transmisión. Sin embargo, también es posible extraer una cantidad significativa de datos adicionales que permiten comprender de manera más profunda el comportamiento del sistema eólico en análisis. Esta información es crucial para asegurar que los aerogeneradores se integren de manera eficiente a la red eléctrica, maximizando la estabilidad y el rendimiento del sistema en su conjunto.

Se llevaron a cabo dos estudios convención máquina-bus infinito en los aerogeneradores Vestas y Energon bajo condiciones nominales de operación, Fig. 2. El primer estudio se realizó sin compensación de potencia reactiva, con el objetivo de evaluar el comportamiento del consumo de energía reactiva y determinar el dimensionamiento adecuado del banco de capacitores necesario para cumplir con un factor de potencia (FP) de 0.95. Posteriormente, se realizó un segundo estudio de flujos de potencia, esta vez con la incorporación del banco de capacitores, para analizar el comportamiento de los aerogeneradores bajo la inyección de potencia reactiva.

## III. RESULTADOS

Los estudios realizados mediante la interfaz gráfica desarrollada con GUIDE de MATLAB, Fig. 3, se basan en el análisis de datos acumulados durante un año en la ciudad de Saltillo, Coahuila. Estos datos fueron obtenidos por la estación meteorológica de la UNAM [4], y medidos a una altura de 20 m sobre el nivel del suelo.

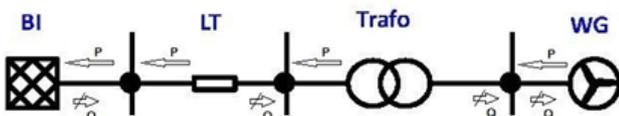


Fig. 2. Estudio Máquina-Bus Infinito del Aerogenerador.

El panel principal de la interfaz gráfica destaca por su simplicidad y eficiencia en la ejecución de las operaciones necesarias para el análisis del recurso eólico. Este panel cuenta con dos botones principales, cada uno diseñado para realizar estudios específicos que permiten evaluar las características del viento en la región de Saltillo, Coahuila.

El primer botón, Fig. 3, denominado "Potencial Eólico", permite al usuario ejecutar cálculos para generar gráficos de la velocidad media del viento, desviación estándar, distribuciones de frecuencia y la rosa de los vientos. Además, el programa ofrece la opción de exportar los datos analizados a un archivo Excel, como se ilustra en la Fig. 4.

El segundo botón, Fig. 4, "Generación de Energía", permite al usuario estimar la energía producida por los diferentes tipos de aerogeneradores incluidos en el estudio, facilitando la evaluación de la viabilidad de cada uno para su implementación en el emplazamiento eólico.

### A. ESTUDIOS DE TENDENCIA GENERAL Y DESPERCIÓN

Los datos de velocidad del viento registrados durante un año se presentan en la Fig. 5. Estos muestran una considerable variabilidad, con una velocidad media anual de 6.2 m/s y una desviación estándar de 2.72 m/s, lo que refleja la dispersión de las velocidades del viento a lo largo del periodo de estudio.



Fig. 3. Panel principal de la interfaz gráfica.

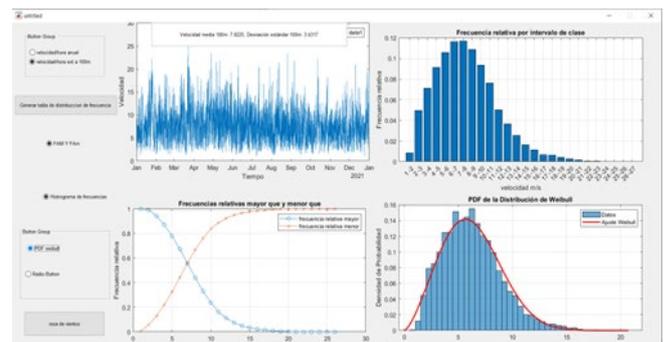


Fig. 4. Interfaz gráfica con estudios estadísticos.

La velocidad del viento, representada en la Fig. 5, se extrapola a una altura de 100 metros utilizando la Ley de Hellman. El resultado de esta extrapolación se muestra en la Fig. 6, donde se observa una velocidad media del viento de 7.8 m/s y una desviación estándar de 3.4 m/s.

Se integra a la interfaz el script ROSVI [10] para determinar las direcciones predominantes del viento a lo largo del año, como se muestra en la Fig. 7. Los resultados indican que las direcciones predominantes son hacia el suroeste, con una velocidad media del viento en el rango de 6 a 8 m/s.

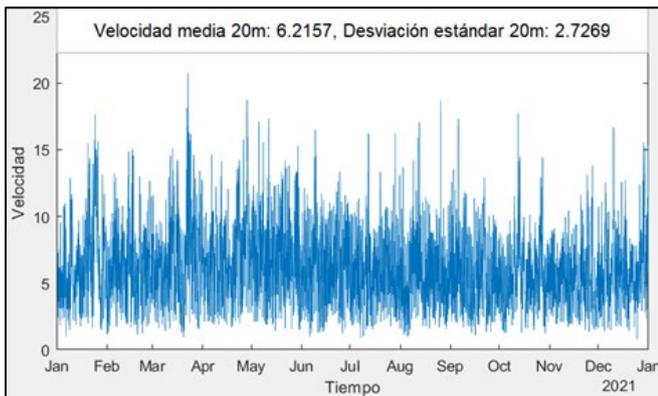


Fig. 5. Velocidad de viento medida a 20 mSNPT.

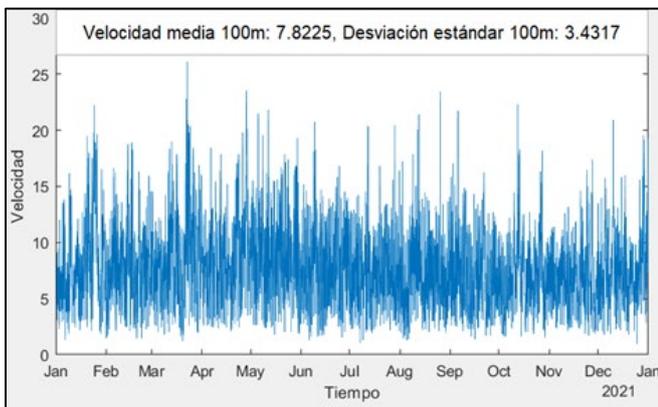


Fig. 6. velocidad de viento extrapolada a 100 mSNPT.

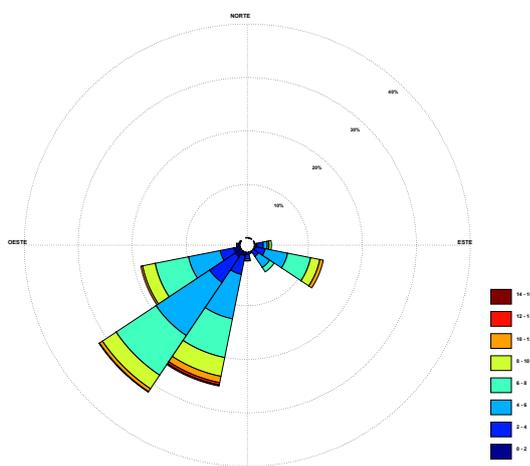


Fig. 7. Dirección de vientos predominantes en la región.

## B. ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

La distribución de la frecuencia relativa en promedios horarios, representada en el histograma de la Fig. 8, muestra una concentración de velocidades de viento en el rango de magnitudes bajas, con una distribución sesgada hacia la izquierda. El intervalo de velocidades que ocurre con mayor frecuencia (moda) se encuentra entre 6 y 8 m/s, lo que indica que estas son las velocidades de viento más comunes en el conjunto de datos medidos.

A partir de los estudios de frecuencia relativa acumulada, presentados en la Fig. 9, se observa que, durante 5,957 horas anuales, se alcanzan velocidades superiores a 6 m/s, lo que permitirá que el aerogenerador Energon funcione al 26% de su potencia nominal. Asimismo, durante 3,767 horas al año se registran velocidades de viento superiores a 8 m/s, permitiendo que el aerogenerador opere al 60% de su potencia nominal.

Con base en los resultados obtenidos, Fig. 10, se observa un factor de forma  $k = 2.447$ , lo cual indica una distribución de las velocidades del viento relativamente concentrada alrededor de su valor promedio. Esto sugiere que, en el sitio de estudio, las velocidades del viento no tienen fluctuaciones extremas, lo que favorece la estabilidad en la generación de energía eólica. El factor de escala  $c = 7$  m/s es cercano a la velocidad media  $V_m = 7.8$  m/s, lo que implica que las velocidades de viento más representativas en el sitio están en torno a los 7-8 m/s, lo cual es un indicativo positivo, ya que está dentro del rango óptimo para muchos aerogeneradores comerciales, que suelen tener buenos rendimientos en estos niveles de velocidad.

Al considerar la relación entre el factor de escala y la velocidad media, podemos inferir que el recurso eólico en esta región es razonablemente adecuado para la generación de energía. Esto sugiere que el sitio tiene un buen potencial eólico para proyectos de energía renovable, con un balance favorable entre la estabilidad del recurso y la velocidad media adecuada.

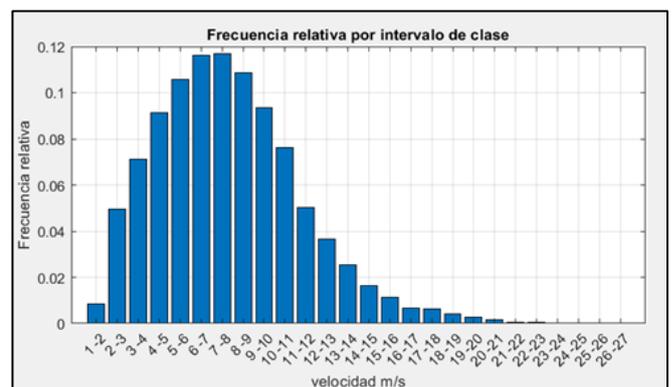


Fig. 8. Frecuencia relativa por intervalo de clase.

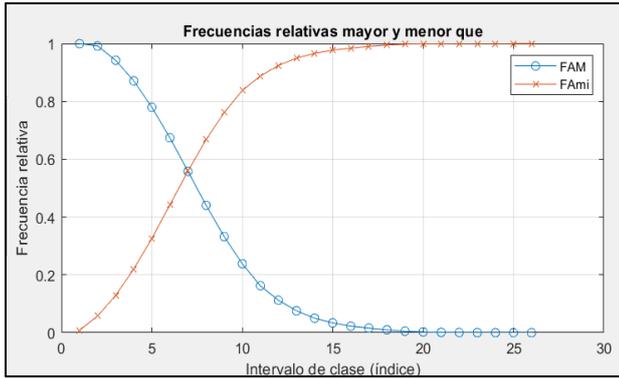


Fig. 9. Frecuencias relativas.

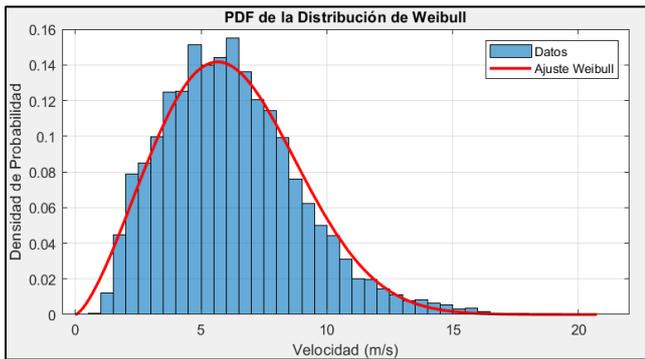


Fig. 10. PDF Weibull.

### C. GENERACIÓN ANUAL

El segundo botón de la interfaz "Generación de Energía" habilita al usuario para estimar la generación energética anual en la región, tal como se ilustra en las Fig. 11 y Fig. 12. Esta estimación se basa en la evaluación del potencial eólico obtenido, junto con las curvas de potencia de dos modelos de aerogeneradores: Vestas 164-8MW y Energon E 175-6MW [5]. La comparación de estos modelos permite analizar el desempeño energético anual en función de las condiciones eólicas de la región.

Al analizar los resultados obtenidos en la interfaz desarrollada, se observa que el aerogenerador Energon de 6 MW tendrá una mayor generación de energía anual que el Vestas de 8 MW, considerando las mismas condiciones de recurso energético de la región, esto debido a sus características de diseño aerodinámico y mayor área de captación de la energía cinética del viento.

### D. ESTUDIOS DE FLUJO DE POTENCIA

En los resultados de flujos sin compensación de reactivos, se observa en la Fig. 13, un alto consumo de potencia reactiva y mayores pérdidas en el transformador, lo que se verá reflejado en un mayor calibre de conductores debido al alto consumo de corriente.

La compensación de potencia reactiva en el aerogenerador Vestas requiere de un banco de capacitores

1MVar de mayor capacidad que el Energon, Fig. 14, para lograr mantener un FP dentro del 95% requerido la normatividad local.

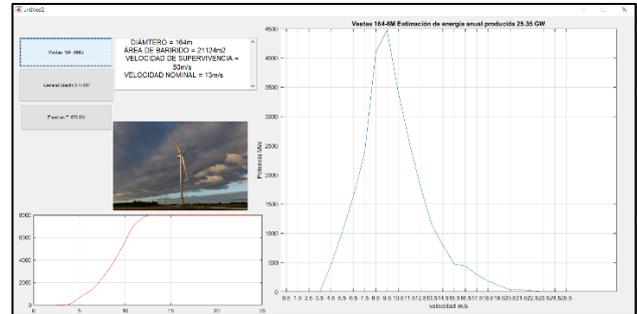


Fig. 11. Vestas 164-8 MG.

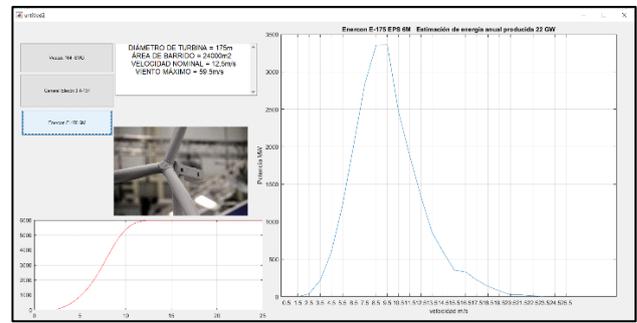


Fig. 12. Energon E 175-6M.

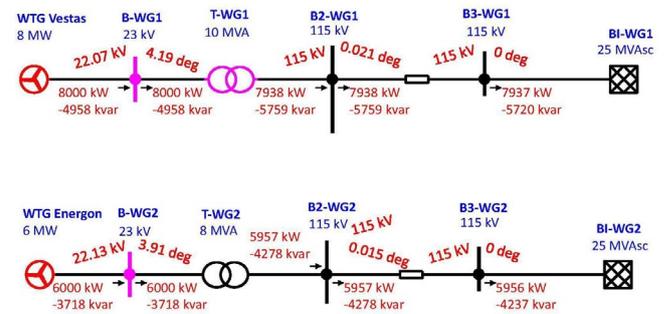


Fig. 13. Estudio de FP sin compensación de reactivos.

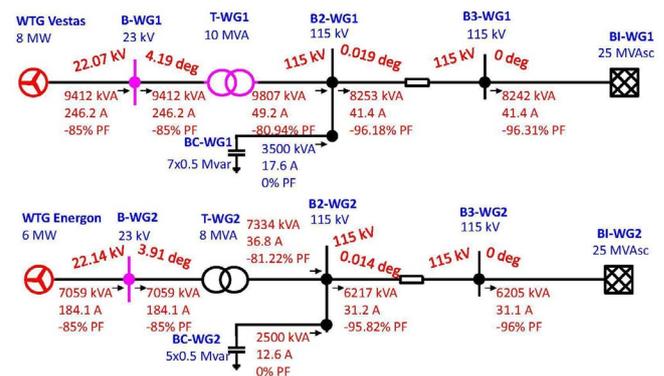


Fig. 14. Estudio de FP con compensación de reactivos.

#### IV. CONCLUSIONES

El desarrollo de la interfaz gráfica en MATLAB para el estudio del recurso eólico en la ciudad de Saltillo, Coahuila, ha demostrado ser una herramienta fundamental para la evaluación precisa y detallada del potencial energético eólico de la región. A través de esta interfaz, se han logrado integrar análisis estadísticos clave, como la determinación de la velocidad media del viento, la desviación estándar y la intensidad de turbulencia, lo que ha permitido obtener una caracterización exhaustiva de las condiciones del viento en esta zona. Además, la implementación de la distribución de Weibull, ampliamente utilizada en estudios de viento, ha proporcionado una herramienta robusta para modelar la variabilidad del viento y calcular con mayor precisión el potencial energético disponible en el emplazamiento estudiado.

El programa no solo se limita al análisis del viento, sino que también permite realizar estudios detallados de generación de energía mediante la simulación de aerogeneradores como el Vestas 164-8MG y el Energon E 175-6M. A través de la comparación de sus curvas de potencia y el análisis de frecuencias relativas del viento, la interfaz facilita la evaluación de la viabilidad técnica y económica de estos aerogeneradores, lo que es esencial para la planificación de proyectos eólicos en la región. El estudio de generación energética anual demuestra que, bajo las condiciones específicas de Saltillo, el aerogenerador Energon de 6 MW podría generar más energía que el Vestas de 8 MW, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuadamente la tecnología de acuerdo con las características locales del recurso eólico.

Una complementación importante a la interfaz es el estudio en ETAP de los flujos de potencia bajo diferentes escenarios, tanto con cómo sin compensación de potencia reactiva. Estos estudios son cruciales para entender el comportamiento eléctrico de los aerogeneradores dentro de la red, permitiendo optimizar el uso de recursos como los bancos de capacitores y asegurar que los aerogeneradores operen dentro de los parámetros normativos, con un factor de potencia adecuado. Los resultados de estos estudios sugieren que el aerogenerador Energon requiere una menor compensación de potencia reactiva en comparación con el Vestas, lo que puede traducirse en menores costos operativos y un mejor rendimiento eléctrico en la red.

Esta interfaz gráfica desarrollada en GUIDE de MATLAB no solo facilita el análisis técnico de los datos del viento, sino que también proporciona una plataforma poderosa y flexible para la simulación y optimización de la generación de energía eólica. Su aplicación en el estudio de la ciudad de Saltillo ofrece una visión clara del potencial eólico de la región, ayudando a orientar futuras decisiones en la implementación de parques eólicos. Asimismo, esta herramienta contribuye a la transición hacia fuentes de

energía más limpias y sostenibles, apoyando el desarrollo de estrategias más eficientes para la generación de energía renovable en México. La capacidad de integrar y analizar datos locales con precisión convierte a esta interfaz en una solución valiosa para ingenieros, investigadores y profesionales que buscan optimizar el uso del recurso eólico en el desarrollo de proyectos de energías renovables.

#### REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), "Presenta INECC el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019," *Gobierno de México*, 05-oct-2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/articulos/presenta-inecc-el-inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-1990-2019-284532?state=published>.
- [2] Mexico Energy Partners LLC, "Keys to Success for Wind Energy in Mexico," Mexico Energy Insights, 2024. [Online]. Available: <https://mexicoenergyllc.com.mx/es/blogs/mexico-energy-insights/keys-to-success-for-wind-energy-in-mexic> [Acceso: agosto de 2024].
- [3] H. Moore, "MATLAB para Ingenieros". Madrid, España: Pearson Educación, 2007.
- [4] "Estación meteorológica - Ciudad Universitaria," RUOA, UNAM. [En línea]. Disponible en: <https://www.ruoa.unam.mx/index.php?page=estaciones&id=10>. [Acceso: julio de 2024].
- [5] "Wind turbine models and manufacturers," wind-turbine-models.com. [En línea]. Disponible en: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines>.
- [6] Sathyajith Mathew, "Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics". Springer, 2006.
- [7] M. Villarubia, "Ingeniería de la Energía Eólica". Madrid, España: Ediciones Paraninfo, 2010.
- [8] Hennessey Jr JP. "Some aspects of wind power statistics," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 1977.
- [9] Mansi Mangroliya, Ramani Bhoomi, et al, "Estimation of Weibull parameters by different methods for assessment of wind energy potential," *Intelligent Controller and Computing for Smart Power (ICCCSP)*, International Conference on, 2022.
- [10] DCorrea. Fismatlab. Aplicativo ROSVI para rosa de los vientos. Disponible en: <https://fismatlab.blogspot.com> [Acceso: Agosto de 2024].

#### BIOGRAFÍAS



**FRANCISCO J. MUÑOZ R.** Cursa el tercer cuatrimestre de la licenciatura en Ingeniería en Energía en la Universidad Politécnica de Sinaloa en Mazatlán Sinaloa México. Con experiencia en el diseño de prototipos eólicos en laboratorio. Sus ramas de interés son la producción de energía eólica y el análisis de datos con programación.



**EBER E. OROZCO G.** Es Licenciado en Física por la Universidad de los Andes (Venezuela), cuenta con Maestría y Doctorado en Ciencias por el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica (INAOE-México), además tiene una especialidad en Formación de Docentes. Actualmente es Profesor Titular en la carrera de Ing. en Energía de la Universidad Politécnica de Sinaloa en Mazatlán.



**JUAN A. CABANILLAS O.** Egresado de Licenciatura en Ingeniería en Energía en la Universidad Politécnica de Sinaloa en Mazatlán, Sinaloa. Con experiencia en gestión tanto administrativa como operativa de centrales eólicas y solares. Actualmente es encargado del Centro de Control de Exus México donde se gestiona la operación de alrededor 14 centrales en México.



**NÉSTOR D. GALÁN H.** Obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico por el Instituto Tecnológico de Acapulco, México. La Maestría y el Doctorado en Ciencias por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV Guadalajara), México, en la especialidad de Sistemas Eléctricos de Potencia. Actualmente es profesor de tiempo completo en la carrera de Ing. en Energía de la Universidad Politécnica de Sinaloa.