

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Desarrollo de aplicaciones informáticas
Recibido: 9/09/2014 | Aceptado: 8/12/2014

GUI de MATLAB para la evaluación del potencial eólico en sistemas operativos basados en GNU/Linux

GUI in MATLAB to evaluation the eolic potential to based system GNU/Linux

Liomnis Osorio-Laurencio^{1*}, Aliet Lamorú-Reyes¹, José Rolando Pérez-Sandó¹

¹ Centro de Estudio de Energía y Tecnología Avanzada de Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Avenida Calixto García Iníguez No. 15 e/ Avenida 7 de Diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe, Moa, Holguín, Cuba. CP 83 329.

* Autor para la correspondencia: losorio@ismm.edu.cu

Resumen

Dentro de las fases fundamentales para el desarrollo del proyecto de un parque eólico conectado a la red eléctrica se encuentra la evaluación del recurso eólico. En el mercado existen varios software especializados que ejecutan esta tarea con gran calidad. Sin embargo, sólo se encuentran disponibles para los sistemas operativos propietarios. En este trabajo se presenta una alternativa para evaluar el potencial eólico en sistemas construidos sobre la plataforma GNU/Linux. Para ello se utilizó la potente herramienta matemática MATLAB v8.1.0.604 (R2013a) sobre el sistema operativo Linux Mint 17 “Quiana”. Con ayuda del Toolbox GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) se diseñó un GUI que permite procesar la información de las mediciones de los vientos. Se escogió como caso de estudio la región noroeste de Moa, donde se realizaron mediciones de velocidad y dirección del viento durante el año 2007 a la altura de 50, 30 y 10 metros. Finalmente, utilizando MATLAB Compiler™ v4.18.1 se obtuvo una aplicación autónoma capaz de ejecutarse en cualquier computadora que tenga una distribución de GNU/Linux. Los resultados obtenidos muestran que la evaluación del potencial eólico, empleando los métodos de cálculo implementados, son coherentes con respecto a lo mostrado por el mapa eólico de Cuba y otros estudios realizados en esta región. Por tanto, se puede afirmar que constituye una alternativa adecuada para este fin.

Palabras clave: GUIDE, Linux, MATLAB, potencial eólico, Weibull.

Abstract

The evaluation of the wind resource constitutes one of the fundamental stages in the development of a project of a wind farm connected to the electric net. Nowadays there are several specialized software products that execute this task with great quality. However, they are only available for the proprietary operating systems. An alternative for the evaluation of the wind power in GNU/Linux platform built-in systems is presented in this investigation. For it the powerful mathematical tool MATLAB v8.1.0.604 (R2013a) was used on the Linux Mint 17 “Quiana” operating system. In order to process the information of the winds measurements a GUI was designed using the Toolbox GUIDE (Graphical User Interface Development Environment). Finally, using MATLAB Compiler™ v4.18.1 an autonomous application able to be executed in any computer that has a GNU/Linux distribution was obtained. The achieved results show that the wind power evaluation, using the implemented calculation methods, are consistent with the wind map of Cuba and other studies carried out in this region. Therefore, can be asserted that the obtained product constitutes a suitable alternative for the wind power evaluation.

Keywords: GUIDE, Linux, MATLAB, Weibull, wind power.

Introducción

La medición del recurso eólico es uno de los pilares fundamentales para la caracterización de un sitio en donde se pretenda instalar una planta de generación de energía eléctrica a través de turbinas de viento. La producción de energía a través de fuentes renovables ha alcanzado en los últimos cinco años, en el mundo, crecimientos sorprendentes de más del 30 % por año (Bufanio *et al.*, 2012). Los resultados más significativos obtenidos en el país en este campo son: Culminación en el año 2006 del Mapa Eólico de Cuba (Avila-Prats *et al.*, 2010). Según estudios realizados, el norte de la zona oriental de la Isla presenta las mayores potencialidades para este tipo de parques, hasta la fecha los aerogeneradores instalados en Holguín, Ciego de Ávila e Isla de la Juventud, de conjunto, aportan al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), entre 9 y 10 megavatios. Cuba pretende continuar la explotación de este tipo de tecnología y es evidencia de ello, la construcción de un parque eólico de 50 MW en la provincia de Las Tunas (Moreno, 2013).

Según (Moreno *et al.*, 2006) la proyección de un parque eólico parte desde la configuración del parque, que depende en gran medida de la orografía del terreno, de las condiciones del viento y del tipo de máquina y su tamaño. Las fases

fundamentales para el desarrollo del proyecto de un parque eólico conectado a la red eléctrica son las siguientes: 1) Fase de identificación. 2) Fase de medición. 3) Evaluación del recurso eólico. 4) Ingeniería y proyectos. 5) Estudio de impacto ambiental. 6) Autorizaciones y licencias, según la legislación vigente, y teniendo en cuenta todas las instituciones interesadas. 7) Construcción del parque. 8) Explotación.

En el mercado internacional existen programas computacionales altamente especializados como es el caso del WAsP y WindPro, estos se utilizan para obtener los potenciales energéticos de cualquier lugar. Uno de los más utilizados en Cuba es el WindPro, el cual tiene una estructura modular. Esto permite adaptar su compra según las necesidades del cliente. El precio del producto básico es de 1000 Euros y los demás módulos se encuentran en el rango de 750 a 1500 Euros.

En el trabajo de (Herrera *et al.*, 2007) se especifica que utilizar estos software profesionales para caracterizar el recurso eólico de un sitio, con el objetivo de instalar pequeños aerogeneradores, es injustificado. Esto se debe a que la mayoría de estos programas computacionales para la modelación y simulación de campos de flujo son elevadamente costosos - necesitando permisos para su uso - y demandan de profundo conocimiento del tema. Estos elementos atentan directamente en contra de su utilización, pues en ocasiones el costo de las máquinas eólicas es inferior al de estos software. Es por estas razones que se hace necesario utilizar métodos alternativos para caracterizar el recurso eólico.

Este trabajo responde a la necesidad de resolver las limitaciones existentes con los software profesionales utilizados en la tercera fase mencionada anteriormente. Para ello se presenta una herramienta que responde a la evaluación del recurso eólico, construida en la plataforma MATLAB v8.1.0.604 (R2013a) sobre el sistema operativo Linux Mint 17 “Quiana”. Se toma como caso de estudio la región noroeste de la localidad de Moa, ubicada al nordeste de la provincia Holguín.

Aunque MATLAB no es un software especializado en evaluación de recursos, permite realizar modelaciones matemáticas con amplias posibilidades en el manejo de datos de cualquier índole. Una de sus ventajas es la gran cantidad de versiones que existen, muchas ya se encuentran libres en la Internet y en caso de que no fuera así, la gran mayoría presenta licencias temporales que posibilitan realizar cálculos durante cierto tiempo (Herrera *et al.*, 2007).

Por otro lado, el uso del Software Libre es sustentable en Cuba a partir de las ventajas que tiene con respecto a los del tipo propietario. Por esto, su aplicación como plataforma informática de trabajo adquiere una relevante significación que puede verse desde 3 ámbitos diferentes: lo político, lo económico y lo tecnológico. Desde octubre de 2002 se puso

en marcha una estrategia para alcanzar la independencia en el terreno del software, garantizando la seguridad informática y por sobre todas las cosas afianzando el uso de los principios del Software Libre, pues la negación de dichos preceptos constituiría el rechazo de los principios del socialismo y el comunismo (Paumier *et al.*, 2009).

Materiales y métodos

Toda la programación del GUI se realizó en una computadora con una distribución GNU llamada Linux Mint 17 “Quiana” a 64 bits que tiene como sistema base a Ubuntu y el entorno de escritorio basado en KDE 4.13.0. Este es un sistema operativo muy moderno ya que su desarrollo comenzó en el 2006.

Toolbox GUIDE de MATLAB

Con el fin de mejorar la entrada y visualización de los datos se usó la herramienta interactiva GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) para diseñar la interface de usuario o como se le conoce por la comunidad científica: GUI (*Graphical User Interface*). La aplicación creada posee menús desplegables, botones, cajas de texto estático, cajas de texto editables y gráficas. Mediante el MATLAB Compiler™ v4.18.1 se pudo desplegar los métodos de cálculos empleados, logrando obtener de esta manera, una aplicación autónoma capaz de ejecutarse en cualquier computadora con una distribución de GNU/Linux que no tenga necesariamente el MATLAB instalado.

Métodos de cálculos

Determinar el potencial eólico, está relacionado con establecer los parámetros de la ecuación de distribución de Weibull, correspondientes al parámetro de escala c en m/s que determina la velocidad promedio del viento en el lugar de estudio y el parámetro de forma k , que indica el grado de dispersión de los registros. Estos parámetros permiten establecer la frecuencia con la que se manifiesta una velocidad determinada del viento dada por la ecuación (1) y es conocida como Función de Distribución de Probabilidad (F.D.P.) de Weibull. Una cantidad considerable de estudios, dentro de los que se encuentran (Barote & Negrea, 2008; Almonacid & Nahuelhual, 2009; Avila-Prats *et al.*, 2010; Castañeda *et al.*, 2013) emplean esta función con este fin, obteniendo buenos resultados.

$$f(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (k > 0, v > 0, c > 1) \quad (1)$$

Donde:

k : es el factor de forma, es adimensional

c : es el factor de escala, se expresa en m/s

v : es la velocidad del viento, se expresa en m/s

El objetivo es encontrar los parámetros c y k de manera que se ajuste a la distribución de frecuencias de los datos medidos. Para determinar los parámetros de la ecuación de Weibull, se utiliza el ajuste de mínimos mostrada en la ecuación (2) que corresponde a la probabilidad de Weibull (Petroni *et al.*, 2011; Arroyo & Ramos, 2012; Castañeda *et al.*, 2013).

$$p_i(v < v_i) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_i}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Para el cálculo de estos parámetros se realiza el ajuste mediante el método de regresión lineal (Touré, 2005; Castañeda *et al.*, 2013). Para ello, se despeja $1 - F(v)$ y se toma dos veces logaritmos neperianos como lo muestran las ecuaciones (3) y (4) (Hernández-Escobedo *et al.*, 2012).

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (3)$$

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \cdot \ln(v) - k \cdot \ln(c) \quad (4)$$

La ecuación (5) representa una línea recta de pendiente a y de ordenada en el origen b .

$$z = a \cdot u + b \quad (5)$$

Donde u y z son variables. El ajuste lineal se realiza mediante las ecuaciones (6), (7), (8) y (9).

$$z = \ln[-\ln(1 - F(v))] \quad (6)$$

$$a = k \quad (7)$$

$$u = \ln(v) \quad (8)$$

$$b = -k \cdot \ln(c) \quad (9)$$

Una vez conocidos los parámetros de la F.D.P. de Weibull, la ecuación (10) permite conocer velocidades mayores o igual a una velocidad de referencia v_0 y menores a una velocidad de referencia denominada v_1 (Touré, 2005).

$$p(v_0 \leq v \leq v_1) = \int_{v_0}^{v_1} f(v) \cdot dv = \exp\left[-\left(\frac{v_0}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{v_1}{c}\right)^k\right] \quad (10)$$

Donde:

v_0 : es la velocidad de referencia inicial

v_1 : es la velocidad de referencia final

La F.D.P. acumulada $F(v)$ se calcula según la ecuación (11).

$$F(v) = \int_0^v f(v) \cdot dv = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (11)$$

Los aerogeneradores extraen la energía cinética contenida en el viento para convertirla en energía eléctrica (potencia), la ecuación (12) muestra cómo se calcula (Moreno *et al.*, 2006; Bufanio *et al.*, 2012).

$$P = A \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 \cdot f(v) dv = A \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right)}{\Gamma^3\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (12)$$

Donde:

A : es el área barrida por las palas del aerogenerador

ρ : es la densidad del aire a nivel del mar

Estructura de los datos

Para la modelación se escogió un conjunto de mediciones realizadas en el año 2007 por una de las estaciones de monitoreo ubicadas en la región noroeste de Moa. El fichero que contiene los datos es leído en MATLAB mediante el comando *dlmread*. Esta instrucción se utiliza para trabajar con archivos ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) delimitados por comas o tabulaciones, para este caso se trabajó el fichero tal y como lo proporciona el *datalogger*, es decir, se utilizó el tabulador como separador. El contenido de uno de estos archivos está organizado en una tabla de 20 columnas y tantas filas como intervalos (10 minutos) se midieron. En la tabla 1 se muestra la estructura del fichero.

Tabla 1. Estructura de las tablas de mediciones de velocidad y dirección del viento.

loggername	date____	time____	s1a[m/s]	s1x[m/s]	s1i[m/s]	s1s[m/s]	s2a[m/s]	s2x[m/s]	s2i[m/s]
HLGU	3/2/2007	13:20:00	3,5	4,6	2,5	0,5	3,2	4,6	1,8

Continuación:

s2s[m/s]	s3a[m/s]	s3x[m/s]	s3i[m/s]	s3s[m/s]	d	d1a[°]	d1s[°]	[-1=error]	[ser.no.]
0,5	2,9	4,3	1,8	0,5	173	4		C060074	

La columna 1 es un indicador de la fuente de datos. La columna 2 indica la fecha y la columna 3 la hora de la medición. Las columnas 4, 5, 6 y 7 indican respectivamente la velocidad media, la velocidad máxima, la velocidad mínima y la desviación estándar en el período de 10 minutos y para la altura de 50 m. Las columnas 8, 9, 10 y 11 indican lo mismo que la 4, 5, 6 y 7 pero para 30 m de altura. Análogamente las columnas 12, 13, 14 y 15 lo indican para 10 m de altura. La columna 16 indica la dirección del viento dada en grados sexagesimales y sólo fue medida a la altura de 30 metros. La columna 19 indica la existencia de algún error en la medición y la columna 20 informa del número de serie de la medición.

Resultados y discusión

El producto informático obtenido consta de cuatro archivos: el script que ejecuta el programa, el GUI (sin extensión), el *Readme.txt* (brinda información sobre la ejecución del GUI desde sistemas operativos basados en UNIX) y el instalador del compilador empleado. Para ejecutar la aplicación, en sistemas operativos basados en GNU/Linux, se debe especificar (desde la consola) la ruta del compilador que se utilizará. Al ejecutar el programa a través del script, se van mostrando los resultados que normalmente se muestran en la ventana *WorkSpace*, es decir, la consola de Linux sustituye a la ventana de comandos del MATLAB. La pantalla principal del GUI se muestra en la figura 1, estos resultados pertenecen a la altura de 50 metros, mediante un menú desplegable se puede seleccionar la altura a la que se desee obtener los resultados correspondientes y mediante una caja de texto editable, se le puede especificar el paso de rango de velocidades que se quiere representar.

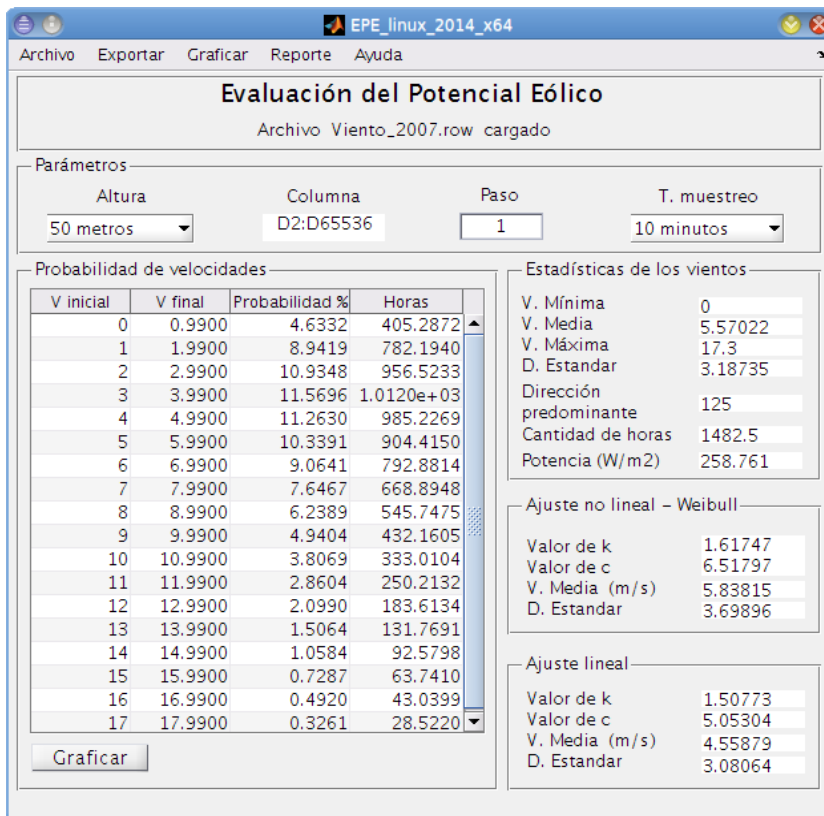


Figura 1. Pantalla principal del GUI.

Para el caso de estudio, se puede apreciar que para la altura de 50 metros, las máximas probabilidades de la velocidad del viento se encuentran en el rango de 0 a 9,99 m/s, las que cubren el 77,72 % del total de las observaciones con 6798,244 horas al año. La velocidad media es de 5,83 m/s con una desviación estándar de 3,19. Estos valores corresponden a clases de velocidad moderada en adelante, lo que evidencia un buen comportamiento del viento en la escala de Beaufort (Ramos & Sera, 2004). Los mayores valores oscilan, en un rango amplio, entre 10 y 17,9 m/s y representan solamente un 22,28 % del total de observaciones. Estos datos están en correspondencia con lo que refleja el mapa eólico de Cuba (Morales *et al.*, 2007) para la región de Moa.

Se muestra el valor de los parámetros de c y k calculados según al ajuste lineal y mediante la distribución de Weibull, siendo este último el método de cálculo que más se ajusta a los resultados obtenidos sobre los datos originales. También se visualiza la potencia por unidad de área, la dirección predominante de los vientos con su respectiva cantidad de horas. En las tablas 2 y 3 se muestran los resultados correspondientes a las alturas de 30 y 10 metros.

Tabla 2. Datos estadísticos de los vientos

Alturas	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad media (m/s)	Velocidad máxima (m/s)	Desviación estándar	Potencia (W/m ²)
30 metros	0	5,05	15,6	2,83	183,98
10 metros	0	3,93	12,3	2,07	80,17

Tabla 3. Resultados según la F.D.P. de Weibull

Resultados según la F.D.P. de Weibull				
Alturas	Valor de k	Valor de c	Velocidad media (m/s)	Desviación estándar
30 metros	1,6748	5,7223	5,16	3,16
10 metros	1,7880	4,4987	4,0	2,31
Resultados según el ajuste lineal				
30 metros	1,5943	4,5798	4,1074	2,64
10 metros	1,6428	3,4824	3,11	1,95

El histograma es una representación gráfica de valores tabulados con sus respectivas frecuencias. La frecuencia de un valor será el número de veces de ese valor repetido. En la figura 2 se muestra el histograma de los datos medidos (divididos en rango de 1 m/s) así como el ajuste a la función de Weibull. Los valores mostrados a través de esta gráfica permiten estimar la producción de energía, de ahí la importancia que tiene para la proyección de parques eólicos.

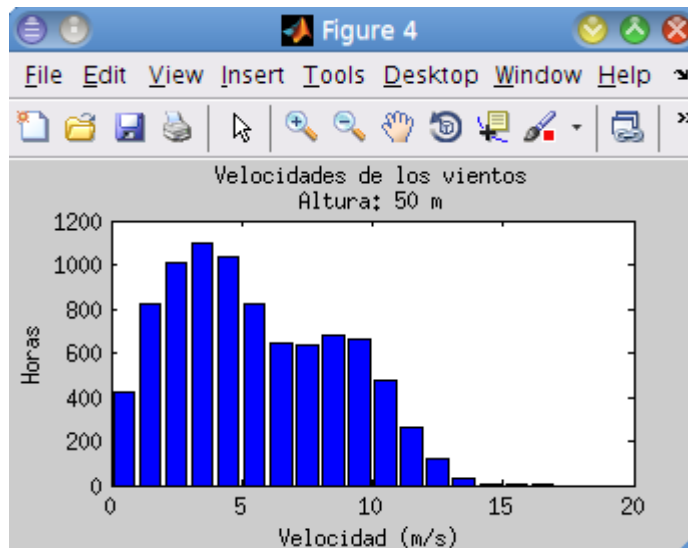


Figura 2. Histograma de las velocidades del viento.

Seleccionando valores de referencia que van desde 0 m/s, hasta un máximo de 17,9 m/s, en todos los intervalos de velocidad del viento tomados como referencia y utilizando la ecuación (3), se obtiene la probabilidad que existe de

tener velocidades comprendidas entre v_0 y v_1 , este resultado se presenta gráficamente en la figura 3. Estos valores están divididos en rangos de velocidades de 1 m/s, pero el GUI permite ampliar o disminuir ese rango según estime el usuario.

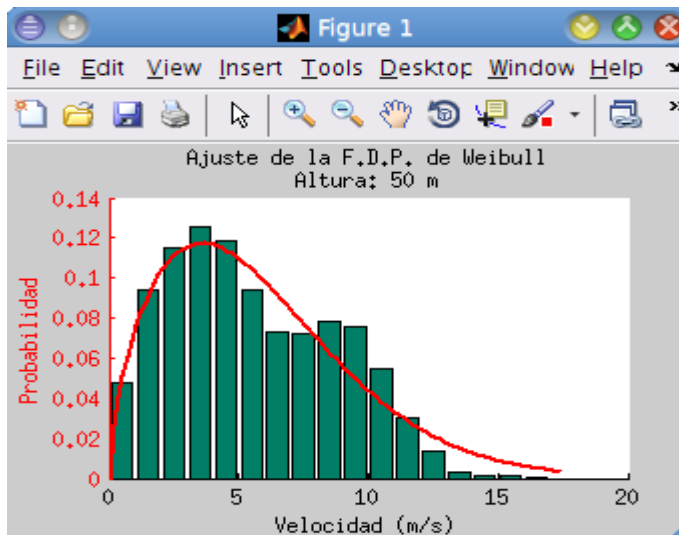


Figura 3. Histograma y curva de ajuste de la F.D.P. de Weibull

Mediante las ecuaciones (6), (7), (8) y (9) se realizó el ajuste lineal de los datos, este resultado se muestra en el gráfico de la figura 4. La ecuación de la recta representada con el color azul es $y = 1,5077x - 2,4425$.

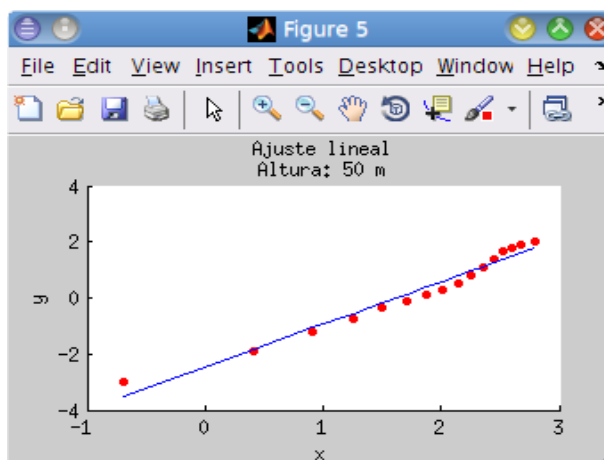


Figura 4. Ajuste lineal de los datos.

La rosa de los vientos es una representación gráfica de la frecuencia de las direcciones del viento y el por ciento de la energía por cada sector de las direcciones. La figura 5 muestra una rosa con una división de 12 sectores, cada uno de

treinta grados (30°). Mediante el script desarrollado por (Pereira, 2014) fue posible representar mediante coordenadas polares las velocidades del viento divididas en rango de 2 m/s . Para la creación de la aplicación autónoma se adjuntó este script permitiendo ejecutarla junto al resto de funciones programadas.

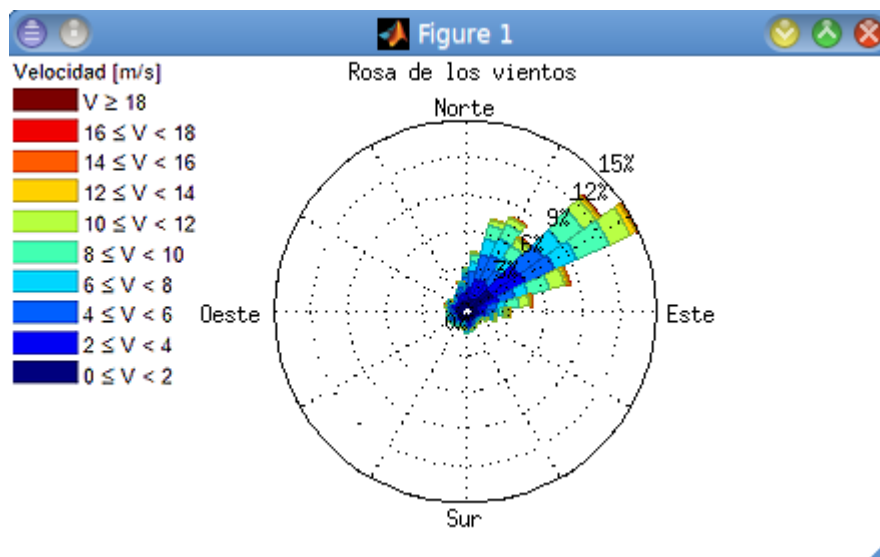


Figura 5. Rosa de los vientos (altura de 50 metros).

La información que brindan estos resultados concuerdan con estudios realizados anteriormente en la misma zona (Nuñez *et al.*, 2014). La dirección predominante de los vientos sobre la región de Moa es del Norte al Este, alcanzando el valor máximo el rumbo ENE con un total de 1482,5 horas al año, lo que representa un 21,80 % del total de horas observadas. Este dato es de vital importancia en proyectos eólicos, puesto que determina la orientación en la que deben emplazarse las turbinas eólicas.

La aplicación informática presenta una interfaz que permite al usuario seleccionar los rangos de velocidades que desea procesar. Para ello, se diseñó un menú principal compuesto por un conjunto de menús desplegables que ejecutan las acciones de:

1. **Abrir:** permite abrir cualquier fichero con extensión *.txt* o *.row* que contenga mediciones del viento con formato ASCII.
2. **Exportar:** hace una captura de la pantalla principal (*screenshot*) del GUI y lo exporta a formato JPG o PNG según se especifique.

3. **Graficar:** grafica una serie de datos especificados por el usuario (Histogramas de velocidades y dirección del viento, Rosa de los vientos)
4. **Reporte:** realiza un reporte del análisis de los datos del viento y exporta para un documento Excel los principales resultados: velocidad máxima, velocidad media, velocidad mínima, desviación estándar, número máximo de horas observadas para una velocidad determinada, número máximo de horas observadas para una dirección determinada, probabilidad de la velocidad del viento según el rango especificado,
5. **Ayuda:** muestra la ayuda del GUI en formato HTML a través de un navegador Web.

Conclusiones

Este trabajo permitió evaluar el potencial eólico de la localidad de Moa, estando los resultados obtenidos en concordancia con el mapa eólico de Cuba. La velocidad media del viento obtenida fue de 5 m/s y la dirección predominante de los vientos fue ENE con un total de 1482,5 horas al año. Se calculó la probabilidad del viento divididos en rango de velocidades, esta información que proporciona el GUI es de vital importancia para proyectos donde se desea calcular la producción anual de energía de los aerogeneradores. Finalmente se obtuvo una aplicación portable que incluye su propio compilador, permitiendo que funcione en cualquier computadora con una distribución de GNU/Linux a 64 bit. Este trabajo constituye el punto de partida hacia la creación de una potente herramienta que permita calcular la producción anual de energía para un aerogenerador y región especificada; realizando además la selección de aerogeneradores teniendo en cuenta los criterios económico, energético e integral.

Agradecimientos

Los autores agradecen el conocimiento y los materiales bibliográficos aportados por los profesores del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM): Eduardo Terrero Matos, Reineris Montero Laurencio, Arístides Alejandro Legrá Lobaina, Daniel Mendiola Ellis y Alexei Cala Hinojosa.

Referencias

- ALMONACID, A. & L. NAHUELHUAL. Estimación del potencial eólico y costos de producción de energía eólica en la costa de Valdivia, Sur de Chile. *Agro Sur*, 2009, 37(2): p. 103-109.
- ARROYO, O. & L. RAMOS. Criterio estadístico para la selección de velocidades de viento para el diseño de armaduras de techo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 2012, 4(1): p. 139-148.

- AVILA-PRATS, D., R. ALESANCO-GARCÍA & F. GARCÍA-GARCÍA. Coste del kWh eólico generado en Cuba, a partir de datos de viento de una región de buenos potenciales eólicos *Ingeniería Mecánica*, 2010, 13(3): p. 38-45.
- BAROTE, L. & I. NEGREA. Wind energy probability estimation using Weibull distribution function. En: *Fascicle of Management and Technological Engineering*. ANNALS of the ORADEA UNIVERSITY, United States of America. 2008, p. 10
- BUFANIO, R., M. BONOLI ESCOBAR, D. EDWARDS & V. GOGNI. Estimación de potencia anual generada por un generador eólico. En: *Seminario Nacional Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Mendoza-Instituto Regional de Estudios Sobre Energía. Eficiencia Energética*. Argentina. 2012, p. 10
- CASTAÑEDA, W. F. Á., L. A. M. TEJADA & A. C. A. FAJARDO. Aplicación de la ecuación de Weibull para determinar Potencial eólico en Tunja-Colombia. En: *XX SIMPOSIO PERUANO DE ENERGIA SOLAR*. Perú. 2013, p. 8
- HERNÁNDEZ-ESCOBEDO, Q., F. ESPINOSA-ARENAL, R. SALDAÑA-FLORES & C. RIVERA-BLANCO. Evaluación del potencial eólico para la generación de energía eléctrica en el estado de Veracruz, México. *Dyna*, 2012, 171: p. 215-221.
- HERRERA, S. O., G. VILALTA, K. SEEGER, W. SHCELLONG, *et al.* MATLAB para la evaluación del recurso eólico. [en línea]. *EcoSolar* (21), 2007. [Consultado el: 15 de Septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo04.htm>
- MORALES, R. S., A. R. RODRÍGUEZ, I. R. LLERENA, A. WALLO, *et al.* Primera edición del Mapa de Potencial Eólico de Cuba. [en línea]. *EcoSolar* (21), 2007. [Consultado el: 8 de septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar21/HTML/articulo06.htm>
- MORENO, C. ¿Cuánto cuesta un parque eólico? [en línea]. *Energía y Tú* (61), 2013. [Consultado el: 8 de septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia61/HTML/articulo03.htm>
- MORENO, C., J. MARTÍNEZ, G. LEIVA, R. NOVO, *et al.* *Diez Preguntas y Diez Respuestas Sobre Energía Eólica*. La Habana, 2006. 211 p.
- NUÑEZ, E., R. RODRÍGUEZ, A. PIERRA & O. REYES. Sistema de Información para el Análisis de Datos del Viento. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2014, 8(3): p. 100-113.
- PAUMIER, R., Y. PÉREZ & A. MENESES. 2009. Guía cubana de migración a software libre. In., p. 99.

- PEREIRA, D. Wind Rose [en línea]. Matlab Central, 2014. [Consultado el: 10 de septiembre de 2014]. Disponible en: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47248-wind-rose>
- PETRONE, G., C. D. NICOLA & D. QUAGLIARELLA. Wind Turbine Performance Analysis Under Uncertainty. En: *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. Florida. 2011, p. 18
- RAMOS, J. A. D. A. & A. S. SERA. Utilización de la escala Beaufort en la determinación del potencial eólico. *Energética*, 2004, XXV(1): p. 13-17.
- TOURÉ, S. Investigations on the Eigen-coordinates method for the 2-parameter weibull distribution of wind speed. *Renewable Energy*, 2005, 30(4): p. 511-521.