

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CUANTITATIVO PARA VELOCIDADES DE VIENTO Y SU FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN MINI-EÓLICA EN BOGOTÁ

Arjona Orozco, Santiago (1), Gómez Martínez, Miguel Ángel (2)

¹ [Ingeniería Mecánica, División de ingenierías, Bogotá, Universidad Santo Tomás] | [santiago.arjona@usantotomas.edu.co]

² [Departamento de ingeniería eléctrica, División de ingenierías, Campus Salamanca-Irapuato, Universidad de Guanajuato] | [gomezma@ugto.mx]

Resumen

En el desarrollo de este trabajo se implementa la metodología de predicción de la velocidad promedio del viento a través de series de Fourier con el fin de establecer el comportamiento del fenómeno en un futuro. Partiendo de datos obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas en Bogotá y seleccionando la que presenta la mayor magnitud de velocidad de viento, se construye un modelo para realizar un ajuste a dichos valores para posteriormente realizar con éste la predicción del viento. Esto con el fin de establecer la factibilidad económica de un parque eólico de 2 MW de potencia producidos por aerogeneradores existentes en el mercado; sin embargo, en la actualidad no se encuentra un diseño que logre trabajar a tan baja velocidad como la obtenida en el modelo. A partir del estudio económico se establece que no es rentable el proyecto de parque eólico en Bogotá debido a la baja velocidad promedio que se presenta en el emplazamiento.

Abstract

In the development of this work the prediction methodology about the average wind speed is applied through Fourier Series in order to establish the behavior of the phenomenon in the future. Based on data obtained in meteorological stations located in Bogota and choosing the one with the highest magnitude of wind speed, a model is constructed to make a fitting curve on these values to later make the wind forecast. This aims to establish the economic feasibility of a wind farm of 2MW of power generated by wind turbines available in the actual market; However, now a day there is not a design that works with a low speed like the one obtained by the model. From the economic study it is established that is not profitable the wind farm project located in Bogota due to the low average wind speed that is presented in this location.

Palabras Clave

Series de Fourier, predicción, energía eólica, Bogotá, aerogeneradores

INTRODUCCIÓN

Una de las principales desventajas de la generación eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energías renovables especialmente de la mini-eólica, es la predicción del viento a la hora de generar energía, esto se debe a que el comportamiento del viento es no-estacionario e intermitente y además a que la relación entre la energía producida y la velocidad de viento instantánea no son lineales. [1]

Por tal razón los modelos de predicción son necesarios para obtener información acerca del potencial eólico disponible que se estima para un periodo de tiempo establecido, logrando así disminuir la aleatoriedad propia del fenómeno del viento. [2]

Para establecer la factibilidad de un proyecto de energía eólica, es necesario conocer en realidad cual será la cantidad de recurso de viento con el que se cuenta.

En este trabajo se realiza una predicción a través de un modelo generado por medio de series de Fourier, para establecer la velocidad promedio de la zona de estudio ubicada en Bogotá, posteriormente se realiza un benchmarking de los aerogeneradores de baja potencia disponibles en el mercado, para así seleccionar el más adecuado según la velocidad de viento obtenida a partir del modelo del fenómeno natural, por último, se realiza el estudio económico para establecer la factibilidad del proyecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caso de estudio

La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá cuenta con 14 estaciones meteorológicas para realizar mediciones de velocidades de viento. Después de revisar la información de dichas estaciones, se logró establecer que las velocidades de viento promedio de mayor magnitud fueron registradas en la estación meteorológica ubicada en Fontibón, al occidente de la ciudad de Bogotá.[3]

Los datos de velocidad de aire empleados para el modelo fueron obtenidos de la página web del Sistema de Información sobre Calidad de Aire para el año 2014 [4].

Para el año de estudio en Bogotá se realizó el registro de la velocidad del viento para cada uno de los días de los 6 primeros meses comenzando el 16 de enero y terminando el 30 de junio del año de estudio. De los cuales se tomaron 147 datos partiendo desde el 16 de enero hasta el 16 de junio para estudiar un periodo de tiempo correspondiente a 5 meses calendario.

Ingreso de Variables

Los datos seleccionados para este estudio fueron las velocidades de viento promedio registradas en intervalo de tiempo entre el 16 de enero y 16 de junio para un total de 147 datos, de los cuales se realiza una gráfica de dispersión con la ayuda de MatLab, la cual se muestra en la imagen 1.

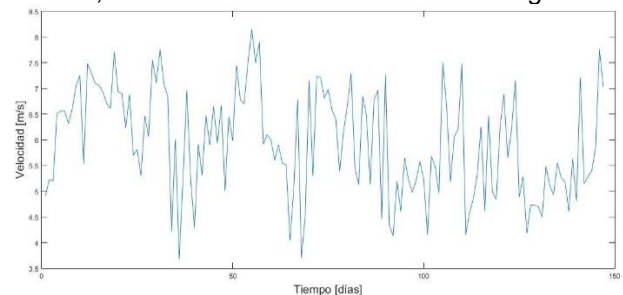


IMAGEN 1: Gráfica de dispersión velocidad de viento estación meteorológica Fontibón, Bogotá.

Series de Fourier

Las series de Fourier son la suma de funciones periódicas de senos y cosenos con frecuencias que son múltiplos de una señal original la cual es objetivo de replicar, este modelo de descomposición de señales se realiza con el fin de analizar el comportamiento del viento. El cual, por ser de carácter natural tiende a repetirse periódicamente. [5]

Su ecuación general se representa así:

$$f(x) = a_0 \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(nx\omega_0) + b_n \sin(nx\omega_0))$$

Ecuación que es empleada para realizar el modelo de predicción posteriormente descrito.

Modelo de predicción obtenido

Con la ayuda de la herramienta curvefitting de MatLab se realiza el ajuste de los datos de velocidad registrados a través de series de Fourier, obteniendo el modelo que se muestra a continuación, compuesto por 8 términos.

$V(x)=$

$$5.501+0.6302*\cos(x*1.256)+0.03202*\sin(x*1.25)-0.0001406*\cos(2*x*1.256)+1.003*\sin(2*x*1.256)-3.163*\cos(3*x*1.256)+0.3414*\sin(3*x*1.256)-0.4752*\cos(4*x*1.256) + -0.01212*\sin(4*x*1.256) + 0.3533*\cos(5*x*1.256)+0.7016*\sin(5*x*1.256) + -0.1614*\cos(6*x*1.256)-0.1191*\sin(6*x*1.256)+2.147*\cos(7*x*1.256)-0.9965*\sin(7*x*1.256)+3.001*\cos(8*x*1.256) + 0.1*\sin(8*x*1.256)$$

Al mostrar los datos obtenidos y el modelo en la misma gráfica se puede observar el ajuste que se tiene en el modelo como se muestra en la Imagen 2.

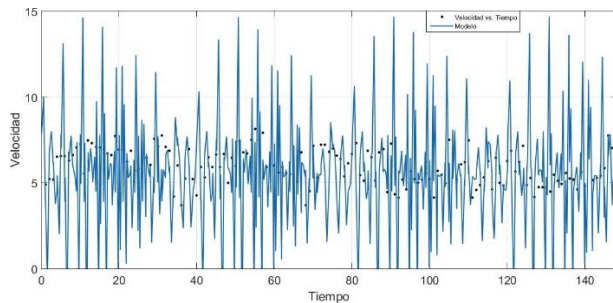


IMAGEN 2: Gráfica de proyección velocidad de viento, Bogotá.

Al reemplazar el modelo expresado como una función de Senos y Cosenos en función de x como variable independiente la cual corresponde al tiempo entre 148 y 294 días, se obtiene la proyección del comportamiento del viento en la locación ya mencionada, obteniendo la gráfica que se muestra en la Imagen 3.

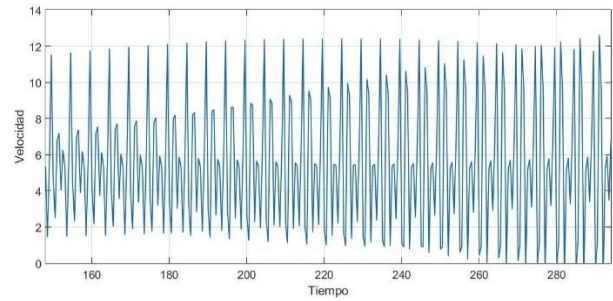


IMAGEN 3: Gráfica de proyección velocidad de viento, Bogotá.

Ya obtenido tanto el modelo como la gráfica de proyección se establece la media cuadrática (RMS) para obtener el valor de la velocidad de viento promedio, la cual es el dato de más relevante a la hora de realizar el benchmarking y la selección de los aerogeneradores a instalar en el parque eólico.

Benchmarking

Para la selección del mejor aerogenerador con la velocidad de 5,31 m/s obtenida a partir de la proyección, se evaluaron distintos modelos, las mejores 3 alternativas se consignan en la Tabla 1:

Fabricante	Referencia	Tipo	Capacidad nominal[kW]
Bornay	13+	HAWT	1.5
Quiet Revolution	QR6	VAWT	7.5
Aeolos	Aeolos-V	VAWT	1.0

TABLA 1: Opciones de aerogeneradores a evaluar [6][7][8].

Para la evaluación de los aerogeneradores se tuvo en cuenta la curva de potencia, la curva de generación, la vida útil y el costo del equipo.

Teniendo en cuenta las características anteriores el aerogenerador seleccionado fue el de referencia Aeolos-V, con el cual se realiza el estudio económico del parque.

Estudio económico.

Para la factibilidad del proyecto de parque eólico se establece una capacidad de 2MW de potencia, valor típico para un parque mini eólico.

Al establecer la potencia que produce el aerogenerador seleccionado según su curva de potencia, se obtiene un valor de 200W. Por lo que se requieren 10000 unidades instaladas para satisfacer la capacidad deseada. Al multiplicar dichas unidades por el costo unitario del aerogenerador se obtiene la inversión inicial del parque por concepto de turbinas.

En cuanto al mantenimiento se conoce que alrededor del 10% de la inversión inicial es el valor anual por ésta actividad así mismo el valor de salvamento se establece como el 15% de la inversión inicial. Los anteriores conceptos corresponden a egresos del proyecto.

El costo por kWh en la ciudad de Bogotá difiere según el estrato donde se ubique el predio, para este caso se emplea un valor de 0,17 USD/kWh Según el fabricante la generación anual del prototipo es de 2608 kWh/año lo cual se ve representado como ingresos al parque eólico por concepto de producción de energía.

Con un horizonte de 20 años correspondiente a la vida útil del aerogenerador y una tasa interna de retorno por parte del inversor del 8% se realiza el cálculo del valor presente neto VPN para establecer la factibilidad del proyecto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el modelamiento por medio de series de Fourier se establece un error de 32.7% con respecto a los datos de dispersión, mientras que el ajuste de los datos por medio de un modelo no lineal ARX es de 4.66%.

Al realizar el modelo de proyección para la velocidad de viento se obtuvo un valor de 5,31 m/s y por tal razón es necesario evaluar opciones de aerogeneradores que trabajen a bajas velocidades como lo son las turbinas de eje vertical las cuales tienen como característica principal la baja velocidad de viento requerida para su generación, pero al mismo tiempo su producción de energía es baja.

Al realizar el benchmarking de los aerogeneradores se encuentra que la velocidad nominal es de alrededor de 10m/s y por lo tanto no es adecuado seleccionar uno prototipo que se encuentre en el mercado actualmente ya que se incurre en un

sobre-dimensionamiento del equipo y por lo tanto se debe invertir en aerogeneradores costosos para producir bajas cantidades de energía.

Al realizar el estudio económico del parque eólico se establece que la inversión inicial no se recupera con la venta de energía eléctrica del parque, y el mantenimiento anual no alcanza a ser cubierto por los ingresos.

CONCLUSIONES

El error obtenido a través del modelo por series de Fourier es bastante alto mientras que con el modelo no lineal ARX es menor, pero la proyección no ha sido posible de realizar por el segundo método.

El recurso eólico en la ciudad de Bogotá es bastante bajo y por lo tanto hoy en día no existe un aerogenerador que logre trabajar con una velocidad nominal como la obtenida en el modelo para lograr que sea rentable la puesta en marcha de un parque eólico en esta locación.

Al realizar la inversión del parque eólico se establece que no es factible el proyecto ya que no se logra recuperar ni siquiera la inversión inicial, esto se debe a la baja producción de energía por aerogenerador.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la universidad de Guanajuato por permitirme participar en el programa de verano de investigación, al doctor Miguel Ángel Gómez Martínez por su constante apoyo durante el desarrollo del proyecto, por el conocimiento brindado durante el verano de investigación, y el gusto por la investigación en las energías renovables que sin duda alguna ya no son el futuro sino una realidad.

REFERENCIAS

[1] Seref, B.S., Mursel, Y. & Erhan, A. (2016). Wind Power Prediction Using EMoFS Technique. 2016 national Conference on Electrical Electronics and Biomedical Engineering (ELECO), 63-65.

[2] Lange, M. & Focken, U., (2005). Physical Approach to Short-Term Wind Power Prediction. Berlin: Springer.

[3] Secretaría Distrital de Ambiente, (2016). Informe Anual de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá D.C. Bogotá.

[4] Subsistema de Información sobre Calidad de Aire. (2016). Gráfica meteorología estación Fontibon red SISAIRE CDA, variable velocidad de viento. Recuperado de <http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/mediciones/medicionesGrafica.jsp> [28 de junio de 2017].

[5] Uresti, E. Matemáticas Avanzadas para Ingeniería: Series de Fourier, 1-78. Recuperado de <http://cb.mty.itesm.mx/ma3002/materiales/ma3002-series-fourier.pdf>. [22 de junio de 2017].

[6] Bornay. Catálogo Wind Plus, 12. Recuperado de <https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/wind-plus#descargas> [7 de julio de 2017].

[7] Quietrevolution. VWT-Power-Qr6-Wind-Turbine-Factsheet. Recuperado de <https://www.quietrevolution.com/products/> [8 de julio de 2017].

[8] Aeolos Wind Energy Ltd. Aeolos Wind Turbine 1kW Specification. Recuperado de <http://www.windturbinestar.com/1kwv-v-aeolos-wind-turbine.html>. [8 de julio de 2017].