



CORRELACIONES REFERIDAS AL RECURSO EOLICO EN RIO CUARTO

Laura V. Pérez, Cristian A. Falco y Claudio A. Careglio
Grupo de Electrónica Aplicada (G.E.A.) – Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de Río Cuarto

Ruta 36 Km. 601 – (X5804BYA) Río Cuarto (Cba.)
www: unrc.edu.ar – Tel: (0358) 4676255 – Fax: (0358) 4676246
e-mail: lperez@ing.unrc.edu.ar – cfalco@ing.unrc.edu.ar – ccareglio@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: Se presenta en primer lugar la validación de fórmulas conocidas que permiten relacionar la velocidad del viento a distintas alturas, cercanas a la superficie. La validación se realiza mediante la estimación de un coeficiente de un modelo lineal por cuadrados mínimos. El objetivo es aprovechar mediciones de la velocidad del viento a 2m, obtenidas en algunas localidades del sur de la provincia de Córdoba para una primera estimación del recurso eólico aprovechable por aerogeneradores de baja potencia instalados en dicha localidades. En segundo lugar se establece, con igual objetivo, una correlación entre las velocidades obtenidas en la ubicación del aerogenerador del GEA y las de la estación sinóptica más cercana del SMN.

Palabras clave: energía eólica, datos de viento, potencia del viento.

INTRODUCCIÓN

El GEA está desarrollando el proyecto denominado Micro-Centrales Electro-Eólicas (MiCEEs) cuyo principal objetivo es desarrollar y transferir tecnologías relacionadas con MiCEEs. Se cuenta con un prototipo experimental de 5 kW y una estación meteorológica autónoma NOMAD con la cual se adquieren datos de variables del viento.

La intención de este trabajo es contribuir al establecimiento de un método que permita una estimación rápida del recurso eólico en otras ubicaciones geográficas, donde no se cuente con una serie suficientemente larga de datos del viento. Los valores de velocidad del viento son necesarios para la estimación del recurso eólico, es decir, la potencia mecánica contenida en el viento aprovechable para su conversión en energía eléctrica por la microcentral, como así también para la definición, diseño y dimensionamiento de diferentes componentes y modos de operación de la microcentral.

DATOS DISPONIBLES

La estación meteorológica provee datos de velocidad y dirección del viento, tomados cada 10 minutos, desde el 1-4-2000 hasta la actualidad, a 2 metros y 20 metros sobre el nivel del terreno.

Por otra parte se solicitaron al Servicio Meteorológico Nacional los registros de las mismas variables (velocidad y dirección del viento) de la estación sinóptica ubicada en el aeropuerto de Las Higueras, situado a 1 km. En el caso de las estaciones sinópticas, los datos son tomados cada hora, y a una altura de 10 m sobre el terreno. Se solicitaron en el intervalo 1/1/1990 - 30/6/2002.

CORRELACIÓN ENTRE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO A DISTINTAS ALTURAS

Se ha establecido (Rohatgi, 1994) que la velocidad del viento a una altura dada puede estimarse en función de la velocidad a otra altura de referencia, donde aquella sea conocida usando la siguiente expresión:

$$u(z) = u(z_r) \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

donde:

$u(z)$: es la velocidad del viento a la altura z

$u(z_r)$: es la velocidad del viento a la altura de referencia z_r

z_0 : es la longitud de rugosidad de la superficie

Los valores de z_0 están tabulados para diferentes tipos de terreno. Este parámetro es un límite inferior para las alturas, que debe ser mayor que 0 y que da cuenta del hecho de que las superficies naturales nunca son uniformes ni suaves. La fórmula anterior se considera válida para $z > 100 * z_0$. Esta fórmula nos permitiría disponer de una forma de extrapolar las mediciones de viento a otras alturas diferentes de aquellas en la que se realizan las mediciones. Por ejemplo, en nuestro caso para $z = 20$ m, $z_r = 2$ m, y considerando el valor de z_0 correspondiente a cultivos ($z_0 = 0.050$ m), debería resultar:

$$u(z) = u(z_r) \frac{\ln(20m/0.05m)}{\ln(2m/0.05m)} = 1.6242 u(z_r) \quad (2)$$

La Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad de Río Cuarto cuenta con una red de 14 estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes puntos del sur de la provincia de Córdoba, que miden la velocidad del viento a 2 m sobre la superficie del terreno. La validación experimental de la fórmula en nuestra estación, justificaría la aplicación de esta fórmula a los datos de viento a 2 m de esta red de estaciones y permitiría obtener así una primera estimación de la velocidad del viento a la altura del eje de un generador eólico ubicado en las mismas.

Se propuso entonces, ajustar un modelo lineal de la forma:

$$Y_i = \alpha X_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

donde las variables se definen como:

$Y_i = u_i(z)$, $i = 1, \dots, N$: Observaciones de la velocidad del viento a la altura $z = 20$ m tomadas cada 10 min.

$X_i = u_i(z_r)$, $i = 1, \dots, N$: Observaciones de velocidad del viento a $z_r = 2$ m tomadas en los mismos instantes que las anteriores.

y los errores ε_i se suponen con $E(\varepsilon_i) = 0$ y variancia constante. Se pretende verificar si el estimador del coeficiente α coincide con los valores usados en la fórmula.

El estimador cuadrados obtenidos para α resultó:

$$\hat{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_i^2}} = 1.4860 \quad (4)$$

un valor cercano al esperado de 1.6242. El coeficiente de correlación obtenido fue $\rho = 0.9273$ lo que habla de una buena correlación. La figura 1 muestra la recta obtenida sobre la nube de datos. Para este cálculo se consideraron los datos correspondientes a un año completo, de manera de evitar distorsiones por efectos estacionarios. Así mismo, se descartaron datos con velocidades menores a 2.5 m/s, por ser la mínima velocidad que hace girar el prototipo. Nuestro análisis se restringe a este intervalo.

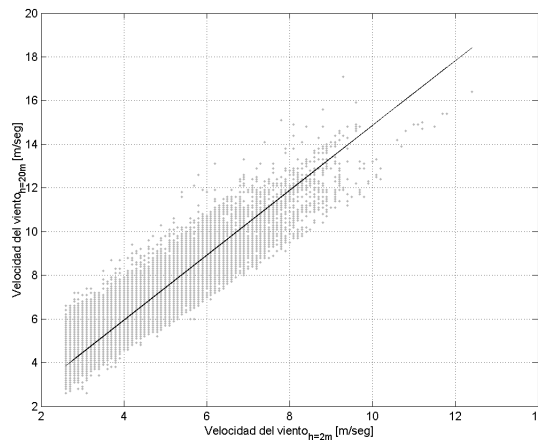


Figura 1: Regresión entre los datos de distintas alturas

Existe una fórmula alternativa empírica a la presentada en el párrafo anterior para describir el perfil vertical de velocidad de viento $u(z)$ en base a la velocidad en una altura de referencia $u(z_r)$:

$$u(z) = u(z_r) \left(\frac{z}{z_r} \right)^a \quad (5)$$

donde a es un parámetro altamente variable que depende de la rugosidad de la superficie. Esta fórmula no varía significativamente de la anterior y debido a su simplicidad es ampliamente usada cuando se dispone de datos experimentales (Rohatgi y Nelson, 1994). Se validó también esta fórmula con el modelo lineal citado anteriormente. Para el caso considerado de superficie cubierta con cultivos, el valor de a que encontramos en la bibliografía fue 0.19, por lo que el factor que relaciona las velocidades a las alturas z y z_r resulta:

$$\left(\frac{z}{z_r} \right)^a = \left(\frac{20m}{2m} \right)^{0.19} = 1.5488 \quad (6)$$

en este caso el valor es más cercano al α obtenido con el modelo considerado.

El mismo análisis se repitió considerándose sólo los datos correspondientes a período 1-1-01 al 31-3-01. Se tomó este período pues corresponde a la época del año en que los cultivos circundantes a nuestra estación (soja) mantienen una altura aproximadamente constante, con lo cual se tiene mayor certeza respecto de la constancia de la longitud de rugosidad. Tal como se esperaba, la correlación mejoró en este análisis reducido y la constante hallada se aproximó más a la teórica. Los resultados obtenidos en este caso se resumen a continuación:

$$\begin{aligned} \hat{\alpha} &= 1.6523 \\ \hat{\rho} &= 0.9436 \end{aligned} \quad (7)$$

CORRELACION ENTRE LOS DATOS DEL GEA Y LOS PROVENIENTES DEL SMN

Con el objeto de correlacionar los datos adquiridos por instrumental del GEA con los de la red sinóptica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se propone establecer una correlación entre los valores de velocidad de viento a 20 m de altura obtenidos en la estación anemométrica del GEA y los correspondientes de la Estación Meteorológica del Aeropuerto de Las Higueras, en la mismas fechas y horas. Como los datos de viento de la red sinóptica se miden a los 10 m sobre el terreno, la correlación deberá tener en cuenta la relación citada en el punto anterior, por lo que los datos deberán ser corregidos por el factor usado anteriormente. Si se define:

V_i : velocidad del viento en Las Higueras a 10 m de altura sobre el terreno en el instante $i = 1, \dots, N$

El modelo propuesto es:

$$Y_i = p_1(\gamma V_i) + p_0 \quad (8)$$

donde:

$$\gamma = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0^*}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0^*}\right)} \quad (9)$$

Los coeficientes p_1 y p_0 se estimarán con la correlación y el coeficiente z_0^* es la longitud de rugosidad de la superficie para el lugar donde está ubicado el anemómetro en la estación meteorológica. Se consideró el valor que corresponde a zonas suburbanas.

La obtención de una buena correlación entre las mediciones realizadas en la ubicación exacta de la central y las mediciones estandarizadas de una estación sinóptica cercana permitiría en el futuro realizar la evaluación del recurso eólico en otros puntos geográficos en base a series más cortas de observaciones, ya que una vez obtenidos los coeficientes de la regresión con un nivel adecuado de significación, los valores de velocidad de viento podrían extrapolarse hacia atrás en base a las series más largas disponibles en el SMN.

Para esta parte del trabajo se decidió considerar los datos de velocidad de viento comprendidos en el intervalo [1-4-2000, 1-4-2001]. También se consideró un período completo de un año para tener en cuenta los factores estacionales que influyen en la velocidad del viento. Los datos proporcionados por el SMN para esta parte del trabajo presentan tres características que deben mencionarse: 1) La frecuencia de muestreo es diferente a la de nuestra serie. En el caso de los datos del SMN los datos de velocidad de viento se registran cada hora, mientras que, como se dijo en nuestro caso, se toman cada 10 minutos. 2) En el conjunto considerado se observaban registros faltantes. Por estos dos motivos, para la estimación de los parámetros de la correlación debió establecerse el subconjunto de instantes en los que se tenía información conjunta de las dos fuentes, y ese subconjunto constituyó finalmente nuestra muestra. 3) En tercer lugar, el anemómetro del GEA no discrimina las velocidades menores a 0.6 m/seg (2.16 km/h), mientras que el del SMN sí lo hace. De modo que para evitar distorsiones en la correlación, los datos que caían en este rango fueron descartados.

La figura 2 muestra la nube de puntos obtenidos, considerando en el eje de las ordenadas la velocidad en la estación del GEA y en el eje de las abscisas la velocidad correspondiente al mismo instante en la estación del SMN.

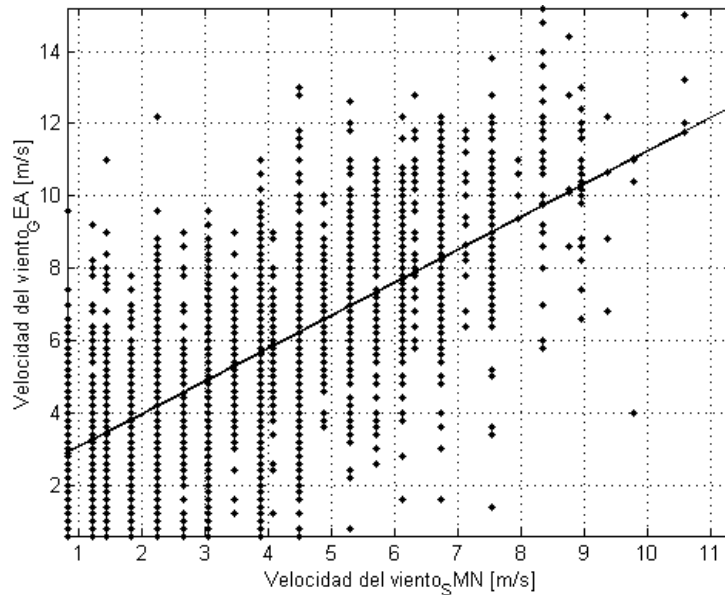


Figura 2. Correlación entre los datos del GEA y el SMN

Los estimadores obtenidos para los parámetros fueron:

$$\begin{aligned} \hat{p}_0 &= 2.1655 \\ \hat{p}_1 &= 0.9083 \end{aligned} \tag{10}$$

de modo que el modelo resulta:

$$\hat{Y}_i = \hat{p}_1(\gamma V_i) + \hat{p}_0 = 0.9083(\gamma V_i) + 2.1655 \tag{11}$$

donde para $z=10$ m, $z_r=20$ y $z^*_0=1.5$ (correspondiente a zonas suburbanas) resulta:

$$\gamma = \frac{\ln\left(\frac{z}{z^*_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z^*_0}\right)} = \frac{\ln(10/1.5)}{\ln(20/1.5)} = 0.7324 \tag{12}$$

El coeficiente de correlación obtenido es $\rho = 0.6942$. Este valor relativamente bajo del coeficiente de correlación nos llevó a profundizar el análisis. Este se complica pues las distribuciones de las variables involucradas no son normales (Fernández et al., 2001). Como dada la cantidad de datos la figura plana no proporciona una idea de las ocurrencias repetidas de puntos en la nube de la Figura 2, se realizó un histograma de los datos de tres dimensiones. Este mostró que si bien existe una mayor concentración de ocurrencias sobre la recta ajustada por cuadrados mínimos, sin embargo la dispersión alrededor de la misma es muy grande. Por otra parte, si consideramos este análisis como una regresión de los datos del GEA sobre los del SMN, un

test de Fisher indica una mejor adecuación del modelo lineal frente a un modelo constante y también frente a modelos polinomiales de mayor orden. Sin embargo el test de Lilliefors sobre los residuos, indica que estos no están distribuidos normalmente. De lo contradictorio de los resultados concluimos que no podemos considerar que exista una buena correlación lineal entre ambos conjuntos de datos. Quedaría para un estudio ulterior la búsqueda de transformaciones que aplicadas a las variables, resulten en modelos linealizables que pudieren ser ajustados.

CONCLUSIONES

Los resultados permiten concluir que el coeficiente que relaciona las velocidades a diferentes alturas puede obtenerse utilizando los valores estándares de la longitud de rugosidad del terreno. Esto nos permitiría utilizar para una primera evaluación del recurso eólico en las estaciones ya instaladas los datos del viento a 2m de altura sobre el terreno. Considerando la longitud de rugosidad correspondiente a la superficie en el lugar de ubicación de las estaciones y teniendo en cuenta la altura de los cultivos circundantes según la época del año, podrían estimarse la potencia y energía contenidas en el viento capaces de ser utilizadas por un aerogenerador ubicado en una torre de mayor altura.

En cambio, la serie de datos de velocidad de viento de la estación meteorológica vecina, aún cuando ésta dista del lugar de instalación del generador en alrededor de 1km, no sería adecuada para ser utilizada como una primera aproximación para la estimación de la potencia y energía contenidas en el viento. En consecuencia inevitablemente previo a la instalación de un aerogenerador en un punto geográfico, deben obtenerse mediciones de la velocidad del viento en el lugar, preferiblemente a la altura de la posible instalación del eje del generador.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se utilizaron datos provistos por el Centro de Información Meteorológica dependiente del Servicio Meteorológico Nacional. Se agradece la colaboración proporcionada por R. Leidhold, D. Zárate, A. Fernández en la preparación de los datos y a E. Moschetti y S. Ferraro por la orientación y la bibliografía facilitadas.

APENDICE

<i>Specifications: NOMAD</i>	
Power Requirements	
Internal Power	
Minimum battery voltage:	1 to 2 9-Volt batteries
External Power	
Voltage:	5.5 VDC
Current:	11 to 24 VDC or 10 to 15 VAC 50mA max
Power Consumption	
Quiescent:	100uA
Maximum active:	40mA
Typical average:	350uA
Time keeping	
Time Base:	±1 minute/month. Automatic leap year correction
Display	2 x 24 alphanumeric LCD, temperature compensated, with manual contrast control
Serial Port	
Connector:	9 Pin D-Subminiature. Baud rate can be set to 300, 1200, 2400, or 9600 bps
Inputs	
Anemometers/Counters	
Number:	3
Type:	Low level AC sine wave or 0 to 15-30 V square wave
Bandwidth:	0-1,000 Hz (AC sine wave), 0-2,048 Hz (square wave)
Vane/Analog Inputs	
Number:	4
Vane Type:	1K to 100 KW pot. Potentiometer dead band compensated
Analog:	0 < V(in) < 2.5 VDC. All inputs low pass filtered
Sampling	
	All inputs sampled at 1 Hz

Tabla 1: Especificaciones del equipo utilizado para la recolección de datos.

REFERENCIAS

- Asociación Danesa de la Industria Eólica. Manual de Referencia. www.windpower.org.
 Fernández, A., Zárate, D. y García, G.(2001). Evaluación del recurso eólico en Río Cuarto, ASADES. Energía Eólica, pp. 603-608.
 Hahn, G, Shapiro S. (1967). Statistical Models in Engineering, pp. 220-223, John Wiley & Sons Inc., New York.
 Rohatgi J. S. y Nelson V. (1994). Wind Characteristics - An Analysis for the Generation of Wind Power, pp. 1-74, Alternative Energy Institute, Texas -USA.

Rosenberg, N., Blad, B. and Verma, S. (1983). Microclimate - The biological environment, pp. 135-148, 2ªedición, Wiley Interscience, USA.

ABSTRACT: First, the validation of known formulae that relate wind speed between 2 and 20 m above the surface is presented. This validation is accomplished by comparison with the results of least squares fitting of a linear model. The purpose is to evaluate the use of available data series of wind speed at 2m, for a rough estimation of wind resource in several sites in the South of the province of Córdoba, to be used by stand alone wind generators. Secondly, it is analyzed the correlation between wind speed data obtained in our station and the closest synoptic station of the National Meteorological Survey and it is concluded that a linear correlation cannot be found.

Keywords: wind energy, wind data, wind power.