

ANÁLISIS DE ENERGÍA EÓLICA Y DE RANGO REESCALADO PARA “EL AMAGO” EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS

Jorge A. Follari¹, Ronio Guaycochea, Daniel Nazario, Luis A. Odicino
Proyecto Mapa Eólico de la Provincia de San Luis PROIPRO 51507
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales - Universidad Nacional de San Luis
Chacabuco y Pedernera C.P. 5700 – San Luis
Tel. 02652-423917 – Fax 02652-430224 e-mail: follari@unsl.edu.ar - odicino@unsl.edu.ar

RESUMEN: Se determina el recurso eólico existente para la localidad de El Amago (32° 33' (S) y 66° 3' (O)). Se encuentra la velocidad media para cuatro horas del día y que coinciden con las determinaciones del SMN. Se determina el recurso eólico con una estadística de weibull. Se realiza un análisis de rango reescalado para determinar el coeficiente de Hurst. Este permite conocer el grado de correlación existente entre un valor particular y los subsiguientes, permitiendo así determinar el valor de la acumulación de energía necesaria en sistemas aislados. Se determina que existe un grado de correlación importante, entre $H = 0.70$ y $H = 0.74$. Para la determinación de existencia de ciclos se debe contar con una base de datos más extensa que se está elaborando.

Palabras claves: Energía eólica, Hurst, Análisis Reescalado, Energía

INTRODUCCION

La energía eólica disponible en determinada localidad debe ser relevada durante al menos 10 años para tener datos estadísticamente confiables, No obstante pueden sacarse conclusiones preliminares y confiables con una base de datos de un año o menos y que este incluye al menos un periodo característico. En este caso nuestra base de datos es de 150 días y a los cuales le aplicamos la estadística básica conocida para la evaluación del recurso y adicionamos una estadística que está siendo usada con éxito en distintos campos del saber y que fue especialmente aplicada al régimen de caudal de agua para un río determinado. Esta estadística conocida como de Rango Reescalado permite determinar un coeficiente (de Hurst) que es indicativo de la correlación existente entre un dato en particular y los siguientes, y con la suficiente cantidad de datos permite determinar la existencia de ciclos de ocurrencia. Esto último es importante para el dimensionamiento de un acumulador de energía.

De acuerdo a la ley de Betz la energía extraíble del viento depende de la relación entre la velocidad del viento antes del generador y la posterior al generador teniendo un máximo en 0,59 de la energía inicial.

Si llamamos v_1 velocidad del viento antes del generador y v_2 la posterior al generador la ley de betz conduce a que la potencia extraída P es de la forma:

$$P = \frac{1}{2} \rho (v_1^3 - v_2^3) (v_1 + v_2) F \quad (1)$$

Aquí p es la potencia, ρ es la densidad del aire y F el área barrida por las palas del aerogenerador

Si asumimos que la energía total que transporta el viento antes del generador es de:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho v_1^3 F \quad (2)$$

Aquí P_0 es la potencia total que se puede extraer del viento. Concluimos que:

$$P/P_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3 \right] \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \quad (3)$$

Es la fracción de energía aprovechable del viento esta función tiene un máximo, que se puede encontrar analíticamente pero es claramente visible en la grafica 1. El máximo valor extraíble del viento es de 0,59 o bien 16/27.

¹ Director de Proyecto “Mapa Eolico de la Provincia de San Luis”

Luego conociendo la velocidad del viento podemos calcular la fracción máxima de potencia eólica extraíble, derivando la ecuación anterior respecto de (V_2/V_1) y encontrando el máximo de la función obtenida. Esta función se muestra en la Figura 1.

La energía eólica es altamente estocástica por lo que los tratamientos estadísticos le son aplicables especialmente. Son valiosos desde este punto de vista, el conocimiento de los valores medios esperables para una localidad, como así también la estadística sobre sus periodos de calma, pues ésta determina el porcentaje de utilización del recurso. Respecto a este último concepto es que aplicamos aquí una nueva estadística que está siendo usada en especial en series temporales como las que nos ocupa.

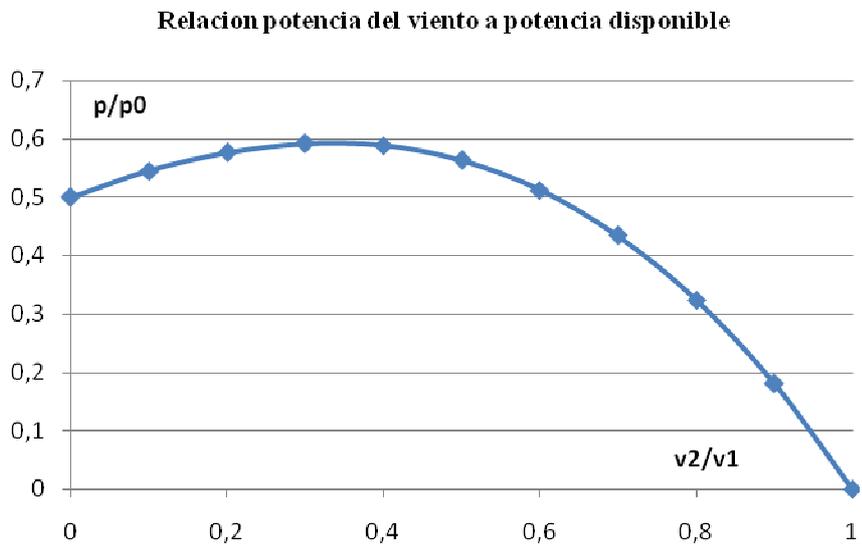


Figura 1. Se indica la relación entre potencia eólica total y potencia eólica disponible luego de la aplicación de la ley de Betz.

Para lograr este cometido aplicamos el método de estadística conocido como Análisis de Rango Reescalado (R/S). Este es un método utilizado para evaluar la ocurrencia de eventos, en particular los pocos comunes, es también conocido como estadística de Hurst.

ESTADISTICA DE HURST

Hurst era constructor de presas en los inicios del Siglo XX y por un tiempo trabajó en el proyecto de la presa del río Nilo. En el momento del diseño de la presa se le presentó un problema interesante de hidrológica: determinar la capacidad de almacenamiento dependiente del flujo que entra al río proveniente de diferentes elementos como lluvias y riachuelos y un flujo controlado de salida del río utilizado primordialmente en el riego. Con anterioridad, muchos hidrólogos habían supuesto este comportamiento como un proceso aleatorio, una suposición razonable cuando se trabaja en un ecosistema complejo. Sin embargo, a Hurst no le pareció que se explicara de forma tan fácil este comportamiento. Estudió los registros históricos (de 622 D.C. a 1469 D.C.) que mantenían los egipcios y observó que en el proceso, había flujos mas grandes que el promedio seguidos por sobre flujos todavía mas grandes. Inesperadamente el proceso cambiaba a flujos menores que el promedio y eran seguidos por flujos todavía menores que los anteriores.

Parecían ciclos, pero cuya longitud no era periódica. Un análisis estándar revelaba la no existencia de correlación estadísticamente significativa entre las observaciones, por lo que Hurst se propuso desarrollar su propia metodología.

Por otra parte Hurst estaba enterado del trabajo de Einstein sobre el movimiento browniano. Este ultimo había encontrado que la distancia que cubre una partícula errática suspendida en un fluido se incrementa con la raíz cuadrada del número de colisiones que esta sufre y por consiguiente se puede poner en función del tiempo que esta partícula está en esa situación, luego:

$$R \propto T^{0,5} \tag{4}$$

Esta ecuación es conocida en estadística e implica fundamentalmente que la dispersión de una serie temporal se incrementa con la raíz cuadrada del tiempo. Aplicó estos conceptos de caminos erráticos dependientes del tiempo a la serie temporal que estaba estudiando.

Para aplicar este concepto a series de tiempo que no sean movimientos brownianos, se debería considerar la ecuación en la cual los componentes de las series de tiempo no son independientes. Hurst, al resolver su problema relacionado con la capacidad de la presa encontró la siguiente ecuación, que generaliza la idea anterior (que solo era aplicable a movimientos del tipo brownianos):

$$\left(\frac{R}{S}\right) = C \left(\frac{n}{2}\right)^H \quad (5)$$

Con R/S Rango Reescalado n , indicador del valor de la serie temporal (posteriormente figura como τ), H coeficiente de Hurst. y C una constante de proporcionalidad.

Es posible conocer este coeficiente si se conoce (R/S) y se presenta la ecuación de la siguiente manera:

$$\ln\left(\frac{R}{S}\right) = \ln(C) + H \cdot \ln\left(\frac{n}{2}\right) \quad (6)$$

Luego con una regresión lineal es posible conocer el exponente H.

Si $H = 0.5$ implica un proceso independiente. Tendríamos el equivalente a un movimiento browniano puro. Es importante notar que un análisis (R/S) no requiere que el proceso subyacente se distribuya normalmente, solo independiente.

Si $0.5 < H < 1.0$ implica series de tiempo persistentes, En este caso del movimiento browniano, la partícula cubriría una distancia mayor, es decir caracterizadas por efectos de memoria de largo plazo. Teóricamente lo que suceda hoy impactara en el futuro, como por ejemplo, cambios semanales de ahora están correlacionados con los cambios semanales futuros. Además se ha encontrado que las series persistentes son las mas comunes encontradas en la naturaleza.

Si $0.0 < H < 0.5$ significa anti persistencia en la serie de tiempo. Un sistema anti persistente cubre menos distancia que uno aleatorio en el caso de una partícula errática de un movimiento browniano. Para que ocurra debe dar marcha atrás con mayor frecuencia que en un proceso aleatorio.

DATOS y METODOLOGÍA

Los datos provistos son proporcionados por el gobierno de la provincia de San Luis (www.clima.edu.a) estos son públicos y nos permiten determinar que para la localidad de El Amago podemos elaborar la siguiente Tabla 1 la cual resume las estadísticas encontradas para la localidad.

Tabla 1. Valores medio de la velocidad del viento para distintas horas del día.

Hora	Velocidad Media m/s	Error m/s	Dispersión m/s
2	6,4	0,4	2,8
8	6,6	0,4	2,8
16	5,6	0,4	2,8
20	5,7	0,3	2,4

Un análisis de estadística de Weibull, para la localidad y tiene como resultado un parámetro de escala $K = 1.98$ y un parámetro $C = 6,8$ m/s (24,4 km/h)

El análisis de rango reescalado permite, para cada hora del día hacer su propia estadística, las Figuras 2 y 3 indican estas estadísticas para dos horas del día que consideramos representativas: hs. 02:00 y hs. 14:00 (hora local).

Todas tienen una pendiente mayor a 0,5 lo que indica la correlación existente, siendo mayor para las 2:00 hs que para las 14:00 hs. En particular, para la hora 2, se aprecia una compleja estructura en la gráfica de rango reescalado, indicativo de ciclos de correlación cuyas frecuencias, para ser establecidas, necesita de una mayor cantidad de datos.

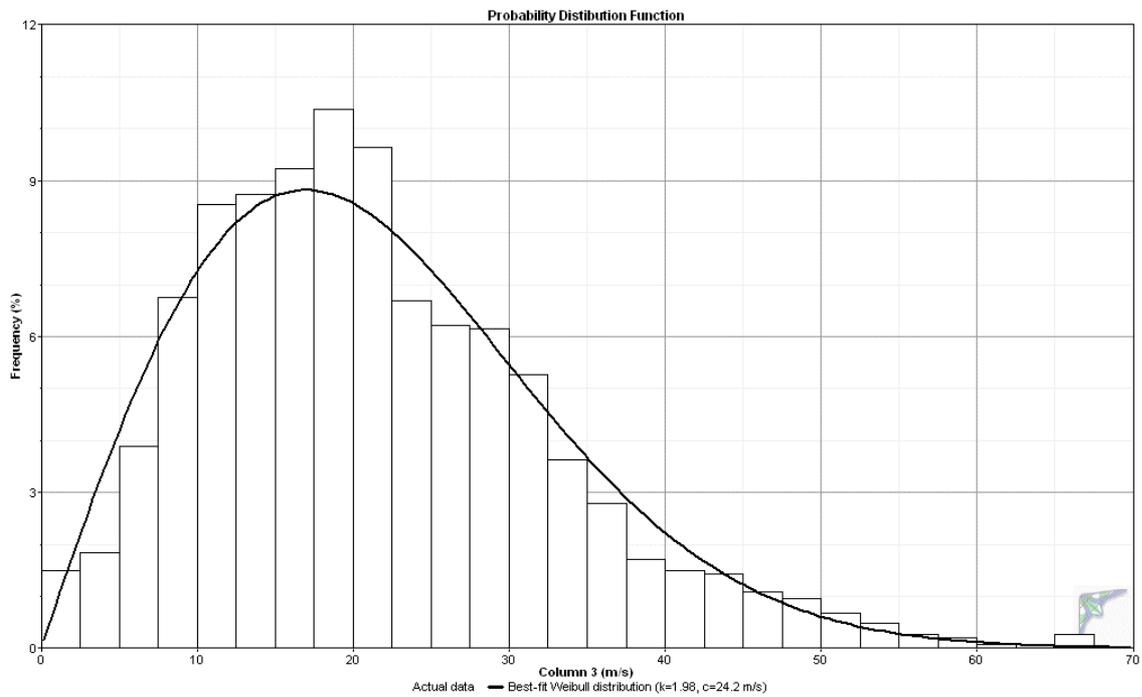


Figura 2: Distribución de frecuencia de viento para todo horario y envoltente correspondiente a la función de distribución de Weibull. $K = 1.98$ y $C = 6.8$ m/s (24.4 Km/h)

Análisis de R/S para las Variaciones de vientos a las 14:00 Hs

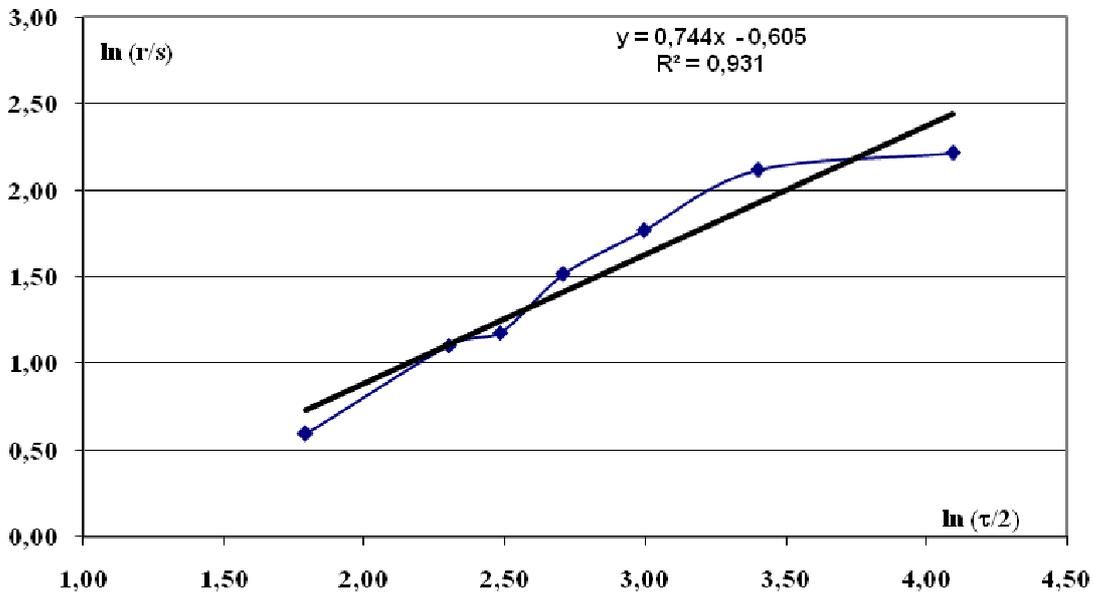


Figura 3: Análisis de Rango reescalado para velocidades de viento medido a las 14 hs local. La pendiente indica que para esta hora la correlación es importante. En esta figura τ indica el período de tiempo donde se espera correlación y C la ordenada al origen

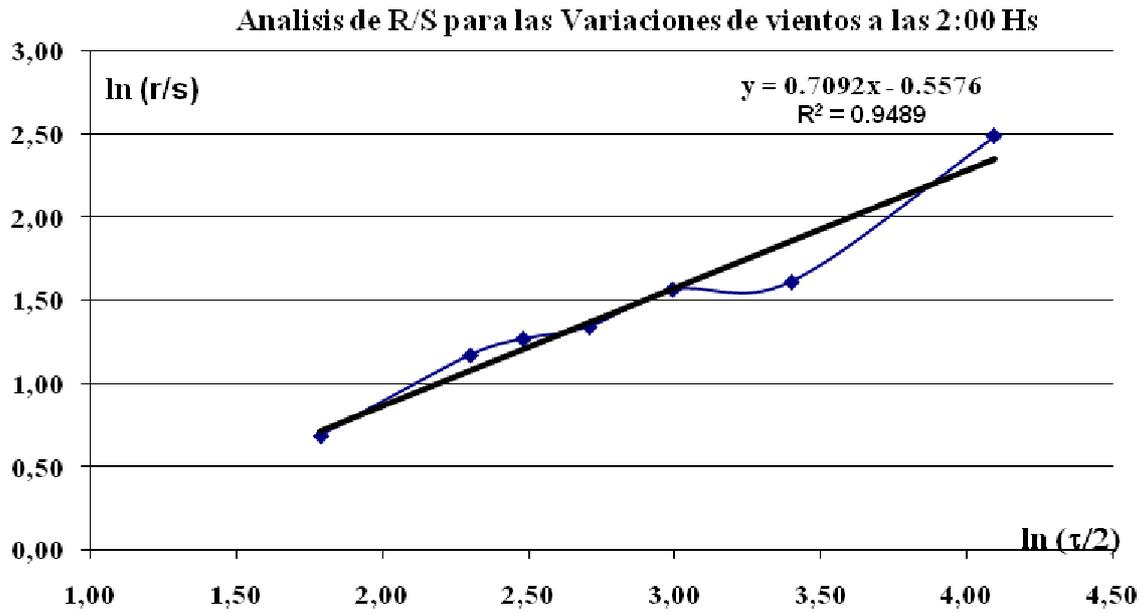


Figura 4 Análisis de Rango reescalado para velocidades de viento medido a las 02:00 (hora local). La pendiente indica que para esta hora, la correlación es levemente inferior que para las 14 hs. En esta figura τ indica el período de tiempo donde se espera correlación y C la ordenada al origen

CONCLUSIONES

La energía eólica disponible en la localidad se ubica dentro de los valores esperados para toda la provincia de San Luis. Esto es, alrededor de 130 W/m² promedio anual para un anemómetro puesto a 10 m de altura.

El análisis estadístico de rango reescalado permite suponer la existencia de ciclos no periódicos que se ubican alrededor de 2 a 4 días y ciclos con periodos más prolongados que se asocian a variaciones estacionales.

La determinación de los ciclos que aparecen como posibles podrá realizarse con mayor cantidad de datos, por ser regiones de nuevos monitoreos; esta es la tarea a continuar.

REFERENCIAS

Sierra Juarez, Guillermo.(2007) Proceso Hurst y movimiento Browniano Fraccional el Mercado Fractal: Valuación y Aplicaciones a los Derivados y Finanzas. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Trabajo de tesis. Comunicación interna.

J. Follari, A. D. Perelló y L. A. Odicino (1999) Parque Eólico para la Provincia de San Luis. Avance de Energía Solar y Medio Ambiente. Tucumán.

L. Odicino, A. Fasulo, G. Barbenza y M. Torres (1993). El recurso Eólico en la Provincia de San Luis. Actas de la reunión de ASADES (16 ta. Reunión) La Plata. Vol. I, pág. 701 a 708.

ABSTRACT We determine the wind energy present for the location El Amago (32° 33' S ; 66° 3' W). The average velocity for daily 4 hours is measured in coincidence with SMN specifications. The wind energy are determined with Weibull statistic. An analysis of re-scaled ranking is performed to determine the hurst coefficient; this allows for knowledge of the correlation degree between a particular value and the subsequents ones, thus permitting to establish the value of accumulated energy necessary for isolated systems. It is found out that the degree of correlation is important, between H = 0.70 and 0.74. To determine the existence of cycles, a wider data base is necessary, wich we are elaborating.

Key Words: Wind Energy, Hurst, Re-scaled analysis, Energy