

## LAGO MARI MENUCO. PARTE I: CARACTERIZACION DEL RECURSO EOLICO.

Claudia PALESE y Jorge Luis LASSIG

Fac. Ingeniería - Univ.Nac.del Comahue  
Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén  
palese@uncoma.edu.ar

### RESUMEN

Este trabajo describe los resultados obtenidos a partir de un año de mediciones de velocidad y dirección del viento a un sólo nivel (4 m de altura) a 100 m aguas adentro del lago artificial Mari Menuco (Complejo Cerros Colorados), como una primera evaluación de la potencia eólica y el régimen de viento en los perilagos de la región. Dicha campaña de observaciones resulta como consecuencia de la falta de información meteorológica de la zona de interés. Se realiza un análisis estadístico a los datos, se determina la función de densidad de probabilidad y además se cuantifica la rafagosidad.

### INTRODUCCION

La Patagonia se caracteriza por ser un lugar de gran potencial eólico, pero la energía disponible está asociada a la alta rafagosidad en sus vientos, poniendo un límite a su aprovechamiento debido a la tecnología de las máquinas conversoras o aerogeneradores [1].

La existencia de grandes lagos naturales y artificiales en la Región del Comahue, hace sospechar que los vientos que atraviesan esos espejos de agua deberían tener una componente menor de rafagosidad, al menos en la parte baja de la capa límite atmosférica, donde la rugosidad del terreno juega un rol importante, haciendo posible la utilización de aerogeneradores de poca/mediana potencia, de tecnología disponible. A este fin, el presente trabajo, es un primer intento por cuantificar este efecto.

### DESCRIPCION DEL LUGAR, INSTRUMENTAL Y DATOS

El lago está rodeado por bardas (escalón de la meseta), habiendo una diferencia de altura entre el nivel del lago y el de la barda de unos 50 m aproximadamente. La zona se encuentra a 400 km al este de la Cordillera de los Andes, en la típica meseta norpatagónica, en la provincia del Neuquén.

En sus orillas se encuentran emplazados 7 clubes, dentro de uno de estos, en uno de sus muelles de 100 m de longitud, se instaló en su extremo una estación meteorológica automática (38° 32' 24,4" S, 68° 33' 27,5" W, 454 m snm). Los sensores se hallan instalados a 4 m de altura (debido a las disponibilidades físicas), habiendo algunas fluctuaciones debidas a los cambios de nivel del embalse.

Se tomaron mediciones entre otros parámetros meteorológicos de velocidad y dirección del viento cada 15 minutos, registrando la velocidad media, la velocidad máxima y la dirección del viento del intervalo de medición. El período está comprendido entre JULIO/96 y JUNIO/97, es decir, un año con algunos días faltantes.

El anemómetro utilizado es un instrumento mecánico-electrónico cuya sensibilidad es de 0,4 m/s para la intensidad del viento (medido con copelas) y de un grado para la dirección (medida con veleta) pero registrada cada 22,5° (16 rumbos).

### METODOLOGIA

La información necesaria para caracterizar el recurso eólico está basada en el análisis de datos observacionales recogidos de la zona de interés. La distribución de frecuencias de la velocidad media del viento observada a 4 m de altura para el período anual se muestra en la figura 1. También se incluye en dicha figura la distribución de frecuencias teórica o función de densidad de probabilidad Weibull II [2, 3]

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

donde  $v$  es la velocidad media del viento,  $k$  es el factor de forma y  $c$  es el parámetro de escala. Esta distribución

biparamétrica fue ampliamente usada para describir datos de viento en diferentes lugares de la Patagonia [4]. Los parámetros  $k$  y  $c$  que se presentan en la figura 1 fueron calculados mediante el minimizado del error cuadrado medio entre la función de distribución acumulada teórica (ecuación 2) y la correspondiente a las frecuencias observadas [5].

$$F(v) = P(v \leq V_x) = \int_0^{v_x} f(v) dv = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v_x}{c}\right)^k\right] \quad (2)$$

Para ello la ecuación 2 se transforma a la forma lineal

$$Y_i = a + b X_i \quad (3)$$

siendo

$$X_i = \ln v_i \quad (4)$$

donde  $v_i$  es la marca de clase de los intervalos seleccionados

$$Y_i = \ln[-\ln(1 - P_i)] \quad (5)$$

Los coeficientes  $a$  y  $b$  se pueden obtener por cuadrados mínimos y los parámetros de Weibull obtenerse a partir de

$$c = \exp\left(-\frac{a}{b}\right) \quad (6)$$

$$k = \frac{1}{b} \quad (7)$$

En el caso de estudio se tomaron para el cómputo de los parámetros de la recta valores de velocidad mayores a 0,9 m/s, puesto que debido a la sensibilidad del instrumental los valores correspondientes a velocidades inferiores a la citada se encuentran sobreestimadas, por lo que no es conveniente tenerlas en cuenta. Por otra parte los valores mayores que 18,0 m/s tampoco fueron utilizados para el cálculo de la recta puesto que presentan muy baja frecuencia.

El conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de cada velocidad del viento en el lugar de estudio, es uno de los elementos fundamentales en el cálculo de la disponibilidad del recurso eólico. La potencia meteorológica disponible es equivalente al flujo de energía cinética de la masa de aire en movimiento a través de una superficie perpendicular a ésta. Esto es

$$Pot = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} f(v) v^3 dv \quad (8)$$

donde  $Pot$  es la potencia meteorológica disponible por área y  $\rho$  es la densidad media del aire del lugar.

Con el objetivo de caracterizar el régimen general del patrón de vientos también se construyó la distribución de frecuencias acumuladas normalizadas, en la que a cada intensidad del viento se la dividió por el promedio anual; la rosa de los vientos de frecuencias y la correspondiente a las intensidades.

Por otra parte la respuesta dinámica de una estructura ingenieril, cualquiera sea ésta, a las componentes fluctuantes del viento, particularmente en las frecuencias en que se presenta resonancia en las mismas, es más importante que el efecto cuasi estático del valor de la ráfaga máxima, que siempre se toma como un valor de diseño de referencia. Debido a que las observaciones meteorológicas convencionales no tienen la resolución temporal necesaria para estimar la rafagosidad en períodos cortos, es necesario establecer una relación entre la velocidad media del viento en un período largo  $T$  y la máxima velocidad media del viento en subperíodos más cortos  $\delta t$  de interés para los cálculos de diseño. Por ello se utiliza el factor de ráfaga definido como [6]

$$G(\delta t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\langle v \rangle_{\delta t}}{\langle v \rangle_T} \quad (9)$$

donde  $\langle \rangle$  es el operador de promedio temporal,  $\delta t$  y  $T$  son los intervalos de promediado y  $N$  es la cantidad de datos. En la figura 6 se ha insertado el valor teórico encontrado por Cook para  $G$  como una función de  $\delta t$  para  $T = 1$  hora, longitud de rugosidad  $z_0 = 0,003$  m y una altura sobre el suelo  $z = 10$  m. [7]

## RESULTADOS

El promedio anual de velocidad del viento fue de 3,4 m/s. La mínima velocidad media mensual ocurrió con 1,8 m/s (Junio/96) mientras que el máximo fue de 4,3 m/s (Febrero/97), dado que se está analizando un año en particular existen diferencias en cuanto al momento de ocurrencia de estos mínimos y máximos, que contando con un período más largo de información, por ejemplo 30 años incluido en las estadísticas meteorológicas [8, 9, 10], se tendría que dichos extremos se presentan en Julio y Diciembre respectivamente. Del análisis mensual se observa que solamente en Febrero se sobrepasa la velocidad de 18,0 m/s aunque su frecuencia es baja. La figura 1 muestra las frecuencias observadas, construida con intervalos de clase de 0,9 m/s, en donde la moda se ubica en el intervalo de velocidades que están entre 1,0 y 1,8 m/s, valor que difiere de la media. Para el cálculo de la distribución teórica de Weibull II se utilizaron  $N = 27224$  datos (igual al total de la serie menos las calmas).

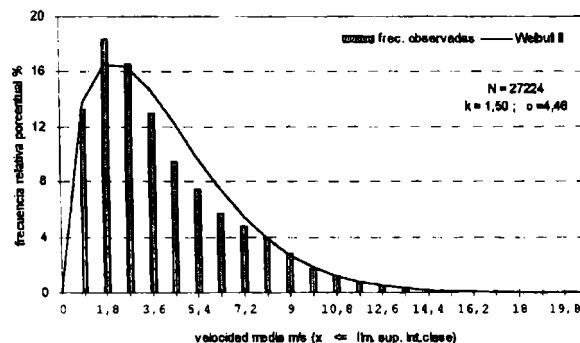


Figura 1: distribución de frecuencias relativas porcentuales de la velocidad media del viento a 4 m de altura y distribución teórica de Weibull II junto con sus parámetros  $c$  de escala y  $k$  de forma.

Los valores calculados de  $k$  y  $c$  para la distribución de frecuencias anual fueron de  $c = 1,50$  m/s y  $k = 4,46$ . Cuando se realiza el cómputo mensual estos parámetros varían entre  $1,22$  m/s  $\leq c \leq 1,98$  m/s y  $3,01 \leq k \leq 5,83$ .

La figura 2 representa la potencia meteorológica anual calculada mediante la ecuación 8, en función de los intervalos de clase seleccionados en la figura 1. Se aprecia que la mayor potencia disponible se encuentra entre los intervalos que van de 8,1 a 9,9 m/s. La potencia media anual calculada para esta zona es de 445 Watt/m<sup>2</sup>, para el período estudiado.

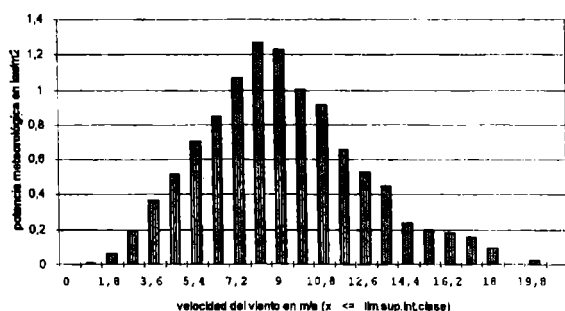


Figura 2: distribución de la Pot meteorológica anual disponible en función de la intensidad del viento.

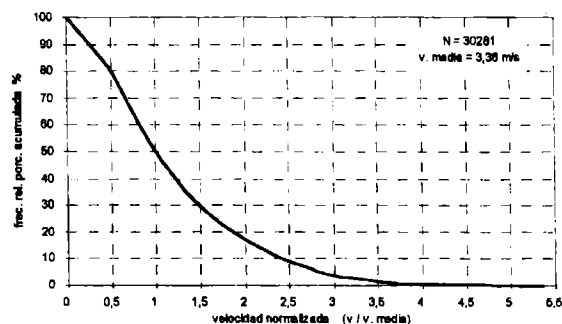


Figura 3: frecuencias acumuladas normalizadas, también llamada curva de duración.

La figura 3 presenta las frecuencia porcentuales acumuladas normalizadas. En ella se aprecia que el 50% de las horas la velocidad del viento corresponde al valor del promedio anual (3,4 m/s), mientras que el 30 % de las veces la velocidad del viento supera el límite de confort eólico de 5 m/s.

La distribución de frecuencias relativas porcentuales anuales de la dirección del viento registradas en la Villa Mari Menuco se presenta en la figura 4 en la que se aprecia que la dirección más frecuente es el oeste, siendo también la de mayor intensidad asociada con 6 m/s de promedio (figura 5).

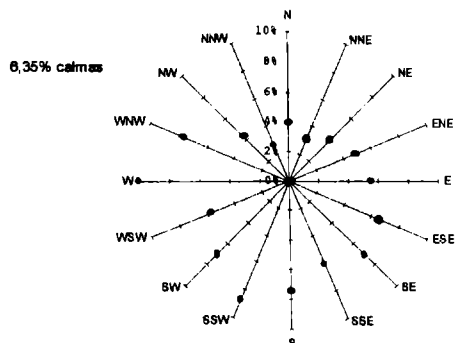


Figura 4: rosa de los vientos de frecuencias porcentuales.

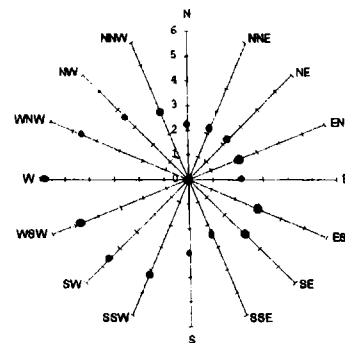


Figura 5: rosa de los vientos de intensidades expresadas en m/s.

Las frecuencias del oeste-noroeste y del noroeste presentan sus máximos durante el otoño y el invierno, mientras que las frecuencias del sudoeste y del oeste-sudoeste se incrementan durante la primavera y el verano. Este patrón de comportamiento es el observado en la región patagónica [11].

En la figura 6 se aprecia que el factor de ráfaga  $G$  calculado para el lugar de estudio y distintos  $\delta t$  resultan en algunos puntos un poco superior al teórico encontrado por Cook pero son inferiores a los calculados en Pampa del Castillo (Chubut) [11] lo que indicaría que la zona de interés resulta menos rafagosa, y esto se debe a las distintas condiciones de rugosidad del terreno.

## CONCLUSIONES

La meseta patagónica es una de las regiones del planeta con más posibilidades de producción de energía eólica debido al régimen de vientos que la caracteriza. En su zona noroeste, existen grandes lagos artificiales, producto de los aprovechamientos hidroeléctricos. El trabajo aquí desarrollado permite estimar la potencia meteorológica disponible, como así también caracterizar el régimen de vientos y su rafagosidad.

Las distribuciones de frecuencias de la velocidad media del viento y de su dirección observadas se ajustan bien a los valores climatológicos disponibles para estaciones meteorológicas cercanas al lugar de estudio.

La velocidad media anual para el período comprendido entre JULIO/96 a JUNIO/97 fue de 3,4 m/s con dirección predominante del oeste. Las direcciones entre el oeste y el suroeste resultaron las más intensas en promedio, con un valor máximo de 6 m/s para el oeste.

Las estaciones del año más ventosas resultaron la primavera y el verano con 3,9 m/s. Estos bajos valores de velocidad media del viento se debe a que las mediciones corresponden a una altura de 4 m, actualmente se está realizando mediciones tendientes a establecer la estructura de la capa límite atmosférica para poder establecer los valores de velocidad media a un nivel superior a los 50 m de altura.

El estudio del factor de ráfaga da como resultado valores bastante parecidos a los teóricos encontrados por Cook y menores a los medidos en la meseta Patagónica, confirmando la hipótesis asumida. Otro factor importante es la continuidad del viento, aunque débil pero suficiente para mantener encendido un aerogenerador. Esto se debe en parte a la existencia de un débil efecto de "brisa de lago" [12].

**AGRADECIMIENTOS.** Este trabajo se realizó con subsidios de la Universidad Nacional del Comahue. Los autores agradecemos a las autoridades del Club Deportivo de Caza, Pesca y Náutica Mari Menuco por permitirnos instalar la estación meteorológica automática en instalaciones de su Villa.

## REFERENCIAS

- [1] LASSIG J.L., 1995: Importancia de la cuantificación de las ráfagas en los mapas de potencial eólico. *Anales II Congreso Latinoamericano de Generación y Transporte de Energía Eléctrica*. Mar del Plata, Argentina, 1-5.
- [2] HENNESSEY J., 1977: Some aspects of wind power statistics. *J of Applied Meteorology*, **16**, 119-128.
- [3] TULLER S.E. y BRETT A.C., 1984: The characteristics of wind velocity that favor the fitting of a Weibull distribution in wind speed analysis. *J. Clim. Appl. Meteorology*, **23**, 124-134.
- [4] BARROS, V. R., 1983: Evaluación del potencial eólico de la Patagonia. *Meteorológica*, **XII** N° 1 y 2, 473-484.
- [5] JUSTUS C.G., HARGRAVES W.R., MIKHAIL A.S. y GRAVER D., 1977: Methods for estimating the wind speed frequency distributions. *J. Applied Meteorology*, **17**, 673-678.
- [6] KRAYER W.R. y MARSHALL R.D., 1992: Gust factors applied to hurricane winds, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **73**, 613-617.
- [7] COOK N.J., 1985: *The designer's guide to wind loading of building structures*, Part 1, Butterworths, 371 pp.
- [8] SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, ARGENTINA., 1981: *Estadística Climatológica 1961-1970*. B, 35, 188pp.
- [9] —, 1986: *Estadística Climatológica 1971-1980*. B, 36, 169pp.
- [10] —, 1992: *Estadística Climatológica 1981-1990*. B, 37, 750pp.
- [11] LABRAGA J.C., 1994: Extreme winds in the Pampa del Castillo plateau, Patagonia, Argentina, with reference to wind farm settlement. *J. of Applied Meteorology*, **33**, 85-95.
- [12] PALESE C., LASSIG J.L. y TORRES A., 1997: Características del oleaje en el lago Mari Menuco. *Informe Avance Proyecto UNC - FI*.

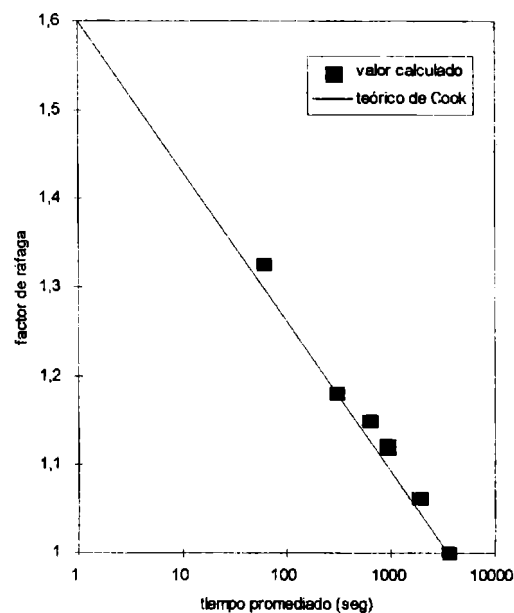


Figura 6: Factor de ráfaga medio  $G$  como una función del intervalo promediado  $\delta t$ .