

## VIENTOS INTENSOS EN LA REGION NORPATAGONICA

Claudia PALESE

Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional del Comahue  
Buenos Aires 1400 (8300), Neuquén, Argentina  
Tel: 54-299-4490322, Fax: 54-299-4422836  
palese@uncoma.edu.ar

### RESUMEN

La Patagonia argentina es una zona con vientos persistentes e intensos gran parte del año. Se analiza el comportamiento del flujo de aire medio en una localidad de la región norpatagónica mediante el análisis muestral de la serie de datos correspondientes a un año. La velocidad media fue de 7.7 m/seg y la dirección más frecuente del sud-sudoeste. En promedio los vientos del sudoeste y oeste-noroeste tienen asociadas las mayores intensidades medias por dirección (10.3 m/seg). Se analizan además los vientos extremos.

### INTRODUCCION

La zona Norpatagónica está expuesta a vientos muy intensos y persistentes a lo largo del año. Prohaska [1], Barros [2] y Labraga [3] han realizado estudios al sur del paralelo de 42 °S. Los episodios de vientos intensos tienen una notable influencia en las actividades económicas y sociales de la región. Las tormentas de viento producen problemas en estructuras y en la generación de energía eólica. Además la baja humedad del aire y la aridez de la zona causan tormentas de polvo asociadas a dichos vientos provocando inconvenientes a la población. Por lo tanto el análisis de una serie de datos de velocidad y dirección del viento es de sumo interés para trabajos de prospección, arquitectura y confort eólicos.

### METODOLOGIA

La descripción de los vientos en una zona de interés se basa en el estudio estadístico de datos observacionales. En la región Norpatagónica, a no ser por la estación meteorológica del aeropuerto de la ciudad de Neuquén, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, no existen datos de viento de períodos prolongados (varios años o décadas).

La estimación y/o medición de sólo un año puede dar una idea del valor medio del viento con un cierto error, Corotis y otros [4] han encontrado que con un nivel de confianza del 90% el valor medio de un año difiere en menos del 10% del valor medio climático. Para el caso de la potencia y con el mismo nivel de confianza la diferencia con el valor medio es menos del 30%. Sin embargo, si estas mediciones se pudieran llevar a más de un año, por ejemplo tres, la información producida podría ser considerada como una buena estimación de los valores medios esperados [5].

Se analizó la velocidad media horaria del viento del período comprendido entre el 20 de febrero de 1995 y el 6 de marzo de 1996, medida con anemómetro convencional (tipo coperola). Dicha serie presenta algunos datos faltantes: 17 al 28 de noviembre/95, 6, 7, 9, 10, 11 de diciembre/95 y del 28 de diciembre/95 al 5 de enero/96. La velocidad se registró cada 0.1 m/s. Los datos fueron provistos por la Provincia (MOP). El lugar de estudio se encuentra ubicado a unos 10 kilómetros al sur de Plaza Huincul (39° 01' S y 69° 14' W) en la provincia de Neuquén, sobre la meseta semiárida, con una altura sobre el nivel del mar superior a los 500 m.

Se realizó el estudio en forma anual y estacional. Para ello se consideraron los meses de enero, febrero y marzo: verano; abril, mayo y junio: otoño; julio, agosto y setiembre: invierno; y octubre, noviembre y diciembre: primavera. Al histograma de la velocidad media del viento observada (representación discreta) se le superpuso la función de densidad de probabilidad Weibull II [6, 7], esta distribución biparamétrica (1) es frecuentemente usada para describir la distribución de intensidad del viento [3, 8 - 11].

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

Donde  $f(v)$  es la frecuencia relativa de la velocidad del viento  $v$ ,  $c$  es el parámetro de escala y  $k$  es el parámetro de forma. Ambos parámetros fueron calculados a través de la distribución acumulada (ojiva) obtenida de los datos observados. Se calculó la función de distribución acumulada mediante la (2) y se la superpuso a la ojiva.

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

El ajuste de la función de densidad de probabilidad a la muestra se realiza mediante la transformación de la (2) a la forma lineal con el uso de logaritmos de la forma:  $x_i = \ln v_i$ ;  $y_i = \ln[-\ln(1 - F_i)]$ , el cálculo de una regresión lineal para la recta  $y_i = a + b x_i$  da los coeficientes  $a$  y  $b$  que se utilizan para estimar los parámetros  $c$  y  $k$  de la siguiente forma:  $c = \exp\left(-\frac{a}{b}\right)$ ;  $k = b$ . Esta metodología se utiliza sobre períodos extensos como es el caso de estudio [10, 12].

La potencia meteorológica disponible por unidad de área se calculó mediante la (3) en donde  $\bar{\rho}$  es la densidad del aire media del lugar. Se presenta la distribución discreta.

$$Pot = 0.5 \bar{\rho} \int_0^{\infty} f(v) v^3 dv \quad (3)$$

El análisis de la dirección del viento cuenta con información desde el 27 de julio al 8 de diciembre/95. La dirección se registró cada 1.5°. Se construyó la rosa de los vientos de frecuencia y la rosa de intensidades con la finalidad de observar el régimen de los vientos en la zona.

Luego de describir el patrón del flujo medio se analizaron los vientos con intensidades superiores a los 16.7 m/seg (60 km/h) y los 22.2 m/seg (80 km/h) seleccionando las respectivas submuestras. Si se define "tormentas de viento" como aquellos períodos en los cuales la velocidad es mayor o igual a los límites mencionados, se relacionaron dichas tormentas con cantidad de horas de duración, velocidad, dirección y época del año.

## RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los valores de la velocidad media horaria promedio mensual y la velocidad media horaria máxima registrada. Se puede apreciar que las intensidades más débiles se dan en el otoño mientras que el máximo en verano. El máximo maximumum de la serie analizada ocurrió el 19 de febrero/96 con 24.6 m/seg (89 km/h) de promedio horario. El valor medio anual asciende a 7.7 m/seg (desv. est. = S = 4.4 m/seg), comparable a los altos valores encontrados en la Patagonia al sur de los 42 °S [3] y menores a los registrados en la ciudad de Neuquén[13].

Tabla 1: velocidad media y máxima mensuales expresadas en m/seg.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Año
Vmed	9.3	8.1	7.3	6.1	5.6	7.5	8	7.2	7.6	8.5	7.9	8.7	7.7
Vmáx	19.6	24.6	22.1	24.3	19.9	24.1	24.5	21.9	21.0	22.6	17.9	23.4	24.6

La distribución de frecuencias relativas de la velocidad media horaria se presenta en la figura 1, la velocidad media y los parámetros  $k$  y  $c$  estacionales están incluidos en la tabla 2. Como se puede apreciar la frecuencia de velocidades medias en el rango de las altas velocidades, por ejemplo de 11.1 m/seg (40 km/h) a 25 m/seg (90 km/h) es considerablemente mayor en verano que en las otras estaciones. En el otoño se observa una concentración de frecuencias para las bajas velocidades, por ejemplo las menores a 5.5 m/seg (20 km/h).

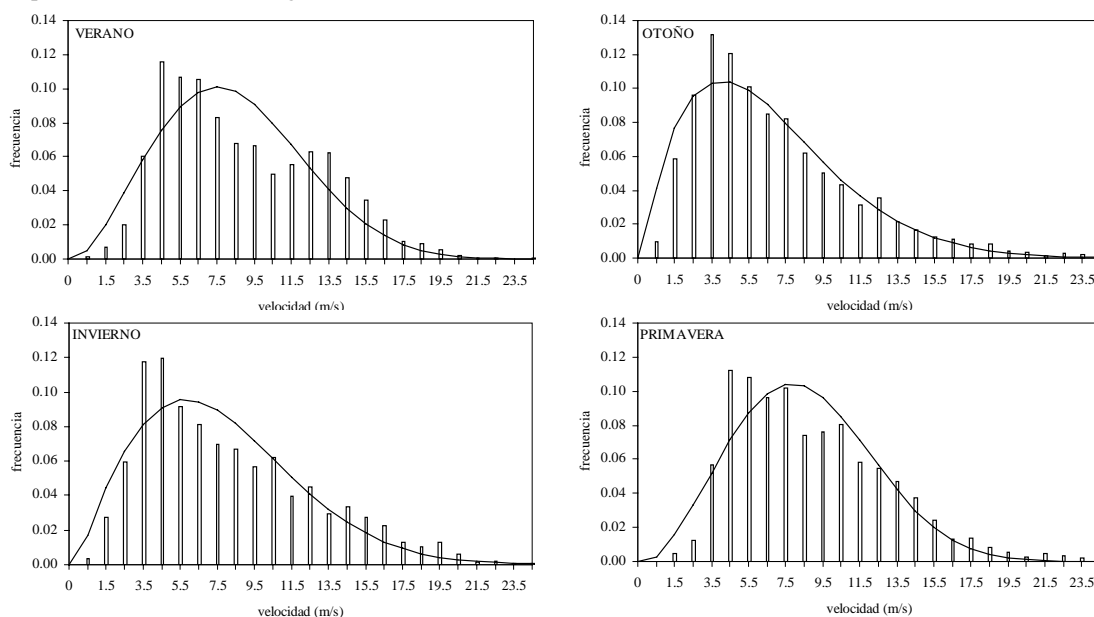


figura 1: distribución de frecuencias estacional de la velocidad media horaria del viento: las barras muestran los datos observados y la línea continua la distribución teórica de Weibull II.

Tabla 2: valores estacionales de la velocidad media horaria (v. med.), la velocidad máxima registrada (v. máx.), el parámetro de escala (c), todos expresados en m/seg; parámetro de forma (k) y cantidad de datos considerados (N).

	V. med.	V. máx.	c	k	N
<b>Verano</b>	8.4	24.6	9.53	2.35	2392
<b>Otoño</b>	6.4	24.3	7.33	1.62	2182
<b>Invierno</b>	7.6	24.5	8.66	1.89	2202
<b>Primavera</b>	8.4	23.4	9.66	2.49	1710

Para un análisis anual se presenta la figura 2 en la que se visualiza la frecuencia relativa acumulada. Para el año analizado el 70% del tiempo ocurrieron vientos superiores a 5.0 m/seg, que constituye el límite del confort eólico [13], además el 20% de los casos superó los 11.1 m/seg, un 3% los 16.7 m/seg (60 km/h) y solamente un 0.3% los 22.2 m/seg (80 km/h). Si tomamos a modo de ejemplo los datos de un aerogenerador del tipo chico (1.6 m de diámetro del rotor) [9], si su velocidad de arranque está en 2.5 m/seg y la velocidad de corte en 18.0 m/seg, un equipo con estas características habría estado trabajando el 90% del año considerado.

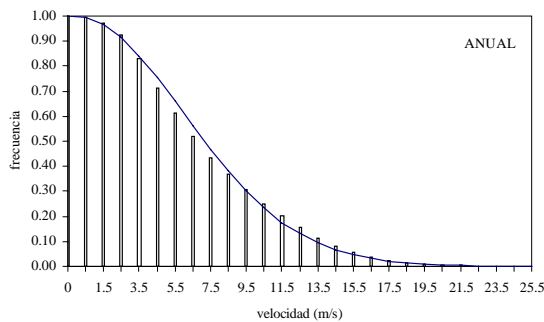


figura 2: distribución de frecuencias acumuladas de la velocidad media horaria del viento: las barras muestran los datos observados y la línea continua la distribución teórica.

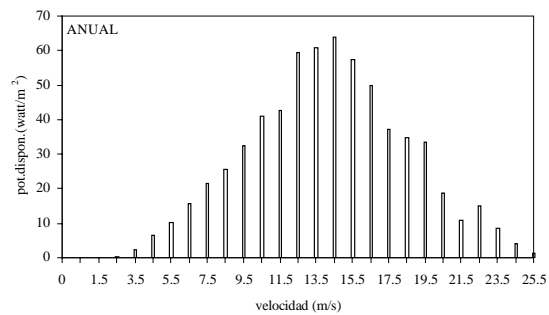


figura 3: distribución de la potencia meteorológica media disponible en función de la velocidad media horaria, para el año considerado.

La figura 3 representa la potencia meteorológica media anual en función de los intervalos de velocidad media seleccionados para las otras representaciones. La mayor potencia disponible las ocasionan las velocidades que están entre 12.5 y 16.5 m/seg. Para el período de estudio el cálculo de la potencia media anual dio un valor de 654 watt/m<sup>2</sup>, comparable a los valores obtenidos para la meseta patagónica central [8]

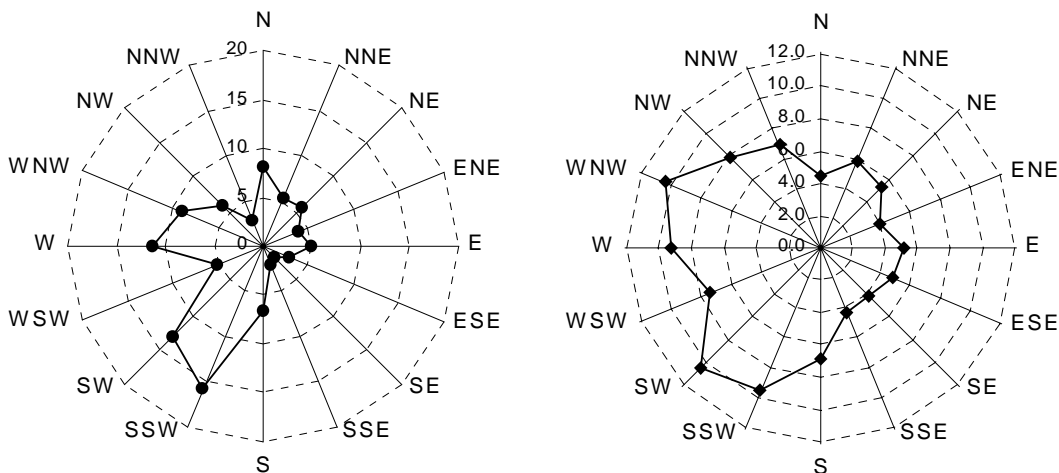


figura 4: a la izquierda rosa de los vientos indicando la frecuencia porcentual de las direcciones. A la derecha rosa de los vientos de intensidades expresadas en m/seg.

Recordando que para un período menor al arriba analizado, comprendido en la definición de invierno y primavera, la dirección del viento más frecuente resultó ser del sur-suroeste, entre ésta y el suroeste suman casi el 30% de los casos. Sin embargo los vientos tienen la misma intensidad media asociada (10.3 m/seg) que los del oeste-noroeste que tiene menor ocurrencia. Los vientos del sector este están asociados a velocidades más débiles inferiores a los 6 m/seg.

La velocidad media del viento para eventos con una velocidad mayor a los 16.7 m/seg es de 18.8 m/seg ( $S = 1.8$  m/seg), correspondientes a 96 horas en total en el año. Si se toma la duración de las tormentas durante las cuales el viento estuvo por encima del valor límite citado, dichas duraciones oscilan entre 1 hora (mínimo período de medición) y 17 horas. Estos valores encontrados están asociados a una alta rafagiosidad [3], constituyendo un problema para los aerogeneradores [14].

Si analizamos los casos en que las tormentas de viento con velocidades mayores a los 16.7 m/seg persistieron por más de una

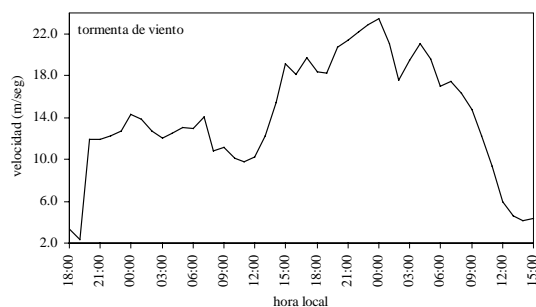


figura 5: comportamiento de la velocidad media durante una tormenta de viento, el eje de abscisas comienza el día 19/dic a las 18 horas y termina el 21/dic/95 a las 15 horas.

hora sin interrupciones, la duración promedio encontrada fue de 4 horas, siendo las más frecuentes las que duran 2 y 3 horas. Los meses de mayor cantidad de tormentas fueron los del invierno, mientras que los que tuvieron eventos con una duración de casi medio día fueron los de SET, OCT y DIC. Del estudio del período en el que hay información de dirección del viento las más frecuentes fueron del sudoeste y del oeste-noroeste.

Con respecto al evento de 17 horas ininterrumpidas de duración, corresponde a una tormenta que comienza a las 13 hora local (hl) del día 20/dic con velocidades mayores a los 11.1 m/seg, la velocidad se hace continuamente superior a los 16.7 m/seg desde las 15 hl del 21 hasta las 07 hl del 22/dic, cayendo por debajo de los 11.1 m/seg nuevamente a las 10 hl, las velocidades superiores a los 22.2 m/seg se registraron a media noche por tres horas consecutivas. En la figura 5 se muestra la marcha horaria.

## CONCLUSIONES

La zona de estudio al igual que la región patagónica al sur del paralelo de 42° latitud Sur está expuesta a vientos fuertes y persistentes y es considerada una de las regiones con mayor potencia eólica disponible en Argentina. Presenta velocidades mayores a las registradas en Neuquén, a pesar de estar a su misma latitud y a 100 km al oeste. La velocidad media del año analizado es de 7.7 m/seg con una probabilidad de ocurrencia de 40%. La dirección más frecuente fue del sur-suroeste. Las estaciones del año más ventosas fueron el verano y la primavera con un promedio de 8.4 m/seg. Sin embargo los meses en los que se dieron mayor cantidad de eventos con velocidades mayores a 16.7 m/seg y con más de una hora de duración sin interrupciones fue el invierno con 20 casos en total. La potencia meteorológica media fue semejante a los valores obtenidos para el sur de los 42 °S, por lo que constituye un lugar de gran potencial eólico, pero esta energía disponible relacionada con los fuertes vientos existentes, está asociada la alta rafagiosidad de los mismos, poniendo un límite a su aprovechamiento.

## REFERENCIAS

- [1] PROHASKA, F., 1976: The climate of Argentina, Paraguay y Uruguay, en: H. Landsberg (Ed.), *World Survey of Climatology*, vol. 2, Elsevier, 532pp.
- [2] BARROS, V.R., 1986: Atlas del potencial eólico del sur argentino, Centro Nacional Patagónico, 293 pp.
- [3] 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.
- [4] COROTIS, R.B.; SIGL, A.B. y COHEN, M., 1977: Variance analysis of wind characteristics for energy conversion, *J. of Applied Meteorology*, **16**, 1149-1157.
- [5] BARROS, V.R. y ESTEVAN, E., 1983: Cálculo de la potencia eólica en base a series cortas de viento, *Meteorológica*, **XIV** N° 1 y 2, 495-503.
- [6] HENNESSEY, J., 1977: Some aspects of wind power statistics, *J. of Applied Meteorology*, **16**, 119-128.
- [7] 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. Applied Meteorology*, **23**, 124-134.
- [8] BARROS, V.R., 1983: Evaluación del potencial eólico de la Patagonia, *Meteorológica*, **XIV** N° 1 y 2, 473-484.
- [9] AGUIRRE, C.A. y BRIZUELA, A.B., 1996: Aprovechamiento de energía eólica en la provincia de Entre Ríos, *Actas IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural, CADIR96*, Neuquén, Argentina, **2**, 843-848.
- [10] PALESE, C. y LASSIG, J.L., 1997: Lago Mari Menuco. Parte I: caracterización del recurso eólico, *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **1** N°2, 177-180.
- [11] BRIZUELA, A.B., 1982: Evaluación preliminar del recurso eólico en Argentina. Red Solarimétrica, CNIE, 1-19.
- [12] OLIVA, R.B., 1997: Implementación de cálculos estadísticos en un sistema de adquisición de datos para mediciones de viento, *Energías Renovables y Medio Ambiente*, **1** N°2, 181-184.
- [13] LASSIG, J.L., COGLIATI, M.G., BASTANSKI, M.A. y PALESE, C., 1999: Wind characteristics in Neuquén, North Patagonia, Argentina, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, **79**, 183-199.
- [14] 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.