

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE VIENTOS EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ

Adolfo M. Samela^a, Pablo J. Bahamonde^a, Carlos A. Calafiore^a, Oscar A. Bonfili^b, Jesús A. Queipul^a, Diego H. García^a y Carolina Rojas^a

^a*Grupo de Investigaciones Tecnológicas en Energías Renovables, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Cruz, Los Inmigrantes 555, 9400 Río Gallegos, República Argentina, amsamela@hotmail.com, <http://www.frsc.utn.edu.ar>*

^b*Servicio Meteorológico Nacional, 25 de Mayo 658, 1002 Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina, omega@smn.gov.ar, <http://www.smn.gov.ar>*

Palabras Clave: Santa Cruz, Caracterización Eólica, Rosa de los Vientos, Distribuciones características.

Resumen. En este trabajo se expone una caracterización cualitativa y cuantitativa del potencial del recurso eólico existente en la zona sur de la provincia de Santa Cruz. Esta información contribuirá a determinar las locaciones más favorables para la futura instalación de centrales de generación eoloelectrónica, así como calcular y evaluar sus potenciales aportes de energía neta. Para este fin se recabaron y procesaron datos de vientos de fuentes diversas (estaciones meteorológicas automáticas propias e información relevada por diferentes entidades nacionales y provinciales que también disponen de estaciones meteorológicas en la provincia), pero la base principal (por volumen de información y periodo temporal cubierto) fueron los datos aportados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se aplicaron para el estudio métodos estadísticos de análisis y software específico para tal efecto. Una vez recopilada la información se procesó obteniendo distribución de frecuencias y rosa de vientos y se confeccionaron tablas y gráficos de la potencia extraíble por rango de valores de velocidad del viento. La dirección O predomina durante el otoño e invierno, mientras que la OSO lo hace durante el verano, y en la primavera tienden ambas a equilibrarse. Las ráfagas máximas diarias, que pueden constituir un factor importante de estrés para un aerogenerador, suelen presentarse en horas del mediodía. La densidad de potencia obtenida, asociada a las características antes citadas de direccionalidad y estacionalidad, indican la posibilidad de obtención de muy buenos rendimientos para el aprovechamiento eléctrico del recurso eólico en esta zona.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En la región patagónica se han realizado algunos estudios exploratorios, a saber, en la localidad de Puerto San Julián (Oliva y Lescano, 2008), así como también un mapeo eólico de las provincias del Chubut (Mattio, 2006), La Pampa y el Neuquén (Warchomicka y otros, 2005), sumado al SIG Eólico Nacional (Mattio, 2006), basado en modelizaciones a partir de imágenes satelitales, encarado por el Centro Regional de Energía Eólica (CREE) y el Ministerio de Planificación Nacional. También se realizaron algunos relevamientos de la región, pero con pocas estaciones y periodos de tiempo muy limitados (Barros, 1986).

1.2 El recurso Eólico

Actualmente se busca aprovechar los recursos renovables para la generación de energía eléctrica, entre los cuales el viento es uno de los más estudiados y con mayor ritmo de crecimiento a nivel mundial en cuanto a potencia de generación instalada. Pero el viento, al considerarlo como recurso energético y desde el punto de vista de su disponibilidad como suministro, es una fuente con sustanciales variaciones temporales, a pequeña y gran escala de tiempo, y espaciales, tanto en superficie como en altura, contando además con una componente aleatoria que afecta en gran parte a su variación total.

Las características locales del viento influyen de manera significativa en varios aspectos fundamentales relacionados con los sistemas de aprovechamiento de la energía eólica (Manwell y otros, 2002):

- en la selección del emplazamiento más favorable para la instalación de los sistemas eólicos, así como en el diseño estructural del sistema eólico.

- en la estimación o previsión de la producción energética y del funcionamiento global del sistema eólico, dado que la energía eólica disponible por unidad de área expuesta al viento es proporcional al cubo de la velocidad, por lo que pequeñas variaciones en la velocidad del viento conllevan sensibles variaciones en la energía suministrada, y por ende impacta en la rentabilidad del proyecto.

- en la operación y regulación del sistema eólico, donde intervienen aspectos como la predicción del viento para planificar el funcionamiento en tiempo real, así como características del viento que influyen en la estrategia de operación (arranque, parada, orientación) y factores que afectan al mantenimiento o vida útil del sistema (variabilidad en la dirección, ráfagas, superación de la velocidad de operación del aerogenerador).

Por los aspectos relatados, la evaluación y caracterización del régimen de vientos en un potencial emplazamiento de aerogeneradores es una instancia previa excluyente para la implementación de un proyecto de aprovechamiento eólico (Fernández García, 1996).

1.3.- Zona Sur de Santa Cruz

Los vientos intensos son una característica distintiva del clima patagónico en general y de la provincia de Santa Cruz en particular, lo cual a priori torna a esta región potencialmente muy propicia para emprendimientos de generación eólica.

Desde el año 2006 se encuentra disponible el denominado SIG Eólico (Mattio, 2006), preparado por el Centro Regional de Energía Eólica de Chubut, en convenio con el Ministerio de Planificación Federal. Dicho sistema permite obtener en base a datos satelitales de dominio público y a modelos matemáticos un promedio anual de vientos en lugares de todo el país. Pero si bien el SIG-Eólico resulta de gran utilidad para la obtención orientativa de promedios

anuales en los puntos de análisis, en el caso de la provincia de Santa Cruz se realizó el mapa sin validación con mediciones en superficie, como sí se hizo para el modelo más detallado de Chubut. Por esta razón, y por tratarse la zona sur de la Provincia de Santa Cruz de una zona muy extensa, con varios centros poblacionales, y con grandes espacios llanos y despejados que facilitarían la instalación de grupos de aerogeneradores, se la eligió para realizar la presente caracterización de su régimen de vientos, utilizando las mediciones propias de tres años y las de cuatro décadas provistas por el SMN y otras instituciones.

En esta zona se tiene un suelo es típico de la estepa patagónica, formado por arcillas cristalinas y alto contenido de áridos, predominando la vegetación arbustiva baja y espinosa, que adopta una asimetría en sus ramas o follaje que sugiere una dirección predominante de vientos intensos. Estos contribuyen también a la aridez imperante al favorecer la rápida evaporación.

Este trabajo está organizado de la siguiente forma: en la sección 2 se describen las características de los datos utilizados y la metodología seguida. En la sección 3 se analizan y discuten los datos estudiados. Y finalmente se realizan las conclusiones en la sección 4.

2. METODOLOGÍA

2.1 Datos

Se utilizaron datos provenientes de mediciones horarias de estaciones meteorológicas de Río Gallegos, Puerto San Julián, Gobernador Gregores, El Calafate y Puerto Santa Cruz. Estas estaciones pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional ([Figura 1](#)). Como se observa en la [Tabla 1](#), los periodos de muestreo son bastante amplios e ininterrumpidos (entre 30 y 38 años), a excepción de la estación del Aeropuerto nuevo de El Calafate, que abarca sólo ocho años.

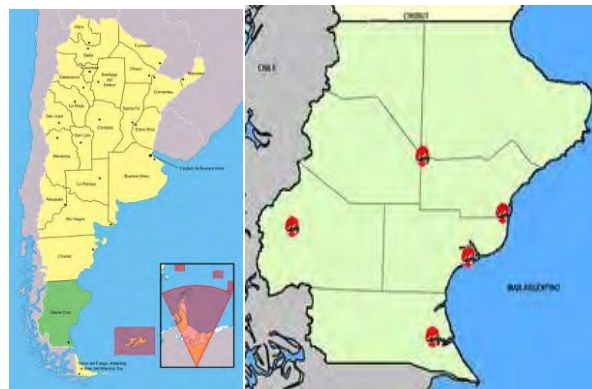


Figura 1- Emplazamiento de las estaciones meteorológicas

Si bien los datos son mayormente provenientes de mediciones del Servicio Meteorológico Nacional, y sólo se obtuvieron a diez metros de altura, y midiendo los últimos diez minutos de cada hora, lo cual no responde a los patrones utilizados habitualmente para realizar mapeos eólicos ([Faiella y Gessino, 2002](#)), el periodo de tiempo abarcado por los registros de manera ininterrumpida durante aproximadamente cuatro décadas proporcionan un volumen de información muy importante, que no sólo corroboran los resultados obtenidos con estaciones automáticas con frecuencias de muestreo muy superiores, sino que brindan información sobre la tendencia de cambio en los ciclos de vientos en el transcurso del tiempo.

Los emplazamientos de estas estaciones ([Tabla 1](#)) se encuentran en áreas rurales circundantes a las ciudades de las que toman su nombre, sin rugosidad significativa del

terreno, y alejadas de construcciones que puedan alterar la medición del viento.

Estación	Latitud	Longitud	msn	Periodo de muestreo	Muestras
Río Gallegos	51°36'41" S	69°17'00" O	19	Ene. 1970 – Jun. 2007	154.823
Puerto Santa Cruz	50°01'18" S	68°34'44" O	111	Nov. 1970 – Dic. 2001	109.808
Puerto San Julián	49°19'00" S	67°45'00" O	58	Mar. 1970 – Jul. 2008	175.578
El Calafate (aeropuerto viejo)	50°20'15" S	72° 17' 44" O	220	Ene. 1970 - Nov. 2000	102.365
El Calafate (aeropuerto nuevo)	50°16'02" S	72°03'08" O	199	Dic. 2000 - Mar. 2008	61.999
Gobernador Gregores	48°46'57" S	70°09'46" O	358	Ene. 1970 - Feb. 2009	174.718

Tabla 1 – Estaciones meteorológicas relevadas

2.2 Análisis

Si bien el viento se trata de una magnitud vectorial, por lo general la velocidad (la magnitud del vector) y la dirección (orientación del vector) se tratan frecuentemente como variables independientes. Por esa razón, para la caracterización del recurso se realizaron dos tipos de distribuciones: Distribución de direcciones y distribución de velocidades. Luego se realizó un análisis de intensidades elevadas a la tercera potencia según las direcciones, ya que es un factor indicativo de la potencia disponible en el viento.

2.2.1 Distribución de direcciones

La distribución de direcciones de viento es de suma importancia a la hora de localizar las turbinas eólicas, para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina.

La representación más utilizada para analizar la distribución de direcciones en un sitio es la de la Rosa de los Vientos, que consiste en un diagrama circular que muestra los puntos cardinales, sobre los que se representan la frecuencia porcentual del viento y la distribución de velocidades medias para cada intervalo direccional durante determinados periodos de tiempo.

En este trabajo se realizó una Rosa de Vientos de la distribución total en el transcurso de los periodos de medición indicados en la [Tabla 1](#), y las correspondientes a los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre, representativas de cada una de las estaciones del año. También se realizó una Rosa de Vientos relacionada con las intensidades medias para cada dirección, y luego otra con cada una de estas intensidades medias elevadas a la tercera potencia, debido a que como la potencia extraíble de un aerogenerador es proporcional al cubo de la velocidad del viento, esta gráfica es representativa sobre cuál es la dirección con mayor rendimiento energético.

2.2.2 Distribución de velocidades

El conocimiento de la distribución de velocidades de viento permite determinar el potencial energético eólico disponible, además de su constancia temporal. Su estudio se basa en la velocidad media registrada en superficie en forma horaria, medida a diez metros de altura, según norma internacional establecida por la Organización Meteorológica mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento.

Para realizar este análisis se confeccionó en primer término un histograma con la distribución porcentual general de velocidades.

Luego se elaboraron otros gráficos complementarios, tales como frecuencias medias mensuales, porcentaje mensual de horas con calma, velocidades medias anuales, velocidades medias horarias y distribución horaria de ráfagas máximas diarias.

3. RESULTADOS

3.1 Distribución de direcciones

De los datos analizados para los periodos disponibles se obtuvieron las distribuciones porcentuales de direcciones que se muestran en la [Tabla 2](#), y que se representan gráficamente en la [Figura 2](#). También se realizaron gráficas de Rosa de Vientos para cuatro meses representativos de las estaciones (Enero, Abril, Julio y Octubre), representados en la [Figura 3](#).

Dirección	Río Gallegos	Pto. Santa Cruz	Pto. San Julián	El Calafate Apto. Viejo	El Calafate Apto. Nuevo	Gdor. Gregores
N	4,66%	3,58%	4,79%	1,53%	2,75%	3,98%
NNE	5,27%	3,90%	3,11%	0,40%	0,47%	1,42%
NE	3,71%	2,36%	5,81%	6,40%	1,43%	1,47%
ENE	2,01%	0,95%	1,61%	1,07%	0,64%	2,42%
E	2,38%	2,28%	2,35%	3,67%	8,52%	2,05%
ESE	1,09%	2,19%	1,04%	0,21%	6,21%	0,50%
SE	1,00%	2,47%	1,48%	1,96%	9,67%	0,56%
SSE	0,77%	2,38%	1,02%	0,77%	0,95%	1,71%
S	1,42%	5,18%	4,36%	3,83%	1,91%	5,82%
SSO	3,68%	7,17%	6,23%	4,65%	0,72%	4,20%
SO	9,28%	12,18%	15,11%	41,22%	7,15%	4,74%
OSO	20,63%	14,32%	12,43%	8,22%	12,19%	13,23%
O	20,09%	17,00%	17,61%	18,06%	34,45%	28,69%
ONO	12,25%	12,45%	6,47%	2,32%	5,70%	16,20%
NO	7,33%	8,26%	5,71%	5,05%	6,08%	7,69%
NNO	4,42%	3,34%	2,12%	0,64%	1,15%	5,32%

Tabla 2 – Distribución Anual de direcciones

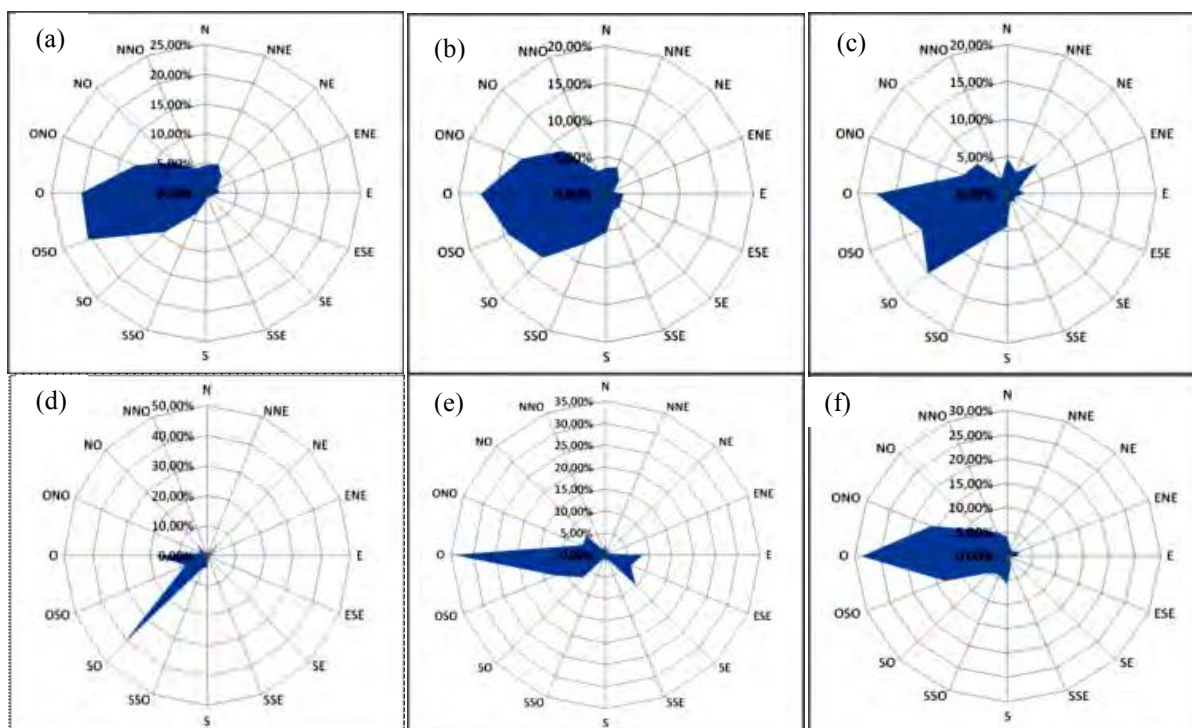


Figura 2- Rosas de Vientos anuales. (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

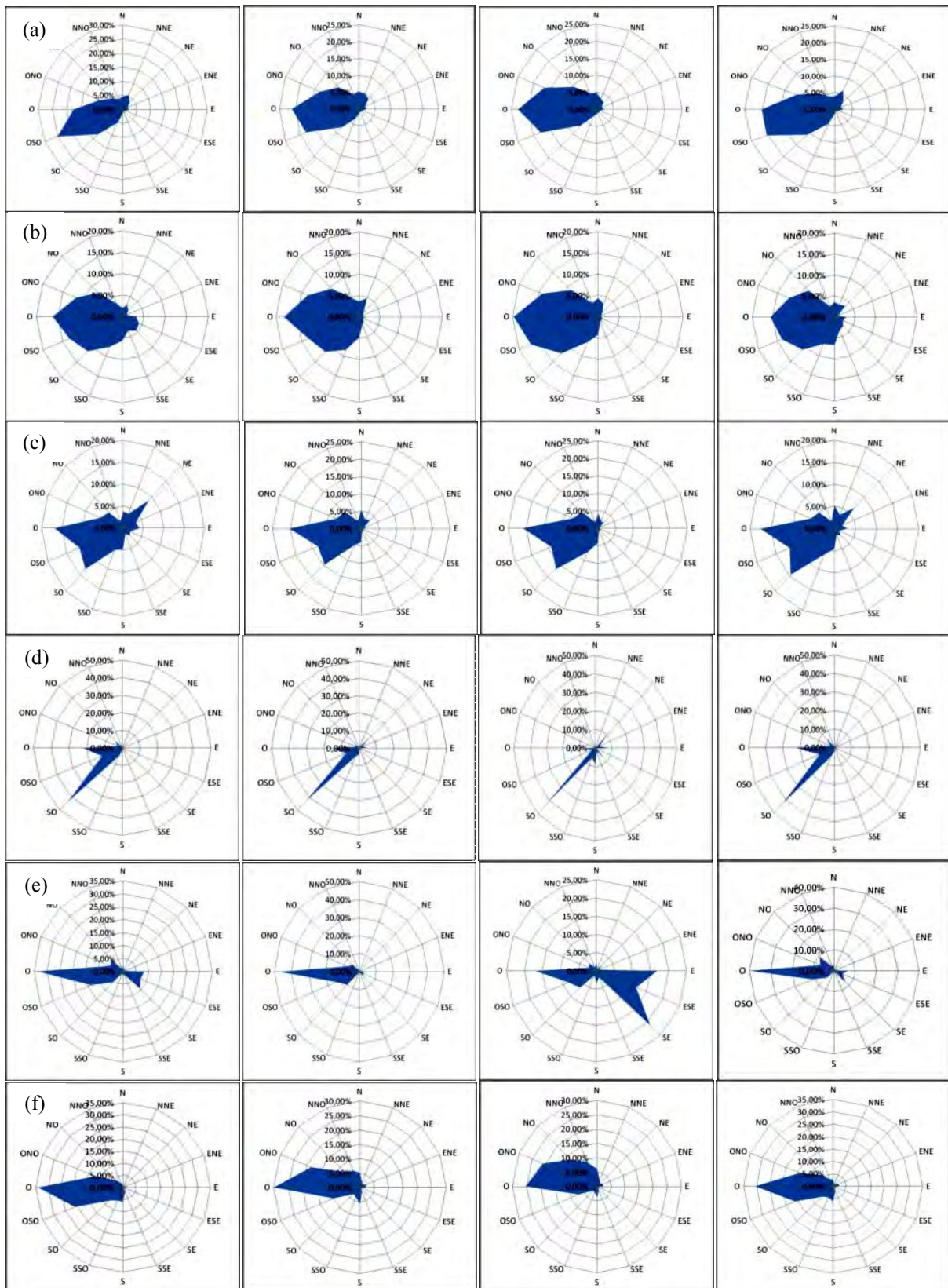


Figura 3- Rosas de Vientos estacionales, correspondientes a los meses de Enero, Abril, Julio y Octubre, para: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

Se realizó también una variante de la rosa de los vientos, representando las intensidades promedio cuadráticas características de cada punto cardinal (Figura 4):

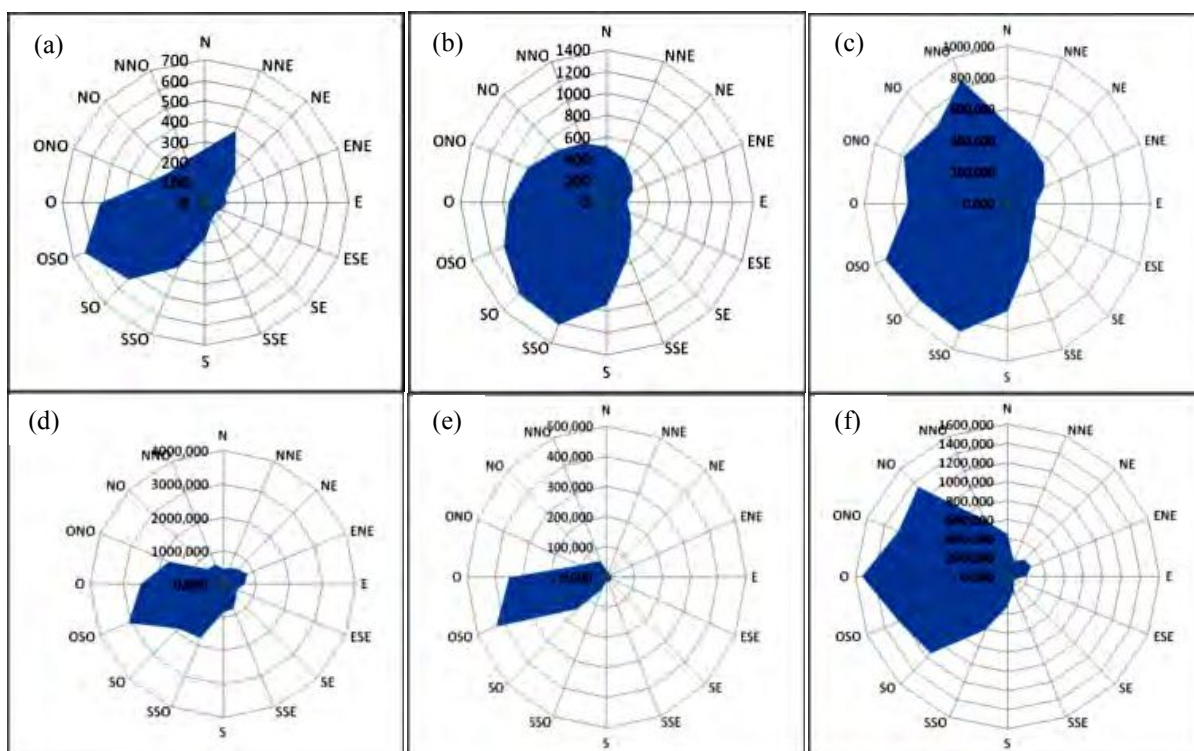


Figura 4- Rosas de Vientos anual de intensidades, con velocidades cúbicas [m^3/s^3], para: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

3.2 Distribución de intensidades

Se realizaron histogramas de frecuencia de las distintas velocidades de vientos (Figura 5). Se determinaron también la distribución promedio mensual de vientos para cada localidad (Figura 6), el porcentaje mensual de horas con calmas (Figura 7) y las velocidades promedio anuales (figura 8). Respecto a estas últimas, el promedio histórico anual de viento para las diferentes localidades se indica en la Tabla 3.

Estación	Promedio [m/s]
Río Gallegos	7,28
Puerto Santa Cruz	7,29
Puerto San Julián	7,97
El Calafate (aeropuerto viejo)	6,10
El Calafate (aeropuerto nuevo)	4,75
Gobernador Gregores	9,02

Tabla 3 – Promedios históricos de intensidades de vientos [m/s].

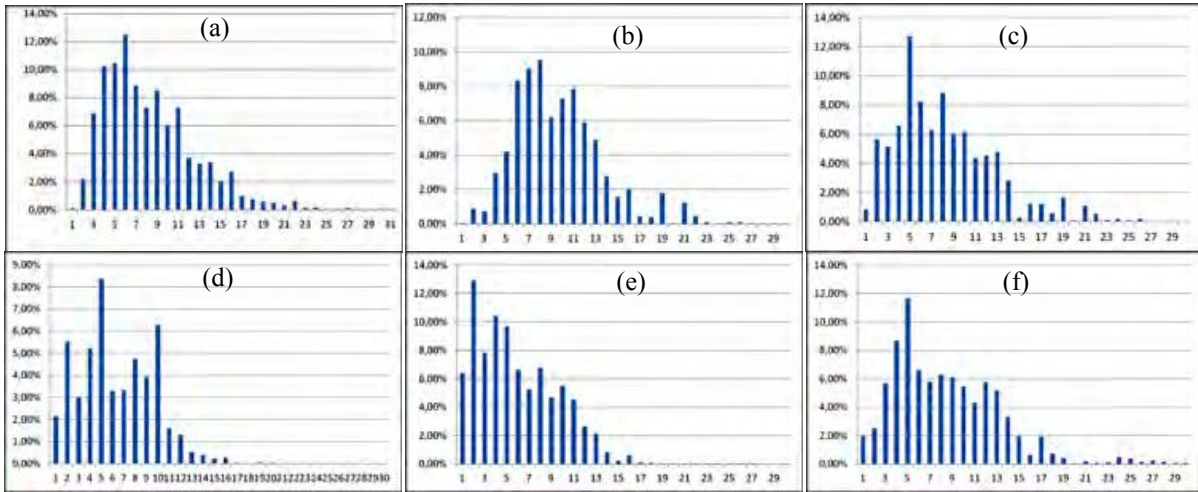


Figura 5- – Distribución de intensidades de vientos [m/s]: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

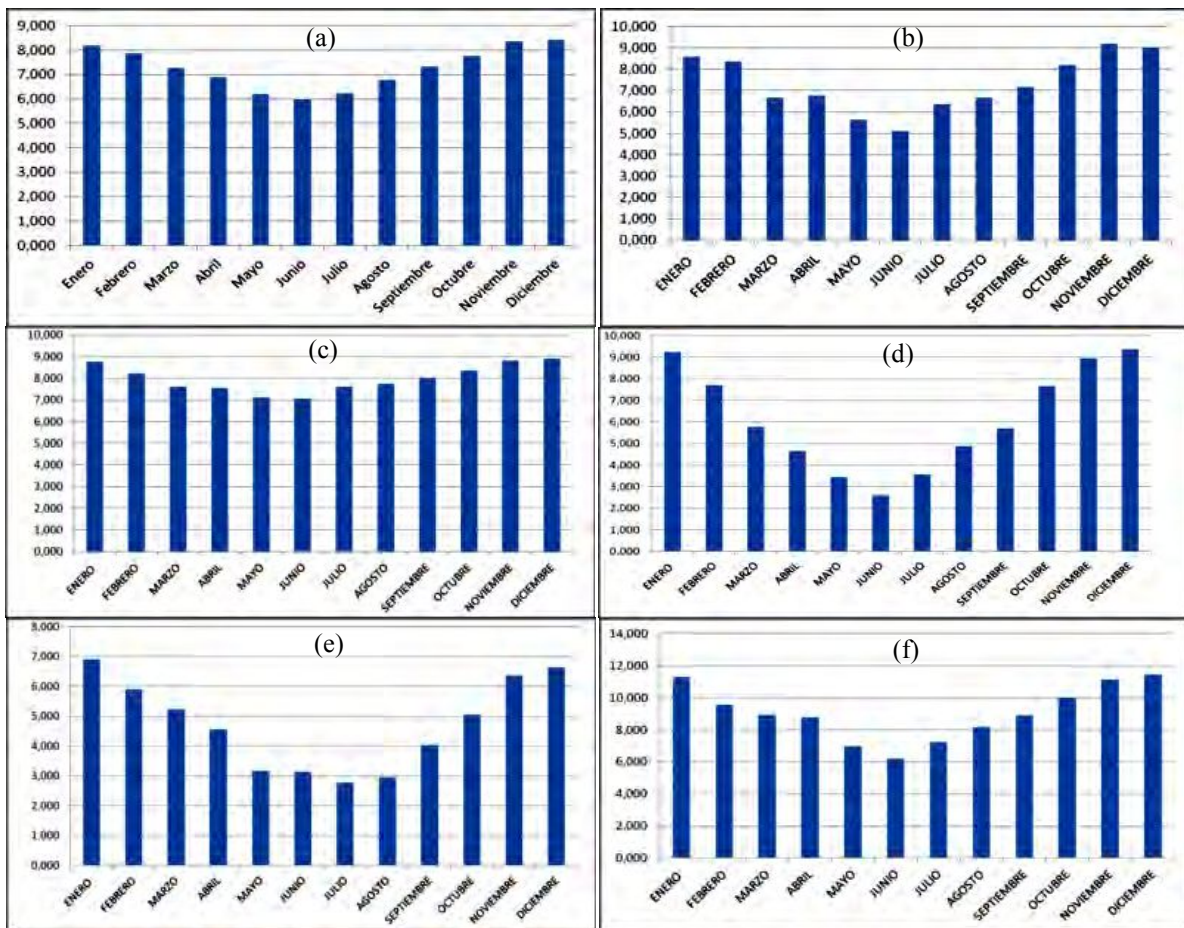


Figura 6- Distribuciones mensuales de intensidades de viento [m/s]: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

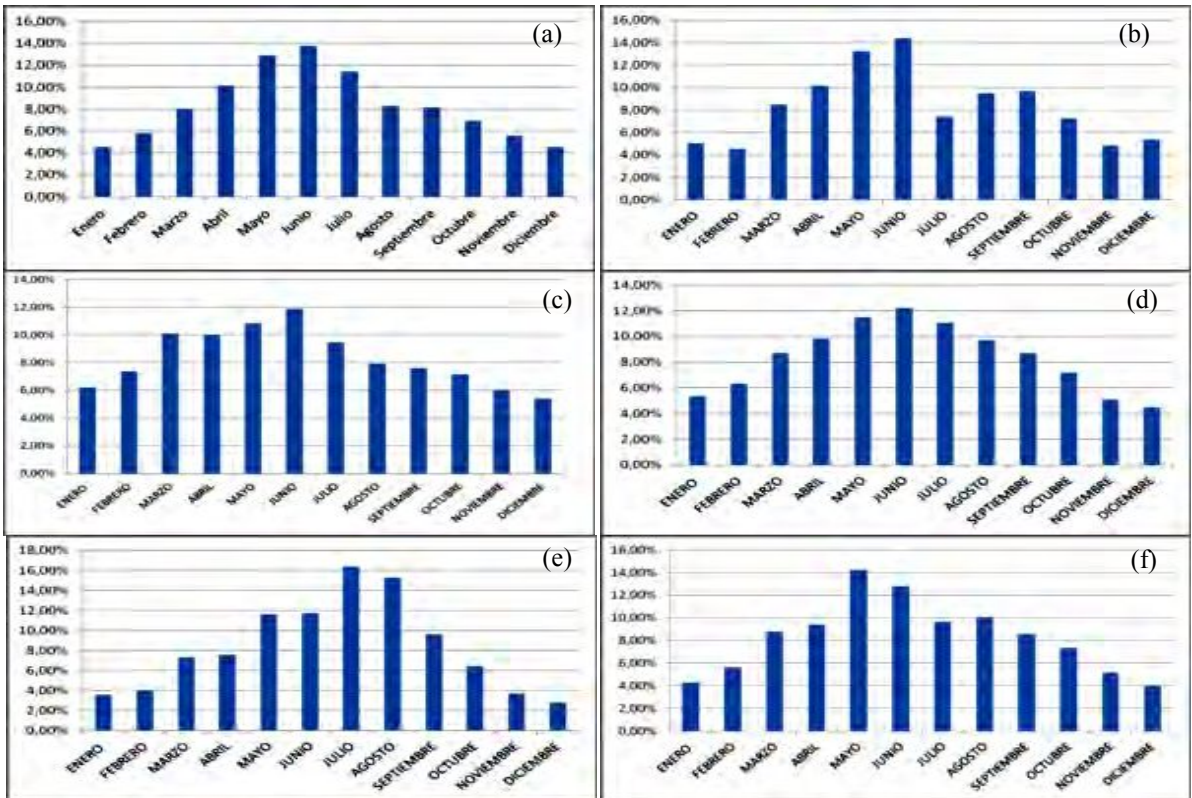


Figura 7- Porcentaje mensual de horas con calmas: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

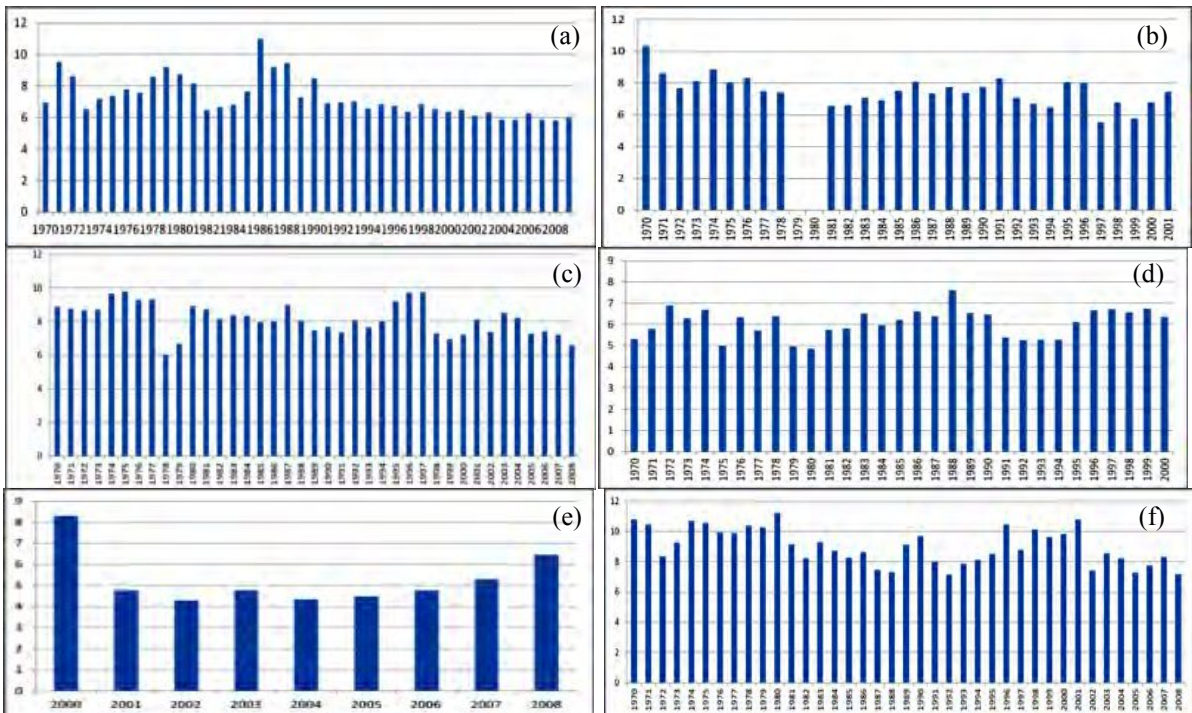


Figura 8- Velocidades medias anuales: (a) Río Gallegos, (b) Puerto Santa Cruz, (c) Puerto San Julián, (d) El Calafate (Aeropuerto Viejo), (e) El Calafate (Aeropuerto Nuevo), (f) Gobernador Gregores.

Finalmente se realizó el análisis horario, calculando cual es distribución de intensidades para cada hora del día (Figura 9). Dado que para las cinco localidades bajo estudio se obtuvieron distribuciones prácticamente idénticas, se realizó un promedio de intensidades de todas para obtener una gráfica unificada para toda la región. También se determinó en qué hora del día se presentan las ráfagas máximas diarias (Figura 10). Las horas están expresadas en formato UTC, tal como se requiere en las normas internacionales d meteorología.

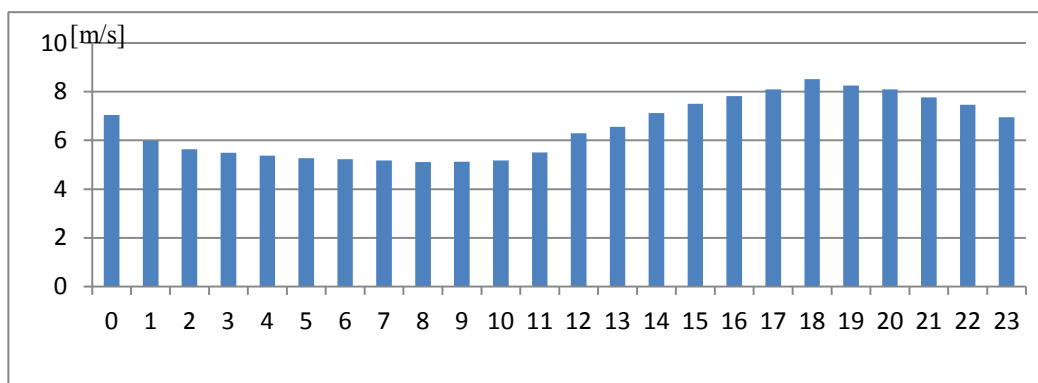


Figura 9- Velocidades medias horarias [UTC].

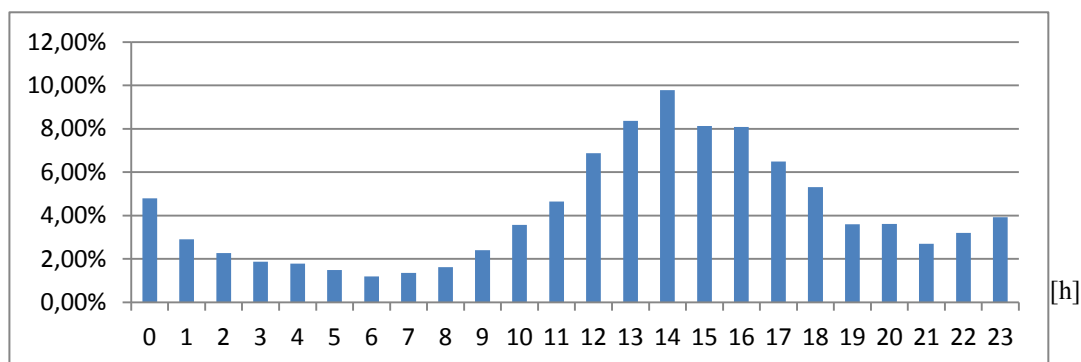


Figura 10- horaria de las ráfagas máximas diarias [UTC].

4. CONCLUSIONES

Las direcciones prevalecientes en prácticamente todas las localidades son el O y el OSO, lo cual indica una dirección claramente preferencial desde ese cuadrante. En el caso de las distribuciones correspondientes a El Calafate, sus formas de deben a las configuraciones orográficas andinas próximas. Analizado estacionalmente, la dirección O predomina durante el otoño e invierno, mientras que la OSO lo hace durante el verano, y en la primavera tienden ambas a equilibrarse. En cuanto al potencial energético, los resultados son variables según cada locación. Por ejemplo, en Río Gallegos claramente tanto OSO como NNE son las direcciones en que el viento presenta mayor intensidad, pero esta última, al tener una frecuencia de incidencia ínfima, indica que la orientación preferencial para cualquier futuro emprendimiento eólico debe ser en dirección OSO. En General, para todas las localidades las direcciones O y OSO son las más recomendables para orientar un aerogenerador, en relación a la frecuencia y a la capacidad energética.

En cuanto a la distribución de velocidades de vientos de superficie, se observa una cierta estacionalidad en estas intensidades: durante los meses invernales (Mayo, Junio y Julio) el promedio es muy inferior a lo registrado en primavera-verano. Esta prevalencia estival se

debe a que el mayor calentamiento de la superficie favorece la mezcla vertical de la atmósfera, y por ende el transporte de la cantidad de movimiento hacia la superficie desde capas altas, donde el viento siempre es mucho mayor. Respecto a las horas de calma, éstas son bastante reducidas, lo cual es propicio para los aerogeneradores. A este respecto, los meses más restrictivos son los invernales (Mayo, Junio y Julio). Cabe destacar que este comportamiento es prácticamente el mismo en las cinco localidades evaluadas.

Observando la evolución de las medias anuales, queda patente que las décadas del 70 y del 80 tuvieron mayores promedios de intensidades de viento, y se aprecia una leve tendencia a la disminución en las velocidades promedio, así como la presencia de cierta periodicidad en las variaciones, cuya causa queda pendiente de un posterior análisis.

Finalmente, en el análisis promedio horario cabe destacar que entre el mediodía y la media tarde se presentan las mayores intensidades, mientras que durante las madrugadas el viento suele declinar. Las ráfagas máximas diarias, que pueden constituir un factor importante de estrés para un aerogenerador, suelen presentarse en horas del mediodía.

La densidad de Potencia obtenida, asociada a las características antes citadas de direccionalidad y estacionalidad, indican la posibilidad de obtención de buenos rendimientos para el aprovechamiento eléctrico del recurso eólico en esta zona.

REFERENCIAS

- Barros, V. Atlas del Potencial Eólico del Sur Argentino. *CONICET. Centro Regional de Energía Eólica y Centro Nacional Patagónico*. Rawson. 1986.
- Faiella, L. y Gesino, A. Gestión de variables meteorológicas y mapeo eólico. *Asociación Argentina Eólica*. 2002.
- Fernández García, F.. Manual de Climatología Aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. *Madrid. Espacios y Sociedades, Serie Mayor N° 2*. 1996
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L.; “Wind Energy Explained“, *Ed.J. Wiley & Sons*, UK 2002 – ISBN 0 471 49972 2
- Mattio, H.F., *SIG Eolico / Sistema de Información Geográfico-Mapa Eolico Nacional v2.3.01*. Software Developer CREE and SSCyCGestion – Area Sistemas, Ministerio de Planificación Federal, Buenos Aires, Argentina. 2006.
- Oliva, R. y Lescano J., Energía eólica para Puerto San Julián. *Fundación Agencia de Desarrollo de Puerto San Julián*, 2008.
- Warchomicka, N., Palese, C., Mattio, H., Lassig, J. Evaluación del Recurso Eólico del Departamento Confluencia de la Provincia del Neuquen”; *XXVIII Reunión de ASADES, San Martín de los Andes*, 2005