

# Caracterización de la intensidad del viento en la provincia de Almería



*Wind strenght description in the province of Almeria*

Quetzalcoatl Hernández-Escobedo

Ingeniero Industrial Mecánico

Universidad Autónoma  
Metropolitana de México

Francisco Manzano-Agugliaro  
Antonio Zapata-Sierra

Dr. Ingeniero Agrónomo.  
Dr. Ingeniero Agrónomo

Universidad de Almería  
Universidad de Almería

Recibido: 18/12/08 • Aceptado: 24/02/09

## ABSTRACT

• This article studies the wind strength in the province of Almeria, using several techniques. It is based on data from 17 weather-stations (from 2000 to 2008). To start, it analyzes wind trend through special techniques, obtaining a range between 341.33 - 409,6 days ( in relationship with the studied period). Secondly it sets a minimum and maximum in the wind strength range (outside the 17 meteor-stations) and so it generates maps of wind (through interpolation space in a GIS) for each of these ranges. These maps show that in the interior area, corresponding to Tíjola-Fiñana-Cortafuego Triangle, the wind strength maximum is 2,5 and 4  $m^*s^{-1}$  and in the same area the wind strength minimum ( 3,7 - 5,2  $m^*s^{-1}$  ) in the highest level: in short this area is an high potential wind power.

• **Keywords:** Fast Fourier Transform, Periodicity, Wind, Maps, Almería.

## RESUMEN

En el presente trabajo se caracteriza, mediante diversas técnicas, la intensidad del viento en la provincia de Almería. Para ello se parte de los datos de 17 estaciones meteorológicas correspondientes al período comprendido entre los años 2000 y 2008. El primer análisis consistió en estudiar la periodicidad del viento mediante técnicas de análisis espectral, obteniendo una periodicidad de los componentes entre 341,33 días y 409,6 días para la serie temporal estudiada. El segundo análisis consistió en determinar los rangos mayor y menor de la intensidad del viento en las 17 estaciones meteorológicas y así generar mapas de viento para cada uno de estos rangos mediante interpolación espacial en un SIG. En estos mapas se observa que en la zona interior de la provincia, correspondiente al triángulo Tíjola-Fiñana-Cortafuegos, la intensidad del viento en el rango menor es de 2,5 y 4  $m \cdot s^{-1}$ , y la misma zona presenta las intensidades más altas del rango

mayor, entre 3,7 a 5,2  $m \cdot s^{-1}$ : lo cual demuestra que es una zona con gran potencial para la energía eólica.

**Palabras clave:** Transformada Rápida de Fourier, Periodicidad, Viento, Mapas, Almería.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de la electricidad como fuente de energía para propósitos domésticos, sociales e industriales no es sólo una creciente necesidad, sino también un motor para el Desarrollo (Otegui, 2004). El crecimiento anual de la demanda de energía eléctrica en la última década ha sido significativo tanto en ámbito mundial como nacional, donde el aumento en los últimos 4 años ha sido de casi el 16 %, muy por encima de los demás países de la Unión europea. En España dicha demanda en el año 2007 se situó en 261.3 TWh para la demanda peninsular en bajo consumo, cubriéndose el 10 % de esta demanda con la energía eólica (REE, 2007).

En la tabla 1 se observa la evolución que ha tenido España desde el año 2000 al 2007 en comparación con otros países.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Alemania	6,104	8,754	11,994	14,609	16,629	18,415	20,622	22,247
EEUU	2,578	4,275	4,685	6,372	6,725	9,149	11,575	16,818
España	2,235	3,337	4,825	6,203	8,263	10,027	11,623	15,145
India	220	1,456	1,702	2,125	3000	4430	6270	7,845

Tabla 1. Generación de energía eléctrica (MW) mediante energía eólica (GWEC, 2008)

La necesidad de mitigar los efectos ambientales adversos por la utilización de combustibles fósiles, la volatilidad de los precios de los combustibles y la mejora en la calidad de vida, han impulsado un importante crecimiento en la generación de energía renovable en todo el mundo (Cook, 1982). La Unión Europea ha fijado para el año 2010 en el *Libro Blanco de las Energías Renovables* (CE, 1997) una contribución del total de dichas energías a la generación de energía eléctrica de 40000 MW. En España, el *Plan de Energías renovables* (IDAE, 1999) tiene como objetivo para ese mismo año una previsión de 9000 MW de potencia instalada en energía eólica, lo cual representa una aportación de un 12% al total energético (CNE, 2008). La eficiencia energética eólica es una de las más potentes y rentables formas de satisfacer las demandas del desarrollo sostenible (Sebitosi, 2008). La importancia de aplicar instrumentos de apoyo a las políticas para promover la difusión de estas tecnologías es ya una norma aceptada universalmente (Sebitosi y Pillay, 2008).

Los vientos globales se generan como consecuencia del desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión y determinan los vientos dominantes de un área o región. Se deben considerar numerosos factores locales que influyen o determinan la intensidad y periodicidad de los movimientos del aire. Estos factores, difíciles de simplificar por su multiplicidad, son los que permiten referirse a vientos locales, los cuales son en muchos lugares más representativos que los de carácter general (Bechrakis y Sparis, 1998): de ahí la importancia de su estudio y caracterización a nivel local. El conocimiento exhaustivo de su comportamiento es esencial para múltiples aplicaciones tales como diseñar campos de generación de energía eléctrica a partir de energía eólica (Jou, et al., 2008) y diseñar protección de márgenes en embalses y los taludes de montante en las presas (Bartle y Hallowses, 2005). Adicionalmente la estimación de la magnitud de los vientos extremos y el riesgo de ser superados es una parte esencial de la evaluación de las cargas del viento sobre las estructuras (Mayne, 1979).

Los métodos modernos para obtener la caracterización del viento, en particular las aplicables a los climas donde los efectos del viento dominante se derivan de depresiones templadas, considera que, si la velocidad del viento se

estudia como una variable continua estacionaria en el tiempo, entonces se tiene un espectro de potencia que consta de dos picos (Harris, 2008).

El objetivo de este trabajo es la caracterización del viento mediante diversas técnicas y así poder limitar las zonas de estudio en detalle a aquellas que presenten un elevado potencial eólico de forma cíclica. Por un lado la técnica del análisis espectral basado en la *Transformada Rápida de Fourier* (FFT) es una herramienta que permite conocer los diferentes componentes de periodicidad que puedan existir en un fenómeno considerado de tipo cíclico y poder de esta forma modelar una variable a partir de otras, además de estudiar la información complementaria y reiterativa que aportan cada una de ellas (Cañada, 1994). Por otro lado, las técnicas gráficas de sistemas de información geográfica permiten delimitar las zonas con potencial eólico para su posterior estudio en detalle.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 DATOS

Actualmente se mantienen registros de varias variables que pueden emplearse para caracterizar el viento de forma local en una provincia (JA, 2008) y, entre esas, se encuentra la velocidad media diaria del viento en ( $m \cdot s^{-1}$ ). En Almería los datos públicos disponibles de mayor periodo son las Estaciones Agroclimáticas de la *Junta de Andalucía*, cuyos datos pueden consultarse a través de su página electrónica (EA, 2008). En la tabla 1 se presenta la posición geográfica (latitud, longitud y altitud), provincia y organismo al que pertenecen las 17 estaciones empleadas en este estudio. Las estaciones de fuera de la provincia se utilizan para evitar el efecto de extrapolación al contorno físico de la provincia al generar los mapas de viento, puesto que si sólo se utilizan estaciones interiores al perímetro de la provincia de

Los vientos globales se generan como consecuencia del desplazamiento del aire desde zonas de alta presión a zonas de baja presión y determinan los vientos dominantes de un área o región

Organismo	Provincia	Estación	Latitud (N)	Longitud (W)	Altitud
J.A.	Almería	Adra	36° 44' 52"	2° 59' 31"	42
J.A.	Almería	Almería	36° 50' 10"	2° 24' 06"	22
J.A.	Almería	Cuevas de Almanzora	37° 15' 28"	1° 47' 57"	20
J.A.	Almería	Fiñana	37° 09' 28"	2° 50' 15"	971
J.A.	Almería	Huércal-Overa	37° 24' 48"	1° 52' 59"	317
J.A.	Almería	La Mojonera	36° 47' 19"	2° 42' 11"	142
J.A.	Almería	Níjar	36° 57' 06"	2° 09' 23"	182
J.A.	Almería	Tabernas	37° 05' 33"	2° 18' 04"	435
J.A.	Almería	Tíjola	37° 22' 47"	2° 27' 30"	796
J.A.	Almería	Virgen de Fátima	37° 23' 25"	1° 46' 09"	185
J.A.	Granada	Puebla de Don Fadrique	37° 52' 38"	2° 22' 49"	1110
J.A.	Granada	Baza	37° 33' 56"	2° 45' 59"	814
J.A.	Granada	Jerez de Marquesado	37° 11' 30"	3° 08' 55"	1212
J.A.	Granada	Cádiar	36° 55' 27"	3° 10' 57"	950
P.E.	Costa Almería	Cabo de Gata	36° 34' 17"	2° 19' 51"	0
Ual	Almería	Cortafuegos	37° 13' 58"	2° 22' 16"	1065
Ual	Almería	Solana del Zapatero	37° 18' 44"	2° 22' 47"	1770

Tabla 2. Posición Geográfica de las estaciones meteorológicas empleadas: Junta de Andalucía (JA); Puertos del Estado (P.E.) y Universidad de Almería (Ual)

Almería, la interpolación entre estas es buena, pero la extrapolación estaría desvirtuando la realidad al no considerar las estaciones limítrofes.

obtención de los espectros de amplitud así como de los periodos y fases se ha empleado el software: *Ritmos y Series*, (Corchete, 2007).

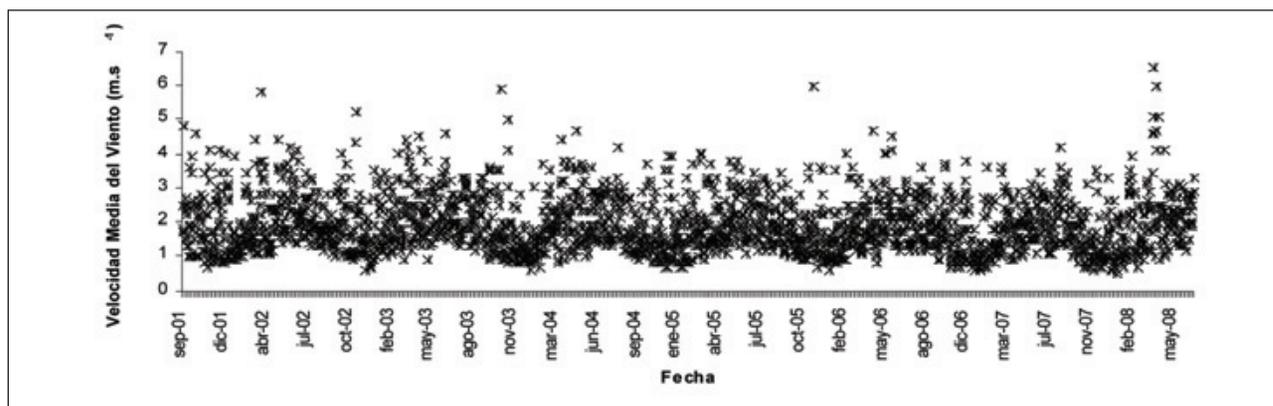


Fig. 1 Ejemplo del comportamiento de la velocidad media del viento en Níjar

En la figura 1 se presenta un ejemplo del comportamiento de la velocidad media del viento en la provincia de Almería para la estación de Níjar entre septiembre de 2001 y mayo de 2008.

Los datos empleados en este análisis tienen la estadística que se muestra en la tabla 3, donde  $\mu$  es la media de la velocidad del viento y  $\sigma$  es su desviación típica. Los rangos menores y mayores se explican en la figura 2.

## 2.2. ANÁLISIS ESPECTRAL MEDIANTE FFT PARA EL CÁLCULO DE PERIODOS.

Esta metodología de FFT se ha empleado con éxito en trabajos y una descripción del método aplicado al registro de mareas puede encontrarse Manzano et al. (2007). Para la

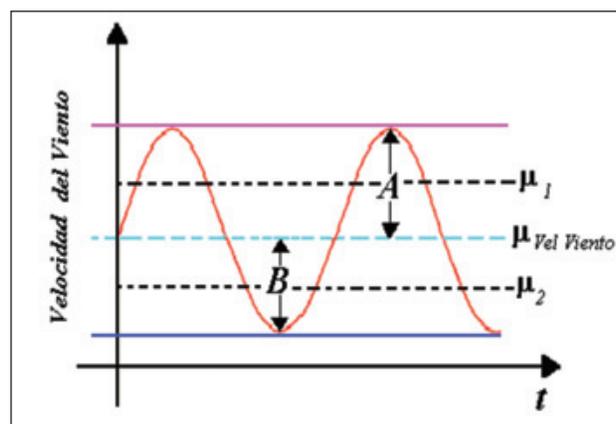


Fig. 2 Esquema de onda

Estación	$\mu$ (m · s-1)	$\sigma$	$\mu$ rango menor (m · s-1)	$\mu$ rango mayor (m · s-1)
Adra	1.80	0.52	1.55	4.75
Almería	1.43	0.65	0.75	7.15
Cuevas de Almanzora	1.02	0.42	1	2.25
Fiñana	2.69	0.21	4.05	4.85
Huércal-Overa	1.38	0.67	1.9	3.8
La Mojonera	1.97	0.68	2.05	3.75
Níjar	1.92	0.79	1.9	4.65
Tabernas	2.00	0.88	2	4.5
Tíjola	2.00	0.65	2.55	4.1
Virgen de Fátima	2.24	0.87	2.95	4.55
Puebla don Fadrique	2.71	0.25	1	3.15
Baza	1.95	0.85	1.2	2.08
Jerez de Marquesado	1.80	0.67	1.5	3.2
Cádiar	1.28	0.62	2.05	4.3
Cabo de Gata	5.67	0.61	1.2	5.45
Cortafuegos	4.52	0.49	2.25	11.99
Solana del Zapatero	1.66	0.94	1.28	3.55

Tabla 3. Estadísticas básicas del viento en las estaciones estudiadas.

### 2.3. MAPAS DE VIENTO

Si el análisis espectral demuestra que el viento es cíclico, entonces tendrá interés desde el punto de vista de su potencial eólico y se procederá a caracterizarlo geográficamente. Para dicha caracterización se realizan los mapas de viento de rango mayor y menor, empleando los valores medios de dichos rangos. En la figura 2 pueden observarse estos conceptos, donde A es el rango mayor; B es el rango menor;  $\mu$  es la media de la velocidad del viento;  $\mu_1$  es la media del rango mayor; y  $\mu_2$  es la media del rango menor, los cuales se han observado claramente en el comportamiento de la velocidad media del viento en m·s<sup>-1</sup>.

Por otro lado, mediante un sistema de información geográfico (*Arc View 3.1*), se realizarán los mapas de viento

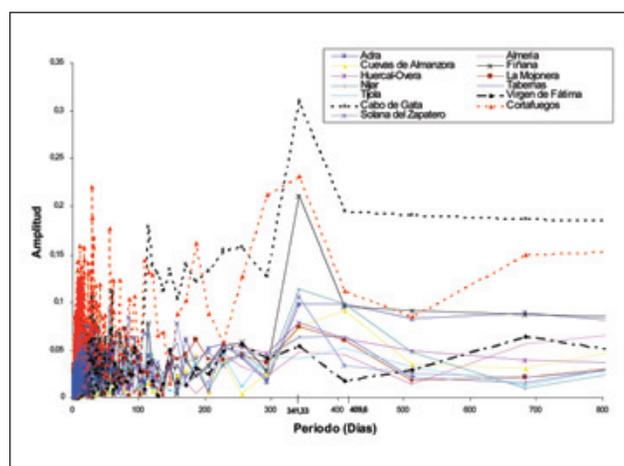


Fig. 3. Espectros de Amplitud de las estaciones meteorológicas de la Provincia de Almería.

para la provincia de Almería correspondientes a las medias de rangos mayores y menores, interpolando cada uno mediante la aplicación *Spatial Analyst* del software mencionado. Se empleó la estrategia IDW (*Inverse Distance Weighted*), donde la interpolación supone que cada punto de entrada tiene una influencia local que disminuye con la distancia.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. ANÁLISIS ESPECTRAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA PROVINCIA DE ALMERÍA.

El análisis espectral realizado a las 13 estaciones meteorológicas muestra que la velocidad del viento en la provincia de Almería presenta un comportamiento cíclico. Para 11 de las 13 estaciones de la provincia de Almería el periodo más frecuente es de 341,33 días y para las dos restantes de 409,6 días, siendo la estación de Cortafuegos la de mayor amplitud y la de Almería la de menor amplitud, véase tabla 4.

Se observa en la tabla 4, que, aún cuando el periodo cíclico es de 341,33 días, las amplitudes generadas a través de la herramienta de la FFT muestran grandes diferencias, siendo la estación de Cabo de Gata la de mayor amplitud con 0,31 m·s<sup>-1</sup> y la estación de Almería la de menor amplitud con 0,05 m·s<sup>-1</sup>.

Estación	Periodo (Días)	Amplitud (m · s-1)
Adra	341,33	0,1
Almería	341,33	0,05
Cuevas de Almanzora	409,6	0,09
Fiñana	341,33	0,21
Huércal-Overa	341,33	0,08
La Mojonera	341,33	0,07
Níjar	341,33	0,11
Tabernas	341,33	0,06
Tíjola	409,6	0,04
Virgen de Fátima	341,33	0,05
Cabo de Gata	341,33	0,31
Cortafuegos	341,33	0,23
Solana Zapatero	341,33	0,11

Tabla 4. Comparación de Periodos y Amplitudes.

## El análisis espectral realizado a las 13 estaciones meteorológicas muestra que la velocidad del viento en la provincia de Almería presenta un comportamiento cíclico

### 3.2 MAPA DE VIENTO EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA.

En la figura 4 se representan los mapas de viento para la media de los rangos menores en  $m \cdot s^{-1}$ , y se observa que toda la provincia tiene un buen potencial eólico, ya que esto viene indicado por el viento mínimo. Sólo la franja costera entre 10 y 12 km tiene un régimen de viento relativamente bajo, entorno a  $1.5 m \cdot s^{-1}$ .

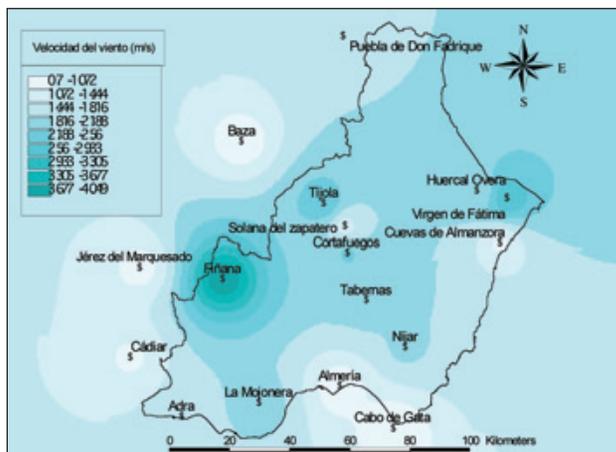


Fig. 4 Mapa de rangos menores de viento en la provincia de Almería

En la figura 5, se representa la media de los rangos mayores, y se observa que la zona costera desde Almería hasta Cuevas de Almanzora presenta vientos de poca intensidad, corroborando la intensidad mínima del viento. Por otro lado destaca la influencia de las estaciones

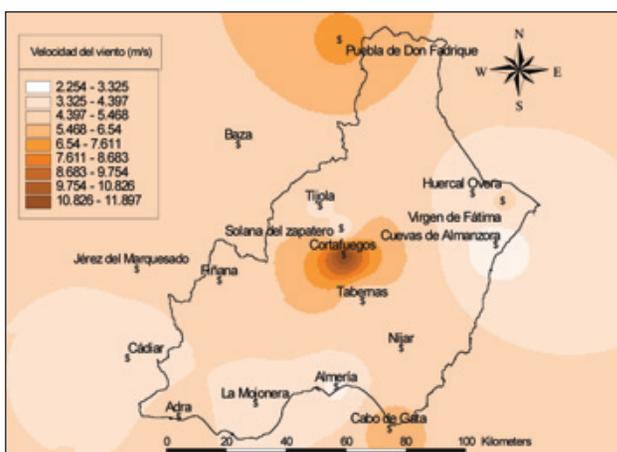


Fig. 5 Mapa de rango mayor de viento en la provincia de Almería.



meteorológicas situadas en zonas montañosas, marcando los máximos vientos como era esperable.

En la figura 6, se ha representado el mapa de velocidad media del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) en la provincia de Almería: se han representado curvas de nivel superpuestas sobre una cartografía base, que refleja la geografía física de la provincia de Almería. Este mapa pone de manifiesto lo obtenido anteriormente y destaca la sierra de los Filabres, donde está situada la estación de Cortafuegos, como una zona de un elevado potencial eólico.



Fig. 6 Mapa de velocidad media del viento ( $m \cdot s^{-1}$ ) en la provincia de Almería.

## 4. DISCUSIÓN

De los resultados del estudio se concluye que existe periodicidad en las velocidades diarias del viento en la provincia de Almería, siendo el periodo mayor para 11 estaciones de 341,33 días y de 409,6 días para dos de las 13 analizadas. Este hecho puede deberse a componentes geográficas locales.

El estudio pone de manifiesto la importancia de ubicar estaciones meteorológicas tanto en zonas montañosas como en las no montañosas y de esta manera realizar estudios de aproximación al potencial del viento de una provincia.

A pesar de no tener estaciones meteorológicas sobre todas ellas, se observa una gran influencia de todas las sierras en el régimen eólico medio, destacándose el potencial eólico de la zona situada en el triángulo **Fiñana-Tíjola-Cortafuegos**. En lo que respecta a los rangos mayores (máximo potencial eólico) destaca la parte alta de la sierra de **Filabres**, zona donde se ubica la estación de **Cortafuegos**. En el caso de los rangos menores, existe una buena calidad de viento en el triángulo citado anteriormente, que suponía el mínimo potencial eléctrico. También se observa que toda la provincia tiene un buen régimen de viento, excepto la zona costera comprendida entre 10 y 12 km de ancho.

Estudiando el mapa de rangos mayores de viento, se observa que la zona de **Cabo de Gata –Níjar** tiene altos niveles de viento: hecho ya este conocido dado que tradicionalmente era una zona donde se ubicaban molinos de viento.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo quieren agradecer al organismo Puertos del Estado por la cesión gratuita de los datos de la Boya de Cabo de Gata.

Proyecto de investigación OTRI 400265 “Diseño e instalación de cuencas de ensayo en hidrología de superficie” firmado entre la Universidad de Almería y la Empresa de Transformación Agraria S.A. (TRAGSA).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Bartle A, Hallows G. “Hydroelectric power role and future”. *Proceedings of the institution of civil engineers-civil engineering*. 2005. Vol. 158-2 p. 28-31.
- Bechrakis D, Sparis P. “Correlation of wind speed between neighboring measuring stations”. *IEEE Transactions on Energy Conversión*. 2004. Vol. 19-2. p. 400-4006.
- Cañada-Villar A. “Series y transformada de Fourier y Aplicaciones”. *Universidad de Granada*. Vol. I. Ediciones Universidad de Granada. 1994.
- (CE) Libro Blanco Energía para el futuro: Fuentes de energías renovables. “Para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios”. *Comisión Europea*. 1997
- Cook N J. “Towards better estimation of extreme winds”. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Amsterdam 1982 9:295-323.

- Corchete V. *Análisis de series temporales* [en línea]. [Almería, España]. Disponible en Web:<<http://airy.ual.es/www/programas.htm>. *Server on Geodesy, Seismology and Environmental Sciences* [Consulta: 12 de noviembre de 2008]
- (CNE), *Comisión Nacional de Energía* [en línea]. [Madrid, España]. Disponible en la Web:<[http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/PA001\\_07\\_ingles.pdf](http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/PA001_07_ingles.pdf). [Consulta: 5 de noviembre 2008]
- EA, *Estaciones Agroclimáticas de la Junta de Andalucía*. [en línea]. [Sevilla, España]. Disponible en la Web: <<http://www.juntadeandalucia.es/innovacionciencia/yempresa/ifapa/ria/servlet/FrontController>. [Consulta: 16 de octubre 2008].
- GWEC. Global Wind Energy Council. *Global Wind 2007 Report*. 2008
- Harris RI, “The macrometeorological spectrum -a preliminary study-“. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2008. p.2294-2307.
- (IDAE), *Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía* [en línea]. [Madrid, España] Disponible en la Web: <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detaile/idpag.19/recategoria.1036/re/menu.47>. [Consulta: 23 de octubre 2008]
- (JA), *Junta de Andalucía* [en línea]. [Sevilla, España] Disponible en la Web: <[www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es). [Consulta 16 de octubre 2008].
- Jou, HL, Wu KD, Wu JC. Simplified Maximum Power Point Tracking Method for the Grid-connected Wind Power Generation System. *Electric Power Components and Systems*. 2008. Vol. 36:11 p.1208-1217.
- Manzano F, Corchete V, Xavier L. “Análisis Espectral del Registro de Marea”, *Ingeniería Civil*, España, 2007.
- Mayne JR. “The estimation of extreme winds”. *Journal of Industrial Aerodynamic*. 1979.
- Otegui E. “El aparellaje eléctrico de alta tensión y el efecto invernal”. *DYNA*. abril 2004 Vol.79-3 p.12-17.
- Sebitosi, AB, Pillay P. “Renewable energy and the environment in South Africa: A way forward”. *Energy Policy*. 2008. Vol. 36:9. p. 3312-3316.
- Sebitosi, AB. “Energy efficiency, security of supply and the environment in South Africa: Moving beyond the strategy documents”. *Energy Policy*. 2008. Vol. 33:11. p. 1591-1596.
- (REE) *Red Eléctrica de España* [en línea]. [Madrid, España] Disponible en la Web:<[http://www.ree.es/sistema\\_electrico/pdf/infosis/Inf\\_Sis\\_Elec\\_REE\\_2007\\_v2.pdf](http://www.ree.es/sistema_electrico/pdf/infosis/Inf_Sis_Elec_REE_2007_v2.pdf). *El sistema eléctrico español 2007*. [Consulta: 4 de noviembre 2008].