

Influencia del oleaje y de la estabilidad atmosférica en la evaluación del potencial energético eólico

Influence of waves and atmospheric stability in the evaluation of wind energy potential

Ángel Guillemes-Peira

Universidad Del Pacífico. Facultad del Mar y Medio Ambiente. Guayaquil, Ecuador

Correo electrónico: angel.guillemes@upacifico.edu.ec

Recibido: 9 de diciembre de 2013 Aceptado: 1 de abril de 2014

Resumen

Se ha realizado un estudio del recurso eólico marino existente en las islas Canarias, España. El objetivo ha sido identificar las zonas más viables para aprovechar este recurso y determinar la influencia del oleaje y de la estabilidad atmosférica sobre las mismas. Para llevarlo a cabo, se han empleado los datos obtenidos a partir de la información de la red WANA, la cual se compone de un conjunto de nodos de las mallas de cálculo del modelo de generación de oleaje WAM, que ha sido forzado por campos de viento generados por el modelo meteorológico *High Resolution Limited Area Model*. Las zonas que han presentado mejor recurso eólico marino se corresponden con las islas más orientales, produciéndose un incremento en el perfil de la velocidad del viento con situaciones de estabilidad atmosférica y estados del mar en calma, influyendo en el aprovechamiento del potencial energético eólico marino.

Palabras claves: estabilidad atmosférica, oleaje, modelo meteorológico, islas canarias, horas equivalentes.

Abstract

This article is a study of the existing offshore wind resource on the Canary Islands (Spain). The objective is to identify the most viable areas in which it can take advantage this resource and determine the influence of waves and atmospheric stability. To carry out this task, it has been used the data obtained from the network information WANA, which consists of a set of nodes of mesh model calculating WAM wave generation, which has been forced by wind fields generated by the meteorological model *High Resolution Limited Area Model*. It has been taken into account WANA fifty eight nodes that surround the islands, where the volume of data is considered sufficient to assess the wind potential of the study area. Areas with better offshore wind resource corresponding to the eastern islands. It has been demonstrated the influence of waves and atmospheric stability on wind speed and the use of offshore wind resource.

Key words: atmospheric stability, wave, meteorological model, canary islands, equivalent hours.

Introducción

En el marco del estudio de caracterización del recurso eólico marino de las costas del archipiélago de Canarias (situadas entre las latitudes, 29° 24' 40" N y 27° 38' 16" N y las longitudes 13° 19' 54" O y 18° 09' 38" O) [1], es de vital importancia analizar los cambios que puede suponer sobre el mismo, la influencia del oleaje marítimo y de la estabilidad atmosférica que acontece en la zona. Este estudio comprende tanto la caracterización del régimen medio del oleaje, así como también, la caracterización del clima atmosférico que por su estabilidad y consecuencias son de importancia, pudiendo influir en el potencial energético eólico.

El aprovechamiento de la energía eólica marina en las Islas Canarias, presenta ventajas significativas, ya que el régimen de vientos Alisios es idóneo durante la mayor parte del año, caracterizándose las islas orientales del archipiélago por ser ventosas, con vientos regulares y constantes y con picos de viento en los meses de verano. La dirección predominante del viento es noreste, con frecuentes invasiones de aire subsahariano [2].

Los estudios que han sido efectuados con anterioridad sobre la evaluación del recurso eólico marino en el litoral canario (Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007), se habían centrado en la realización de una extrapolación de las medidas del viento, realizadas en tierra, hasta unos pocos metros de la costa mar adentro. Este método permitió obtener una idea aproximada de cuál sería la disponibilidad del recurso eólico, pero presenta la desventaja de que no pueden considerarse los resultados como totalmente fiables.

En los últimos años se ha realizado una investigación en este área, llevada a cabo por Martín y otros [3], a partir de la cual se realizó un mapa eólico marino de las Islas Canarias. Estudiaron las características del recurso, como la velocidad y la dirección del viento, pero sin analizar y cuantificar como influye el oleaje y la estabilidad atmosférica en el perfil del viento y en la producción de energía eólica.

Las Islas Canarias presentan un escenario ideal para el desarrollo del sector de la energía eólica marina, tanto por su potencial energético como por su especial situación geográfica, que con sus redes eléctricas aisladas y una dependencia casi total de los combustibles fósiles, hacen necesaria la introducción de nuevas fuentes de energías renovables. Se trata por lo tanto de un área que está suscitando bastante interés y en la cual se están llevando a cabo investigaciones, pero es poca la información de la que se dispone hoy en día.

El presente artículo constituye la descripción del recurso eólico en el litoral del archipiélago canario, con el objetivo de identificar y valorar las zonas más viables sobre las que se pueda aprovechar el recurso eólico y cómo influye el oleaje y la estabilidad atmosférica en las mismas. También se analiza para un modelo de aerogenerador en concreto (*Siemens 3.6*), las horas equivalentes, rendimiento medio horario y el factor de capacidad. Los resultados obtenidos sirven de base para poder planificar e instalar parques eólicos marinos.

Métodos y Materiales

Los datos utilizados, desde el 2000 hasta 2010, para realizar el estudio que se presenta en este artículo, han sido obtenidos a partir de la información procedente de la Red WANA, perteneciente al Organismo Público Puertos del Estado del Ministerio de Fomento de España (<http://www.puertos.es>). Esta red está constituida por un conjunto completo de nodos de las mallas de cálculo del modelo de generación de oleaje WAM [4], forzado por campos de viento generados por el modelo meteorológico *High Resolution Limited Area Model*, HIRLAM [5].

Se seleccionaron un total de 58 nodos que formaban parte de las mallas, ver figura 1. El criterio empleado para esta selección fue la disponibilidad de información de los mismos, así como intentar evitar que estuvieran ubicados en lugares que interfiriesen con la navegación marítima, o en zonas con un importante valor ambiental y por lo tanto protegidas. Se decidió contar con un número mayor de nodos entre las islas occidentales, con el fin de poder comprobar si la cercanía de las mismas podía producir algún tipo de efecto de canalización del viento, que produjese el incremento de las velocidades medias.



Fig. 1. Mapa de las Islas Canarias con la situación de los nodos analizados

El conjunto de datos WANA está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje, procedentes del modelado numérico. Son, por lo tanto, datos simulados y no proceden de medidas directas de la naturaleza. Las series WANA proceden del sistema de predicción del estado de la mar. No obstante, los datos WANA no son datos de predicción sino datos de diagnóstico o análisis. Esto supone que para cada instante, el modelo proporciona campos de viento y presión consistentes con la evolución anterior de los parámetros modelados y con las observaciones realizadas.

Las series de viento y oleaje del conjunto WANA no son homogéneas, pues el modelo de vientos se modifica de modo periódico. El modelo numérico utilizado para generar los campos de vientos es el HIRLAM. Se trata de un modelo atmosférico mesoscalar e hidrostático cuya resolución es de 0,5 grados en el océano Atlántico y 0,2 grados en el mar Mediterráneo. Dicho modelo incluye asimilación de datos instrumentales. Los datos de viento facilitados son promedios horarios a 10 metros de altura sobre el nivel del mar.

Debido a la resolución con la que se ha integrado el modelo de atmósfera, los datos de viento no reproducen ni efectos orográficos de escala inferior a 15 Km, ni procesos con escala temporal inferior a 6 horas [6]. No obstante, el modelo reproduce correctamente los vientos regionales inducidos por la topografía. Por otro lado, de modo general, será más fiable la reproducción de situaciones con vientos procedentes del mar.

En definitiva, el conjunto de datos WANA proporciona descripciones del clima de viento y oleaje, que en general, son adecuadas en todo el entorno litoral español. No obstante, es necesario tener cautela ya que al sur del archipiélago canario, pueden no reproducirse bien las condiciones procedentes del suroeste.

Evaluación del potencial eólico útil

El régimen medio direccional de velocidad del viento es el factor crítico que permite evaluar el recurso eólico de un determinado emplazamiento. A partir del régimen medio direccional, es posible efectuar un análisis de persistencias que, aplicado a un tipo concreto de aerogenerador permite realizar la evaluación del potencial eólico [7].

Para el presente estudio se ha tenido en cuenta el aerogenerador *Siemens 3.6 MW B52*, diseñado para funcionamiento *offshore*, de potencia nominal 3,6 MW, con una velocidad de arranque de 3 m/s, de corte en 25 m/s y la siguiente curva de potencia, figura 2.

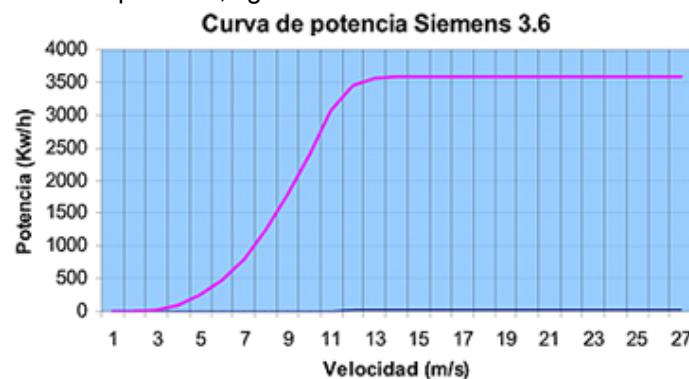


Fig. 2. Curva de potencia del aerogenerador Siemens 3,6 MW

Para realizar la evaluación del potencial eólico existente en la zona, se procedió a elevar a una altura de 100 metros sobre el nivel de mar, las velocidades medias trihorarias obtenidas para cada nodo WANA, mediante un perfil logarítmico de viento del tipo [8]:

$$u_z = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) - \psi_m \left(\frac{z}{L} \right) \right] \quad (1)$$

Siendo u_z la velocidad media a la altura z , u^* la velocidad de fricción, k la constante de Von Karman, z_0 el parámetro de rugosidad, L la longitud de Monin-Obukhov.

La expresión $\Psi_m(z/L)$ introduce en el perfil las turbulencias de origen térmico; en el caso estudiado, se ha elegido un perfil de viento con estratificación neutra, una rugosidad $z_0 = 0,0001$ m, correspondiente a un mar en calma, y un valor $k = 0,4$.

Si se representan los datos en forma de histograma no acumulado, el régimen medio vendría definido por aquella banda de datos en la que contiene la masa de probabilidad que hay en torno al máximo del histograma.

El régimen medio se describe, habitualmente, mediante una distribución teórica que ajusta dicha zona media o central del histograma. Es decir, no todos los datos participan en el proceso de estimación de los parámetros de la distribución teórica, sino que solo lo hacen aquellos datos cuyos valores se sitúan en la zona media del histograma.

Para describir el régimen medio de las series de viento se ha elegido la distribución Weibull triparamétrica, cuya expresión es la siguiente [9]:

$$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{\gamma} \right] \quad (2)$$

Donde el parámetro α es conocido como parámetro de centrado y su valor debe ser menor que el menor de los valores ajustados, β es el parámetro de escala (que ha de ser mayor que 0) y, por último, γ es el parámetro de forma y suele oscilar entre 0,5 y 3,5.

El régimen medio está directamente relacionado con lo que se denominan condiciones medias de operatividad, es decir, caracteriza el comportamiento probabilístico del régimen de viento en el que, por término medio, se va a desarrollar una determinada actividad.

Ajustar los datos a una distribución teórica, permite obtener una expresión compacta que suaviza e interpola la información proporcionada por los registros de viento.

Influencia del oleaje y de la estabilidad atmosférica

Por otro lado, se ha estudiado la influencia de los parámetros más representativos del perfil logarítmico diabático, z_0 , usualmente parametrizado en el mar como una función del oleaje [10].

$$z_0 = a \left(\frac{u_*^2}{g} \right) \quad (3)$$

Siendo "a" la constante de Charnock, que integra en la expresión la altura significativa del oleaje, con un valor de $a = 0,015$ para un mar completamente desarrollado, se ha fijado en dos valores: la rugosidad elegida para el perfil aplicado, $z_0 = 0,0001$, y otro valor de z_0 característico de oleajes de viento en zonas costeras $z_0 = 0,001$; se han considerado también las categorías de estabilidad atmosférica (D: neutra, F: estable, B: inestable) mediante las expresiones de Businger-Dyer [11, 12].

La valoración se realizará en base a la media calculada de los valores obtenidos, tabla 1, para el parámetro horas equivalentes y según los criterios que se exponen a continuación.

Tabla 1. Valoración según las horas equivalentes

Valoración		Horas Equivalentes
Inviabile		< 2.750
Viable	Medio Bajo	2.750 < valor < 3.000
	Bueno	3.000 < valor < 3.500
	Muy Bueno	> 3.500

Las horas equivalentes indican el número de horas que el aerogenerador tendría que funcionar a plena carga (potencia nominal), para generar la cantidad de energía vertida a la red.

Resultados y Discusión

En la siguiente tabla se presentan algunos datos resultantes de las simulaciones realizadas, el mayor incremento de la velocidad del viento (normalizada a 1) corresponde a situaciones de estabilidad ($L=5.5$ m, categoría de Pasquill F.) [12,13], con valores alejados de lo aceptable en el mar; las situaciones de atmósfera estable (la más probable), con un incremento en el perfil de un 25 % en la velocidad al ascender de 10 a 100 metros de altura, y de un 3 % en el caso de inestabilidad, siempre considerando $z_0 = 0,001$, se encuentran dentro de lo asumible.

Tabla 2. Influencia de la rugosidad del mar y de la estabilidad atmosférica

um	zm	zh	z0	k	stab.	B-D	x	u*	uzh
1	10	100	0,0010	0,35	D	0,000		0,038	1,250
1	10	100	0,0001	0,35	D	0,000		0,030	1,200
1	10	80	0,0010	0,35	D	0,000		0,038	1,226
1	10	80	0,0001	0,35	D	0,000		0,030	1,181
1	10	100	0,0010	0,35	F	84,600		0,038	10,435
1	10	100	0,0001	0,35	F	84,600		0,030	8,548
1	10	80	0,0010	0,35	F	67,680		0,038	8,574
1	10	80	0,0001	0,35	F	67,680		0,030	7,056
1	10	100	0,0010	0,35	B	-2,026	2,95	0,038	1,030
1	10	100	0,0001	0,35	B	-2,026	2,95	0,030	1,024
1	10	80	0,0010	0,35	B	-1,880	2,80	0,038	1,022
1	10	80	0,0001	0,35	B	-1,880	2,80	0,030	1,017

Los resultados muestran que con situaciones de mar en calma y estabilidad atmosférica, se produce un incremento en el perfil del viento al ascender hasta los 100 metros de altura, a la cual se sitúa el buje del aerogenerador.

Velocidades medias del viento

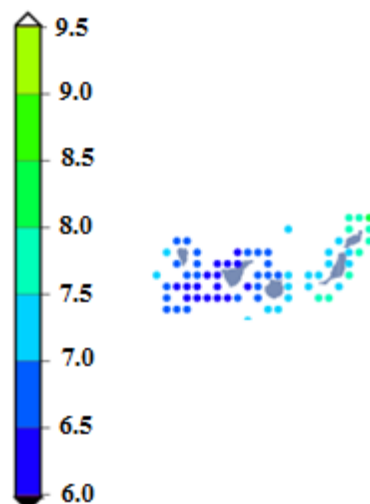
Como se ha comentado anteriormente, el perfil elegido para elevar la velocidad del viento de los 10 metros de altura de salida del modelo HIRLAM, a los 100 metros estimados de altura del buje del aerogenerador, es un perfil logarítmico con estratificación neutra y una rugosidad $z_0 = 0,0001$ m, correspondiente a un mar en calma. El valor de k se ha fijado en 0,4.

A partir de los registros trihorarios de viento de cada nodo WANA, se obtiene la serie temporal de los registros correspondiente a una altura de 100 m, a los que se les aplica un modelo probabilístico para obtener su régimen medio. Este se puede definir como el conjunto de “estados de viento” que más probablemente se pueden encontrar.

Como ya se dijo en la metodología, la distribución elegida para describir el régimen medio de las series de viento ha sido la distribución de Weibull triparamétrica.

Las velocidades medias del viento obtenidas se asemejan a las extrapolaciones de las medidas del viento (ver Fig. 3) realizadas en tierra firme y llevadas a mar adentro, representadas en el mapa eólico de las Islas Canarias, a 80 metros de altura, desarrollado por el Instituto de Diversificación y Ahorro de la Energía del Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España.

De los resultados obtenidos se descarta que la cercanía de las islas occidentales produzca algún tipo de efecto de canalización del viento que provoque el incremento de las velocidades medias. Las islas orientales son las que presentan velocidades medias de viento más elevadas, confirmándose la fuerte influencia que los vientos Alisios causan en las mismas.

**Fig. 3.** Gráfico de la velocidad media del viento (m/s)

Rendimiento medio horario

Se define como rendimiento medio horario la energía eléctrica producida de media cada hora, según la curva de potencia del aerogenerador Siemens 3,6 MW. En la siguiente figura 4 se pueden observar los resultados obtenidos para cada uno de los nodos WANA en el litoral canario.

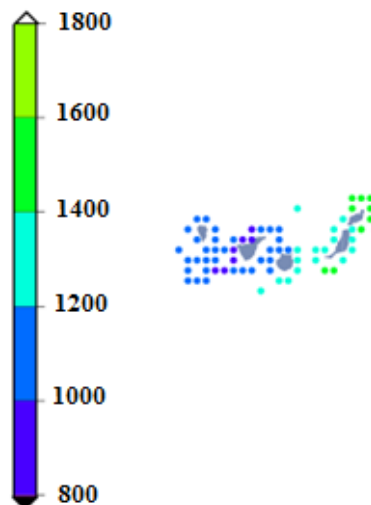


Fig. 4. Gráfico del rendimiento medio horario (kWh)

Como era de esperar, las zonas con mayor rendimiento medio horario se corresponden con las que presentan velocidades medias de viento más altas. Las islas más orientales (Lanzarote, Fuerteventura y el sureste de Gran Canaria), poseen rendimientos medios más altos. Si bien es cierto, el suroeste de la isla de Tenerife presenta los rendimientos medios más bajos, debiéndose a algún efecto de sombra o apantallamiento producido por la misma isla, debido a su tamaño y a la orografía tan particular que tiene.

Horas equivalentes y factor de capacidad

A partir de la curva de potencia del aerogenerador Siemens 3,6 MW, se han calculado, para cada nodo WANA, el número de horas que tendría que haber estado funcionando el aerogenerador a potencia nominal para producir la cantidad de energía estimada en un año.

De igual forma, se ha calcula el factor de capacidad, siendo este el tiempo que el aerogenerador está funcionando a plena carga durante el año, para cada uno de los nodos WANA.

La valoración final de las zonas se ha realizado en base a la media calculada para el parámetro horas equivalentes, figura 5. Las horas equivalentes del aerogenerador están relacionadas con el recurso eólico disponible y son el número de horas que el aerogenerador estará funcionando a pleno rendimiento. De la figura anterior se desprende que habrá zonas, situadas en las islas orientales, con horas equivalentes entre 3.800 y 3.000 lo que equivale a la categoría establecida de zonas viables y por lo tanto, se pueden considerar como apropiadas para planificar e instalar parques eólicos marinos.

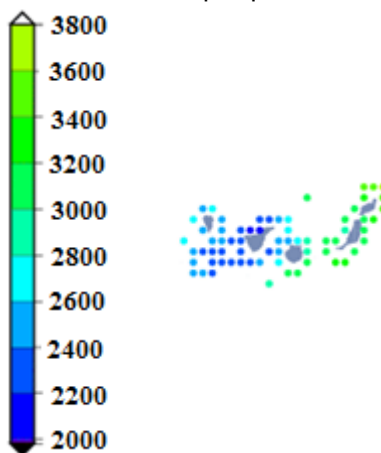


Fig. 5. Gráfico de las horas equivalentes

El factor de capacidad o factor de carga se emplea para medir el comportamiento energético de una instalación eólica, figura 6. El valor del factor de capacidad debe ser mayor que 25 para que un sistema de generación de electricidad, ya sea un aerogenerador o una agrupación de aerogeneradores (parque eólico), se considere de forma preliminar factible económicamente. Teniendo en cuenta esto, en la figura

anterior todas las ubicaciones marcadas de color azul representan zonas con valores superiores a 30, por lo que sería factible la implantación de estos dispositivos, lo cual concuerda con todos los resultados obtenidos con anterioridad.

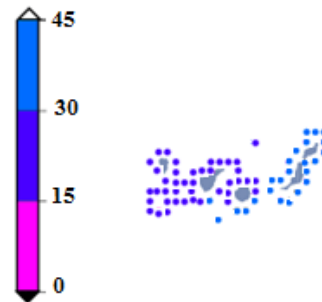


Fig. 6. Gráfico del factor de capacidad

Altura significativa del oleaje

En el caso del oleaje, el parámetro estudiado es la Altura Significante (H_s), figura 7. Este parámetro es un indicador usual del grado de severidad del oleaje, se define como la media del tercio de la altura de las mayores olas que durante un periodo de 20 minutos se propagan a través de una cierta zona.

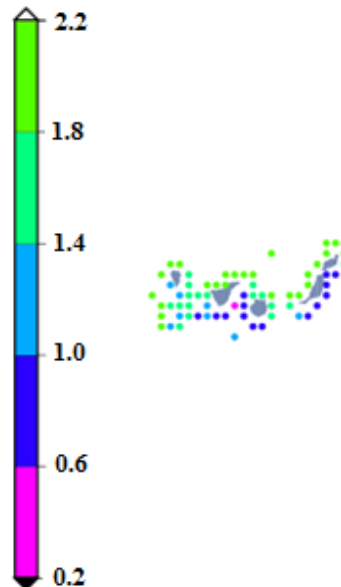


Fig. 7. Gráfico de la altura significativa (H_s) del oleaje

De los resultados obtenidos se desprende que el norte y noroeste de las islas son las que presentan las alturas significativas del oleaje más altas. Atendiendo a la definición dada anteriormente, en estas zonas se registrarán alturas de olas individuales de más metros de altura. Estas alturas de oleaje se han obtenido de nodos en alta mar, mientras que en la línea de costa, las alturas son generalmente menores por el efecto de refracción que el fondo ejerce sobre el oleaje y que hace que éste siempre llegue paralelo a la costa, independientemente de su dirección original. La altura del oleaje se encuentra en proporción directa con la velocidad del viento tanto en magnitud como en dirección.

Valores medios calculados

Los resultados obtenidos del estudio de los nodos, han permitido dividir el archipiélago canario en 11 zonas claramente diferenciadas. Las zonas han sido establecidas de acuerdo a la proximidad y a la similitud de los resultados que han proporcionado las simulaciones realizadas en cada nodo.

Para el estudio de cada una de las zonas se han empleado el número máximo de nodos de los cuales se dispuso información, siendo seleccionados también de acuerdo a los criterios ya mencionados.

A continuación se incluyen los valores medios calculados, tabla 3, de los parámetros siguientes: horas equivalentes, factor de capacidad, velocidad media del viento y rendimiento horario, así como el número de nodos que se han utilizado para el cálculo de cada una de las medias, una breve descripción de la zona y la valoración.

Tabla 3. Valores medios calculados para diversos parámetros

Provincia	Descripción	Nº Nodos	Media Horas Equivalentes	Factor Capacidad (%)	Media Velocidad (m/s)	Media Rendimiento Horario	Valoración
Palmas de Gran Canaria	Mitad sur de la isla de Lanzarote y mitad este de la isla de Fuerteventura	6	3184,08	36	7,54	1387,57	Viable Bueno
Palmas de Gran Canaria	Mitad oeste isla Fuerteventura	6	3059,35	35	7,38	1334,70	Viable Bueno
Palmas de Gran Canaria	Mitad norte isla Gran Canaria	6	2728,12	31	6,94	1188,52	Inviabile
Santa Cruz de Tenerife	Isla de Tenerife	8	2361,00	27	6,47	1025,08	Inviabile
Santa Cruz de Tenerife	Isla de la Gomera y la Palma	13	2425,28	27	6,59	1050,75	Inviabile
Santa Cruz de Tenerife	Mitad oeste isla del Hierro	5	2449,68	28	6,69	1059,96	Inviabile
Santa Cruz de Tenerife	Este de la isla del Hierro	5	2322,20	26	6,49	1005,86	Inviabile
Santa Cruz de Tenerife	Sur de la isla de Tenerife	3	2494,50	28	6,63	1085,57	Inviabile
Palmas de Gran Canaria	100 millas náuticas al suroeste de Gran Canaria	1	3038,95	34	7,31	1325,80	Viable Bueno
Palmas de Gran Canaria	Mitad sur isla de Gran Canaria	3	3063,57	35	7,34	1337,50	Viable Bueno
Palmas de Gran Canaria	3 millas náuticas al sur isla Fuerteventura	2	3254,35	37	7,63	1421,60	Viable Bueno

Conclusiones

En situaciones de estabilidad atmosférica se produce un incremento en el perfil de la velocidad del viento, mientras que con situaciones de inestabilidad este incremento se reduce notablemente. Las mayores velocidades del viento se corresponden con ambientes de estabilidad atmosférica y estados del mar en calma. Queda demostrada la influencia del oleaje y de la estabilidad atmosférica en la velocidad del viento y por lo tanto, en el aprovechamiento del recurso eólico marino.

La altura significativa del oleaje es mayor en el noroeste de las islas, siendo un buen indicador del grado de severidad del oleaje, lo cual afectará a la rugosidad de la superficie marina y por lo tanto al viento. La altura del oleaje se encuentra en proporción directa con la velocidad del viento tanto en magnitud como en dirección.

Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas, permitieron dividir el archipiélago de las Islas Canarias en 11 zonas, de las cuales únicamente 5 obtuvieron una valoración viable para el aprovechamiento del recurso eólico marino y por lo tanto, serían válidas para planificar e instalar parques eólicos marinos.

Las zonas con mayor número de horas equivalentes, factores de capacidad elevados y con velocidades medias de viento más altas, se corresponden con las islas más orientales, Lanzarote, Fuerteventura y el sureste de la isla de Gran Canaria. Todo el archipiélago está influenciado por los vientos alisios, procedentes del norte y nordeste, siendo las islas mencionadas anteriormente las primeras que encuentra a su paso. Por lo tanto, es lógico que el nordeste posea velocidades medias mayores a las del suroeste, ya que presentará modificaciones regionales como consecuencia de la orografía que poseen las islas de origen volcánico.

Referencias

1. Peter, C. y Acosta, J. *Geophysics of the Canary Islands*. The Netherlands: Springer. 2005. ISBN 1-4020-3325-7.
2. Zuñiga, I. y Crespo, E. *Meteorología y Climatología*. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2010. ISBN 978-84-362-6082-3.
3. Martin, A. et al. "An offshore wind atlas for the Canary Islands". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011, nº 15, p. 612-620. ISSN 1364-0321.
4. Hasselman, K. y Bauer, E. The WAM Model-A third Generation Ocean Wave Prediction Model. USA: American Meteorological Society. 1988. vol. 18.
5. Rodríguez, E. y García, J. *El modelo HIRLAM de predicción del INM*. Madrid, España: Instituto Nacional de Meteorología. 1996. p. 101-106. [Consultado el: 14 de junio de 2013]. Disponible en: <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000120%5C00000043.pdf>
6. Mestre, A. *Agrometeorología*. Madrid, España: Agencia Estatal de Meteorología. 2010.
7. Couñago, B. y Barturen, R. *Estudio técnico-financiero sobre la construcción de un parque eólico marino flotante en el litoral español*. Madrid, España: Archivo digital de la Universidad Politécnica de Madrid. 2010. [Consultado el: 7 de julio de 2013]. Disponible en: http://oa.upm.es/6277/2/Estudio_parque_eolico_marino_flotante.pdf
8. Bañuelos, F. et al. "Análisis y validación de Metodología usada para la obtención de perfiles de velocidad de viento". En: *Reunión de verano, RVP-AI'2008*, Acapulco. México. 2008. [Consultado el: 21 de agosto de 2013]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/11545563/Analisis-de-perfiles-verticales-de-viento>
9. Dodson, B. *The Weibull Analysis Handbook*. 2da ed. Milwaukee, Wisconsin, USA: ASQ Quality Press, USA. 2006. ISBN 0-87389-667-X.
10. Fairall, C, et al. Wind, wave, stress, and surface roughness relationships from turbulence measurements made on flip in the scope experiment. Colorado, USA: *Environmental Technology Laboratory*. 1996.
11. Steeneveld, G. et al. "Fluxes and gradients in the convective surface layer and the possible role of boundary-layer depth and entrainment flux". *Meteorology and Air Quality*. 2005. vol. 116, nº 2, p. 237-252. ISSN 1559-128X
12. Pasquill, F. y Smith, F. "Atmospheric Diffusion". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 2006. vol. 88, p. 202-204. ISSN 1477-870X.
13. Estévez, H. "Aplicación de métodos estadísticos en el sector eólico". *Revista índice*. 2008. p. 9-13. ISSN 1697-2325.