

# CLIMA DE VIENTO EN EL DELTA DEL EBRO. RELACIÓN CON EL ESTADO DEL MAR

Jordi CATEURA SABRÍ; Agustín SÁNCHEZ-ARCILLA CONEJO y  
Rodolfo BOLAÑOS SÁNCHEZ

*Laboratori d'Enginyeria Marítima, Universitat Politècnica de Catalunya*

## RESUMEN

La caracterización del viento sobre el mar es de extrema importancia en el modelado del oleaje. Por ello es necesario conocer las características de las estaciones meteorológicas que proporcionan los datos. En este contexto el presente estudio no se limita a obtener el clima de viento en la zona del Delta de l'Ebre, sino que busca qué estaciones caracterizan de mejor manera el viento que genera el oleaje, en especial el más energético.

**Palabras clave:** Viento, oleaje, generación, mar de fondo, mar de viento.

## ABSTRACT

*The characterization of the wind field over the sea surface is one of the key driving factors for wave generation. Because of this, it is relevant to assess the main characteristics of meteo stations providing these data for wave generation. Within this context, this paper is not limited to the wind field features in the Delta de l'Ebre area but it also addresses which stations are better to drive the corresponding waves. Particular attention will be paid to storm peaks which are the more relevant events from a meteoceanographic and engineering stand point.*

**Key words:** Wind, waves, generation, swell, sea.

## 1. INTRODUCCIÓN

La caracterización del viento en el Delta del Ebro realizada en trabajos previos (GARCÍA, 1982) describe los vientos dominantes en la zona y centra el estudio en el comportamiento estadístico del viento para obtener futuros valores extremos.

En el marco de mejora y desarrollo del modelo numérico de generación de oleaje WAM (*Wave Model*) (WAMDI GROUP, 1988) aplicado en el litoral catalán es necesario realizar también un análisis crítico de los datos de entrada del modelo, que corresponden a los campos de viento proporcionados por el modelo meteorológico MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*) (KAPLAN *et al.*, 1982). Como paso previo a este análisis es necesario conocer cual es el clima de viento en la zona de interés. Por motivos de disponibilidad de datos y debido la sensibilidad del terreno, se ha centrado el estudio en la zona del Delta de l'Ebre (Fig. 1).

## 2. DATOS DISPONIBLES

En el análisis del clima de viento se han usado las series temporales de 5 años de registros de la red XIOM (Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics) emplazados en la zona de estudio. Se define como "clima de viento" a pesar de conocer la representatividad relativa de una serie tan corta de datos, y la necesidad de tener series de 10 a 30 años para poder caracterizar correctamente el clima. Sin embargo, para el ejercicio realizado de comparación entre las distintas estaciones meteorológicas y con el objetivo de la validación del modelo meteorológico el intervalo temporal puede ser suficiente.

Los datos usados se han obtenido de la red meto-oceanográfica XIOM y comprenden los registros de 3 estaciones meteorológicas y 1 boya direccional de oleaje (Tabla 1 y Fig. 1). Las estaciones meteorológicas proporcionan datos de velocidad media, máxima y dirección dominante del viento cada 10 minutos a una altura de 10 m. La boya direccional de oleaje se encuentra frente a Cap Tortosa en la curva batimétrica de 50 m y proporciona información cada 10 minutos de altura, periodo y dirección del oleaje. Las mediciones de viento sobre el mar proceden de la plataforma petrolífera Casablanca (Repsol-YPF), ubicada a 40 km mar a dentro de Cap Tortosa y a 45 km al S de la ciudad de Tarragona, aproximadamente. Los datos de esta estación están muy sesgados, tienen resoluciones temporales distintas y no siempre hay la misma disponibilidad, aunque en general se tiene velocidad media, máxima y dirección dominante cada 18 minutos. Además el anemómetro se encuentra a una altura de 69 m sobre el nivel del mar, de manera que las velocidades se han reducido a 10 m con la hipótesis de perfil logarítmico del viento.

Tabla 1. Procedencia y periodo de los datos utilizados

Estación meteorológica	Periodo	% de datos posibles usados
L'Ampolla	07/1997 - 12/2002	94%
Deltebre	06/1997 - 12/2002	88%
Sant Carles de la Ràpita	03/1997 - 12/2002	89%
Casablanca	11/1996 - 12/2002	65%
<b>Boya direccional</b> Cap Tortosa	<b>Periodo</b> 03/1997 – 12/2002	

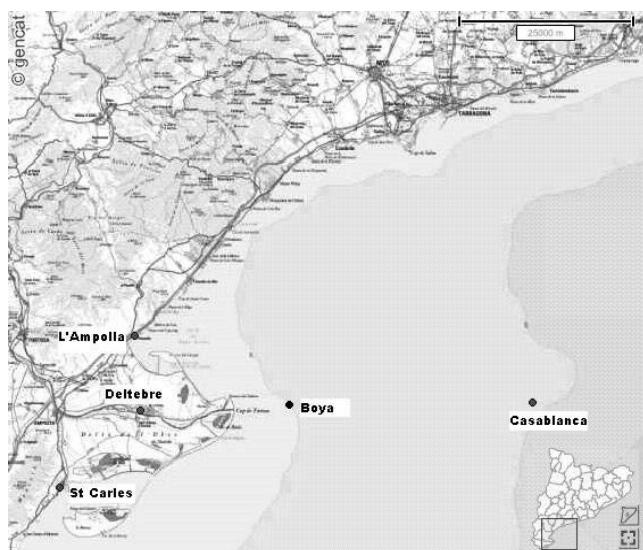


Fig. 1. Localización de las estaciones meteorológicas y la boya  
(Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya)

Debido a que los datos adquiridos contienen información desde la macrometeorología hasta la micrometeorología (VAN DER HOVEN, 1957) se promedian las velocidades sobre un intervalo de una hora eliminando así las fluctuaciones debido a la turbulencia y caracterizar el clima de viento.

### 3. CLIMA DE VIENTO

En los análisis realizados en las estaciones meteorológicas de localidades costeras se detecta un comportamiento del viento muy dispar (Fig. 2). Todas las estaciones reflejan efectos característicos de su localización, pero el comportamiento del viento no se explica por su ubicación dentro de la localidad, sino que existe una explicación plausible asociada a los efectos orográficos de mayor escala. En este sentido se detectan las direcciones de brisa para cada localidad y el efecto de las barreras aerológicas que suponen los diferentes macizos montañosos.

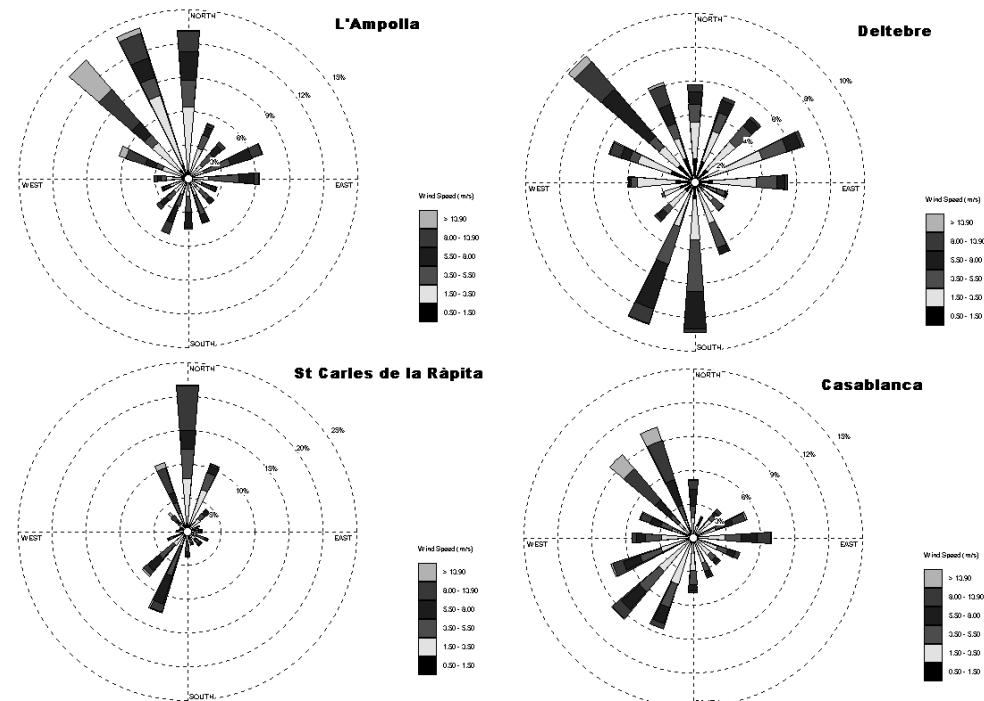


Fig. 2. Clima de viento anual en las diferentes estaciones

A pesar de los efectos locales sí que se pueden encontrar características comunes. En todas las estaciones se detecta la marcada presencia del conocido *mestral* (viento fuerte del NW), que se ve favorecido por el acanalamiento que supone la Vall de l'Ebre y que sopla con más o menos frecuencia durante todo el año. La excepción, pero con explicación orográfica a este régimen es Sant Carles de la Ràpita, que por estar al sur del Delta y con el macizo montañoso del Montsià justo en la dirección NW, la dirección dominante es N. La estación con mayor episodios de mestrales es otoño, en todas las localidades.

Otra característica común destacable, aunque no se observa en Sant Carles de la Ràpita, es la mayor frecuencia de dirección E y con fuertes vientos en primavera, coincidiendo con episodios de *llevantades* (temporales del E).

Sobre el mar, también se manifiestan estas características comunes: alta presencia del mestral durante todo el año y gran frecuencia de componente E en primavera. También hay que destacar la influencia de la costa en el régimen de vientos de verano, ya que en esta estación las direcciones dominantes son las direcciones de las brisas marinas. Tal y como es de esperar las mayores velocidades se registran en la plataforma petrolífera, con máximas (en promedio horario) registradas comprendidas entre los 20,7 m/s de febrero, marzo y setiembre, de direcciones de NW, E y W, respectivamente, hasta los 28,1 m/s del NW en diciembre. Aunque la frecuente presencia de fuertes vientos también es destacable en l'Ampolla.

Es destacable el gran peso de las componentes S y SSW en la estación de Deltebre. La ausencia de una clara presencia de estas componentes en las demás estaciones y sus bajas velocidades, sugiere que se trata de un efecto local de esta estación.

#### 4. ANÁLISIS DE EPISODIOS ENERGÉTICOS (TEMPORALES MARÍTIMOS)

Para profundizar en el estudio y caracterización de las distintas estaciones y así poder evaluar su relevancia como factor generador de un estado del mar, se analiza el comportamiento del viento respecto al oleaje para diferentes episodios de temporal marítimo ( $H_s > 150$  cm) y de los que se disponen de datos de la estación ubicada en Casablanca. Con estas limitaciones disponemos de un muestreo de 278 horas sumando los distintos temporales (separados por barras verticales en los gráficos (Fig. 3, a y d). Los dos temporales con mayor número de datos son también los más energéticos medidos en el litoral catalán, correspondientes a noviembre de 2001 y marzo-abril de 2002.

Del análisis de los resultados se desprende que el viento sobre el mar raras veces es menor que el medido en las estaciones costeras, pero sin ningún tipo de correlación entre si. Sobre el mar se observa que la velocidad del viento aumenta y disminuye de forma progresiva, dando lugar a picos anchos en relación con un comportamiento más racheado de las estaciones litorales.

A pesar de la falta de datos, se observa que Deltebre es donde se miden las menores velocidades. Esto está de acuerdo con lo observado en el clima anual, ya que es la estación menos marítima de todas.

Respecto a las direcciones del viento durante los temporales se observa una concentración de los sectores direccionales N, NNW y NW. Solamente en la tormenta de marzo-abril de 2002 hay una frecuencia destacable de viento del cuadrante NE. En contraste, la dirección del oleaje, se encuentra repartida entre NNW – NW y sobretodo E y NNE.

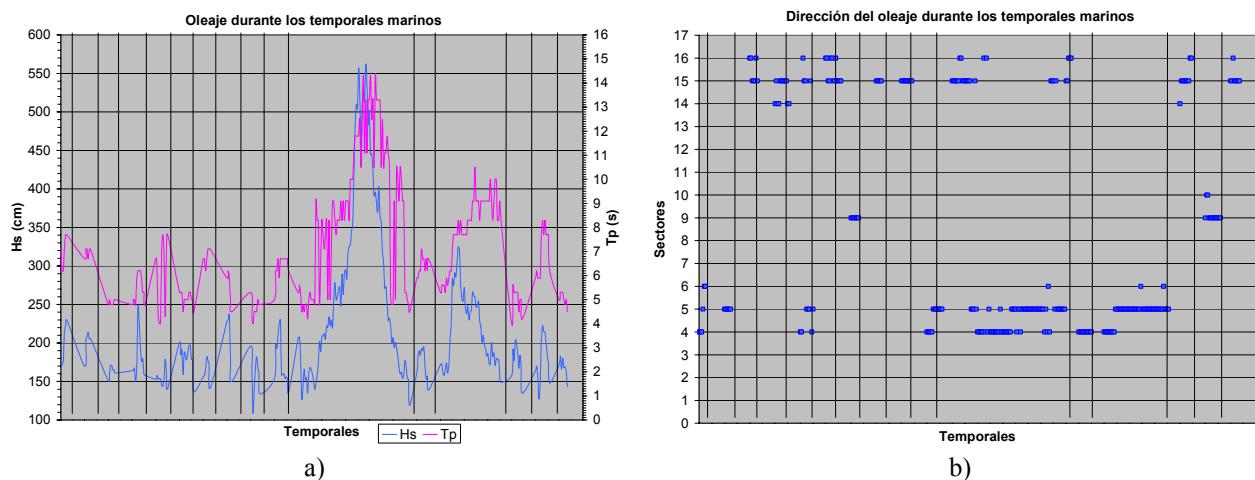


Fig. 3 (a y b). Características del oleaje

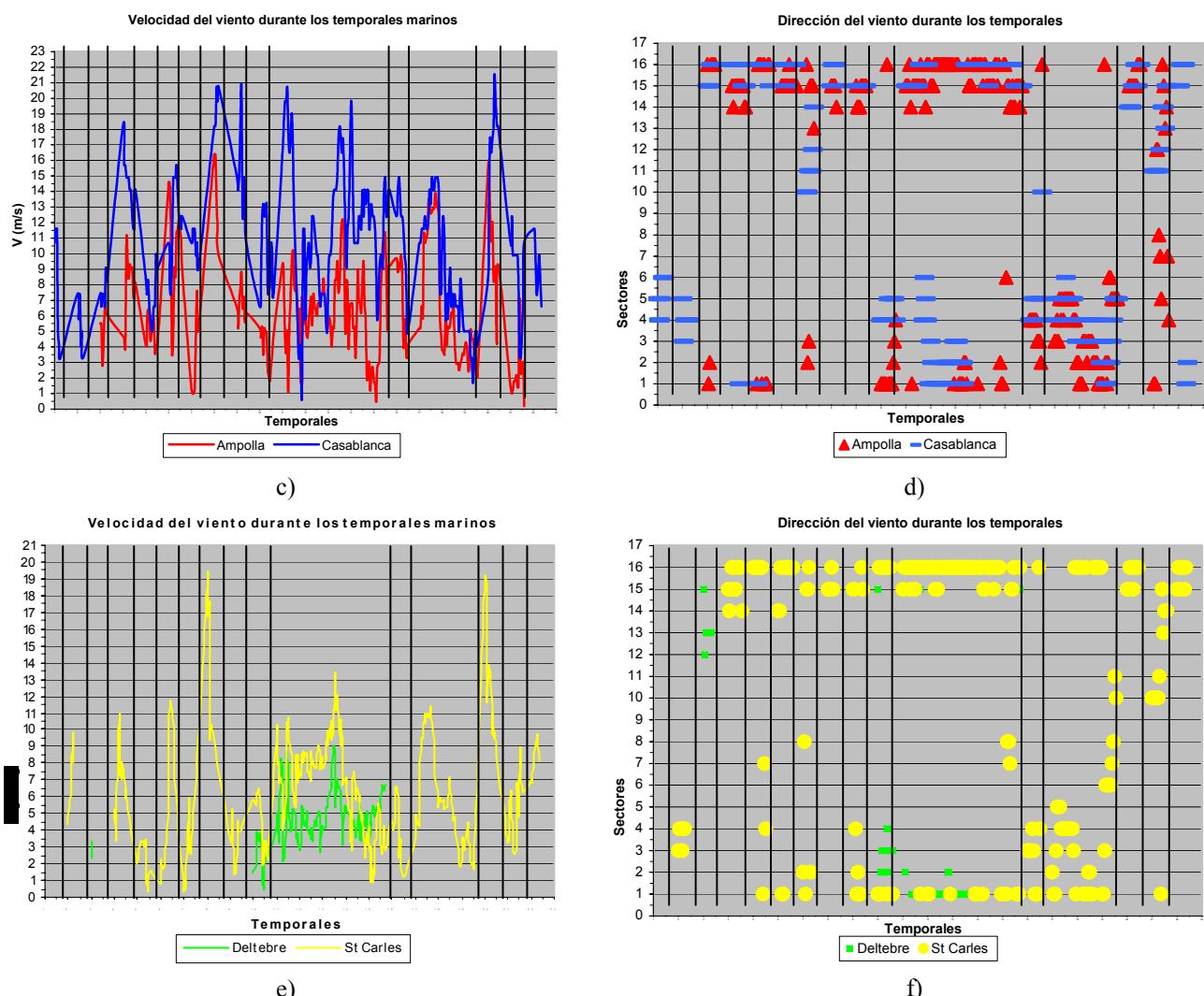


Fig. 3 (c; d; e y f). Características del viento durante los temporales marinos

Esta distribución direccional del oleaje respecto al viento indica que la mayor parte de las situaciones de temporal se producen con mar de fondo y no en situación de mar de viento (SOULSBY, 1997). Esto se comprueba al efectuar una división de cada situación entre mar de fondo y mar de viento, considerando mar de viento cuando el oleaje se encuentra en el mismo sector direccional o en uno de los sectores inmediatamente contiguos y con el criterio que el periodo pico del oleaje no sea superior a 8 s. (Fig. 4).

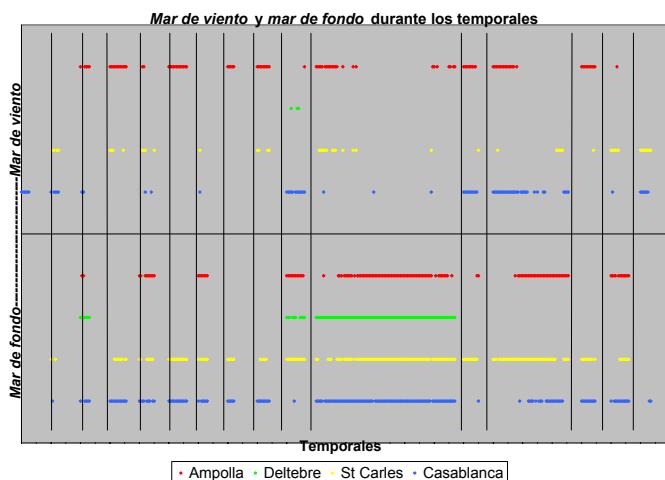


Fig. 4. División en mar de fondo y mar de viento para cada instante de los diferentes temporales

Debido que el objetivo del estudio es determinar qué datos de viento son los más apropiados para usar en la validación del modelo meteorológico que proporciona la entrada al modelo de generación de oleaje, interesa encontrar en cuál de las estaciones hay una mayor correspondencia entre la dirección del viento y la del oleaje. Al considerar las situaciones de mar de viento podemos establecer cuáles de las estaciones tienen la capacidad de detectar la generación del oleaje y para qué direcciones (Fig. 5). Gracias a esta separación se distingue que no todas las estaciones meteorológicas responden de la misma forma. En situaciones de generación de oleaje de NW la estación que mejor lo detecta es la de l'Ampolla y Sant Carles de la Ràpita. Es destacable el hecho que en la plataforma Casablanca solamente en algunas ocasiones se produce generación de oleaje de temporal en la dirección NW. Por el contrario, es donde se detecta con mayor frecuencia la generación de oleaje de levante. Aunque el comportamiento de la estación de la Ampolla durante los episodios de fuerte levante también es muy bueno.

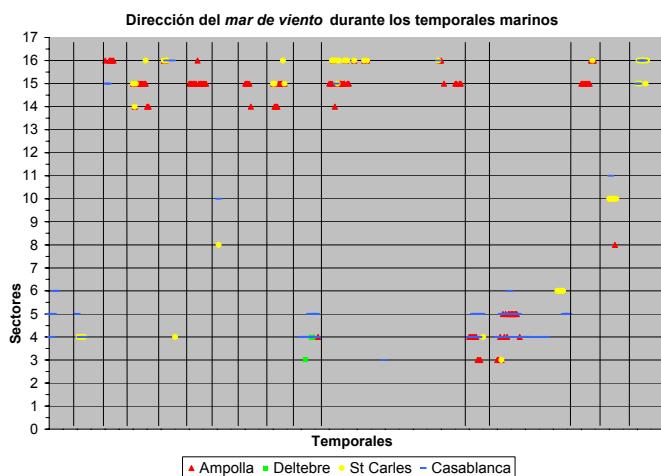


Fig. 5. Direcciones de la mar de viento durante los temporales

La explicación para este comportamiento es el área de generación del oleaje. El viento de mestral, debe su intensidad al acanalamiento producido por la Vall de l'Ebre, a medida que se aleja de la costa pierde intensidad y cambia su dirección. El oleaje que se registra en la boyas, generado en un área limitada por un viento similar al medido en la costa. Sin embargo mar a dentro, la situación es distinta, ya que el NW de la Vall de l'Ebre es un viento local dentro de una situación de N más o menos general, y este es el viento que se mide en alta mar. En la situación de vientos del sector E, y en casi cualquier otra situación, el viento que genera el oleaje es más parecido al que se registra sobre el mar.

## 5. APLICACIÓN AL TEMPORAL DE NOVIEMBRE 2001

El temporal de noviembre de 2001 ha sido uno de los más energéticos que ha sufrido el litoral catalán, de aquí la importancia de su estudio. El temporal fue una sucesión de situaciones sinópticas que alternaban vientos de levante y de mestral en la zona del Delta de l'Ebre, desde el día 9 al 20, llegándose hasta 596 cm de altura de ola significante en la boyas de Cap Tortosa.

Este temporal es estudiado con profundidad (BOLAÑOS *et al.*, 2003 a, b; BOLAÑOS *et al.*, 2004) analizando los errores y sensibilidades de los modelos de oleaje y viento. En la figura 6 se presenta la altura de ola y el periodo medio registrado en la boyas de Cap Tortosa junto con las predicciones obtenidas por el modelo. Debido que la principal entrada en los modelos de oleaje es el campo de vientos, el error en este se propaga a la predicción del oleaje produciendo errores de hasta el 30% en el Mediterráneo. De aquí el interés de validar y mejorar los campos de vientos en base a los datos registrados en las estaciones meteorológicas.

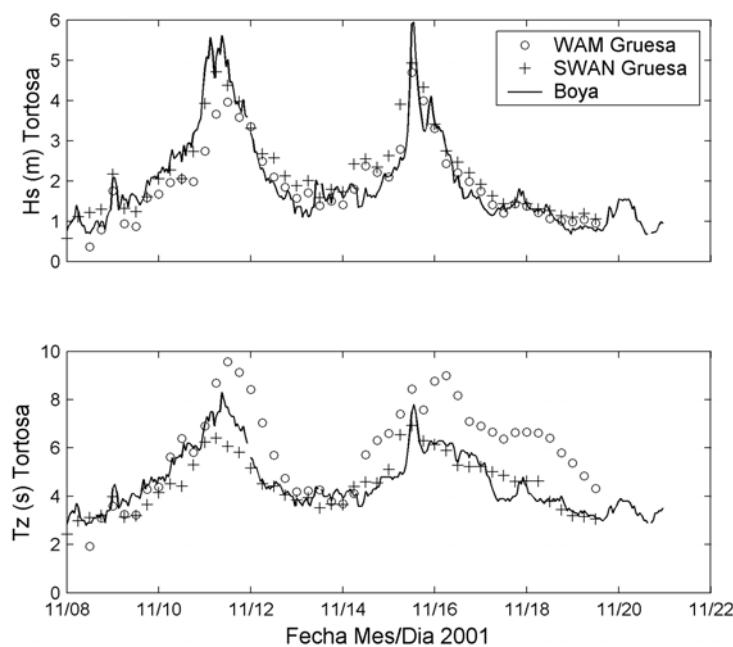


Fig. 6. Comparación datos oleaje registrados con los resultados de los modelos numéricos

Al analizar la altura de ola y la velocidad del viento medido en las estaciones de tierra, por ejemplo con la estación de l'Ampolla, se encuentra que no hay casi correlación (Fig. 7a). Los mismos resultados se obtienen si se intenta caracterizar el evento utilizando registros sobre el mar, medidos en la plataforma Casablanca (Fig. 7b). En este caso la correlación es prácticamente inexistente.

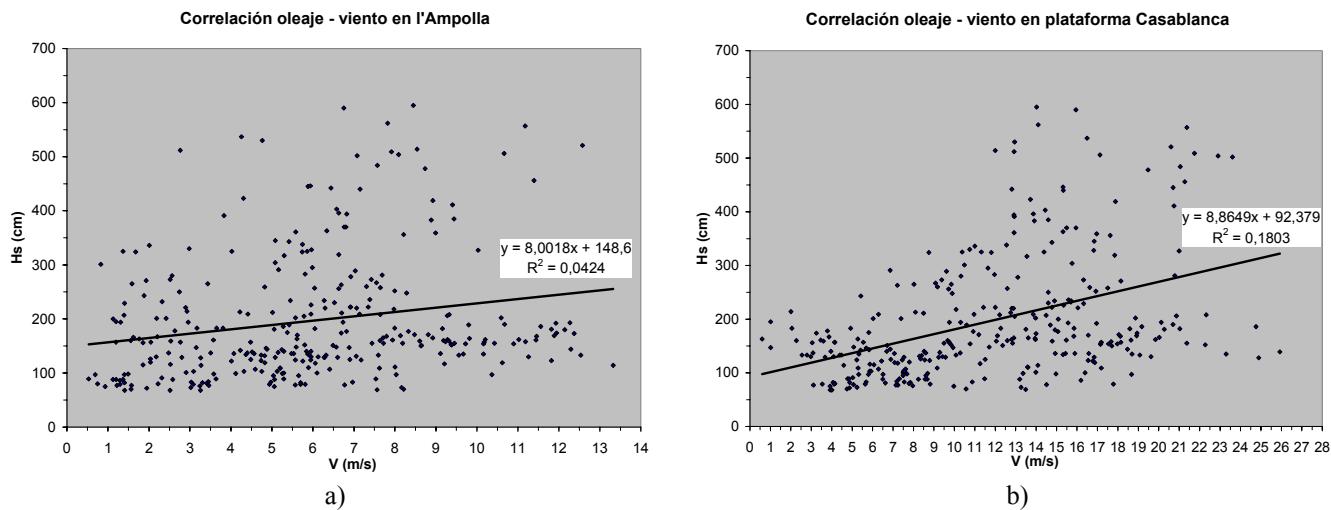


Fig. 7. Comparación oleaje y viento en L'Ampolla (a) y en Casablanca (b)

Es de esperar obtener una buena correlación o al menos una mejor correlación cuando se representa una mayor velocidad del viento que pueda relacionarse con una mayor altura de ola. En las anteriores correlaciones, esto hecho no se da y se puede razonar que es debido a que cuando hay fuerte oleaje no necesariamente se está generando en la zona de medida de la estación.

Como aplicación del estudio anterior se intenta el ejercicio de comparar el viento combinado de ambas estaciones con el oleaje. La combinación se realiza de forma que el viento usado depende de la dirección del oleaje registrado:

- Se usa el viento medido en l'Ampolla cuando el oleaje proviene del sector N-NW.
- El viento medido en Casablanca es usado cuando el oleaje proviene de cualquier otra dirección (casi siempre levante).

El resultado obtenido (Fig. 8) mejora notablemente los resultados de las correlaciones anteriores. La mejor correlación entre oleaje y viento medido explica que para viento de mestral el área de generación es cercana al litoral y el viento que mejor describe la generación de este oleaje es el de la estación del litoral, la de l'Ampolla. En el caso de vientos marinos, dado que el área de generación del oleaje se sitúa mar a dentro, el viento que mejor caracteriza esta generación es el medido en altamar.

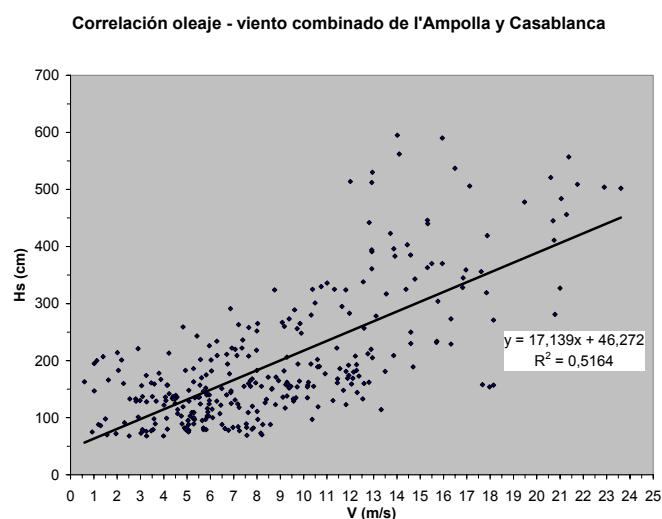


Fig. 8. Comparación oleaje y viento combinado de L'Ampolla y Casablanca

## 6. CONCLUSIONES

En la caracterización del clima de viento de diferentes estaciones meteorológicas situadas en una misma región y no muy alejadas entre si, se han hallado comportamientos muy dispares y algunas características comunes. Este hecho indica que no es fácil escoger una sola estación meteorológica terrestre como representativa de un dominio de generación de oleaje. Esto es así incluso en zonas con poca complejidad topográfica como es el del Delta del Ebro. Además, el comportamiento descrito por ninguna de ellas es igual que el viento registrado sobre el mar, que *a priori* está menos perturbado.

Al comparar el comportamiento del viento en las diferentes ubicaciones en momentos de temporal se comprueba que:

- El viento sobre el mar es siempre de mayor intensidad.
- Una de las estaciones utilizadas en el análisis, la de Deltebre, es más terrestre que las demás.
- Se miden simultáneamente direcciones distintas para el oleaje y el viento en las diferentes estaciones.

Usando un criterio para mar de fondo y mar de viento se detecta que el mar de viento se produce casi exclusivamente en dos sectores direccionales el NW y el E, y que en cada uno de estos sectores el viento que coincide con la dirección del oleaje pertenece casi exclusivamente a una única estación meteorológica, la de l'Ampolla en el caso del NW y la de la plataforma Casablanca en el otro. Se comprueba este hecho al correlacionar los datos para un temporal marino, en el que se alternan varios episodios de oleaje del E y del NW, con el viento en estas dos estaciones. La mejor correlación, es decir, la mejor explicación de la generación del oleaje, se consigue combinando el viento de ambas estaciones, dependiendo de la dirección de procedencia del oleaje.

La utilización de vientos registrados sobre el mar para evaluar los eventos de levante y los de una estación del litoral, tal como la de l'Ampolla, serán sin duda de gran utilidad para poder validar correctamente el modelo meteorológico para la generación del oleaje.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El primer autor quiere agradecer la financiación de este trabajo por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología. El tercer autor agradece la financiación a CONACYT. Así mismo los autores agradecen a la asesora PREVIMED y al Servei de Meteorología de Catalunya (SMC) por la ayuda prestada, a la XIOM (Xarxa d'Instruments Oceanogràfics i Meteorològics) por su contribución al proporcionar los datos. Y así como a todo el personal del Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya (LIM-UPC).

## 8. REFERENCIAS

- BOLAÑOS SÁNCHEZ R. *et al.* (2003a). Spectral evolution and wave age analysis of an exceptional storm off the mediterranean spanish coast. En: *Proceedings of the 22<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and arctic Engineering*. Cancun, México.
- BOLAÑOS SÁNCHEZ, R. *et al.* (2003b). Predicción de sucesos extremos en la costa Catalana. En: *VII Jornadas españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*. Almería.
- BOLAÑOS SÁNCHEZ, R.; CATEURA, J. and SÁNCHEZ-ARCILLA, A. (2004). Evaluation of two atmospheric models applied to wave prediction in the NW Mediterranean. En: *Colloquium, Marine Monitoring and Prediction*. Liege, Belgium.
- GARCÍA, M.A. (1982). "Aproximación al comportamiento estadístico del viento en el Delta del Ebro". *Investigación Pesquera*, 46 (3), pp. 349-377.
- KAPLAN, M.L. *et al.* (1982). "Initial results from a mesoscale atmospheric simulation system and comparisons with an AVE-SESAME I data set". *Monthly Weather Review*, 110, pp. 1564-1590.
- SOULSBY, R. (1997). *Dynamics of Marine Science*. Thomas Telford, London.
- WAMDI GROUP (1988). "The WAM Model: A Third Generation Ocean Wave Prediction Model". *Journal of Physical Oceanography*, 18, pp. 1775-1810.
- VAN DER HOVEN, I. (1957). "Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour". *J. of Met.*, 14, pp. 160-164.