

6. CONCLUSIONES

En la presente tesina se han analizado los datos experimentales obtenidos a partir de dos tripodes instrumentados fondeados a profundidades de 5.85 y 8.5 m junto con datos meteorológicos procedentes de diversas fuentes, en el marco de la campaña de campo TRASEDVE 2000 realizada a finales del mes de octubre y principios de noviembre del año 2000. Con todo ello se ha podido caracterizar de forma precisa el comportamiento hidrodinámico de la plataforma interna del delta del Ebro en condiciones de alta energía. En particular, se ha caracterizado el forzamiento inducido por el desarrollo de un temporal de Llevant bajo condiciones anticiclónicas y, más concretamente, la respuesta hidrodinámica del medio asociada al oleaje y a los movimientos infragravitorios en las proximidades del fondo.

El temporal de Llevant se presenta bajo la acción de fuertes vientos del Este, con intensidades por encima de los 18 m/s, que producen una sobreelevación (*set-up*) en el nivel medio del mar que contrarresta el efecto de un aumento en la presión atmosférica. Sin embargo, después del paso del temporal y hasta el final de la campaña de estudio, cuando se registran vientos de menor intensidad, principalmente de Mestral y Ponent, junto con un nuevo aumento en la presión atmosférica se observa que el nivel medio del mar responde de manera natural a las oscilaciones de la presión atmosférica y a la acción de las mareas astronómicas. Estos comportamientos no sólo se han reflejado en las series temporales sino que también se ha detectado una gran coincidencia en frecuencias, como demuestran las concentraciones energéticas tanto entorno periodos largos (entre 7 y 9 días), en el primer caso, como pequeños (componentes de marea K1 y M2), en el segundo.

El temporal de Llevant se caracteriza por una altura de ola significativa máxima por encima de los 2 m y un periodo de pico asociado cercano a los 9 s. No obstante, cuando disminuyen las condiciones energéticas se observa una mayor variabilidad en las características del oleaje tanto en la altura de ola significativa como en el periodo de pico. Así pues, se registran oleajes con alturas de ola significativa por debajo de los 0.4 m y periodos de pico entorno los 4.5 s como oleajes con alturas de ola significativa que superan 1 m con un periodo de pico cercano a los 8 s.

Sean cuales sean las condiciones meteorológicas se ha observado que las características del oleaje evolucionan, entre la localización más profunda y la más cercana a la costa, siguiendo en todo momento las mismas pautas. Esto se traduce en un coeficiente de propagación de aproximadamente 1.15 (*i. e.* $H_{\text{TRÍPODE 1}} \cong 1.15 \cdot H_{\text{TRÍPODE 2}}$), un periodo de pico que apenas varía entre las localizaciones de estudio y en un cambio en la dirección del oleaje coherente con la batimetría de la zona y el ángulo de incidencia del oleaje en todo momento. En el intervalo en el que se registra el temporal de Llevant se ha obtenido un error, por defecto, entorno el 10% entre la altura de ola significativa calculada con la teoría lineal (*i. e.* teniendo en cuenta los fenómenos de asomeramiento y refracción) y la altura de ola significativa registrada en el emplazamiento más cercano a la costa. Esta pequeña variación entre los valores teóricos y los datos registrados se debe a que los periodos incidentes se encuentran en un rango relativamente estrecho.

Bajo las condiciones de temporal se observa una respuesta prácticamente instantánea entre las condiciones de viento y las del oleaje, es decir, a mayor intensidad de viento mayor altura de ola significativa y viceversa, en base a una relación lineal que se mantiene tanto con intensidades de viento crecientes como decrecientes. Del mismo modo que ocurre entre el nivel medio del mar y las condiciones meteorológicas, en este caso también se obtiene una gran coincidencia en frecuencia y energía entre la intensidad del viento y la altura de ola significativa. Sin embargo, en el segundo periodo

de la campaña de estudio, caracterizado por intensidades de viento sensiblemente inferiores a las registradas durante el temporal, no se observa ningún tipo de relación de forma precisa entre ambas variables.

En las corrientes de baja frecuencia, análogamente a lo establecido entre las condiciones de viento y las del oleaje, se ha observado una estrecha relación entre las condiciones de viento y las corrientes. En particular, se establece que el viento es el principal factor que genera y condiciona el comportamiento de las corrientes, sobretodo en el periodo en el que se registran las mayores condiciones energéticas de toda la campaña de estudio y en el que, además, se detectan episodios de fuertes vientos de Llevant. En este caso, se observa como a medida que aumenta la intensidad del viento se genera una corriente, inicialmente dirigida en la misma dirección, que cuando se acerca a la costa es obligada a "girar" en función de su ángulo de incidencia respecto a la línea de orilla. Esto se traduce en fuertes corrientes hacia el Sur en la dirección paralela a la costa acompañadas por unas corriente de retorno hacia mar de menor intensidad en la componente transversal. En estas condiciones se desarrollan un perfil de velocidad caracterizado por un fuerte gradiente en profundidad en el emplazamiento interior, mientras que en la localización exterior el gradiente se limita a las proximidades del fondo y se observan velocidades muy similares en los niveles menos profundos. Estas diferencias en los perfiles se han explicado como consecuencia de la diferencia de calado entre las localizaciones de estudio.

En cambio, bajo la acción de vientos de intensidad moderada de Ponent y Mestral se genera un flujo en las proximidades de la costa dirigido hacia mar que a medida que avanza a lo largo de la plataforma, hacia la parte más exterior, experimenta un giro hacia el Sur debido a la aceleración de Coriolis. Este giro se encuentra condicionado en mayor medida por los fenómenos de fricción en la localización más próxima a la costa, mientras que en el emplazamiento más exterior aumenta su acción. Este comportamiento se produce sin que llegue a observarse un perfil de velocidades bien desarrollado.

En lo referente a los movimientos gravitatorios se ha podido constatar un comportamiento muy similar en ambas localizaciones de estudio pero con niveles energéticos sensiblemente distintos debido a la diferencia de calado y altura de ola significativa. La energía que se concentra en cada una de las componentes (*i. e.* transversal y longitudinal) refleja en todo momento las condiciones del oleaje. Esto es, en los momentos iniciales del periodo de estudio se registra un oleaje de bajo contenido energético que gira progresivamente desde el Sureste hacia el Este. Consecuentemente, para estos ángulos con una mayor componente del Sur, la proporción de energía en la componente longitudinal respecto la transversal es mayor que para aquellos oleajes con una mayor componente del Este. A medida que se desarrolla el temporal de Llevant se registra un acusado aumento del contenido energético que se concentra en la dirección perpendicular a la costa. En cualquiera de los dos casos se registra una evolución muy similar entre los distintos niveles.

A medida que aumenta la actividad del oleaje se observa, por un lado, un incremento de la U_{rms} asociada los movimientos gravitatorios en base a una relación lineal con la altura de ola significativa y, por otro lado, un acusado aumento de la asimetría de las ondas de alta frecuencia para condiciones consideradas como de temporal en la zona (*i. e.* $H_s > 1.5$ m), registrándose una capacidad de transporte dirigida hacia la costa en la componente transversal y hacia el Sur en la componente longitudinal en la localización más próxima a la costa. Sin embargo, en la localización más profunda las anteriores características no son tan acusadas. Si bien también se obtiene una relación lineal entre la U_{rms} y la altura de ola significativa, se observa una diferencia entorno un 34% entre los niveles superiores de ambos trípodes, mientras que apenas se registra asimetría en las ondas. La diferencia entre la U_{rms} de los niveles superiores de ambos trípodes es

coherente con la diferencia en altura de ola significativa entre las dos localizaciones de estudio (*i. e.* $H_{\text{TRÍPODE 1}} \cong 1.15 \cdot H_{\text{TRÍPODE 2}}$), mientras que la escasa asimetría de las ondas gravitatorias se debe principalmente a la mayor profundidad de la localización exterior, que se traduce en unas velocidades orbitales cerca del fondo muy inferiores a las del emplazamiento menos profundo.

En lo que respecta a los movimientos infragravitatorios se ha obtenido una estrecha relación entre éstos y el oleaje. En ambas localizaciones de estudio se han obtenido relaciones cuadráticas entre la energía infragravitatoria y la gravitatoria tanto en la componente longitudinal como transversal. Debido a ello se han registrado acusados incrementos de la energía infragravitatoria en la localización más cercana a la costa en el periodo en el que se registra el temporal de Llevant.

Igual que ocurría con los movimientos gravitatorios, las características del oleaje se reflejan en los contenidos energéticos de cada componente. Esto provoca que para oleajes con una mayor componente del Sur los contenidos energéticos infragravitatorios sean similares tanto en la dirección paralela como perpendicular a la costa, pero a medida que se desarrolla que el temporal de Llevant se observa una mayor concentración de la energía de baja frecuencia en la componente transversal.

En relación con la U_{rms} asociada a los movimientos de baja frecuencia también se obtiene una relación de tipo lineal con la altura de ola significativa pero los valores registrados representan un 14% del valor asociado a los movimientos gravitatorios como consecuencia del menor contenido energético asociado a las ondas infragravitatorias. Debido a esto se ha considerado que el papel de movilizar y poner en suspensión el sedimento del fondo se debe principalmente a la acción del oleaje. Sin embargo, la importancia de los movimientos infragravitatorios a efectos del transporte de sedimentos no puede despreciarse. Esto se debe a que la asimetría de las ondas infragravitatorias comporta una capacidad de transporte dirigida hacia mar en la dirección perpendicular a la costa y hacia el Norte en la dirección paralela, es decir, en ambos casos en sentido opuesto a la del oleaje.

Finalmente, el origen de los movimientos de baja frecuencia se ha relacionado principalmente con la grupicidad del oleaje, lo que ha hecho que se hable de ondas forzadas. Esto se debe en gran medida a la relación cuadrática entre la energía gravitatoria y el oleaje y a que los mayores coeficientes de correlación lineal entre la envolvente de los movimientos de alta frecuencia y las series de velocidades de baja frecuencia se obtienen para un desfase de cero segundos. Otras características que se han detectado y que también son típicas de las ondas forzadas han sido los periodos asociados, entre 30 y 50 s, y una proporción de la energía infragravitatoria respecto la gravitatoria relativamente constante aún con niveles dispares de esta última.

No obstante, también se han detectado ciertas características de los movimientos de baja frecuencia que han obligado a aceptar la presencia de energía infragravitatoria con una procedencia distinta a la grupicidad del oleaje. En particular, se ha establecido que parte de la energía infragravitatoria se debe a la existencia de ondas de orilla atrapadas y ondas libres. Esta afirmación se basa en que los coeficientes de correlación lineal entre la envolvente de los movimientos de alta frecuencia y las series de velocidades de baja frecuencia no son tan altos como cabría esperar, sobretodo en la componente transversal donde se registra la mayor concentración de energía y que en gran medida coincide con la dirección de propagación del oleaje. Además, si bien es cierto que la proporción de la energía infragravitatoria respecto la gravitatoria se mantiene relativamente constante, los porcentajes más altos se han obtenido en la dirección paralela a la costa. En concreto, se obtiene que en la dirección perpendicular a la costa el porcentaje se mantiene en el 2% en la localización exterior y aumenta hasta 2.2% en la interior, mientras que en la

componente longitudinal la media aumenta hasta 3.2% en la localización más cercana a la costa y desciende a 2.8% en la localización más alejada de la costa. Si con estos porcentajes promedio se calcula el cociente entre los porcentajes de cada componente para cada una de las localizaciones de estudio, el resultado que se obtiene es que la proporción de energía infragravitatoria respecto la gravitatoria en la componente longitudinal es del orden de un 45% superior respecto la componente transversal en el emplazamiento interior y del orden del 40% en la localización exterior. Este hecho, mayor proporción de energía infragravitatoria respecto la gravitatoria en la componente longitudinal, apoya sustancialmente la anterior afirmación pero, como ya se ha comentado en el apartado de los resultados, sería necesario disponer de datos experimentales a lo largo de la línea de orilla para poder tener evidencias de la evolución de la energía infragravitatoria en la dirección paralela a la costa y poder, así, distinguir entre uno u otro origen de la energía infragravitatoria.

Independientemente de los porcentajes entre la energía de baja y alta frecuencia, en términos absolutos, los mayores contenidos energéticos infragravitatorios se obtienen en la componente transversal, que en gran medida coincide con la dirección de propagación del oleaje, registrándose en el pico del temporal valores de $0.0065 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en la localización menos profunda y de $0.003 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en la localización exterior. En la componente longitudinal los anteriores valores se reducen hasta los $0.004 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y los $0.003 \text{ m}^2/\text{s}^2$, respectivamente.