

Ondas internas en el outflow de agua mediterránea en el Golfo de Cádiz.

Ricardo F. Sánchez Leal¹, María Jesús Bellanco¹, David Roque², Andreas Thurnherr³, Simone Sammartino⁴, Francisco Javier Hernández Molina⁵, Jesús García Lafuente⁴, César González-Pola⁶, Luis Miguel Fernández Salas¹, Miguel Bruno⁷, Alfredo Izquierdo⁷, Fernando Ramos¹

¹ Instituto Español de Oceanografía, C.O. Cádiz

² ICMAN, CSIC

³ LDEO

⁴ UMA

⁵ RHUL

⁶ Instituto Español de Oceanografía, C.O. Gijón

⁷ Universidad de Cádiz

RESUMEN

En este trabajo se presentan resultados de una serie de 52 de perfiles de CTD-O₂ y LADCP tomados cada 15 minutos en el segmento inferior de la columna de agua en el canal superior de la MOW en el Golfo de Cádiz durante la campaña STOCA 201509. Estas observaciones muestran una variabilidad de tipo semidiurno asociada a la marea interna. La propagación de estas perturbaciones tiene un efecto importante en la modulación de las velocidades máximas de la vena mediterránea, tanto en la componente longitudinal como en la transversal. Asociado al paso de la marea interna se deducen velocidades verticales superiores a los 0.2 m/s en la base de la interfase MOW-NACW que se desatan bruscamente al inicio de la marea llenante y que están relacionadas con el incremento en un orden de magnitud de la disipación obtenida a partir de la VKE. Concluimos que estas perturbaciones tienen un efecto relevante en el flujo diapirico de sal y calor incluso lejos de los puntos clásicos de mezcla localizados en el estrecho de Gibraltar.

INTRODUCCIÓN

La salida de las aguas mediterráneas a través del estrecho de Gibraltar (*Mediterranean outflow*, MO) es uno de los fenómenos de mayor relevancia en la cuenca atlántica. Su aporte de sal es determinante para la formación de aguas profundas en las zonas subpolares y la estimulación de la cinta transportadora oceánica [1]. Inicialmente como una corriente de densidad pegada al fondo marino, estas aguas experimentan mezcla con las aguas circundantes para formar la denominada MOW. En las primeras decenas de km, la mezcla es muy intensa e involucra a la capa de agua suprayacente (agua central del Atlántico norte, NACW) sobre la termoclina estacional [2, 3]. La producción, características y propiedades de la MOW muestran una elevada dependencia espacial y temporal en función de la fase de marea y el relieve submarino [4].

Bajo la termoclina los procesos de mezcla diapirica se deben a la rotura de ondas internas de todo tipo, mezcla por la rugosidad del fondo y disipación mesoescalar [5]. El salto de densidades entre la NACW y la MOW a la salida del Estrecho de Gibraltar favorece la propagación de ondas internas. Existen evidencias de la generación de turbulencia por rotura de éstas así como por cizalladura con el *stress* con fondo y entre el flujo bicapa [4, 6].

El estudio de estas ondas internas en el Golfo de Cádiz se ha centrado en el Estrecho de Gibraltar y el cañón de Portimao

[7] o los promontorios portugueses [8]. La interacción de la marea barotrópica con la topografía entre el Banco de Goringe y el Espolón de San Vicente [9] es clave en la generación de trenes de ondas de marea interna que se propagan frontalmente hacia la plataforma y contribuyen a la intensificación de la mezcla diapirica dentro de la vena de MOW y en su interfase con la NACW [10].

Con el objetivo de mostrar el efecto de la propagación de ondas internas sobre la vena de agua mediterránea, en septiembre de 2015 se llevaron a cabo observaciones repetidas en el canal por el que fluye el núcleo superior de la vena de agua mediterránea en el Golfo de Cádiz. Estos resultados se presentan en el presente trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante 13.15 h entre el 17 – 18 de septiembre de 2015 en el curso de la campaña STOCA201509 en el Golfo de Cádiz a bordo del B/O Ángeles Alvariño se tomaron una serie de observaciones en el segmento inferior de la columna de agua en el canal superior de la MOW (36° 16.12' N 6° 47.60' W, Fig. 1) compuesta por 52 perfiles verticales de CTD-O₂-LADCP así como velocidades absolutas a partir del SADCP del buque. La localización fue coincidente con una de las inmersiones del ARGOS ROV durante la campaña MOWER [11] Los perfiles se realizaron con un sistema SBE911+ equipado con sensores y un LADCP TRDI WHS

de 300 kHz. El procesado de perfiles hidrográficos y SADCPC se procesaron según técnicas estándar [12]. Las observaciones se tomaron a barco parado en DP (dynamic positioning; deriva máxima de 13 m sobre el punto). También se registraron intensidades de eco con la ecosonda EK60 (frecuencias de 12, 38, 70, 120, 200 y 333 kHz; ver Fig. 2).

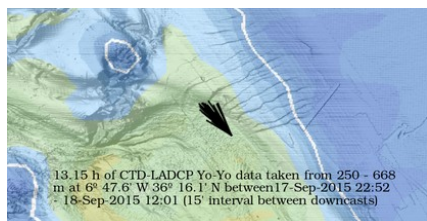


Fig. 1. Relieve marino (sombras grises) y velocidades de corriente cerca del fondo (*sticks* negros). Los tonos anaranjados, verdes y azulados indican la salinidad media sobre el fondo; la isolínea blanca marca 36.25, envolvente de la vena de agua mediterránea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

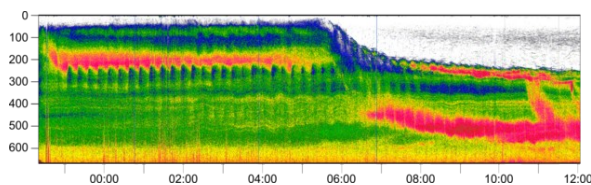


Fig. 2. Registro de la EK60 (70 kHz). Sobre las migraciones verticales del zooplancton se observan ondulaciones que corresponden con el paso de ondas internas. El eje inferior indica la hora UTC (17 – 18 septiembre de 2015).

La ecosonda muestra la presencia de oscilaciones de alta frecuencia sobre un patrón de marcado carácter semidiurno compatible con la marea interna (Figs. 2-3). Los perfiles de CTD muestran la mayor variabilidad en las zonas de máxima estratificación (Fig. 3) que impone la presencia de la vena de agua mediterránea en la subcapa cercana al fondo así como una pluma de flotabilidad que, anclada en el talud, se extiende *offshore* como un máximo de salinidad. Durante la serie se observa la modulación de la velocidad longitudinal, que varía de los 0.4 – 0.6 m/s, mientras que la velocidad transversal (de media aproximadamente nula) muestra inversiones de signo.

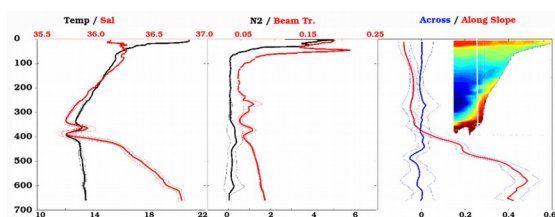


Fig. 3. Perfiles medios y desviación estándar de temperatura / salinidad (dcha), N^2 / transmisividad (ctro) y velocidad

transversal y longitudinal (dcha). El recuadro indica la sección transversal de salinidad.

Asociado al paso de la marea interna se deducen velocidades verticales superiores a los 0.2 m/s en la base de la interfase MOW-NACW que se desatan bruscamente al inicio de la marea llenante y que están relacionadas con el incremento en un orden de magnitud de la disipación de Vertical Kinetic Energy (VKE, [13]) (Fig. 4). Concluimos que estas perturbaciones tienen un efecto relevante en el flujo diapirico de sal y calor incluso lejos de los puntos clásicos de mezcla localizados en el estrecho de Gibraltar.

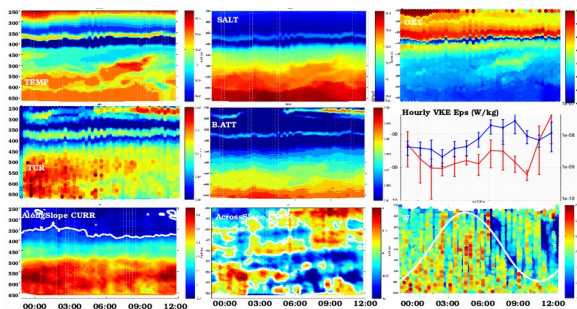


Fig. 4. Serie de observaciones. De izqda.- dcha. y de arriba a abajo: temperatura, salinidad, O_2 , turbidez, transmisividad, disipación de EKE, velocidad transversal, longitudinal y vertical (LADCP). Sobre este último panel se indica la curva de la marea astronómica en Cádiz.

AGRADECIMIENTOS

Al Capitán y tripulación del B/O Ángeles Alvariño. Esta es una contribución a los proyectos INGRES3 (CTM2010-21229-02), STOCA (IEO2009) y DILEMA (CTM2014-59244-C3).

REFERENCIAS

- 1 – Mauritzen, C. et al., 2001. *Deep-Sea Res.*, 48, 347–381.
- 2 – Price, J. F. et al., 1993. *Science* 259, 1277-1282.
- 3 - Bormans, M. et al., 1986. *Oceanologica Acta*, 9, 403-414.
- 4 – Nash, J. D. et al., 2012. *Geophys. Res. Lett.* 39, L18611
- 5 – MacKinnon, J. et al., 2013. In, Siedler, G. et al. (eds.) *Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective*. 2nd Ed. Oxford, GB, Academic Press, 159-184.
- 6 – G. C. Johnson, et al., 1994, *J. Phys. Oceanogr.* 24, 2084-2092
- 7 – Bruno, M. et al., 2006. *Deep-Sea Res. II.* 53 (11), 1219-1240
- 8 – Magalhaes J. et al., 2010. 3rd International Workshop SEASAR 2010
- 9 – Izquierdo. A. 2011. MPIFM Joint Seminars.
- 10 – Alvarado-Bustos, R., 2011. PhD Univ. Liverpool
- 11 – Hernández-Molina, J. Pers comm.
- 12 – Hood, E.M. et al., 2010. IOCCP R. No 14, ICPO 134.
- 13 – Thurnherr, A.M. et al., 2015. *Geophys. Res. Lett.* 42, 7639–7647