

## ESTUDIO DE RUIDO DEL SISMÓMETRO DE FONDO MARINO PERMANENTE DEL PROYECTO CASABLANCA

T.Frontera <sup>(1)</sup>, J.A. Jara <sup>(2)</sup>, X. Goula <sup>(1)</sup>, A. Ugalde <sup>(3)</sup> y C. Olivera <sup>(1)</sup>

(1) Institut Geològic de Catalunya, tfrontera@igc.cat

(2) Geocat Gestió de Projectes, S.A.

(3) Observatori de l'Ebre

### RESUMEN

En agosto de 2005 se instaló un sismómetro de fondo marino (OBS, siglas en inglés de *ocean bottom seismometer*) de carácter permanente y un sensor diferencial de presión a 150 m de profundidad en las inmediaciones de la plataforma petrolífera Casablanca, situada a unos 50 km de la costa de Tarragona. Esta iniciativa, pionera en España, tiene el objetivo de mejorar el conocimiento de la sismicidad y el riesgo sísmico en la región de Tarragona.

El OBS ha registrado sismos, tanto lejanos como cercanos. Se ha realizado un estudio del emplazamiento que ha puesto de manifiesto un elevado nivel de ruido en toda la banda de frecuencias, así como un comportamiento anómalo en comparación con modelos de referencia, algunas estaciones de tierra de la Red Sísmica de Cataluña y otros OBS instalados en el Mediterráneo. A bajas frecuencias puede realizarse una corrección del ruido de hasta 10 dB en la componente vertical del OBS de las aportaciones que introduce el medio marino.

### SUMMARY

On August 2005 a permanent ocean bottom seismometer (OBS) and a differential pressure gauge were installed at about 150m depth in the surroundings of the Casablanca oil platform, which is located 50 km offshore Tarragona (northeastern Spain). This initiative, which is pioneer in Spain, has the goal of improving the knowledge of the seismicity and seismic risk in the Tarragona region.

The OBS has recorded earthquakes, both local and teleseisms. The noise analysis that has been made shows a high noise level for the whole frequency bandwidth, as well as an anomalous behaviour by comparison with reference models, some of the land stations from the Catalonia Seismic Network and some OBS installed in the Mediterranean Sea. At low frequencies, the OBS vertical component signal can be corrected up to 10 dB from the noise introduced by the sea.

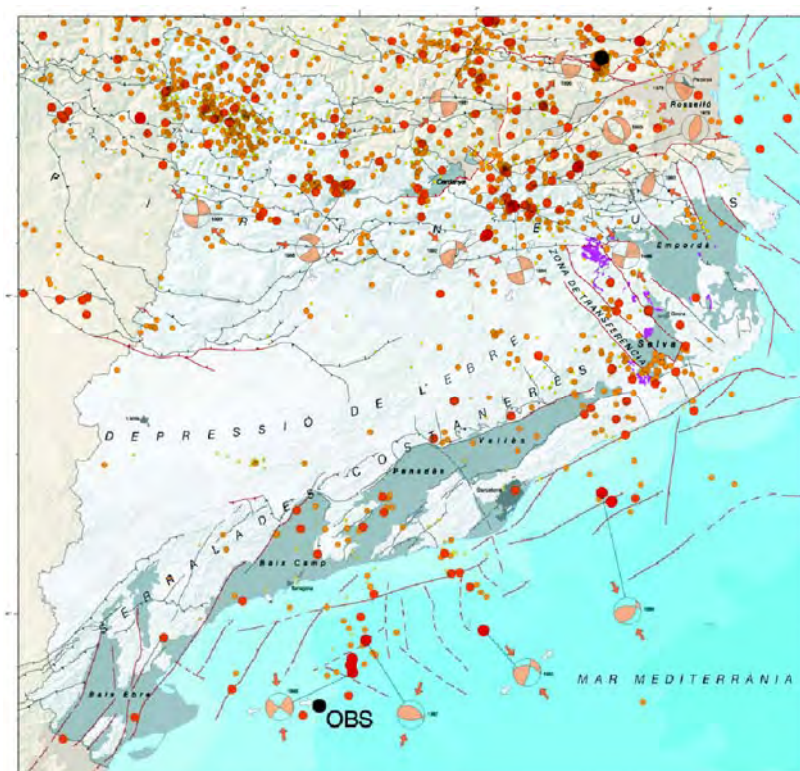
### Introducción

Durante el mes de agosto de 2005 se instaló un sismómetro de fondo marino (OBS, siglas en inglés de *ocean bottom seismometer*), de carácter permanente en la zona de seguridad de la plataforma petrolífera Casablanca, propiedad de la empresa Repsol Investigaciones Petrolíferas S.A., situada a unos 50 km de la costa de Tarragona (Figura 1). Además, se instaló un sensor diferencial de presión (DPG, *differential pressure gauge*). Esta maniobra se realizó en el marco del proyecto Casablanca, que tiene como objetivo mejorar el conocimiento de la sismicidad y el riesgo sísmico en la región de Tarragona. El proyecto lo llevan a cabo el *Institut Geològic (IGC) de Catalunya* y el *Observatori de l'Ebre*, con la colaboración de Repsol Investigaciones Petrolíferas S.A. Está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (CASABLANCA REN2003-06577), los fondos FEDER y el IGC.

La utilización de infraestructuras existentes facilita y reduce los costes de instalación de observatorios sísmológicos submarinos permanentes. La estación sísmica noruega OSG fue instalada en la inmediaciones de una plataforma petrolífera en el mar del Norte y estuvo en funcionamiento entre 1988 y 1996 (Atakan y Havskov, 1996). A 150 m de profundidad, la transmisión de datos y la alimentación se realizaba mediante un cable de 2 km que unía el OBS con la plataforma petrolífera.

Otra infraestructura utilizada para la instalación de OBS permanentes son los telescopios de neutrinos, de la que se encuentran varios ejemplos en el mar Mediterráneo. El proyecto Antares, en el mar de Liguria, incluye un OBS y un DPG similares al del proyecto Casablanca (Deschamps et al, 2005). Se encuentra a 36 km de la costa y a 2400 m de profundidad. Otro proyecto similar es el que se encuentra a 25 km al este de Sicilia, el telescopio de neutrinos SN-1, que también dispone de un sensor sísmico de tres componentes de banda ancha, un gravímetro y un hidrófono, entre otros instrumentos, situados a 2100 m de profundidad (Beranzoli et al., 2003, Favali et al., 2003, Stephen et al., 2005).

Por otra parte, el proyecto ESONET (European Sea Floor Observatory Network) cuenta con la participación de más de veinte instituciones y propone la estructuración de la observación submarina a nivel europeo.



**Figura 1:** Situación del OBS en el Mapa de Sismicidad de Catalunya 1977-1997 (ICC, 1999).

## Instrumentación y proceso de instalación

La instrumentación utilizada tiene las características que se describen a continuación:

- Sensor de tres componentes CMG-3T (Güralp Systems) con respuesta plana en velocidad entre 50 Hz y 120 seg.
- Digitalizador DMA24 situado en el receptáculo del OBS.
- Los sensores horizontales tienen capacidad de autonivelación entre  $\pm 10^\circ$ .
- El receptáculo del sensor está realizado en titanio de grado 5 (Figura 2). Es de forma cilíndrica y tiene tres patas de forma puntiaguda en cada una de las cuales se sitúa una de las componentes del sensor sísmico. Este diseño tiene como objetivo facilitar el soterramiento de los sensores.
- Sensor diferencial de presión (DPG).



Figura 2: OBS antes de su instalación

Las operaciones de instalación se iniciaron el día 9 de agosto de 2005 en el puerto comercial de Sant Carles de la Ràpita, donde se preparó y probó el material a bordo del barco Boluda Abrego, desde el que se realizaron las maniobras.

El OBS se cargó en la embarcación que navegó hasta el punto de inmersión, donde fue sumergido y depositado en el fondo marino (Figura 3). Con el fin de tener un control del proceso, un robot submarino transmitía imágenes de video que eran observadas desde el barco. Además, se realizó un análisis ininterrumpido de la señal de los sensores. El OBS y el DPG se instalaron a unos 400 m al SO de la plataforma, a una profundidad de aproximadamente 150 m.



Figura 3: **Izquierda:** Inmersión del OBS. **Derecha:** Imagen tomada por el robot submarino del OBS y el DPG depositados sobre el lecho marino.

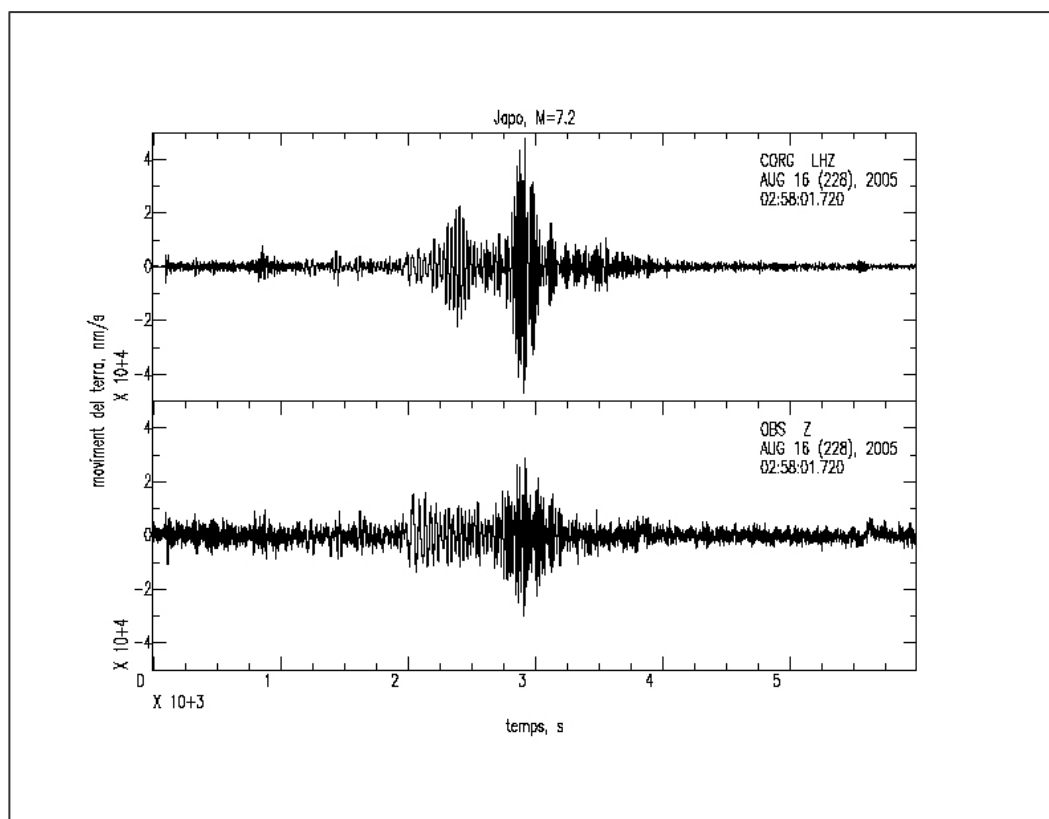
Una vez instalados los sensores, el barco navegó hasta la plataforma, lanzando los cables adecuadamente lastrados de forma que quedarán soterrados en el fondo marino (Figura 4). Estos cables unen el OBS con la plataforma con el fin de procurar la alimentación necesaria y realizar la transmisión de datos. Ya en la plataforma se hicieron las conexiones al equipo de almacenamiento de datos.



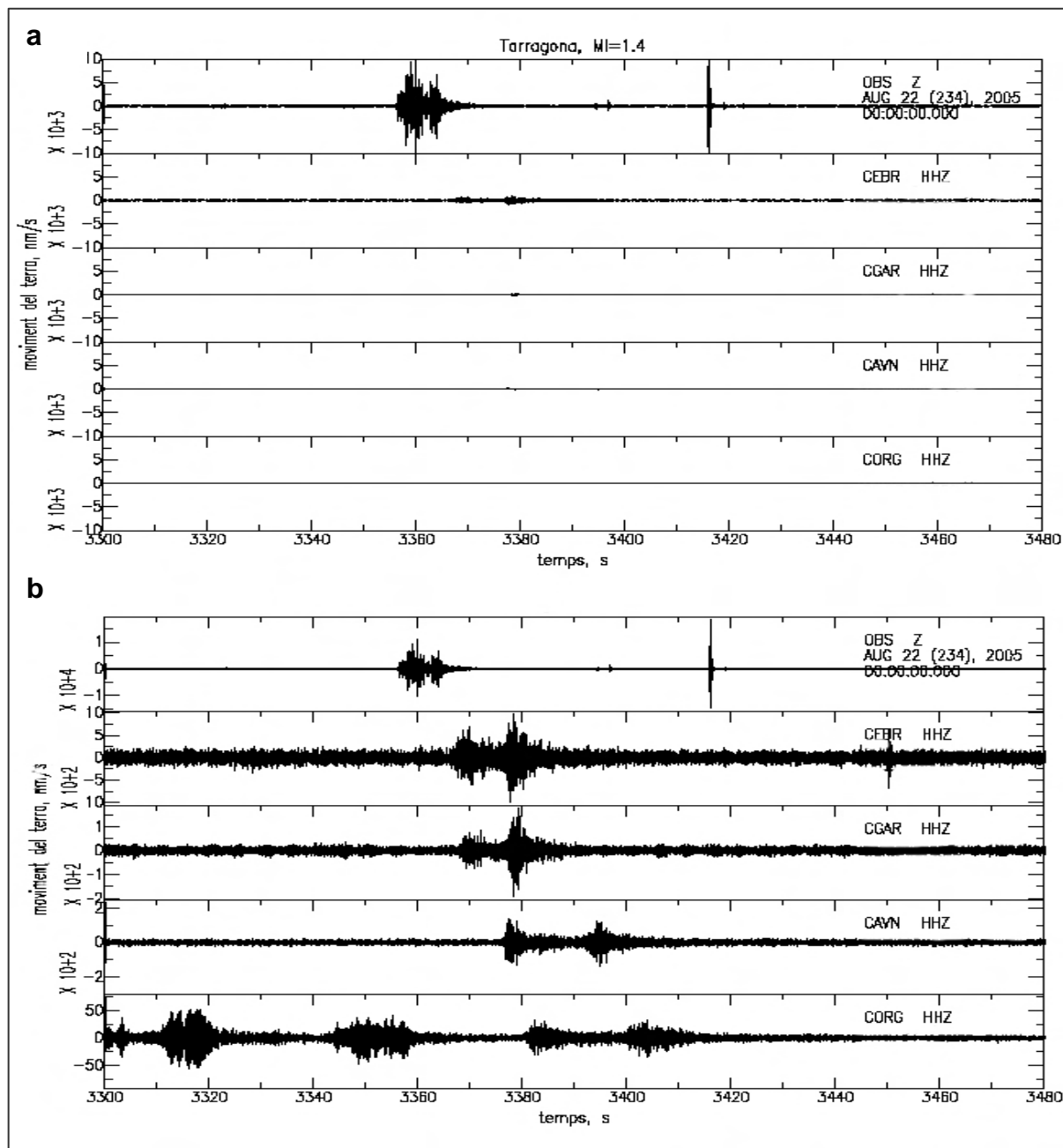
**Figura 4:** Izquierda: Lanzamiento de los cables. Derecha: Imagen tomada por el robot submarino de los cables cayendo sobre el fondo marino.

### Primeros registros

A continuación (Figuras 5 y 6) se muestran unos ejemplos de los sismos registrados por el OBS:



**Figura 5:** Sismo de epicentro en Japón del día 16 de agosto de 2005. Registro sin filtrar de la componente vertical del OBS (abajo) y de la estación de tierra CORG (arriba). Se representa una hora y cuarenta minutos a una muestra por segundo.

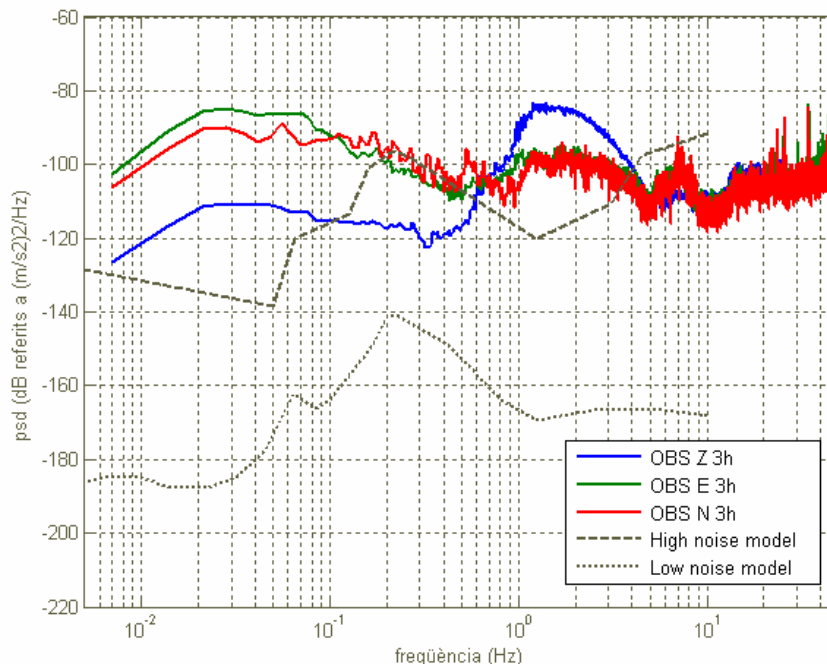


**Figura 6:** Sismo de epicentro en la costa de Tarragona del día 22 de agosto de 2005. Registro filtrado pasa-altas (1Hz) de la componente vertical del OBS (arriba) y otras estaciones de tierra de la Red Sísmica de Cataluña- Se representan tres minutos a cien muestras por segundo. **a:** Todos los registros están dibujados a la misma escala. **b:** Cada registro está escalado según su propia amplitud máxima.

### Análisis del ruido

Se ha calculado la densidad de potencia espectral (*psd*, *power spectral density*) en aceleración de las tres componentes para el periodo comprendido entre el 14 de agosto y el 22 de octubre de 2005, de la señal de cinco minutos a las 3:00h, las 9:00h, las 15:00h y las 21:00h (TU). En cada caso se ha comprobado la inexistencia de sismos, tiros o *spikes* en la señal utilizada. Puesto que no se observa una variación significativa en ninguna de las

componentes para los diferentes momentos del día, en la Figura 7 sólo se muestra la psd de las tres componentes calculada a las 3:00h, junto con los modelos para un emplazamiento ruidoso y uno tranquilo en roca según Peterson (1993).



**Figura 7:** Media de la densidad de potencia espectral en aceleración de las tres componentes del OBS, correspondientes a los datos tomados de 3:00h a 3:05h, entre el 14 de agosto de 2005 y el 22 de octubre de 2005. Se representan junto a las curvas de densidad de potencia espectral según Peterson (1993)

A bajas frecuencias (0.005 Hz – 0.1 Hz) se observa un nivel de ruido muy elevado en todos los casos, siendo las componentes horizontales hasta 20 dB más ruidosas que la vertical. En el caso de la componente vertical puede atribuirse este comportamiento, en parte, al ruido que introduce la deformación del suelo bajo la presión de olas de mar de fondo. Y para todas las componentes, el elevado nivel de ruido en esta banda de frecuencias es debido a la nivelación imperfecta de los sensores a causa de las corrientes marinas. Más adelante se realiza una corrección de parte de este ruido mediante cálculos de coherencia entre las señales de los diferentes sensores (Webb y Crawford, 1999; Crawford y Webb, 2000). No puede apreciarse el pico microsísmico primario (0.07 Hz).

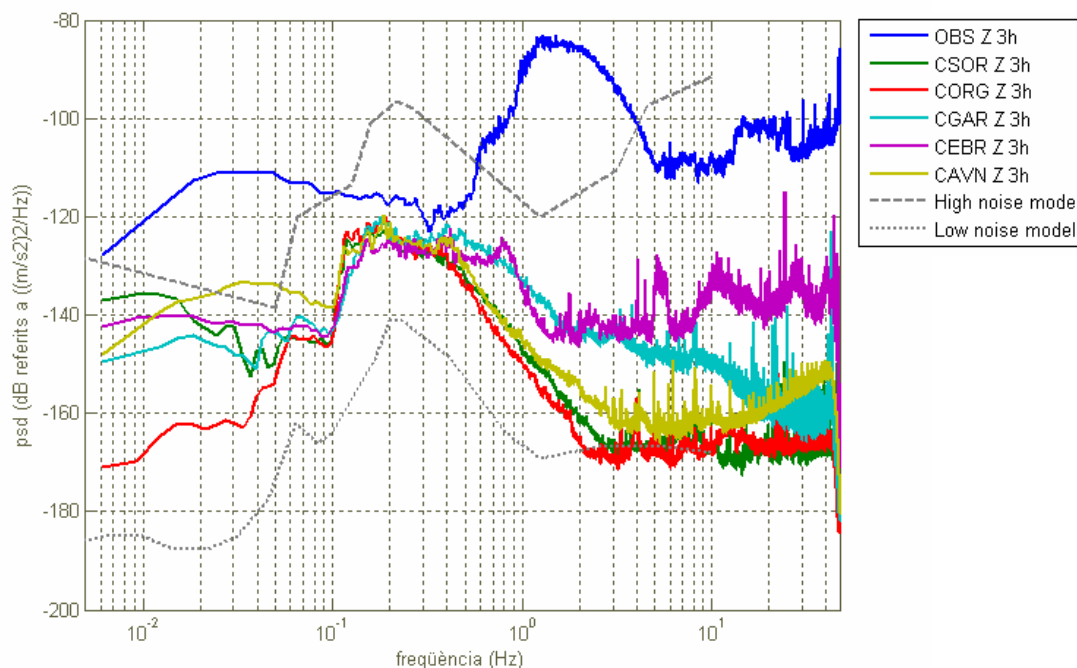
Entre 0.1 Hz y 0.4 Hz el ruido también es muy alto para las componentes horizontales. La componente vertical es la única que presenta el pico microsísmico secundario (0.2 Hz) y una psd comprendida entre los márgenes de Peterson (1993).

Para frecuencias superiores a 0.4 Hz y hasta 5 Hz, el ruido no sigue la tendencia del modelo de Peterson (1993). Se observa un aumento de la psd con máximo a 1 Hz, especialmente brusco en la componente vertical.

A partir de 5 Hz la psd está comprendida entre los márgenes de Peterson (1993) para todas las componentes.

Se ha realizado una comparación de los niveles de ruido del OBS con los de algunas estaciones de tierra de la Red Sísmica de Cataluña. En la Figura 8 se representa la psd de

la componente vertical del OBS junto con la de cinco estaciones de tierra y los modelos de Peterson (1993), calculada según los mismos criterios descritos anteriormente. El comportamiento del OBS es más ruidoso que el de cualquiera de las estaciones de tierra analizadas.



**Figura 8:** Medias de la densidad de potencia espectral en aceleración de la componente vertical del OBS y de algunas de las estaciones de tierra de la Red Sísmica de Cataluña, correspondientes a los datos tomados de 3:00h a 3:05h, entre el 14 de agosto de 2005 y el 22 de octubre de 2005. Se representan junto a las curvas de densidad de potencia espectral según Peterson (1993)

### Corrección del ruido de la componente vertical del OBS a bajas frecuencias

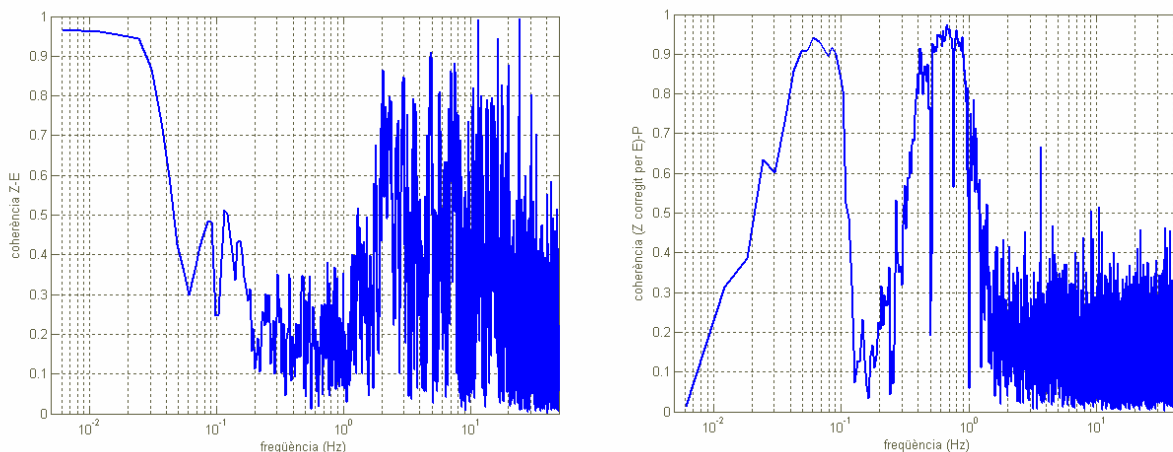
Una de las contribuciones al ruido registrado por la componente vertical del OBS está originada por la deformación del suelo bajo la carga de olas oceánicas de largo periodo, es decir, el mar de fondo. Este ruido provoca una disminución de la relación señal-ruido de fases de largo periodo de sismos observados por sismómetros submarinos (Webb y Crawford, 1999). Webb (1998) ejemplifica la deformación del suelo producida por el mar de fondo, que hace aumentar el nivel de ruido de un sismómetro de fondo oceánico cerca de la isla de Hawaii hasta 10 dB a 0.03 Hz y hasta 25 dB a 0.01 Hz respecto de un sismómetro situado en la isla.

Esta señal de deformación del suelo depende de la amplitud de las olas oceánicas, la profundidad del agua y la estructura elástica de la corteza y el manto superior. Es predecible y, por lo tanto, puede corregirse de los registros sísmicos utilizando datos del sensor de presión y medidas de la función de transferencia de la componente vertical del OBS combinada con los registros de presión.

La señal de la presión que proviene de estas olas sólo es significativa a frecuencias correspondientes a longitudes de onda más largas que la profundidad a la que se encuentra el sensor. En el caso de este OBS, 150m, la frecuencia límite se sitúa en 0.1 Hz.

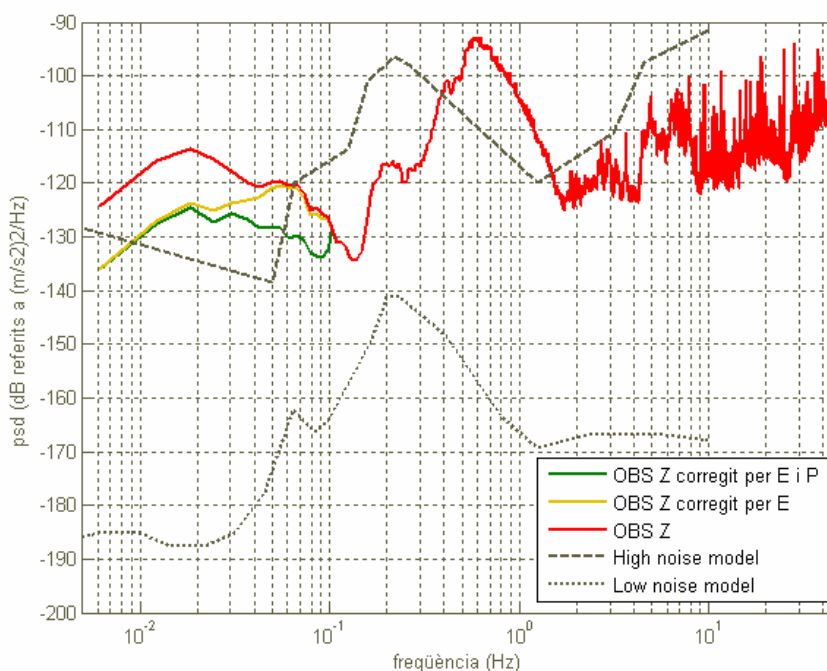
A bajas frecuencias, otra fuente de ruido son las corrientes marinas, que producen pequeños desniveles de los sensores. Crawford y Webb (2000) proponen corregir no sólo la contribución de la deformación del suelo que provocan las olas de mar de fondo, sino también corregir el ruido asociado a las corrientes marinas. Este cálculo se realiza utilizando la señal de las componentes horizontales del OBS.

A bajas frecuencias, los cálculos muestran una coherencia muy baja entre la señal de la componente vertical y la componente N, mientras que es alta entre la componente vertical y la componente E. La coherencia entre la señal de la componente vertical una vez corregida de la aportación de las corrientes y la señal del DPG también es alta a bajas frecuencias (Figura 9).



**Figura 9:** Izquierda: Coherencia entre las componentes vertical y E del OBS. Derecha: Coherencia entre las componentes vertical corregida para E del OBS y el DPG

En la Figura 10 se representa la psd de la componente vertical del OBS antes y después de la corrección del ruido asociado a las corrientes marinas y a la deformación del suelo bajo la carga de olas de mar de fondo. La mejora es de hasta 10 dB.



**Figura 10:** Media de la psd de la componente vertical del OBS, antes y después de aplicar la corrección de corrientes y deformación del suelo bajo la carga de olas de mar de fondo, junto con los modelos de Peterson (1993).



## Conclusiones

La instalación de un OBS es compleja y económicamente muy costosa, si se compara con la de una estación en tierra. En el mar, las características de cada emplazamiento requieren un diseño específico en cada sitio. La disponibilidad de las infraestructuras de la plataforma petrolífera Casablanca ha facilitado el sistema de alimentación y almacenamiento de datos.

El nivel de ruido de todas las componentes del OBS es alto y no hay diferencias relevantes entre los diferentes momentos del día. El comportamiento de la psd no se ciñe a los modelos propuestos por Peterson (1993) y es también más ruidoso que el que presentan algunas de las estaciones de tierra de la Red Sísmica de Cataluña.

Una parte del ruido que registra la componente vertical del OBS es introducido por el medio marino. Este ruido, que afecta a las bajas frecuencias (0.005 Hz- 0.1 Hz) no es evitable, pero sí previsible y, por tanto, se puede corregir. Se ha aplicado el método propuesto por Crawford y Webb (2000), consistente en calcular la coherencia y la función de transferencia entre la señal de la componente vertical y la de las horizontales para corregir los efectos de la corriente; y entre la señal de la componente vertical y la del DPG para corregir los efectos de la deformación del suelo bajo la carga de las olas de mar de fondo. La mejora en la psd a bajas frecuencias una vez realizada esta corrección es de hasta 10 dB.

## Referencias

- Atakan, K. y J. Havskov (1996). Local site effects in the northern North Sea based on single-station spectral ratios of OBS recordings. *Terra Nova*, 8, 22-23.
- Beranzoli, L. y Geostar-Orion, Tyde and SN-1 teams (2003). European seafloor observatories for geophysical and environmental monitoring, *EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Abstracts from the meeting held in Nice, France, 6 - 11 April 2003, abstract #12446, EGU*.
- Crawford, W.C. y S.C. Webb (2000). Identifying and removing tilt noise from low-frequency (<0.1 Hz) seafloor vertical seismic data, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 90(4), 952-963.
- Deschamps, A., Y. Hello, M. Dugué, V. Bertin y A. Le Van Suu (2005). Antares: a seismological broad-band sensor at 2500m in Mediterranean Sea, *Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 03705, SRef-ID:1607-7962/gra/EGU05-A-03705, European Geosciences Union*.
- Favali, P., SN-1 team and NEMO Collaboration (2003). SN-1: the first node of the Italian seafloor observatory network – background and perspective, *Proceedings of the 3rd International Workshop on Scientific Use of Submarine Cables and Related Technologies*, pp. 19-24.
- Institut Cartogràfic de Catalunya (1999). "Mapa de sismicitat de Catalunya 1977-1997". *Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona*.
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, *U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.*, 93-322, 1-95.
- Stephen, M., F. Frugoni, C. Montuori, L. Beranzoli y P. Favali (2005). High quality seismological recordings from the SN-1 deep seafloor observatory in the Mt. Etna region, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L07303, doi:10.1029/2004GL021975.
- Webb, S.C. (1998). Broadband seismology and noise under the ocean, *Rev. Geophys. AGU*, 36(1), 105-142.

- Webb, S.C. y W.C. Crawford (1999). Long-period seafloor seismology and deformation under ocean waves, *Bull. Seis. Soc. Am.* 89(6), 1535-1542.