

CAMPAÑAS ALTIMÉTRICAS DE CALIBRACIÓN DEL TOPEX Y JASON-1 EN EL MEDITERRANEO OCCIDENTAL

Juan Jose Martinez Benjamin, Marina Martinez Garcia, Miquel Angel Ortiz Castellon, Jose Martín Davila, Jorge Garate Pasquin, Begoña Perez Gomez , Pascal Bonnefond

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Dpt. Ingenieria del Terreno, Cartográfica y Geofísica, EPSEB, Barcelona, España, jj.benjamin@upc.edu

Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), Barcelona, España
 Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA), San Fernando, Cadiz, España
 Puertos del Estado (PE), Madrid, España
 Observatoire de la Côte d'Azur, (OCA/GEMINI), Grasse, Francia

RESUMEN: Se describen las campañas de calibración altimétrica realizadas en el Mediterráneo Occidental por la Universidad Politècnica de Catalunya con el soporte del Instituto Cartográfico de Cataluña, el Real Instituto y Observatorio de la Armada y por Puertos del Estado principalmente. Se realizaron tres experiencias en el Cabo de Begur para calibración altimétrica y mapeo del geoide marino realizadas en 1999, 2000 y 2002. Calibración absoluta directa estimando el bias del Alt-B del Topex fue realizada durante el overflight del satélite usando boyas GPS. Una contribución española a las experiencias de calibración ha sido el diseño de las Boyas y Catamarán GPS teniendo en cuenta diseños previos de la Universidad de Boulder en Colorado y las de Senetosa/Capraia.

Una campaña más fue realizada en Junio de 2003 en el área de la Isla de Ibiza. Se utilizaron cinco estaciones GPS de referencia localizadas en Ibiza, San Antonio y Portinatx, y por dos mareógrafos georeferenciados situados en los puertos de Ibiza y San Antonio. Una calibración directa adicional fue realizada el 14 de Junio. Otro objetivo importante era obtener el perfil de la Superficie Media Marina a lo largo de las trazas del T/P o Jason-1 con boyas/catamarán GPS. Mapear la superficie marina para la calibración altimétrica indirecta tiene la ventaja de permitir la calibración de cualquier radar que cruce el área estudiada pero, en cambio, la desventaja es reduce la precisión de la estimación del bias.

Se tiene prevista una nueva campaña a realizar en la misma zona aproximadamente siguiendo las trazas de los satélites Jason-2 y Altika con lanzamiento previsto en 2011 que permitirá obtener datos altimétricos en zonas próximas a la costa.

PALABRAS CLAVE: calibración altimétrica, boyas GPS, mareógrafos, nivel del mar, gradiente del geoide

ABSTRACT: Three Begur Cape experiences on radar altimeter calibration and marine geoid mapping made on 1999, 2000 and 2002 are overviewed. One campaign has also been made in June 2003 at the Ibiza island area. Direct absolute calibration estimating the Topex Alt-B bias was performed during the satellite overflight by using GPS buoys. The advantage of that method is that neither geoid modelling nor tidal error is needed. Other main objective was to map the profile of the Mean Sea Surface (mss) along the closest T/P and Jason-1 groundtrack. Mapping the marine surface for indirect altimeter calibration has the advantage of allowing the calibration of any radar sensor that crosses the studied area but, in turn, the disadvantage is that the method requires ocean tide and geoid knowledge, which reduces the accuracy of the bias estimate by a factor of 2.

A technical Spanish contribution to the calibration experience has been the design of GPS buoys and GPS catamaran taking in account the University of Colorado at Boulder and Senetosa/Capraia. For the mapping of the extended calibration areas centered on satellite ground tracks, the catamaran was tracked by the Patrol Deva, from the Spanish Navy. An additional absolute altimeter direct calibration was performed on June 14. Complementary data came from five GPS reference stations deployed at Ibiza, San Antonio and Portinatx, and from vertically-referenced tide gauges located at Ibiza and San Antonio. We present first results on Jason-1 altimeter calibration using the marine geoid derived from data collected during the campaign. Moreover, the geodetic activities (e.g., GPS, leveling) has permitted to build a very accurate (few mm) local network linked to the European one, with a reference frame compatible with the satellite altimetry missions (ITRF2000).

KEY WORDS: altimeter calibration, GPS Buoys, tidegauges, sea level, geoid gradient

1. INTRODUCCION

1.1 Altimetria radar

El radar altímetro mide la distancia relativa entre su antena y la superficie marina instantánea a lo largo de la traza del satélite. Ello permite establecer medidas de la superficie topográfica marina con precisiones de pocos centímetros, medidas de la altura significativa de las olas con precisiones de 1 cm o sub-centrimétricas y medidas de la velocidad del viento en superficie con precisiones de unos 2-3 m/s. Todo ello con una visión global y en un corto intervalo de tiempo (repetibilidad de 10 días, aprox). Todas estas medidas han supuesto una contribución excepcional a la Observación de la Tierra y un reto para la tecnología espacial y el desarrollo de sensores. En la actualidad algunos de los satélites altimétricos en funcionamiento son:

Jason-1, de las agencias espaciales NASA/CNES. Lanzado el 7 de Diciembre de 2001, está midiendo en banda Ku (13.575 GHz) y banda C (5.3 GHz).

Jason-2, de las agencias espaciales NASA/CNES. Lanzado el 19 de Junio de 2008, está midiendo en banda Ku (13.6GHz) y banda C (5.3GHz).

Envisat, misión de la Agencia Espacial Europea ESA. Lanzado en Marzo de 2002 esta plataforma multi-sensor está dotada de un altímetro radar (RA-2) que mide también en banda Ku (13.575 GHz) y así como a 3.2 GHz.

La investigación en altimetria por satélite en zonas costeras aún está en sus pasos iniciales. Esto es debido a las limitaciones intrínsecas de la tecnología y las dificultades en el procesado, como la proximidad a tierra o las variaciones rápidas debidas a las mareas y efectos atmosféricos. Sin embargo aún hay posibilidades a explorar, como el retracking del eco del radar, más datos a lo largo de la traza (along-track) y los escenarios multialtimétricos. Los datos sobre las regiones costeras necesitan ser reanalizados, mejorados y más eficientemente procesados. Esto resulta extremadamente importante para la Oceanografía operacional, para investigar la dinámica compleja de las áreas costeras y la variación del nivel del mar con su impacto en la línea de costa.

El nivel del mar es una variable medioambiental de importancia ampliamente reconocida en muchas disciplinas científicas como parámetro de control en procesos dinámicos costeros o procesos climáticos en los sistemas atmósfera-océano así como en aplicaciones en la ingeniería.

La fuente principal de datos de nivel del mar son las redes nacionales de mareógrafos en la costa, en España perteneciendo a diferentes instituciones como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Puertos del Estado (PE), Instituto Hidrográfico de la Marina, etc. Los mareógrafos miden el nivel del mar relativo a la tierra. Buenos modelos de mareas existen en el Mediterráneo Occidental. Críticamente dependen de la información batimétrica precisa que ha mejorado recientemente. La variación del nivel del mar para períodos largos ha sido cuantificada recientemente usando datos del Topex/Poseidón y Jason-1. (fig.1)

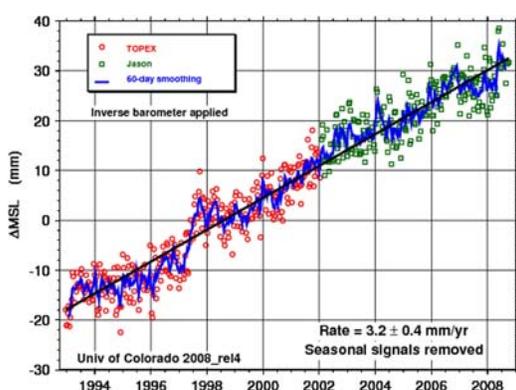


Figura 1. Variación del nivel medio marino a partir de datos de los satélites altimétricos del Topex y Jason-1.

1.2 Metodologías de calibración altimétrica

-Calibración directa:

La metodología utilizada en la calibración directa consiste en la comparación de la altura instantánea de la superficie marina, SSH (Sea Surface Height), estimada por dos técnicas independientes simultáneas en el mismo punto geográfico. La SSH instantánea obtenida a partir de las medidas del altímetro, es decir, la diferencia entre la altura orbital del satélite (horbit) obtenida por seguimiento laser (principalmente aunque puede derivarse también de medidas Doris o GPS) y la medida altimétrica (halt) corregida básicamente de los errores troposférico e ionosférico, el bias del estado del mar y el retraso instrumental:

$$SSHTOPEX = horbit - halt$$

Se compara este valor con la misma magnitud SSHGPS, que puede ser considerada la medida "real" del nivel instantáneo del mar, estimado a partir de medidas obtenidas por boyas GPS colocadas en puntos de la traza del satélite sobre la superficie marina, obteniéndose el bias del altímetro:

$$BIAS = SSHGPS - SSHTOPEX$$

donde SSH_GPS es la altura de la superficie instantánea del mar medida por la boya GPS y Delta_Tide es la medida del mareógrafo menos el valor medio obtenido después de años de observaciones. Se procura que las observaciones se realicen en diferentes horas del día y en diferentes estaciones del año para tener un buen Delta_Tide (sugiriéndose el mareógrafo no se encuentre muy distante de la zona de observación con boya GPS).

La MSS_BIAS es simplemente la media en cada punto de los valores MSS_BIAS(X,Y). De aquí se obtiene la MSS_TRUTH(X,Y)

-Calibración indirecta

Si un satélite altimétrico cruza la banda en el punto (Xs,Ys), la altura calculada de la superficie marina sería:

$$SSH_CALC(Xs,YS) = MSS_TRUTH(Xs,Ys) + Delta_Tide \quad (\text{en el instante del sobrevuelo})$$

Finalmente el bias del altímetro viene dado por la expresión:

$$Altimeter_Bias = SSH_CALC(Xs,Ys) - SSH_ALT(Xs,Ys)$$

donde SSH_ALT(Xs,Ys) es la altura instantánea del nivel del obtenida de la medida altimétrica realizada por el satélite cruzando la banda.

La expresión calibración indirecta se refiere al hecho de que no hay boya GPS en el momento del sobrevuelo del satélite pero la solución encontrada antes permitió ajustar la forma de la MSS para tener una referencia absoluta a lo largo de la banda (superficie), que sirve para calcular el bias del altímetro de cualquier satélite que atraviese la misma. Por esta razón la calibración indirecta es menos precisa que la calibración directa donde la boya se encuentra exactamente en la misma vertical del sobrevuelo del satélite. En definitiva la MSS encontrada por boyas/catamarán GPS suministra la referencia para calcular el bias de los diferentes satélites altimétricos que cruzan la banda.

1.3 Experiencias de calibración altimétrica

La calibración del altímetro es un requisito esencial para la medida absoluta del nivel del mar mediante el conocimiento preciso de su bias (desviación) y de su drift (deriva). Debido a diferencias sistemáticas entre los instrumentos de los diferentes satélites es esencial relacionar sus medidas usando instrumentos in-situ. La calibración es el objetivo final de todos los procesos de validación (órbitas, correcciones, modelos geofísicos, EM bias, ...).

La altura real del nivel del mar en el punto de calibración se determina, independientemente a la medida altimétrica, a partir de sensores locales terrestres como p.e.: mareógrafos, boyas GPS, etc. No se descarta el uso de otras tecnologías espaciales o aerotransportadas que permiten también la determinación de la altura del nivel del mar de forma independiente. Estas son p.e. la altimetría láser espacial –ICESAT- o la altimetría láser aerotransportada –LIDAR- [Limpach et al., 2006]. Sin embargo, estas otras tecnologías aplicadas en el medio marino se hallan en un estadio incipiente, en relación a las tecnologías antes mencionadas.

No obstante, la simultaneidad espacial de las medidas de la SSH no es siempre posible, es decir, no siempre se dispone de un sensor terrestre situado justo en la traza del satélite en el momento de paso del mismo (instante de overflight). Como consecuencia, las medidas de la SSH_{alt} y de la SSH_{real}, aunque simultáneas temporalmente, pueden corresponder a puntos separados hasta centenares de metros entre sí. En estas situaciones, la conexión entre ambos puntos viene dada por la inclinación o pendiente del geoide. Es decir, la diferencia de la altura entre el geoide en el emplazamiento del sensor y el geoide en el punto sub-satelital (nadir del radar altímetro en mar abierto) permite estimar la medida instantánea de la SSH en el nadir.

En general, a la situación en la existe simultaneidad temporal y espacial entre las medidas de la SSH_{alt} y de la SSH_{real} se llama “calibración directa o in-situ” y acostumbra a realizarse mediante boyas GPS (o similares) que se colocan en la traza del satélite en el instante de overflight del mismo. Por el contrario, a la situación en la que existe sólo simultaneidad temporal pero no espacial, acostumbra a denominarse “calibración indirecta”, haciendo referencia a que la medida de la SSH_{real} en el nadir del satélite se estima indirectamente apoyándose en el conocimiento de la inclinación de la superficie media del mar (geoide) entre el punto de la medida local y el punto sub-satelital. En esta segunda metodología, no existe ningún sensor presente en la traza durante el sobrevuelo del satélite.

Para los lugares geográficos de calibración, una configuración clásica sería el uso de una isla muy pequeña, como el caso de las primeras calibraciones realizadas en el Mediterráneo en la isla de Lampedusa (Italia) para el T/P [Ménard et al., 1994]; posteriormente la isla de Córcega (Bonfond et al. 2003a, 2003b), que ha sido el site oficial de calibración de CNES para Jason-1; la isla de Gavdos, también para T/P y Jason-1 (Pavlis 2002), la plataforma petrolífera de Harvest (California), utilizada como site oficial de NASA para la monitorización y calibración continua de T/P y Jason 1 (Haines et al., 2003), así como la isla de Ibiza (Martínez Benjamín et al., 2004, 2005) que constituyó una contribución española a la calibración de Jason-1. (fig. 2). El objetivo Principal era Integrar Ibiza y de forma complementaria el Cabo de Begur en las áreas de Calibración Altimétrica Permanente en el Mar Mediterráneo Occidental, complementando el área de Córcega/Senetosa (CNES, Francia), área principal de Calibración Altimétrica. En oposición a las áreas principales de calibración, la isla de Ibiza es demasiado grande para no afectar las medidas altimétricas en términos de ecos de radar y correcciones por la troposfera húmeda (debido a la contaminación terrestre). Esto implica preferiblemente a utilizar datos altimétricos medidos lejos de la costa (>10 km).

Existen configuraciones de áreas costeras que monitorizan las trazas provenientes del mar como son Bass Strait (en Tasmania, Australia), que es el único site en el hemisferio sur para T/P y Jason-1 [Watson et al. 2003] y el Cabo de Begur (Costa Brava, Gerona) para T/P y Jason-1, que además correspondió a la primera experiencia de calibración de un altímetro por un grupo español en Marzo de 1999 (Alt-B del T/P). Finalmente, otro site remarcable es el del Lago Erie (USA), se supone el único ejemplo de calibración altimétrica (ERS, GFO) en aguas someras (Shum et al. 2004). Las áreas de calibración ayudan a controlar los errores correlacionados geográficamente que son significativos en cada área aislada. Se espera en el futuro realizar otra campaña incluyendo Jason-2 y Altika permitiendo datos de altimetría costera, que debería ser lanzado en 2011.

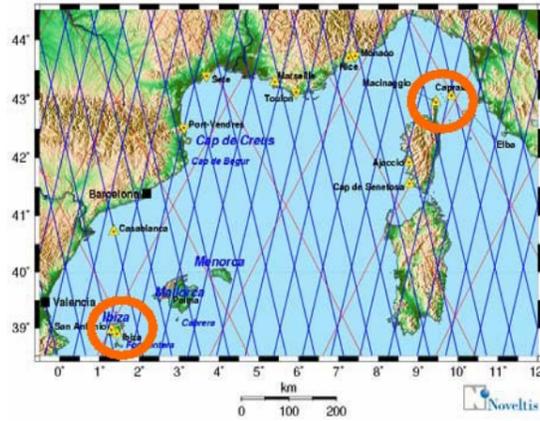


Figura 2. Areas de calibración altimétrica de Corsica e Ibiza

1.4 Boyas GPS

Las boyas de las tres campañas se diseñaron y construyeron en el Institut Cartografic de Catalunya, inspiradas en una boya tipo "wave rider" de la Universidad de Colorado en Boulder, (Born et al., 1994) introduciendo mejoras de estabilidad, estanqueidad y reduciendo al máximo la distancia del centro de fase de la antena GPS a la superficie del mar.



Figura 3

Boya GPS Este tipo de boya /fig.3) consiste básicamente en una antena GPS, albergada directamente sobre un aro flotador mediante una pieza cilíndrica por su base y protegida por una cúpula en su parte superior, ambas piezas de metacrilato. La antena recibe las señales de los satélites GPS y las envía mediante un cable de conexión, debidamente preparado para no interferir en el movimiento libre de la boya sobre el agua, al receptor GPS que se encuentra situado en una embarcación auxiliar.

La concepción de esta boya 'wave-rider', relativamente pequeña y de poco peso, es la de seguir el movimiento de las olas permaneciendo siempre en su superficie. Se debe tener en cuenta en el diseño de la misma:

- a) Estanqueidad entre la base y la cúpula de metacrilato para evitar la entrada de agua a la antena.
- b) La disposición y características de la cúpula y el efecto que produce en la trayectoria de las señales GPS que le llegan.
- c) Las características de la cúpula, o sea el efecto que produce en la trayectoria de las señales GPS que llegan y su disposición respecto a la antena GPS.
- d) La correcta determinación de la geometría de la boya y en particular el valor de la distancia entre el centro de fase de la antena GPS y la línea de flotación del mar en calma.
- e) Estructura de la boya manejable, de fácil transporte y reciclable para ser utilizada en futuras campañas.

1.5 Infraestructura geodésica en los Puertos de Barcelona, Ibiza y l'Estartit

La instrumentación de las medidas del nivel del mar será mejorada con la instalación de un nuevo mareógrafo radar de pulsos DATAMAR 3000C, de Geónica S.L., en el Puerto de Barcelona.

La Autoridad Portuaria de Barcelona (APB) ya dispone de una estación GPS, formada por un sensor de Leica Geosystems GRX1200 GG Pro y una antena AX 1202 GG capaz de realizar un seguimiento constante de las constelaciones NAVSTAR y GLONASS así como de la futura constelación GALILEO, en la nueva torre de control situada en el muelle de inflamables constituyendo el conjunto una estación CGPS.

Se espera constituya una CGPS de las redes ESEAS (European Sea Level) y TIGA (GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring).

Puertos del Estado también dispone de un mareógrafo radar MIROS en el Puerto de Barcelona además de un CGPS en el Puerto de Ibiza básico en la campaña IBIZA2003 de calibración altimétrica del Jason-1 (fig.4).



Figura 4. Infraestructura CGPS en el Puerto de Ibiza (imágenes superiores) y en el Puerto de Barcelona (imágenes inferiores)

Barcelona es particularmente adecuada debido a la proximidad a los dos mareógrafos ubicados a escasos 50 m. de la torre de prácticos posibilitando que se tengan cubiertas tanto las necesidades de posicionamiento para la topografía terrestre como para la topografía hidrográfica. Esta proximidad permite la reiteración de datos no totalmente iguales que utilizan tipologías de análisis diferentes y complementarias, siempre que estén ligados altimétricamente con precisión. El conjunto mareógrafos-GPS se enlaza con la red de nivelación REDNAP del IGN y la Xda del ICC mediante nivelación de alta precisión 1mm/Km. Los datos mareográficos son esenciales para elaborar la batimetría pues conectan los trabajos batimétricos con el sistema de referencia altimétrico del Puerto de Barcelona (SRAP) permitiendo la determinación de los fondos.

En el Puerto de l'Estartit se instaló un mareógrafo de flotador en 1990 que ha funcionado en el mismo lugar hasta Octubre de 2006 registrando los datos medios del nivel del mar cada dos horas, junto a las condiciones meteorológicas, y suministrando series temporales de buena calidad de la altura del nivel del mar a nivel centimétrico similar a la magnitud de las mareas en estas áreas del Mediterráneo. Fue de particular interés para las campañas marina de calibración altimétrica absoluta de los satélites Topex/Poseidon (Marzo 1999 y Julio 2000) y Jason-1 (Agosto 2002). En Mayo de 2008 ha sido reinstalado en un lugar próximo al anterior continuando la generación de series temporales de nivel del mar.

1. CAMPAÑAS DE CALIBRACION EN EL AREA DEL CABO DE BEGUR

En la campaña de 1999 se siguió la traza ascendente (187) del ciclo 239 el 18 de Marzo de las 8:15 UTC a las 12:00 UTC. La calibración directa se realizó a las 8:45 UTC durante el sobrevuelo del T/P sobre las dos boyas GPS. En la campaña de 2000 se recorrió la misma traza ascendente del ciclo 287 el 6 de Julio. La calibración directa se efectuó a las 7:34 UTC durante el sobrevuelo del T/P sobre la boya GPS. Se realizó además una estimación de la MSS a lo largo de la traza desde las 7:29 UTC a las 16:57 UTC. Se realizó un posicionamiento cinemático diferencial con distancias de base del orden de 35 km han sido aplicadas para el cálculo de la posición de la boya.

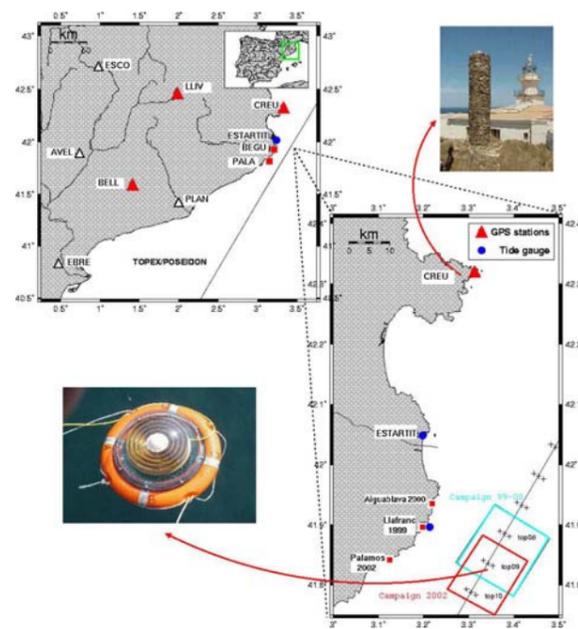
Diferentes grupos con diferentes software de procesado de datos GPS obtuvieron el bias del altímetro Alt-B del TOPEX:

5,1 +/-6cm, campaña 1999, GIPSY-OASISII

6,8 +/-10cm, campaña 1999, KARS

4,7 +/-9cm / 7,6 +/-7cm, cam. 1999, GIPSY

3,7 +/-4,9cm, campaña 2000, GIPSY



La fig. 5 muestra la zona geográfica de la segunda campaña indicando la traza nominal ascendente del T/P en las campañas de 1999 y 2000 que coincidiría con la del JASON-1 en Agosto 2002, y los puntos de observación nominales, interiores y exteriores. Se indica la estación GPS de referencia CREU localizada en el Cabo de Creus a unos 25 km del mareógrafo de l'Estartit.

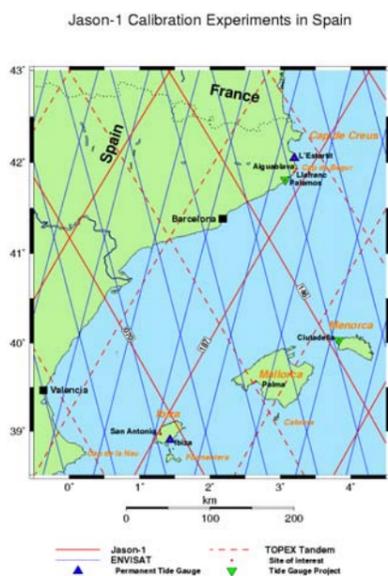


Figura 5. Area Geográfica del Cabo de Begur en donde se realizaron las campañas de calibración altimétrica en 1999, 2000 y 2002.

En la Tabla 1 se indica el SSHBIAS estimado a partir del punto TOP-08 para el TOPEX-B y TOP-11 for JASON-1

Tabla

1. SSHBIAS calculado por sustracción de SSHGPS y SSHalt

2. CAMPAÑA DE CALIBRACION EN EL AREA DE LA ISLA DE IBIZA

El objetivo de la experiencia española IBIZA 2003 (fig. 6), además de la implantación de la isla de Ibiza como área permanente de calibración en el Mediterráneo Occidental, era adquirir un conjunto amplio de datos GPS de nivel del mar según dos trazas nominales ascendente y descendente del Jasón-1, suficientemente denso en espacio y tiempo, para obtener el geoide local marino, teniendo en cuenta que el principal resultado no era determinar la altura del geoide marino, sino la pendiente del geoide entre los datos altimétricos válidos en mar abierto y el lugar donde se encuentran los mareógrafos costeros localizados en Ibiza y San Antonio.

Overflight (UTC time)	SSH _{GPS} (m)	SSH _{TOPEX} (m)	SSH _{BIAS} (cm)
18.03-08:45:41 TP 239	49.12 ± 0.319	49.05 ± 0.0 4	6.50 ± 32.1 0
	49.09 ± 0.323	49.05 ± 0.0 4	3.70 ± 32.6 0
07.07-07:34:47 TP 287	49.24 ± 0.074	49.21 ± 0.0 4	3.43 ± 7.96
28.08-15:37:07 J23	49.29 ± 0.061	49.18 ± 0.0 8	10.52 ± 10. 3

Figura 6. Areas de calibración altimétrica en el Mediterráneo

En esta campaña se utilizaron 5 estaciones de referencia GPS en tierra: una en Portinatx (PORT -antena y

receptor Leica), dos en San Antonio (SANA- antena y receptor ASTEC, SANB-antena y receptor Topcon) y dos en Ibiza (IBIA- antena Trimble y receptor ASTEC, e IBIB, antena y receptor Leica).

Se utilizó un catamarán para realizar medidas continuas del nivel del mar. Su diseño fue tomado del usado en Senetosa por P. Bonnefond. Llevaba dos antenas diferentes, Trimble (CATL) y Leica (CATR) con resultados desiguales. Asimismo se utilizó una boya GPS para medidas relativas en el puerto respecto al catamarán y el mareógrafo, así como para su calibración.

En la fig. 7 se indican las zonas observadas mediante el catamarán GPS, fig.8, a lo largo de las trazas ascendente 187 (del SW al NE) y descendente 254 (del NW al SE) de Jasón-1. Se ha utilizado el modelo barotrópico MOG2D del LEGOS/CNES para corrección de la marea oceánica en las zonas alejadas de los mareógrafos de Ibiza y San Antonio.



El 'geoide marino' encontrado ha sido utilizado en el proceso de calibración altimétrica para dos pasos del Jasón-1 y los dos mareógrafos. El bias del altímetro del Jasón-1 ha sido de $+120 \pm 5$ mm que es muy coherente con los encontrados en otras áreas de calibración.

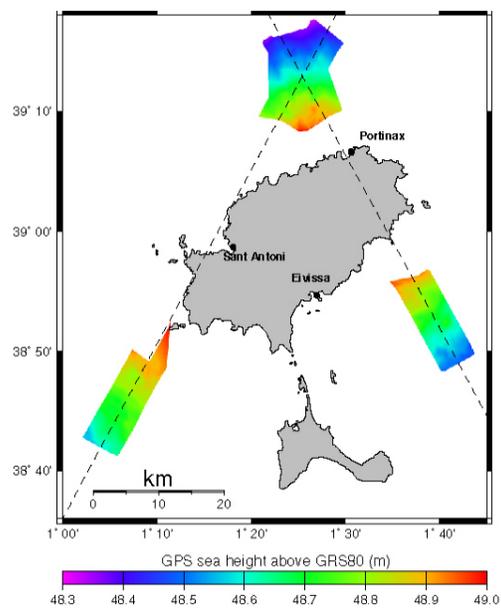


Figura 7. Zonas geográficas, a lo largo de las trazas de Jason-1, barridas por el catamarán GPS durante la campaña IBIZA2003.

Figura 8. El catamarán GPS arrastrado por la Patrullera Deva de la Armada española, mapeando la zona próxima a la isla de Ibiza

En la Tabla 2 se indican los SSH bias obtenidos por diferentes estudios

Site	GDR-A (mm)	GDR-B (mm)	# of cycles	Reference
Harvest'	+141.8 ±6.3	+97.4 ±7.4	108 / 29	Haines et al.
Corsica'	+107.9 ±6.7	+86.3 ±8.6	84 / 21	Bonnefond et al.
Bass Strait	+152.3 ±7.7	+105.0 ±8.3	18 / 18	Watson et al.
Gavdos	+131.0 ±15	NA	20 / NA	Pavlis et al.
Ibiza	+120.5 ±4.4	NA	33 / NA	Martínez-Benjamin et al.
Regional	+100.0 ±1.0	91.0 ±8.0	21 / 21	Jan et al.

*Biases given at the 2002.0 reference epoch

Tabla 2. SSH bias para Jason-1

3.1 Agradecimientos

Las campañas de calibración altimétrica del T/P y Jason-1 en el Cabo de Begur y la isla de Ibizahan sido realizadas en el marco del Programa Nacional de Espacio I+D , CICYT, Ministerio de Educación y Ciencia, ref:ESP97-1816-CO4 y ESP2001-4534-PE.

3.2 References

-Bonnetfond, P., P. Exertier, O. Laurain, Y. Menard, A. Orsoni, E. Jeansou, B. Haines, D. Kubitschek, and G. Born. 2003a. Leveling Sea Surface using a GPS catamaran, *Marine Geodesy*, 26(3-4), 319-3-Bonnetfond, P., P. Exertier, O. Laurain, Y. Menard, A. Orsoni, G. Jan, and E. Jeansou. 2003b. Absolute Calibration of Jason-1 and TOPEX/Poseidon Altimeters in Corsica, *Marine Geodesy*, 26(3-4), 261-284.

-Born, G.H., M.E. Parke, P. Axelrad, K.L. Gold, J. Johnson, K.W. Key and D.G. Kubitscheck. 1994. Calibration of the TOPEX altimeter using a GPS buoy. *J. Geophys. Res.* 99(C12), 24517-24526.

-Haines, B.J., D. Dong, G.H. Born and S.K. Gill. 2003. The Harvest experiment: Monitoring Jason-1 and TOPEX/POSEIDON from a California offshore platform, *Marine Geodesy*, 26(3-4), 239-259.

-Martinez-Benjamin, J.J, M. Martinez-Garcia, S. Gonzales Lopez, A. Nunez Andres, F. Buill Pozuelo, M. Espino Infantes, J. Lopez-Marco, J. Martin Davila, J. Garate Pasquin, C. Garcia Silva, P. Bonnetfond, O. Laurain, A.M. Baron Isanta, M.A. Ortiz Castellon, J. Talaya Lopez, B. Perez Gomez, E. Alvarez Fanjul, G. Rodriguez Velasco, D. Gomis, M. Marcos, Y. Menard, G. Jan, E. Jeansou, F. Lyard, and L. Roblou. Ibiza Absolute Calibration Experiment: Survey and Preliminary Results, *Mar. Geod.*, Special Issue on Jason-1 Calibration/Validation, Part 3, Vol. 27, No. 3-4, 2004.

- J.J. Martinez Benjamín, J. Martín Davila, J. Garate Pasquín, Pascal Bonnetfond and Ibiza 2003 Team, "Geoid Determination/Jasón-1 Absolute Altimeter Calibration: Ibiza-2003 Campaign Report", Boletín ROA, No. 6/2005, Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, Ministerio de Defensa, 72 pp., Diciembre 2005 (ISSN 1131-5040).

-Ménard, Y., E. Jeansou, P. Vincent, Calibration of the TOPEX/POSEIDON altimeters at Lampedusa: Additional results at Harvest, *J. Geophys. Res.*, 99 (C12), 24487-24504, 1994

-Pavlis, E.C. and the GAVDOS Team. 2002. Absolute Sea Level Monitoring and Altimeter Calibration at Gavdos, Crete. Proceedings of the Jason-1 SWT Meeting, 10-12 June 2002, Biarritz, France.

-Shum, C.K., Y. Yi, K. Cheng, C. Kuo, A. Braun, S. Calmant and D. Chambers. 2003. Calibration of JASON-1 Altimeter over Lake Eire, *Marine Geodesy*,

26(3-4), 335-354.

-Watson C., R. Coleman, N. White, J. Church. And R. Govind. 2003. "Absolute Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason-1 using GPS Buoys in Bass Strait, Australia", *Marine Geodesy*, 26(3-4), 285-304.