

IMPLEMENTACIÓN CGPS Y ALTIMETRÍA EN LOS PUERTOS DE IBIZA, L'ESTARTIT Y BARCELONA PARA MONITORIZACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

J. J. Martínez-Benjamin¹, M. A. Ortiz Castellón², A. Ruiz², E. Bosch², A. Termens², M. Martínez-García¹, X. Martínez de Osés¹, B. Pérez-Gómez³, G. Rodríguez-Velasco⁴, F. Pros⁵ y X. Martín⁵.

(1) *Universidad Politécnica de Cataluña (UPC),*

Dpto. Ingeniería del Terreno, Cartográfica y Geofísica, Barcelona. jj.benjamin@upc.edu

(2) *Instituto Cartográfico de Cataluña (ICC), Barcelona.*

(3) *Puertos del Estado (PE), Madrid.*

(4) *Universidad Complutense de Madrid (UCM), Madrid.*

(5) *Puerto de Barcelona, Barcelona.*

RESUMEN

Dos campañas aéreas con el LIDAR Optech ALTM-3025 del ICC fueron realizadas el 16 de Junio de 2007 de día con un Partenavia P-68 y el 12 de Octubre de 2007 de noche con un Cessna Caravan 208B, ambos aviones del ICC. La validación posible de esta nueva tecnología LIDAR puede ser útil para suministrar medidas en áreas costeras, de unos 15 a 20 km desde la línea de costa, donde la altimetría radar por satélite da problemas severos debido al amplio haz ('footprint') que abarca zona de tierra. La segunda campaña aerotransportada se realizó coincidiendo con el paso del satélite ICESat provisto de un láser altímetro.

Se describe la situación actual de las infraestructuras CGPS en Ibiza, l'Estartit y Barcelona así como sus aplicaciones a la monitorización del nivel del mar y calibración altimétrica. El objetivo principal es la integración de datos geodésicos espaciales, aerotransportados e in-situ para establecer áreas de calibración altimétrica en el Mediterráneo Occidental en el marco del estudio del Cambio Global.

ABSTRACT

Two airborne calibration campaigns carrying an Optech Lidar ALTM-3025 (ICC) were made on June 16, 2007 with a Partenavia P-68 and October 12, 2007, with a Cessna Caravan 208B flying along two ICESat target tracks including crossover near l'Estartit. The validation of this new technology LIDAR may be useful to fill coastal areas where satellite radar altimeters are not measuring due to the large footprint and the resulting gaps of about 15-30 km within the coastline. The second airborne campaign was made at night at the same time of the ICESat overflying.

A description of the actual geodetic CGPS infrastructures at Ibiza, l'Estartit and Barcelona is presented as their applications to sea level monitoring and altimeter calibration. The main objective is the integration of spaceborne, airborne and in-situ data for the establishment of altimeter calibration areas in the western Mediterranean in the framework of Global Change.

Palabras clave: mareógrafo, LIDAR, altimetría láser, GPS, nivel del mar.

INTRODUCCION

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-oceano así como en aplicaciones geodésicas y medioambientales 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 periodos largos ha sido cuantificada recientemente usando datos del Topex/Poseidón, Jason-1/2, ERS-1/2, Envisat y mareográficos a largo periodo (varias décadas hasta 100 años).

INFRAESTRUCTURA GEODESICA EN LOS PUERTOS DE IBIZA, L'ESTARTIT Y BARCELONA

La instrumentación de las medidas del nivel del mar está siendo mejorada con la instalación de un nuevo mareógrafo radar de pulsos DATAMAR 3000C, de Geónica S.L., en el Puerto de Barcelona en donde 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. Se espera constituya el conjunto una estación CGPS (*Continuous Global Positioning System*) de las redes ESEAS (*European Sea Level*) y TIGA (*GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring*).

Puertos del Estado 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 (Martínez-Benjamín *et al.*, 2004), (Martínez-Benjamín *et al.*, 2007) de calibración altimétrica del Jason-1 (Figura 1).



Figura 1.- Infraestructura CGPS en el Puerto de Barcelona (imagen superior) y del Puerto de Ibiza (imagen inferior).

La ubicación de la estación GPS en el Puerto de Barcelona es particularmente adecuada debido a la proximidad a los dos mareógrafos que estarían 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 enlazarán 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 permitiendo la determinación de los fondos. Se adjunta imagen de la batimetría de la zona (Figura 2) utilizando Fledermaus, software de visualización IVS3D, de *Interactive Visualization Systems* utilizado para análisis de datos topográficos y batimétricos.

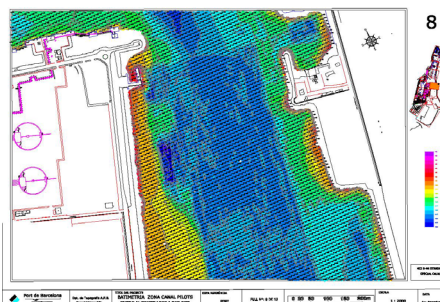


Figura 2.- Batimetría de precisión de la zona.

La Facultad de Náutica de la UPC dispone de una estación meteorológica DAVIS PRO2 que consiste en un conjunto de sensores de estado sólido integrados (*Integrated Sensor Suite* ISS). El ISS contiene sensores de presión atmosférica, temperatura y humedad.

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, punto 314049003 (Figura 3), continuando la generación de series temporales de nivel del mar.



Figura 3.- Mareógrafo del Puerto de l'Estartit.

CAMPAÑAS AEROTRANSPORTADAS LIDAR

La novedad de la acción se basa en la aplicación de la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranking) al ámbito marino y a la determinación de cuáles son las condiciones óptimas de trabajo bajo las que los modelos de la superficie marina que se deriven pueden ser de utilidad para otros campos o técnicas como son la altimetría espacial, por ejemplo, para la calibración/validación de satélites altimétricos de forma más eficiente que en la actualidad.

Una ventaja del LIDAR aerotransportado es que a diferencia de otras tecnologías de observación de la Tierra (como por ejemplo la altimetría) las observaciones pueden acercarse mucho más a la línea de la costa sin que ello suponga una contaminación de las medidas realizadas. Actualmente se trabaja activamente en Altimetría costera en el procesado de las formas de onda y reprocesado de los datos altimétricos dentro de los proyectos COASTALT (ESA) y de PISTACH (CNES).

El objetivo de la campañas aerotransportadas era la evaluación de la

aplicabilidad del LIDAR como método de determinación del nivel del mar en la zona costera y su complementariedad con respecto a la calibración clásica altimétrica en mar abierto. Se ha realizado un primer vuelo sobre el área de l'Estartit mediante el avión Partenavia P-68 del Instituto Cartográfico de Cataluña el 16 de Junio de 2007, aproximadamente de las 11h a las 13h30m. En la Figura se muestra el avión, la trayectoria realizada. (Figura 4).

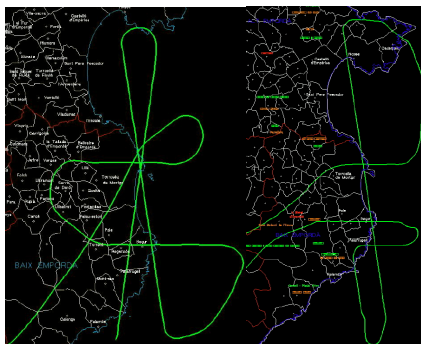


Figura 4.- Campañas LIDAR del 16 de Junio de 2007 y 12 de Octubre de 2007.

En el cálculo de la trayectoria GPS/INS en el sistema de referencia ETRS89, se utilizaron las estaciones permanentes de referencia de la red CATNET del ICC: CASS, MATA y PLAN. Finalmente se obtiene un fichero ASCII por pasada incluyendo el tiempo GPS, las coordenadas X,Y y altura elipsoidal en UTM huso 31 sobre ETRS89 a una frecuencia de 200 Hz y la intensidad de cada punto láser, tanto para el primero como el segundo eco (Moyssset, 2008). La precisión interna que se obtiene en el proceso de cálculo de la trayectoria GPS/INS es del orden de unos 10 cm. Posteriormente se realiza un control de calidad de la trayectoria GPS/IMU y del cálculo de los puntos láser así como del ajuste además de la clasificación de los ecos, filtrado e incidencia del oleaje. Se utilizó una boya GPS que se mantuvo en el puerto de l'Estartit entre las 10h y las 13:30. Una antena GPS fue instalada en Aiguablava.

La segunda campaña con el avión CESSNA Caravan 2083 (ICC) se realizó de noche el 12 de Octubre de 2007. Ha estado basada en la intercalibración del Lidar aerotransportado, con excelente resolución espacial de unos 80 cm, y el láser altimétrico GLAS del ICESat, que suministra alturas elipsoidales muy precisas (Figura 4).

ALTIMETRIA LASER POR SATELITE

ICESat fue lanzado el 13 de Enero de 2003 y colocado en órbita circular a 600 km de altura y con 94° de inclinación. Tiene un subperiodo de repetición de 33 días. Estaba dotado de tres Lasers Nd:Yag L1, L2 y L3, trabajando a 1064nm (IR próximo) para altimetría y a 532nm (verde) para estudios atmosféricos. Actualmente funciona solamente el L2, aunque ya le resta poca energía y las medidas presentan problemas de saturación de la señal. El footprint es de unos 65 m y el espaciado a lo largo de la traza es de 170 m aproximadamente (Schutz *et al.*, 2005).

Las elevaciones de ICESat/GLAS sobre el océano son suministradas en el producto global designado como GLA06 "Elevation", y el producto oceánico GLA15 "Ocean Elevation". Sobre tierra, GLA06 y GLA14 "Land/Canopy elevation", superficies como la vegetación pueden producir múltiples picos en las formas de onda "Waveforms". Para la comparación con los vuelos LIDAR como el del 12 de Octubre de 2007, se usan GLA06 y GLA01, distribuidos por el NSDIC, *National Snow and Ice Data Center*. Los datos pueden obtenerse en www.nsidc.org, aunque en la colaboración UPC con CSR/UT se utilizan un subconjunto de datos focalizados en el área de estudio de Ibiza y l'Estartit. Todos los productos de ICESat/GLAS son descritos en la dirección <http://glas.wff.nasa.gov/>.

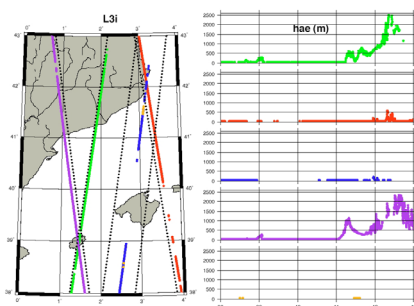


Figura 5.- Observaciones láser del periodo L3i.

Se muestra L3i así como las alturas hae sobre el elipsoide (TOPEX), en donde se diferencian las trazas de referencia (en puntos) de las trazas dirigidas (tras solicitud al *Goddard Space Flight Center GSFC/NASA*) a los lugares de calibración de Ibiza y l'Estartit (en trazo continuo) (Fig.5) (Martínez-Benjamín *et al.*, 2008).

Para el área de l'Estartit se muestran los puntos sobre la superficie marina superimpuesto a la imagen del *Google Earth* (Fig.6).

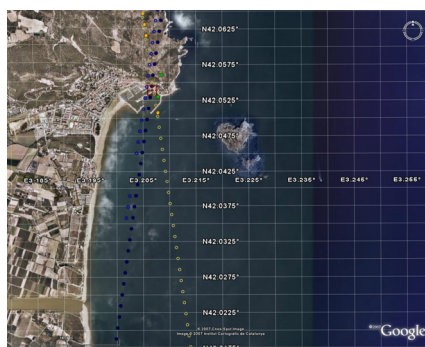


Figura 6.- Puntos láser en el l'Estartit.

BIBLIOGRAFIA

Martínez-Benjamín, J.J. *et al.*, Ibiza Absolute Calibration Experiment: Survey and Preliminary Results, *Marine Geodesy*, Vol 27, Taylor & Francis, ISSN 0149-0419 print/1521-060X online, 2004.

Martínez Benjamin, *et al.*, Campañas altimétricas de calibración en el Mediterráneo Occidental, *XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección*, Mar del Plata, Argentina, 2007.

Martínez Benjamin, J.J., Schutz, B., Urban, T., y Ortiz Castellon, M.A., Space Borne Laser and Airborne Lidar Experiences at l'Estartit (Spain), *Internacional Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS2008*, Proceedings CD 4p., Boston, Massachussets, Estados Unidos, 2008.

Moyssset, M., *Informe del projecte campanyes LIDAR a l'Estartit*, Informe interno, ICC, 2008.

Schutz, B. et al., Overview of the ICESat misión, *Geophysical Research Letters*, Vol.32, L21S01, doi:10.1029/2005GL024009, 2005.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del Proyecto ESP2005-05829 y de la Acción Complementaria ESP2005-25306-E financiados por el Plan Nacional I+D+i del MEC.