

# La Geofísica en el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando

J. MARTÍN DÁVILA, J. GÁRATE PASQUÍN,  
A. PAZOS GARCÍA y M. CATALÁN MOROLLÓN

Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando

## RESUMEN

Desde su fundación en el año 1753, el Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) ha realizado diferentes actividades en el campo de la Geofísica, inicialmente en Meteorología, posteriormente ampliadas al Geomagnetismo y Sismología y, de forma más reciente, al seguimiento de satélites artificiales por técnicas láser y GPS. Asimismo, la participación del ROA en campañas geofísicas marinas y terrestres ha sido también muy activa. En el presente trabajo se hace una breve reseña histórica de dichas actividades y se describe, con un poco más de amplitud, su situación actual.

**Palabras clave:** Observatorio, San Fernando, Meteorología, Geomagnetismo, Sismología, láser, GPS, satélites artificiales, redes sísmicas y GPS, campañas marinas y terrestres.

## The Geophysics in the Royal Naval Institute and Observatory in San Fernando

### ABSTRACT

Since its foundation on 1753, the Royal Naval Institute and Observatory in San Fernando (ROA), has carried out different activities in the field of Geophysics, initially on Meteorology, extended later to Geomagnetism and Seismology and, more recently, to artificial satellites tracking by means of laser and GPS techniques. Also, the ROA participation on marine and on land geophysical campaigns has been very active. In this work we summarize the historical activities and describe, more widely, its present status.

**Keywords:** Observatory, San Fernando, Meteorology, Geomagnetism, Seismology, laser, GPS, artificial satellites, seismic networks and GPS, marine and on land geophysical campaigns

## 1. INTRODUCCIÓN

El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) fue fundado, en la ciudad de Cádiz, en el año 1753, a instancias de Jorge Juan, oficial de la Armada perteneciente a la denominada Marina Científica Ilustrada, donde se incluyen otros nombres ilustres como Alejandro Malaspina, Antonio de Ulloa, etc. Tras su regreso de la campaña de medida de un grado de arco de meridiano, organizada

entre los años 1735 y 1744 en posesiones españolas en Ibero América con el fin de dirimir la disputa sobre la forma física de la Tierra, Jorge Juan propuso al rey, Carlos III, fundar un observatorio anexo a la Escuela de Guardiamarinas de Cádiz, de forma que se pudiesen simultanear las labores de observación y de cálculo de efemérides astronómicas con las de formación de los futuros oficiales de la Armada. Como consecuencia del traslado a San Fernando de la mayor parte de las instalaciones que la Armada tenía en Cádiz, el Observatorio se traslada en 1758 a dicha ciudad.

Antes de hablar de la Geofísica en el ROA debemos aclarar que, tradicionalmente, dentro de esta denominación genérica se han incluido actividades que objetivamente podrían ser incluidas en Geodesia Física o en otras ramas de la Geodesia, pero que dentro de la estructura del ROA han sido asignadas a lo que se conoce como «Sección de Geofísica». Con este entendimiento amplio de la palabra Geofísica, los primeros pasos del ROA en este campo serían las actividades realizadas por Jorge Juan y correrían parejas al propio nacimiento de esta institución. Las primeras actividades en el campo de la Geofísica, entendida en sentido estricto, fueron las observaciones meteorológicas que de forma sistemática se realizaban para corregir las observaciones astronómicas, y se remontan, por consiguiente, también a la propia época de su fundación a mediados del siglo XVIII. A partir del año 1859 las actividades geofísicas son asignadas a las entonces denominadas Secciones de Física y Geografía, y es en el año 1924 cuando aparece una Sección de Geofísica totalmente independiente del resto de las Secciones en que se estructura el Observatorio, con cometidos propios en los campos de Meteorología, Geomagnetismo y Sismología, agrupados en Servicios, que serían ampliados, a partir del año 1979, al incluir el Servicio de Satélites.

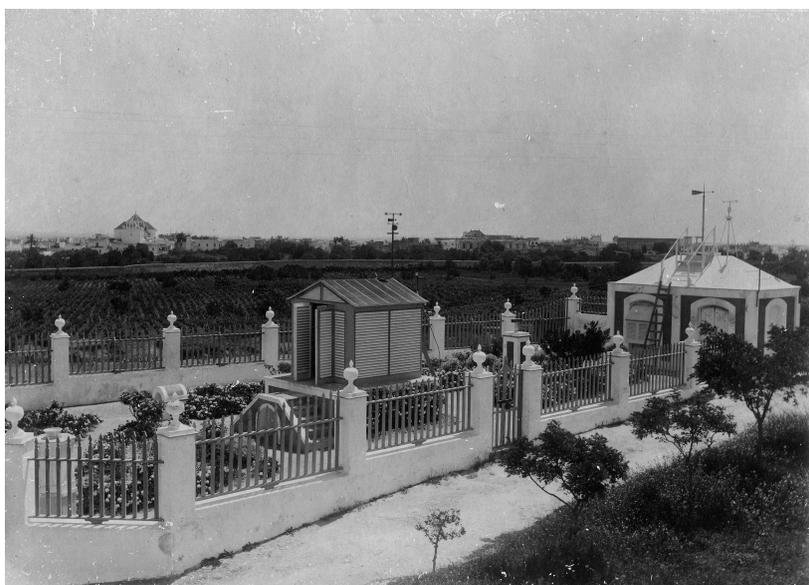
En el presente trabajo no se pretende hacer una enumeración exhaustiva de todas las actividades geofísico-geodésicas llevadas a cabo por el ROA desde su fundación, ni tampoco de todas aquellas en las que se encuentra involucrado en la actualidad, sino dar una idea de conjunto donde se compagine una reseña histórica junto con un enfoque actual, de forma que el lector pueda hacerse una idea general de lo que esta rama de la ciencia ha supuesto, y supone en la actualidad, dentro de esta veterana institución científica española. Se ha optado por agrupar las actividades en apartados que se corresponden con la estructura orgánica de la Sección de Geofísica antes mencionada, es decir, Meteorología, Geomagnetismo, Sismología y Satélites Artificiales, siguiendo el orden cronológico de su incorporación a las actividades del ROA. Se ha añadido un apartado, Campañas, por constituir en sí mismo una línea de gran actividad que, en diferentes campos de la Geofísica, el ROA ha mantenido desde su fundación.

## **2. METEOROLOGÍA**

Como se ha mencionado, las observaciones meteorológicas se remontan a la época de fundación del Observatorio en su primitivo emplazamiento en la ciudad de Cádiz. El interés que en la Armada despertó la aplicación de las variaciones

barométricas en la predicción del estado del tiempo, junto con la aplicación de las variaciones térmicas para corregir las lecturas de los cronógrafos marinos (González, 1995), impulsaron la realización de un programa de observaciones meteorológicas en el Real Observatorio de Cádiz a partir del año 1789, dando origen a una de las series meteorológicas españolas de mayor extensión y continuidad temporal.

Posteriormente, la ubicación en el recinto del Observatorio del Centro Meteorológico del Servicio de Meteorología Marítima y la posterior colaboración con el Instituto Geográfico y Estadístico provocaron que la Meteorología ocupase un lugar relevante entre las actividades del ROA a lo largo del siglo XIX. En el último cuarto de este siglo, a partir de 1870, bajo la dirección de D. Cecilio Pujazón, se da un nuevo impulso a la observación meteorológica con la adquisición de un gran número de aparatos, sistematizándose la publicación de las observaciones como un capítulo de los Anales que, desde dicha fecha, se publican de forma periódica.



**Figura 1.** Antiguas casetas meteorológicas del ROA.

Al igual que ocurría en sus orígenes, en la actualidad las observaciones meteorológicas son realizadas en el ROA con la finalidad de corregir las observaciones astronómicas, geodésicas, etc. realizadas en su recinto. Para ello se dispone de un sistema duplicado de estaciones automáticas, una estación propia del ROA, desarrollada en la Sección de Geofísica, y la segunda perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología e integrada en la red automática de dicha institución.

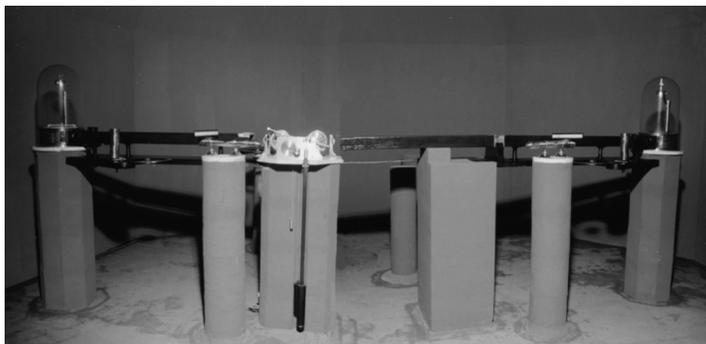
Ambas estaciones disponen de barógrafo, termógrafo, veleta y anemómetro independientes, que son interrogados con una frecuencia de 10 minutos. Los datos de ambas estaciones son corregidos e incorporados a un banco de datos, a partir del cual se generarán los Anales antes citados, e incorporados, asimismo, a una «cadena de datos» disponible en tiempo real en la red local del ROA, de forma que puedan ser integrados, de forma automática, a las observaciones antes mencionadas.

### **3. GEOMAGNETISMO**

Las grandes expediciones de la Marina Científica Ilustrada, llevadas a cabo principalmente en la segunda mitad del siglo XVIII, llevaban como instrumentación científica equipos que se encontraban a cargo del ROA. Dicha instrumentación se componía de equipos astronómicos, geodésicos, meteorológicos, etc., y, entre ellos se encontraban, asimismo, equipos para medidas del campo magnético terrestre. Destacan entre dichas expediciones las realizadas por Churruca en el Estrecho de Magallanes en los años 1788 y 1789, y, sobre todo la conocida expedición de Malaspina, realizada entre 1789 y 1794, en la que se midieron tanto declinaciones como inclinaciones magnéticas en diversas partes del globo (Jonkers et al., 2003).

Aparte de las medidas del campo magnético ligadas a las citadas expediciones científicas, las primeras referencias a actividades de observación geomagnética en el recinto del ROA datan del año 1841 cuando se procede a la adquisición de un declinómetro, un magnetómetro bifilar, un magnetómetro de fuerza vertical y una aguja de inclinación, todos ellos fabricados por la casa «Thomas Jones» de Londres, y se desplaza a dicha ciudad y a Dublín D. Saturnino Montojo científico de este Observatorio, para adquirir los conocimientos necesarios para el manejo de dicha instrumentación (González, 1995).

Posteriormente, D. Cecilio Pujazón, Director del ROA, realizó en 1874 un viaje a distintas ciudades de Europa, visitando, entre otros centros, los observatorios de Greenwich y Kew. Tras su regreso, encargó la construcción de tres registradores variométricos geomagnéticos similares a los diseñados en Kew, constituyendo lo que se conoce como estación «Adie», nombre del fabricante londinense que la construyó. Dichos equipos, fueron instalados en 1876 en una de las salas bajas del edificio principal del ROA hasta que en 1877, y tras finalizarse las obras de construcción de una caseta geomagnética de dos plantas, la estación Adie fue trasladada a la planta sótano de la caseta. En este mismo año se encargan los instrumentos para mediciones absolutas, magnetómetro «Elliot» y teodolito de inclinación «Dower», que llegan al ROA en 1880, procediéndose a su instalación en la planta alta de la citada caseta (González 1995, Anales del ROA, 1891).



**Figura 2.** Estación geomagnética Adie del ROA.

Desde dichas fechas, ha sido diversa la instrumentación geomagnética empleada en el ROA: aguja de inclinación Negretti-Zambra (1887), nuevos magnetómetros Elliot y Dower (1922), magnetómetro C.I.W. (1926), estación variográfica Lacour (1968), QHM y BMZ (1968), etc.

Entre las actividades instrumentales debe ser destacada, asimismo, la línea de desarrollo de instrumentación propia. Así, durante la década de los pasados años 70 se llevó a cabo el diseño e implementación de diversos desarrollos propios, tanto de magnetómetros de protones como de variógrafos (Catalán et al, 1991). En esta misma línea, a comienzos de los años 90 se diseñó y construyó, en la Sección de Geofísica, una estación variométrica basada en fluxgates y controlada por microprocesador, que fue desplegada en diversos emplazamientos, entre ellos en la Antártida y en el observatorio geomagnético del ROA localizado en Puerto Real, del que se hablará posteriormente. Esta línea se ha mantenido hasta la actualidad, habiéndose modificado/reparado diversos magnetómetros, tanto variógrafos como de protones, terrestres y marinos, pertenecientes al ROA y a otras instituciones de investigación de ámbito nacional, y asimismo, desarrollando diversas aplicaciones para la adquisición de datos, para su procesado, transmisión desde emplazamientos remotos, etc. (Catalán et al., 1995).

Debe señalarse, que la primitiva caseta, anteriormente mencionada, fue abandonada en el año 1930 debido a problemas estructurales, trasladándose la instrumentación a una nueva caseta, de similares características, construida en otro emplazamiento del recinto del ROA situado a unos 100 m del emplazamiento original.

A finales de los años 70, la electrificación de la vía férrea Sevilla-Cádiz, que discurre a unos centenares de metros del recinto del ROA, provocó que los registros geomagnéticos se viesan interferidos, excepto en los periodos nocturnos. Esta situación provocó la construcción de una nueva estación geomagnética en dependencias de la Armada situadas en una pedanía de la ciudad de Puerto Real, conocida como Barrio Jarana, localizada a unos 8 km del ROA. Esta estación está

compuesta por una caseta principal de dos plantas, donde se instalaron un variógrafo fotoeléctrico modelo PSM8711 (sótano) y un magnetómetro QHM para medidas absolutas (planta principal) y varias casetas menores anexas, donde fueron instalados un magnetómetro vector y un magnetómetro de protones G-856. Esta estación quedó plenamente operativa en el año 1989 (Anales del ROA 1989). La instrumentación fue posteriormente complementada con una estación variométrica Modelo FGE (desarrollada por el DMI), un magnetómetro de protones efecto Overhauser GEOMAG SM-90 y un inclinómetro /declinómetro (Diflux) MAG-01H. El progresivo incremento del ruido geomagnético medioambiental, provocó que, partir del año 1998 las observaciones absolutas fuesen realizadas en periodos nocturnos.

Dicho incremento del ruido, junto con el requerimiento de mayores precisiones en las medidas del campo, motivaron nuevamente la búsqueda de un emplazamiento suficientemente alejado del entorno urbano y de posibles fuentes magnéticas, que garantizase unos registros cuya calidad se adaptase a los estándares fijados en la red global de observatorios geomagnéticos INTERMAGNET. Finalmente fueron seleccionadas unas dependencias del Ministerio de Defensa, conocidas como «Cortijo Garrapilos», localizadas en la Barca de la Florida, pueblo dependiente del ayuntamiento de Jerez de la Frontera, y situado a unos 50 km del ROA. Este nuevo observatorio geomagnético estaría basado en casetas prefabricadas de madera, modificadas convenientemente para alcanzar los requisitos marcados por la IAGA: Una caseta para observaciones absolutas, otra caseta para variógrafos, una tercera caseta para electrónica y una caseta de menor tamaño para alojar el sensor del magnetómetro de protones.



**Figura 3.** Vista exterior del nuevo observatorio geomagnético del ROA, localizado en el Cortijo Garrapilos (la Barca de la Florida, Jerez).

A finales del año 2003 comenzaron las obras de adecuación del emplazamiento y de tendido eléctrico, procediéndose durante el año 2004 a la instalación de las casetas y finalización de las obras de entorno (Memoria de Actividades del ROA, 2004). A comienzos del mes de octubre de dicho año se procede al traslado de la estación variométrica de tres componentes modelo FGE (DMI) y del magnetómetro de protones «Overhauser» GEOMAG SM-90, desde sus antiguos emplazamientos del Barrio Jarana al nuevo observatorio. A mediados de dicho mes se traslada el declinómetro/inclinómetro (Diflux), y se procede a la instalación de toda la electrónica asociada, recibándose en el ROA, el día 21 de dicho mes, el primer fichero remitido de forma automática vía módem telefónico. Desde dicha fecha y hasta mediados del mes de Enero de 2006, y siguiendo las recomendaciones de la IAGA, se han mantenido operativos, de forma simultánea, el antiguo observatorio geomagnético del Barrio Jarana, y el nuevo observatorio del Cortijo Garrapilos, tanto en los registros variográficos como en las observaciones absolutas, con el fin de contar con un amplio periodo de solape entre los registros de ambos centros que permita enlazar, con garantía, ambas series y detectar cualquier posible funcionamiento anómalo en el nuevo emplazamiento.

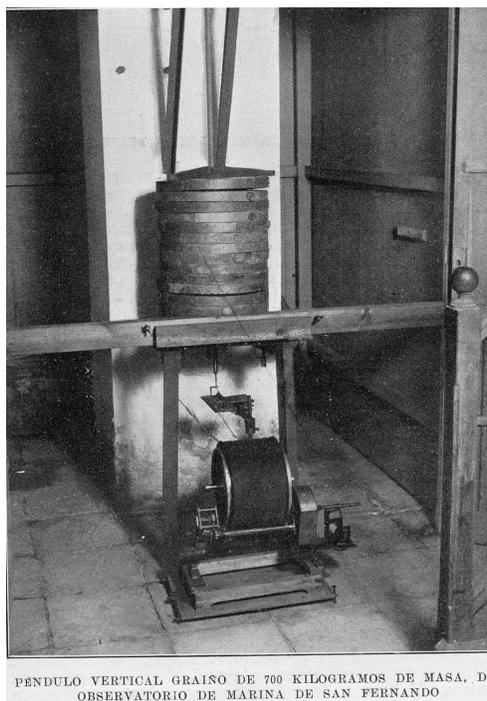
Esta actividad de observación del campo geomagnético se resume en los Anales de Observaciones Meteorológicas, Geomagnéticas y Sísmicas que periódicamente edita el ROA. De forma más concreta, y en lo que a las observaciones geomagnéticas se refiere, esta serie se integró, como un capítulo de dichos anales, en el año 1891, aunque, como se ha expuesto anteriormente, las observaciones se iniciasen con bastante anterioridad. Además de esta edición, los datos son enviados a centros internacionales de datos como el «World Data Centre» (WDC), el «British Geological Survey» (BGS), etc.

#### 4. SISMOLOGÍA

Los primeros equipos de registro sísmico del ROA datan del año 1887, sismógrafos contruidos por la casa Negretti&Zambra, a instancias del director del ROA, D. Cecilio Pujazón, según diseño del profesor J. A. Ewing. Pocos años después, y como parte de la red mundial de 40 estaciones sísmicas desplegadas bajo los auspicios de la Asociación Británica para el progreso de las Ciencias, en el año 1897 se instaló en el ROA un péndulo horizontal con registro fotográfico tipo Milne, componente E-O, completado en 1909 por otro péndulo similar para el registro N-S (Anales ROA, 1900).

Deben ser destacados los diseños de D. Francisco Graño, subdirector del ROA en esas fechas, quien diseñó y construyó, en los talleres del propio observatorio, diversos sismógrafos mecánicos de componente vertical y horizontal (péndulos horizontales bifiliares tipo Mainka, 1912, péndulo vertical de 100 kg, 1921, péndulo horizontal de 1100 kg, 1922), así como péndulos eléctricos para control horario de los registros sismográficos. Posteriormente, fueron instalados péndulo tipo Alfani (1933), sismógrafos Sprengnether del IGC (1966) reemplaza-

dos por los Sprengnether S-5100-V (1975) y S-5100-H (1976), propiedad del ROA, y que permanecen instalados en la actualidad, con registro analógico clásico de las tres componentes en papel térmico y adquisición digital en un PC asociado dotado de algoritmo de detección de eventos.



**Figura 4.** Péndulo tipo «Graíño» de diseño y construcción propia en el ROA.

Debe destacarse que la línea de trabajo en instrumentación sísmica iniciada por Graíño ha tenido una continuidad en el tiempo hasta la actualidad. En este mismo apartado se hablará posteriormente de la red sísmica de corto período del ROA, en la que la electrónica de adquisición y gestión de datos ha sido implementada en el ROA, tomando como base los trabajos de Alguacil (1986). En este mismo campo, se desarrollaron diversas estaciones sísmicas, alguna de las cuales permitía su despliegue en el fondo marino (OBS) y que fueron desplegadas dentro de las actividades llevadas a cabo por el ROA en las primeras campañas antárticas, de las que se hablará en el apartado 6. De forma reciente deben destacarse los trabajos realizados tanto en los sistemas de adquisición de datos como en los propios sensores (Pazos, 2004).

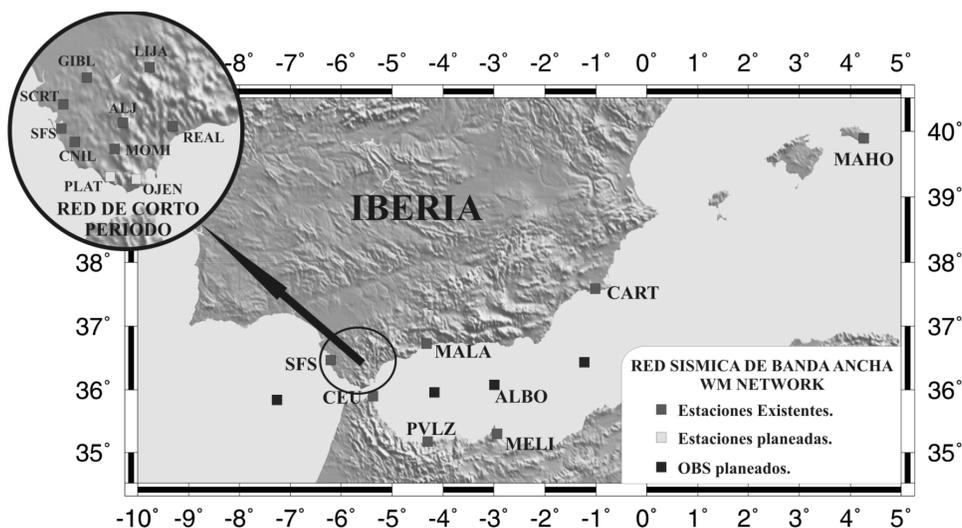
En el año 1986, y con la finalidad de estudiar la sismicidad de la zona próxima al Estrecho de Gibraltar en el marco del estudio de viabilidad de un enlace fijo a través del mismo, se procede al despliegue de una red sísmica de corto periodo como una colaboración entre el ROA, el Instituto Geográfico Nacional (IGN), y la empresa estatal SECEGSA, con registro centralizado de datos en el ROA. Esta red, con estaciones instaladas en las inmediaciones del Estrecho, se extendió hacia la sierra de Cádiz mediante la instalación por el ROA de nuevas estaciones, constituyéndose la red sísmica de corto periodo del ROA-red del Estrecho, que continúa en funcionamiento en la actualidad (Martín Davila et al., 1998). Las estaciones de esta red constan de sensor de corto periodo, Mark L-4 o similar, electrónica de adquisición de datos de desarrollo propio del ROA y transmisión analógica vía radio UHF/VHF hasta el centro de datos, donde se procede a su registro en papel térmico, digitización y adquisición digital mediante PC asociado con algoritmo detector de eventos.

De forma más reciente, a partir del año 1996 y merced a un convenio de colaboración entre el ROA, la Universidad Complutense de Madrid (UCM) y el GeoforschungZentrum (GFZ) de Potsdam (Alemania), se ha procedido al despliegue de estaciones sísmicas de Banda Ancha en la zona Sur de la Península y Norte de África, con la finalidad principal de obtener registros de gran calidad correspondientes a sismos asociados a esta zona de deformación por el contacto de las placas euroasiática y africana. En el año 1996 se instala la primera estación (Buform et al., 2002), y hasta la actualidad se han desplegado un total de siete estaciones localizadas en los siguientes emplazamientos: San Fernando, Cartagena, Mahón, Melilla, Ceuta, Peñón de Vélez de la Gomera y Málaga. Todas ellas están dotadas de sensor Streckeisen STS-2, sistemas de adquisición de datos Quanterra o Earth Data Digitizer (EDD) y PC con sistema Seiscomp para enlace con el exterior. El ROA actúa como centro de adquisición de datos, interrogando a las estaciones de forma automática secuencial vía telefónica o Internet. Los datos de aquellas estaciones que todavía no disponen de enlace con el exterior, por estar en trámites de gestión, son volcados «in situ» mediante visitas periódicas. Los datos son archivados en el ROA, la UCM y el GFZ, y los correspondientes a estaciones seleccionadas son enviados de forma automática a diversas redes internacionales como GEOFON, ORFEUS, IRIS, etc.

Las estaciones de Banda Ancha antes enumeradas constituyeron inicialmente la red ROA/UCM, designada en la actualidad internacionalmente con el código «WM», correspondiente a las iniciales «Western Mediterranean».

En la actualidad se encuentra en fase de desarrollo un proyecto, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), para el despliegue de una red de sismómetros de fondo marino (Ocean Bottom Seismometers; OBS) mediante la instalación de un OBS permanente en las inmediaciones de la isla de Alborán (Proyecto OBS-ALBORAN) y tres OBS adicionales de carácter semi-permanente (Proyecto RED FOMAR), que permanecerán instalados en el Golfo de Cádiz y Mar de Alborán por un periodo mínimo de tres años, tras los cuales, y a la vista del rendimiento que se obtenga de los mismos, se decidirá su transformación a instalaciones permanentes. Todos ellos irán dotados de sensor sísmico de Banda

Ancha, y está previsto complementarlos con instrumentación adicional, como sensores de presión y magnetómetros (Martín Davila et al., 2006).



**Figura 5.** Red sísmica de corto periodo (ROA-Estrecho), Red de Banda Ancha (Western Mediterranean) y red de fondo marino (FOMAR).

## 5. SATÉLITES ARTIFICIALES

Este Servicio del ROA comprende las actividades realizadas en el campo del seguimiento láser de satélites artificiales y en el posicionamiento por técnicas GPS.

El trabajo en el campo de los satélites artificiales nació en el ROA en el año 1958, cuando se instala en su recinto una cámara Baker-Nunn para posicionamiento fotográfico de satélites sobre fondo de estrellas, al amparo de una colaboración con la «Smithsonian Institution» (USA), y dentro de un proyecto de despliegue de una red global de estaciones. Posteriormente, en el año 1968, y en virtud de un acuerdo de este Observatorio con el «Groupe des Recherches de Geodesie Spatiale» (GRGS) de Francia, se instala, en las inmediaciones de la cámara Baker-Nunn, una primitiva estación de seguimiento de satélites artificiales basada en un láser de rubí. Tras diversos acuerdos con el CNES (Centro Nacional de Estudios Espaciales) francés, éste cedió al Observatorio, en 1983, una nueva estación láser de rubí, que instalada en 1984 participó en el Proyecto MERIT, siendo desmontada en 1986 y reintegrada al CNES, permaneciendo en el ROA la primitiva torreta y una parte de la electrónica de control del seguimiento. A partir de ese momento se procede a la adquisición por parte del ROA de los

elementos necesarios para montar una estación láser propia de segunda generación (Gómez Armario et al., 1994), que con múltiples modificaciones permanece instalada en la actualidad. Esta estación, situada en la cúpula del edificio principal del ROA, está basada en un láser de Yag-Nd++, trabaja con un rayo cuya longitud de onda es de 532 nm, y cuenta con un telescopio cuyo espejo receptor principal es de tipo Cassegrain de 60 cm de diámetro. En el ROA se ha desarrollado toda la electrónica de control, tanto de la emisión como para la recepción, así como todo el software necesario para el control de la estación, adquisición de los datos, filtrado, etc. Este proceso de desarrollo e implementación es constante y parejo a la evolución que sufre tanto la electrónica como la informática, por lo que los circuitos electrónicos han sido rediseñados e implementados en diversas ocasiones, y el mismo proceso ha sufrido el software de control.



**Figura 6.** Estación Láser de seguimiento de satélites artificiales el ROA.

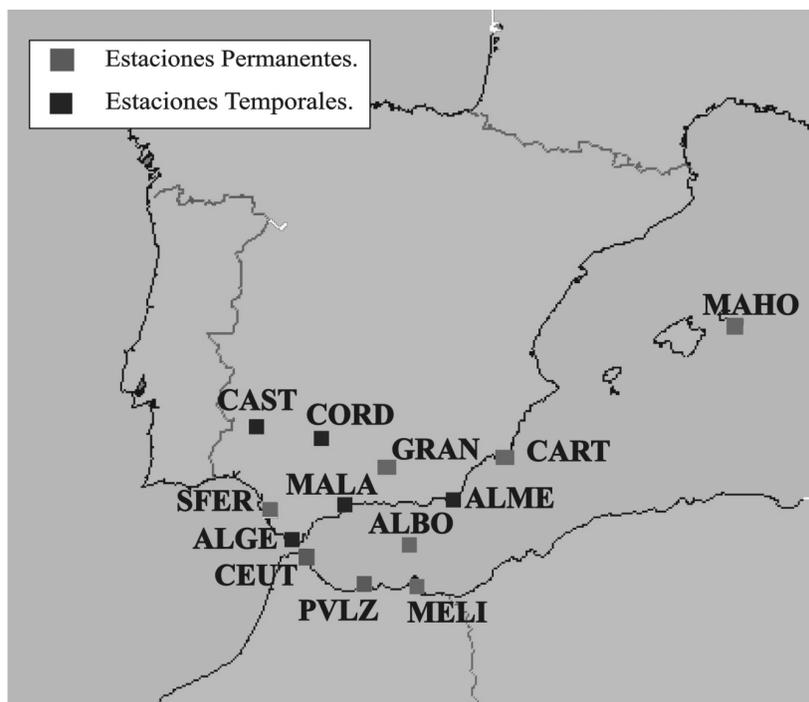
En la actualidad la estación trabaja tanto en periodos nocturnos como diurnos seleccionados, los 365 días del año, para lo cual se cuenta con un equipo de observadores y un personal técnico de apoyo. Se efectúa seguimiento de forma rutinaria sobre satélites bajos, principalmente orientados a observación de la Tierra y con una altura de unos centenares de kilómetros, y sobre satélites medios, fundamentalmente geodésicos y con una altura de unos 6.000 kms (Gárate et al., 2004). Está siendo modificada actualmente a fin de adecuarla para el seguimiento de satélites altos, fundamentalmente GNSS tipo GPS, GLONAS y en un futuro GALILEO, cuya altura es de unos 36.000 kms.

La estación se encuentra integrada en la red europea de estaciones láser EUROLAS y es miembro, asimismo, del Servicio Internacional de Seguimiento Láser (International Laser Ranging Service; ILRS; <http://ilrs.gsfc.nasa.gov/>), organismo internacional que coordina y armoniza los seguimientos de las estaciones SLR y LLR (Láser Luna) y las actividades de los centros de procesado y análisis, marcando, entre otros aspectos, las prioridades en el seguimiento, los estándares de calidad/cantidad de datos necesarios, etc. Entre otros productos, el ILRS proporciona estadísticas del seguimiento de las estaciones sobre los diferentes tipos de satélites, errores asociados, etc.

Como se ha mencionado al comienzo de este apartado, entre las actividades realizadas en el Servicio de Satélites del ROA también se encuentran aquellas relacionadas con el posicionamiento GPS, tanto en su vertiente de establecimiento de redes geodésicas como en aplicaciones geodinámicas, o la colaboración con otros centros en otras aplicaciones GPS, como pueden ser las meteorológicas, estudios ionosféricos, etc. Estas actividades nacen en el ROA en el año 1987 cuando los primeros receptores monofrecuencia son adquiridos con la finalidad de efectuar levantamientos geodésicos-geodinámicos en el ámbito de las primeras campañas realizadas por instituciones españolas en la Antártida (Memoria de Actividades 1990). Poco después se procede a establecer un vértice geodésico GPS en el ROA, vértice GPS de primer orden durante la campaña EUREF'89 de establecimiento del sistema de referencia GPS europeo, y sucesivamente reobservado en diversas campañas, como TANGO'91, en colaboración con la Universidad de Porto y otras instituciones a fin de realizar estudios geodinámicos entre la Península, I. Canarias, I. Azores, etc, EPOCH'92, MAGIES'93 (dentro del proyecto europeo SELF I), IBERIA'95, densificación peninsular de EUREF, SELFII'96, etc. A finales del año 1995 comienzan las observaciones de forma permanente en este punto fundamental, y en marzo de 1996 se incorpora a la red mundial IGS («International GPS Service for Geodynamics», hoy en día denominado como «International GNSS Service»), con el nombre de SFER. En la actualidad la estación SFER dispone de un receptor geodésico TRIMBLE con entrada de frecuencia externa de 5 Mhz, procedente de la base fundamental de tiempo mantenida por la Sección de Hora de este Observatorio, antena de tipo Choke-ring y PC asociado de control, integrado en la red local de este Centro. Sus datos son remitidos vía Internet a un centro nodal localizado en el instituto BKG alemán, encontrándose accesibles públicamente en las páginas web del IGS y de su densificación regional europea denominada EUREF.

Un par de años antes, en 1993, comienzan a organizarse en el ROA campañas de observación GPS de ámbito regional con diferentes aplicaciones, entre ellas: posicionamiento de la red de mareógrafos de Andalucía (Berrocoso et al, 1996), posicionamiento de la red sísmica de corto periodo del ROA- red del Estrecho, campaña geodinámica con observaciones GPS en el Sur de la Península, Ceuta y Melilla (Gárate et al., 1996), etc. El objetivo de esta última era obtener una serie de observaciones a lo largo del tiempo que permitiesen evaluar el comportamiento geodinámico en la zona de convergencia entre las placas tectónicas euroasiática y africana, que transcurre desde las islas Azores hasta

Túnez en dirección aproximada Oeste-Este. No obstante, dada la baja velocidad de convergencia, de pocos mm/año, y los errores asociados a las técnicas GPS, especialmente en su componente vertical, el periodo de tiempo necesario para obtener resultados útiles, mediante campañas de observación temporal, es de bastantes años en esta zona. Por ello, entre los años 1996-97 se estudia la posibilidad de desplegar una red de estaciones GPS permanentes, con equipos instalados tanto en el Sur de la Península como en el Norte de África, que permitiesen evaluar de forma más fiable las deformaciones de la citada zona de convergencia. Esta red, de ámbito regional, estaría densificada mediante vértices de observación geodinámica temporal. Por otra parte, dado que en dichas fechas comenzaba el despliegue de estaciones sísmicas de Banda Ancha antes mencionado, se estimó que las estaciones GPS permanentes deberían ser desplegadas, en lo posible, de forma que estuviesen instaladas en los mismos emplazamientos que las estaciones sísmicas, de forma que permitiesen separar los desplazamientos asociados a sismos de aquellos otros de origen geodinámico. Por otra parte, esta red podría colaborar en otro tipo de estudios derivados de las observaciones GPS, como estudios atmosféricos de contenido de vapor de agua con las correspondientes aplicaciones meteorológicas, contenido de electrones de la ionosfera, etc.



**Figura 7.** Redes GPS, permanente y temporal, del ROA.

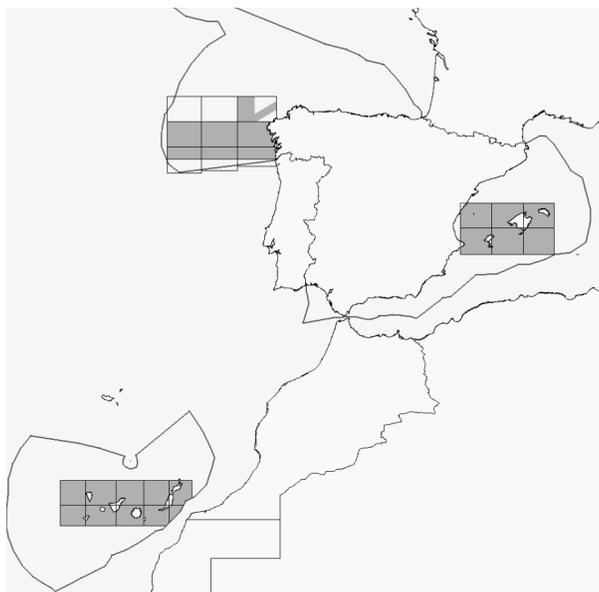
Con los objetivos señalados, comienza en el año 1998 el despliegue de la red GPS permanente del ROA, que en la actualidad cuenta con las siguientes estaciones: San Fernando, Cartagena, Mahón, Melilla, Peñón de Vélez de la Gomera, Ceuta e isla de Alborán. Todas las estaciones cuentan con una configuración similar: receptor geodésico TRIMBLE, antena tipo «Choke ring», PC para gestión de datos y enlace con el exterior. Parte de las estaciones son controladas vía telefónica / Internet, y las otras mediante traslado de personal del ROA hasta las estaciones mismas, con una periodicidad de uno a dos meses (P. Vélez, Ceuta e I. Alborán), encontrándose en fase de gestión disponer de líneas telefónicas en estas últimas estaciones.

El procesado de los datos proporcionados por las estaciones GPS permanentes y temporales es realizado mediante el software científico GIPSY-OASIS II (Jet Propulsion Laboratory).

## **6. CAMPAÑAS**

La participación del ROA en campañas de tipo geofísico-geodésico, bien de forma autónoma o en colaboración con otras instituciones, se remonta ya a los mismos orígenes de este observatorio. De hecho, ya su fundador, D. Jorge Juan, junto con D. Antonio de Ulloa, participaron en la campaña organizada por la Real Academia de Ciencias de París para la medida de un grado de arco de meridiano, campaña llevada a cabo entre los años 1735 y 1744 en posesiones españolas centroamericanas, y tras la cual, y por iniciativa de D. Jorge Juan, se funda el Observatorio en su primitivo emplazamiento, anexo a la Academia de Guardiamarinas de Cádiz. Desde dichas fechas el ROA ha colaborado en multitud de campañas, entre las que se encuentran las ya citadas de la segunda mitad del siglo XVIII, conocidas como de la Marina Científica Ilustrada, donde el ROA actuaba, además, como proveedor de la instrumentación científica empleada en las mismas.

Ya en épocas más recientes, debe citarse la participación del ROA en las campañas de perfiles sísmicos profundos realizadas a partir del año 1974, en colaboración con diversas instituciones españolas, mediante la realización de explosiones marinas y en tierra y registro en estaciones sísmicas instaladas en puntos seleccionados, y en las que la Armada Española tuvo una contribución muy activa. Debe señalarse que una de las almas de estas campañas fue, como en otros campos de la Geofísica en España, el Profesor D. Agustín Udías, a quien está dedicado el presente volumen de la revista Física de la Tierra. Estos perfiles sísmicos, realizados al amparo del proyecto Geodinámico, supusieron un auténtico hito en la sismología española, y muchos de los geofísicos actuales dieron sus primeros «pasos científicos» en ellos. Se extendieron entre los años 1974 y 1985 y cubrieron diversas zonas: Golfo de Cádiz, Mar de Alborán, Islas Canarias, etc. (Udías, 1980). Estas campañas iniciaron las actividades en el campo de la geofísica marina en el ROA, que, como se detalla seguidamente, han continuado hasta la actualidad.



**Figura 8.** Zonas barridas hasta la fecha por las campañas ZEEE.

Coincidiendo con el final de dichos perfiles comienzan las iniciativas españolas en la Antártida, con el fin de demostrar una actividad científica en dicha zona que permitiese a España ingresar como miembro del Tratado Antártico. Dichas iniciativas comprendían actividades en diferentes campos, entre los que se encontraban la Geofísica y la Geodesia, y en los que a lo largo de diversas campañas colaboró el ROA junto con diferentes instituciones españolas como el IEO, MNCN, IGN, SGE, IHM, etc. De forma más concreta, el ROA participó en esa época en las campañas 1987/88; 88/89; 89/90; 90/91 y 95/96, con actividades sísmológicas, instalando diversas estaciones terrestres y de fondo oceánico, actividades geomagnéticas, efectuando observaciones terrestres y perfiles marinos, actividades GPS, estableciendo redes geodésicas de apoyo a levantamientos cartográficos e hidrográficos y observaciones GPS con fines geodinámicos locales y regionales, etc. De forma más reciente el ROA ha llevado a cabo campañas de geofísica marina en esa zona, en colaboración con la UCM y otras instituciones, al amparo de la AC DECVOL (1999) y del proyecto GEODEC\_MAR (2002).

En el ámbito regional, además de las campañas de perfiles sísmicos antes citadas, el ROA ha colaborado posteriormente en diversas campañas, como las llevadas a cabo en el proyecto ILIHA (1990), la campaña Golfo de Cádiz'94, organizada por el ROA con el apoyo de la UCM y el IGN (Martín Davila, 1999), campaña COMBO colaborando con la UCM, campañas TASYO, PARSIFAL y ANASTASIA en el Golfo de Cádiz, y, de forma más reciente, la campaña GEO-

PRICO, realizada en abril de 2005 en la zona República Dominicana-Puerto Rico-Antillas Menores, como una colaboración ROA, UCM, IEO, USGS y diversas instituciones locales como UASD, ISU, PRSN, etc, (Carbó et al 2005).

En este campo de la geofísica marina debe de ser destacada la participación del ROA, junto con el IHM, el IEO y la UCM, en las campañas Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE), que con un mes de duración y con periodicidad anual, se están realizando desde el año 1995, empleando el BIO «Hespérides» como plataforma de apoyo. Hasta la fecha se han cubierto diversas zonas en aguas de la islas Baleares, Islas Canarias y NO de la península (zona del Banco de Galicia), lo que ha dado lugar a la publicación de diversas hojas escala 1:200.000 y de síntesis a escala 1:500.000 de aguas de Baleares y de Canarias (Batimetría, Anomalías Geomagnéticas, Anomalías Gravimétricas de Aire Libre y de Bouguer, Morfología de fondo...), y en un futuro próximo de aguas del NO de la Península.

Además de las campañas enumeradas, en las que predomina la componente de geofísica marina, el ROA ha llevado a cabo o participado, recientemente, en diversas campañas geofísicas-geodésicas, entre ellas mencionaremos la Campaña TEDESE, con despliegue temporal de estaciones sísmicas de Banda Ancha (2001-2004) en el entorno del Mar de Alborán, realizada en colaboración con la UCM, y mencionaremos asimismo las campañas GPS de reobservación parcial de la red geodinámica del ROA (1996, 1998, 2001, 2005) y campaña de reobservación de la red CuaTeNeo (2003), esta última en colaboración con la UB y el ICC.

## 7. REFERENCIAS

- ALGUACIL, G (1986). *Los instrumentos de una red sísmica local telemétrica para micro-terremotos. La red sísmica de la Universidad de Granada*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. Granada.
- ANALES DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE MARINA DE SAN FERNANDO (1891). Parte 2, 1-17.
- ANALES DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE MARINA DE SAN FERNANDO (1988-1989).Edita ROA, San Fernando (Cádiz).143pp.
- ANALES DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE MARINA DE SAN FERNANDO, IOM (1900).Edita IOM, San Fernando (Cádiz).154pp.
- BERROCOSO, M.; J. GÁRATE; M. CATALÁN; A. ABOITIZ & O. ÁLVAREZ (1996). Referenciación de la red de mareógrafos de Andalucía al elipsoide WGS-84. *Física de la Tierra*, 8.
- BUFORN, E.; A. UDÍAS; J. MARTIN DAVILA; W. HANKA & A. PAZOS (2002). Broadband station network ROA/UCM/GFZ in South Spain and Northern Africa. *Seismological Research Letters*, 73/2, 173-176.
- CARBÓ, A.; D. CÓRDOBA; J. MARTÍN DAVILA; U. TEN BRINK; P. HERRANZ, & OTROS (2005). Survey explores active Tectonics in North-

- eastern Caribbean. *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 86 (51), 537-540.
- CATALÁN M., M.; M. CATALÁN P.-U.; J. A. PEÑA; J. GALLEGOS & J. A. MARÍN (1995). Desarrollo de un nuevo prototipo de estación. VIII Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. 1995.
- CATALÁN P.-U., M.; F. PAGÁN; S. GALLEGOS & I. FRAGA (1991). Magnetismo en el Real Instituto y Observatorio de la Amada. VII Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. San Fernando. Diciembre 1991.
- GÁRATE, J.; M. BERROCOSO & J. MARTÍN (1996). Red geodinámica Andalucía Oriental – Norte de África: diseño y primeras observaciones. *Física de la Tierra*, 8, 195-203.
- GÁRATE, J.; J. MARTÍN DAVILA; M. QUIJANO & C. BELZA (2004). San Fernando SLR status and future objectives. in: 14<sup>th</sup>. *International laser ranging workshop. Proceedings*. Boletín ROA 05/2005, 185-188.
- GÓMEZ ARMARIO, F.; M. QUIJANO & J. B. FERNÁNDEZ (1994). La estación de telemetría láser de segunda generación. Boletín ROA 04/94. Edita Ministerio de Defensa. San Fernando.
- GONZÁLEZ, F. J. (1995). Instrumentos científicos del Observatorio de San Fernando (Siglos XVIII, XIX y XX). Edita Instituto de Historia y Cultura Naval. Ministerio de Defensa. Madrid. 286 pp.
- JONKERS, R.T.; A. JACKSON & A. MURRAY (2003). Four centuries of geomagnetic data from historical records. *Reviews of Geophysics*, 41, 2, 1-36.
- MARTÍN DAVILA, J. (1999). Estructura y dinámica del Golfo de Cádiz determinadas a partir de datos geofísicos. Boletín ROA núm. 03/99. Edita ROA, San Fernando (Cádiz), NIPO 076-99-024-4. 299pp.
- MARTÍN DAVILA, J.; A. UDÍAS; J. GÁRATE; E. BUFORN; A. PAZOS & OTROS (1998). Estudio integrado por métodos GPS y sísmicos de la zona de contacto de placas euroasiática y africana: situación actual. En: 100 años de observaciones sismológicas en San Fernando. Boletín ROA 05/1999. San Fernando. 167-177.
- MARTÍN DAVILA, J.; E. BUFORN; A. PAZOS; A. UDÍAS; W. HANKA; J. PRIÁN; J. QUIJANO; J. GALLEGOS & G. MUÑOZ-DELGADO (2006). La red sísmica de banda ancha WM. *Resúmenes de la 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. En prensa.
- MEMORIA DE ACTIVIDADES DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO, ROA (1990). Edita ROA, San Fernando (Cádiz). 102pp
- MEMORIA DE ACTIVIDADES DEL REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO, ROA (2004). Edita ROA, San Fernando (Cádiz), NIPO 076-05-031-3. 169pp
- PAZOS, A. (2004). Estación sísmica digital. Tratamiento digital de señales. Tesis doctoral. Boletín ROA 02/2004. Edita Ministerio de Defensa. 204 pp.
- UDÍAS, A. (1980). Deep Seismic Sounding Studies in Spain. *Final Rep. Comm. on the Geodynamic Project. C.S.I.C.*, 43-57.