

# La Telemetría Láser en el Real Instituto y Observatorio de la Armada

RAFAEL BOLOIX CARLOS-ROCA,  
*Capitán de Corbeta*

RAFAEL BOLOIX CARLOS-ROCA

**C**APITAN de Corbeta del Cuerpo General de la Armada. Subdirector del Real Instituto y Observatorio de la Armada. Jefe de la Sección de Hora. Jefe de la Sección de Geofísica. Diplomado en Estudios Superiores en Astronomía y Geofísica. Titulado en Estudios Superiores en Ciencias Físico-Matemática. Especialista en Artillería y Tiro Naval. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Barcelona.



Edificio principal del Real Instituto y Observatorio de la Armada. En la cúpula, el láser.

**C**UANDO el 4 de octubre de 1957, el SPUTNIK I, primer satélite artificial circundaba la tierra, asombrando y sorprendiendo a todo el mundo, se abrió una nueva etapa: la era espacial, con todo un sin fin de sueños, ilusiones, esperanzas y misterios que conlleva la apertura de una puerta que conduce a zonas de existencia conocida pero nunca, hasta ahora, alcanzadas, salvo por la imaginación.

De todos son conocidos los grandes esfuerzos económicos y tecnológicos empeñados en el afán de ser los dueños de este nuevo espacio en el que sin lugar a dudas tenía, como factor prioritario, el campo estrictamente militar y de prestigio, dentro del contexto de la guerra fría. Todo ello dio como fruto el rápido desarrollo de cohetes cada vez más potentes con capacidad de impulsar y poner en órbitas cargas más pesadas y aumentando de forma muy rápida el número de ingenios en órbita.

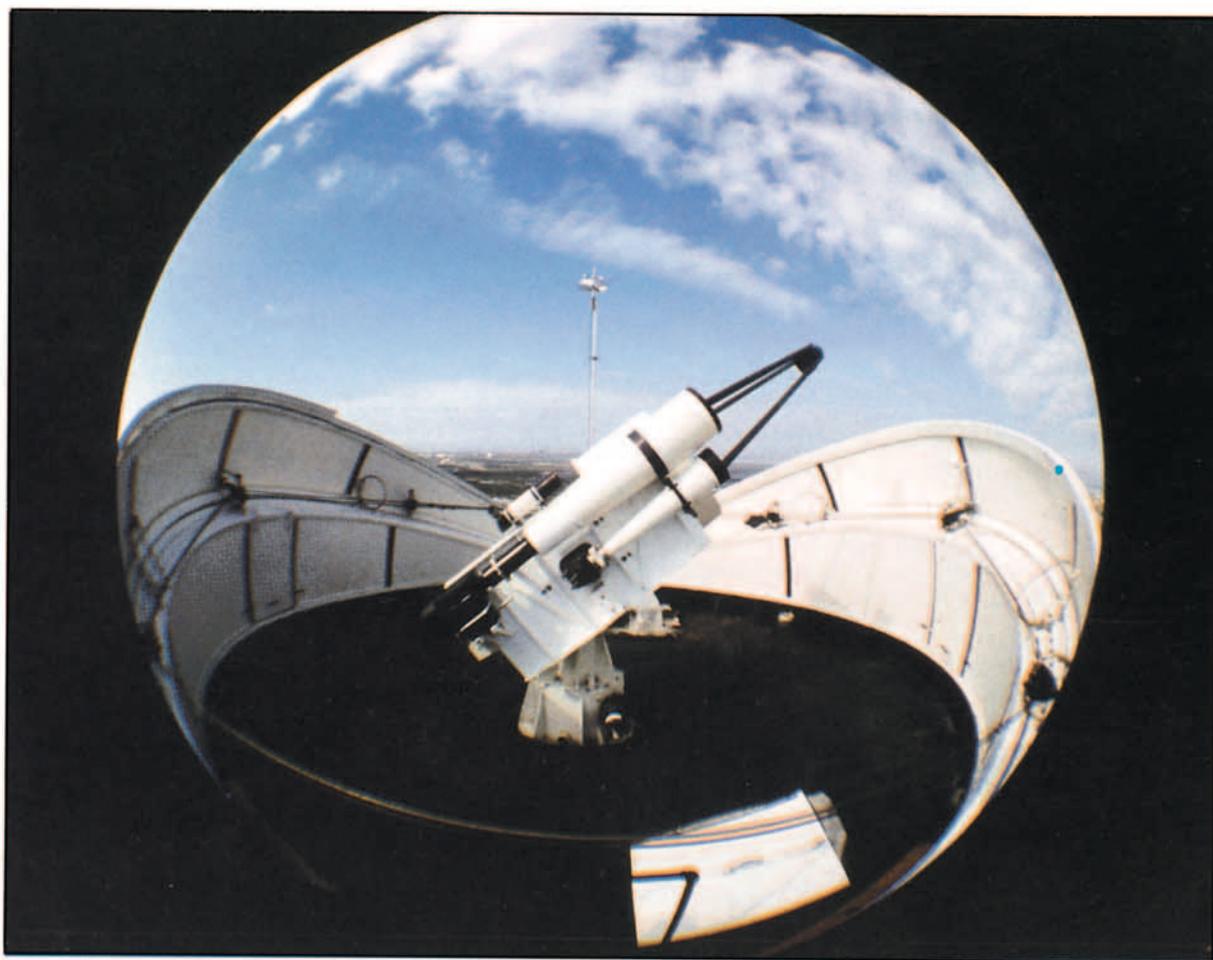
Paralelamente fue necesario un estudio profundo de las condiciones de navegabilidad de estos mares, conocer cómo y por qué los satélites se desviaban de las órbitas previamente programadas, y cómo programar de forma correcta la trayectoria total del satélite, incluido el punto de entrada.

Desde el primer lanzamiento hasta los actuales vuelos, que a nadie asombran ya, han pasado 31 años; años de intenso trabajo e investigación en los que no ha estado ajeno a ellos, el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (ROA).

En el mes de marzo de 1958, es decir seis meses después del histórico vuelo del SPUTNIK I, tras un acuerdo de cooperación con la Smithsonian Institution de Estados Unidos, entró en funcionamiento en el ROA una cámara fotográfica Baker-Nunn para efectuar observaciones de satélites artificiales, utilizando como referencia el fondo de estrellas; dicha cámara formaba parte de un conjunto de doce instaladas en todo el mundo. La primera observación con éxito se efectuó sobre el satélite SPUTNIK III en junio de 1958.

Durante los años siguientes se continuó con pleno éxito en la actividad de seguimiento y determinación de las posiciones de los diferentes satélites mediante las técnicas fotográficas.

En el año 1968, se inicia en el Real Instituto y Observatorio de la Armada, una nueva etapa en la geodesia espacial tras un Acuerdo de cooperación con el Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), para la triangulación geodésica espacial mediante la observación de satélites artificiales con ayuda de telemetría LASER. Para ello se instaló en las proximidades de la Cámara Baker-Nunn un láser de 1 julio, y 27 ns de ancho de pulso, que permitía un alcance de 3.500 Km. y 1,5 m. de precisión en la medida con el que ya se efectuó la primera observación el día 16 de abril del citado año 1968.



*Torre láser del Observatorio del Real Instituto y Observatorio de la Armada.*

Entre las diversas campañas científicas desarrolladas en este ROA, con la participación conjunta de la Cámara Baker-Nunn y la estación telemétrica láser, cabe destacar:

— Campaña ISAGEX, (International Satellite Geodesic Experiment) promovida y coordinada por el CNES con la participación de 16 países, desarrollada a lo largo del año 1971, tenía como objetivo la recopilación de observaciones fotográficas y láser de satélites homogéneos y bien distribuidos espacialmente para Geodesia Geométrica y Dinámica, como primer paso hacia el estudio de la Tierra como cuerpo elástico. Esta campaña, desarrollada de enero a agosto dio como resultado la obtención de 745 observaciones fotográficas y láser sobre diversos satélites.

— Campaña EPSOP. Promovida, organizada y coordinada por el SAO, para la determinación del movimiento del polo y otros parámetros geofísicos, con un conjunto de 586 observaciones sobre satélites a lo largo de 1971, se continuó durante los años 1972 y 1973.

La importancia de esta campaña queda de manifiesto señalando que sólo en el año 1972 se efectuaron 2.868 observaciones de satélites de las cuales 606 correspondieron a satélites provistos de retroreflectores

para la observación láser y de ellas se efectuaron 59 observaciones simultáneas con la estación de Grecia, 4 observaciones simultáneas con la de Brasil y una con la instalada en la India.

Como se puede deducir esta campaña exigió una profunda actividad y coordinación entre la estación de satélites (Cámara Baker-Nunn), estación láser y Sección de Hora del ROA.

— Campaña EOPAP. Desarrollada a lo largo de los años 1973 a 1979 en la que participan activamente la Cámara Baker-Nunn, Láser y Hora, encaminada al estudio de la dinámica de la tierra sólida y de los océanos así como a la determinación de un modelo de tierra que permita predecir terremotos, y que dieron como fruto el desarrollo de los modelos de Tierras Standard I, II y III.

En el mes de mayo de 1979, al finalizar la campaña EOPAP, finaliza la actividad de la Cámara Baker-Nunn, pionera en el campo de la observación y seguimiento de satélites con fines eminentemente científicos, que durante 21 años ha participado intensamente en todos los trabajos relacionados con la geodesia espacial.

Desde aquella fecha hasta finales de 1988 ha permanecido operativa pero sin ser utilizada dado que las técnicas láser y Doppler han superado ampliamente las técnicas fotográficas, y finalmente, se ha instalado en el museo del ROA en un lugar destacado como le corresponde a un equipo de estas características, que de por sí constituye ya historia.

Desde el mes de mayo de 1979, hasta la fecha la actividad en este Observatorio sobre la geodesia espacial se ha centrado fundamentalmente en las técnicas Láser y Doppler, para ello se instaló en la cúpula del edificio principal del ROA, la estación de telemetría láser de alta potencia, inicialmente constituida por un láser de Rubí de 3 julios y se inició un programa de Investigación y Desarrollo que bajo la denominación de "Estación de Telemetría Láser Segunda Generación" ha desembocado en la actual estación.

#### **DATOS TECNICOS DE LA CAMARA BAKER-NUNN**

Montura - Triaxial - (azimut, altura, seguimiento).

Seguimiento - Motor síncrono 1/6 Hp 1800 rpm.  
Velocidad variable.

Obturador óptico - mecánico de hojas y cuchilla.

Exposición - 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 y 3.2 Segundos.

#### **DIMENSIONES DE LA CAMARA**

Altura - 266.7 cm.

Ancho E-W - 272.4 cm.

Ancho N-S - 160 cm.

#### **PESO**

2.610,4 Kg.

#### **ESPECIFICACIONES OPTICAS**

— Relación focal - F/1.0

— Apertura - 49,4 cm.

— Campo de visión - 30° × 5°

— Escala de placa - 406 seg. arco/1 mm.

— Magnitud límite - 15 en exposición de 10 seg.



*Cámara Baker NUPN.*

#### **DESCRIPCION DE LA ESTACION**

**P**ARA un mejor entendimiento de esta descripción conviene, ante todo, no perder de vista cuál es el objetivo de la estación y cómo es su funcionamiento en forma simplificada.

El objetivo de la estación es la medida, con precisión subdecimétrica, de la distancia Estación-Satélite. En principio esta medida se efectúa de la misma manera que lo hace un radar, medida de intervalo de tiempo que tarda el impulso emitido desde la estación en recorrer el camino de ida y vuelta hasta el blanco, la diferencia estriba en que la frecuencia utilizada es la frecuencia óptica de la luz emitida por el láser y la dificultad principal, se centra, en el hecho de que la precisión exigida es de algunos centímetros sobre una medida que puede estar comprendida entre los 1.000 y los 10.000 Km. en el caso de los satélites geodésicos y que en algunos casos particulares, como en la actualidad en el proyecto LASSO de sincronización horaria mediante satélites, este se trata de un satélite geoestacionario, en concreto el METEOSAT P-2, que dista de la estación aproximadamente 42.000 Km.

La estación telemétrica láser del ROA podemos considerarla constituida por cuatro partes fundamentales:

- Torreta de Seguimiento.
- Electrónica de mando y control.
- Informática.
- Láser de Yag-Nd.

### TORRETA DE SEGUIMIENTO

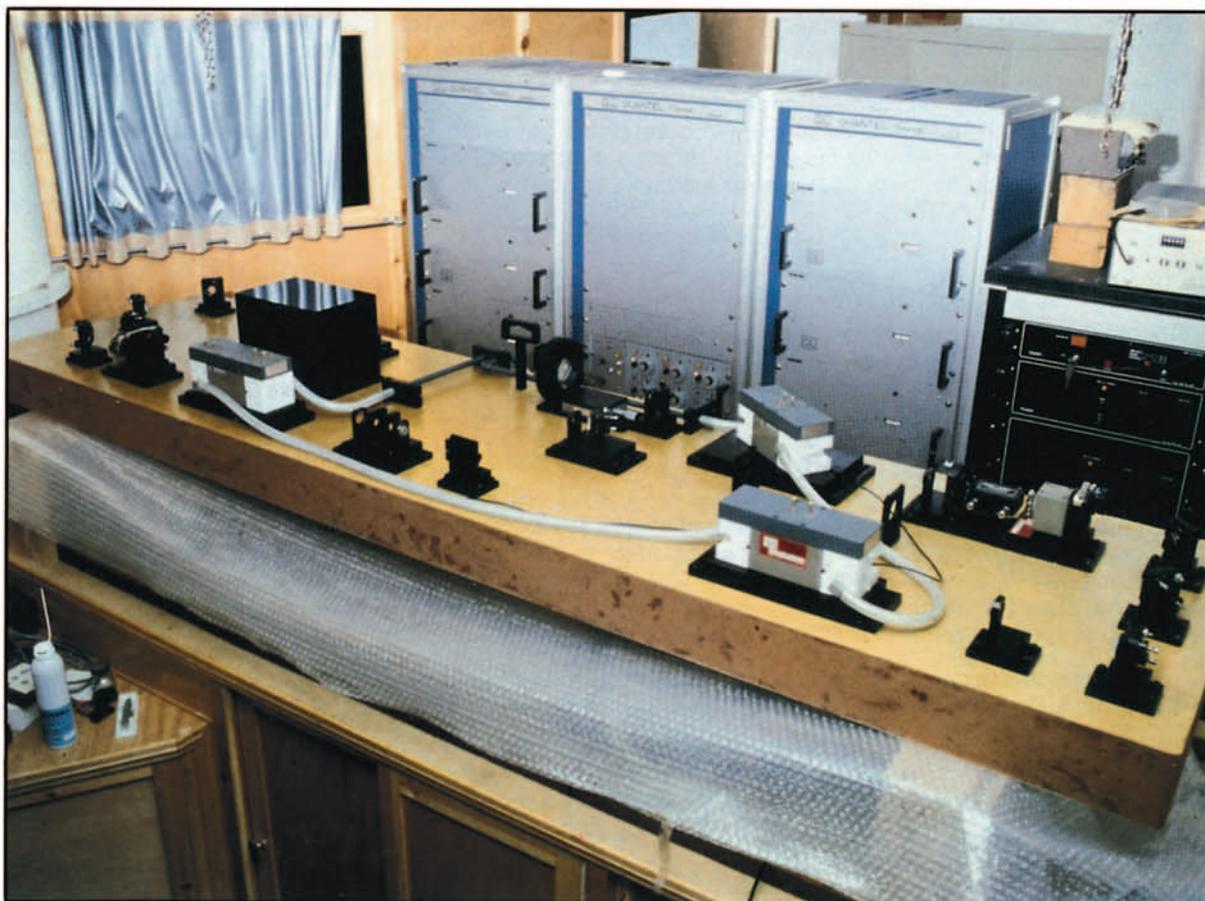
**C**ONSTITUYE el conjunto mecánica y óptica de direccionamiento del haz láser y recepción de la señal eco procedente del blanco.

Consta del conjunto de motores y servos para el posicionamiento en azimut y altura de la Afocal de salida del haz láser, el anteojo y cámara de TV para el seguimiento visual de satélites y el Telescopio de recepción del eco, así como el obturador, filtro interferencial y fotomultiplicador.

Sobre la torreta van montados dos espejos que direccionan el haz luminoso procedente del láser hasta la afocal de salida. Uno de ellos en unión de un tercer espejo situado en la base de la torreta, pero en su parte



*Electrónica asociada de control del láser.*



*Instalación del láser en banco óptico.*

fija, determinan el eje de rotación en azimut del instrumento, y los dos de la torreta determinan, a su vez, el eje de rotación en elevación o altura.

La precisión requerida en el movimiento se alcanza mediante el adecuado control de los servos con ayuda de los codificadores ópticos de posicionamiento y el programa de seguimiento suministrado por el ordenador.

## ELECTRONICA DE MANDO Y CONTROL

**E**S el conjunto que hace que el funcionamiento de la estación sea el adecuado para el fin que se persigue y ejecuta las órdenes previstas en cada momento.

Cuando coincide la hora del reloj con la prevista para el comienzo del seguimiento se dispara el láser y comienza la secuencia de la medida. Una puerta electrónica evita que luces externas (ruidos) envíen falsos pulsos al fotormultiplicador abriéndose únicamente en un pequeño intervalo alrededor del momento esperado del eco según la predicción. Existe, además, un obturador que se abre y cierra en los instantes previstos.

Efectúa el seguimiento continuo del satélite mediante un proceso matemático de interpolación instantánea.

## INFORMATICA

**E**L sistema informático está soportado por un ordenador DIGITAL PDP-11/237 con una capacidad de memoria de 1 MB.

A partir de los elementos orbitales de cada uno de los satélites, suministrados por el centro Goddard de Maryland, se efectúa el cálculo de las efemérides de cada uno de los satélites, mediante los oportunos programas de cálculo desarrollados en el ROA. El programa de seguimiento, igualmente desarrollado en la estación láser, a partir de las efemérides calculadas, envía órdenes de posicionamiento a la torreta y abastece de datos a la tarjeta de seguimiento continuo, así como suministra la distancia prevista a los circuitos de apertura y cierre de las puertas de ecos. Finalmente los ecos obtenidos se almacenan en los ficheros creados a tal fin, para su posterior estudio y análisis.

## EL LASER DE YAG-ND

**E**L proyecto de Investigación "Estación de Telemetría Láser. Segunda Generación" ha dado lugar a la implementación en la actualidad de un láser de Yag-Nd de 100 milijulios de energía con un ancho de pulso de 100 picosegundos y una frecuencia de repetición de 5 disparos por segundo. Dicho láser está compuesto por un oscilador y dos amplificadores uno de doble paso y el otro de un solo paso.

El oscilador dotado de un sistema acusto-óptico de disparo emite en el infrarrojo con una longitud de onda de 1064 nm.

Es un láser monopulso cuya primera amplificación se verifica tras atravesar un prisma de Glan, una vez efectuada esta primera amplificación, el haz efectúa un recorrido en el que efectúa una segunda amplificación, y una polarización de 180 grados, sufriendo seguidamente una tercera amplificación y, finalmente, atraviesa un cristal doblador de frecuencia por lo que la señal final se encuentra situada en el verde con una longitud de onda de 532 nm.

El sistema utiliza una refrigeración por circuito cerrado de agua destilada para proceder a enfriar tanto el elemento oscilador como los elementos amplificadores.

En la actualidad se está operando sobre tres satélites geodésicos, AJISAI, STARLETTE y LAGEOS situados en órbitas entre los 1000 y 6000 Km. en su punto más próximo e iniciando los trabajos conducentes a la sincronización horaria mediante el empleo de satélites (Proyecto Lasso).

El camino recorrido hasta ahora en el campo de la Geodesia Espacial ha sido largo y difícil como en todas aquellas actividades de la vida en la que se está abriendo paso en avanzadilla, pero al mismo tiempo ha sido rico en resultados y lo que es aun más importante: esperanzador, pues se ha llegado en la actualidad a una cota que ofrece una vista espléndida del futuro trabajo científico que se nos presenta. ■

### ESTACION LASER CARACTERISTICAS TECNICAS

#### Láser:

Tipo: YAG 402 ND<sup>3+</sup>

Energía: a 1064 nm. 120 mJ  
a 532 nm 50 mJ

Emisión: TEM<sub>00</sub>

Dirección del pulso: 100/200 ps

Cadencia del disparo: 1-5-10 Hz.

Diámetro del haz a la salida: 9 mm.

Energía de salida: 100 mJ a 532 nm.

Optica de salida: afocal de 15 cm. de apertura.

#### RECEPCION

Telescopio Cassegrain de 60 cm. de diámetro.

Fotomultiplicador XP2233B

Filtro interferencial. Centrado en 532 nm y ancho de banda 0.5 nm.

Precisión en la medida + 10 cm.