

# Astrometría para la obtención de efemérides de satélites geoestacionarios\*

*Carlos Abad\*\*, Teodoro López Moratalla, Fernando Belizón, Juan Carlos Coma, Francisco Javier Montojo, José Luis Muiños, Juan Palacio y Miguel Vallejo*

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA), Mérida, Venezuela.

<sup>2</sup>Real Instituto y Observatorio de la Armada, San Fernando, España.

Recibido: 30-11-05 Ac eptado: 10-04-06

## Resumen

El uso de observaciones astrométricas para la determinación de las efemérides y por consiguiente de los elementos orbitales de los satélites geoestacionarios es factible y realizable con pequeños telescopios. Ello puede abaratar enormemente los costos del seguimiento necesario para la ejecución de la maniobras para el mantenimiento del satélite en estación y abre una importante aplicación a la astronomía basada en tierra. Las observaciones de seguimiento realizadas con los telescopios del Observatorio Nacional de Venezuela (OAN) y el Astrógrafo del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) de San Fernando en España, así lo confirman. Presentamos una serie de resultados preliminares obtenidos con observaciones realizadas sobre los satélites INTELSAT e HISPASAT por el proyecto PASAGE (Posicionamiento Astrométrico de Satélites Geoestacionarios) El proyecto liderizado por el ROA, une a investigadores del CIDA y ROA.

**Palabras clave:** Astrometría; mecánica celeste; satélite; satélite geoestacionario.

## Geostationary spacecraft ephemeris obtained from astrometrical observations

### Abstract

Astrometric observations can be used to determinate the ephemeris and the orbital elements of geostationary spacecrafts. Initial observations with telescopes from the Observatorio Nacional de Venezuela (OAN) and Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Francisco (ROA) in Spain confirm that operational costs of orbit manipulation of the spacecraft could be enormously reduced. We present results obtained for some INTELSAT and HISPASAT spacecraft from the PASAGE project. This is a joint ROA project involving also CIDA researchers.

**Key words:** Astrometry; celetial mechanics; spaccraft; geotationary spacecraft.

\* Trabajo presentado en el V Congreso de la Sociedad Venezolana de Física, La Universidad del Zulia. Nucleo Punto Fijo - Edo. Falcón, Venezuela, Noviembre 2005.

\*\* Autor para la correspondencia. E-mail: abad@cida.ve

## Introducción

La característica que define al satélite geoestacionario es su permanencia en reposo respecto a una Tierra rotante. Esta definición podría ser cierta si la Tierra tuviera una simetría esférica con distribución de masas niforme y su campo gravitacional fuera el único actuando sobre el satélite. Lógicamente las condiciones anteriores no se cumplen y podemos añadir como fuerzas perturbadoras más importantes, los potenciales creados por la Luna y el Sol, así como el viento solar que incide sobre el satélite.

Los clásicos 6 elementos orbitales que definen la órbita del satélite para un problema simple de 2 cuerpos podrían quedar obsoletos cuando se trata con el caso ideal de un satélite geoestacionario, donde su permanencia sobre el plano del ecuador, su no elipticidad y su dirección de giro hacia el este son necesarias para cumplir al máximo con la condición de geoestacionario respecto a un sistema de referencia unido al centro de masas de la Tierra, que gira en torno al Sol con movimiento corregido por sus propias perturbaciones. En este caso, las observaciones de la distancia, longitud y latitud del satélite son suficientes para definir su posición.

La variación de estos tres parámetros con respecto al tiempo pueden ser asociados a funciones que dependen de los elementos orbitales: variación de la distancia, la excentricidad y la inclinación de la órbita, e igualmente obtener aquellos que definen el plano de la órbita, según se puede desprender del sistema de ecuaciones [1].

$$r = A + \delta a - A \cdot e \cdot [\psi \cdot (t - t_0)]$$

$$\lambda = \Omega + \omega - G_0 - \psi \cdot t_0 - \frac{3 \cdot \delta a}{2 \cdot A} \cdot \psi \cdot (t - t_0) + 2 \cdot e \cdot \sin \psi \cdot (t - t_0)$$

$$\theta = i \cdot \sin [\omega + \psi \cdot (t - t_0)]$$

claramente desarrollado en el libro Soop (1).

El objetivo del presente trabajo es la determinación de los elementos los orbitales

del satélite por medio de las observaciones con telescopios ópticos y haciendo uso de técnicas astrométricas con tal precisión que sirvan para poder predecir su trayectoria a corto y mediano plazo, a el fin de calcular, ejecutar y controlar las maniobras de mantenimiento en estación del satélite.

Para ello se creó ante el Ministerio de Ciencia y Tecnología del gobierno español el proyecto Posicionamiento Astrométrico de Satélites Geoestacionarios (PASAGE), el cual fue aprobado en junio del 2004. El proyecto López Moratalla *et al.*, (2) involucra a investigadores del Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando (ROA-España) y del Centro de Investigaciones de Astronomía (CIDA -Venezuela).

## Materiales y Métodos La observación astrométrica

Las observaciones se iniciaron en el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) de "Llano del Hato" de Venezuela y con la compra de un CCD por parte del ROA, éstas se han complementado y trasladado al ROA.

El principal problema en la determinación de posiciones va a estar en la determinación de la coordenada que depende del tiempo al tener como sistema de referencia un sistema en movimiento respecto al punto a considerar y viceversa.

La contribución venezolana en esta primera fase ha consistido en la experimentación de los métodos de observación óptimos para el presente caso, haciendo uso de los tres telescopios disponibles en el OAN, con características muy diferentes, adaptando dichos métodos a estas características. Tres son las técnicas de observación aplicadas y que podemos enumerar por telescopio (Figura 1).

**El telescopio J. Stock (1m):** es un telescopio del tipo Cámara Schmidt que tiene instalado un mosaico de 16 CCD de 2048x2048 píxeles cuadrados, de 15 micras por lado, por CCD (3). La escala se corresponde a un segundo de arco por píxel y el

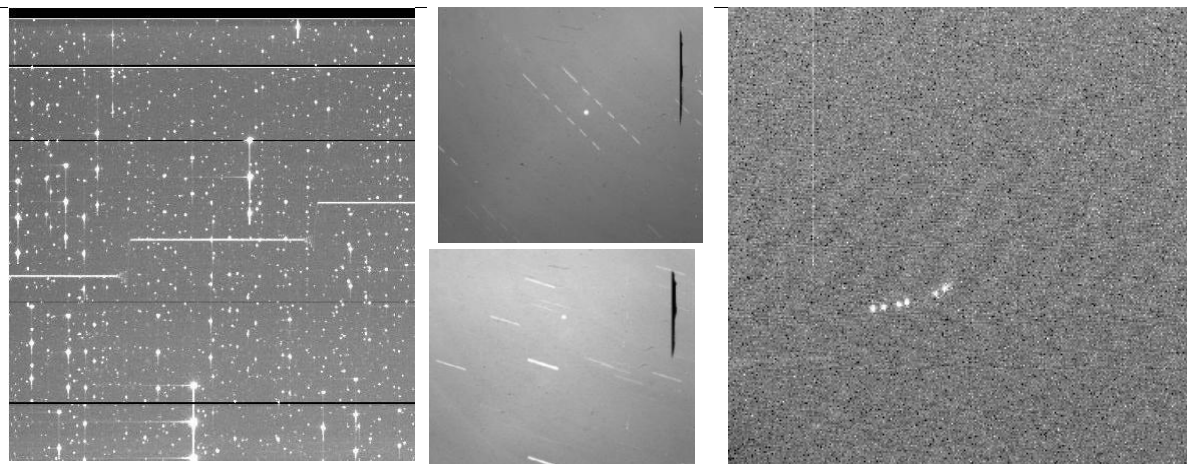


Figura 1. Tres técnicas diferentes de observación según el telescopio del OAN usado. (Izda) Driftscan con saltos en declinación para el telescopio J. Stock. (Centro) exposiciones múltiples o simples para el Reflector. (Dcha) Uso del CCD como marco de referencia durante toda la noche de observación en el Refractor.

campo que abarca cada CCD es un poco mayor a  $0,5 \times 0,5$  grados. El tipo de observación seleccionado es la observación de barrido continuo o driftscan, permaneciendo puntuales sobre la imagen los objetos celestes y como trazo continuo el satélite. El sistema de referencia está creado por las estrellas que aparecen, mientras que es necesario definir el instante para el cual está dada la posición del satélite. El enorme tamaño del obturador de la cámara introduce un retardo de tiempo entre la orden y el momento final del cierre por lo que se optó por realizar movimientos en declinación del telescopio durante la observación, tomando el momento de movimiento del telescopio como el instante que define la posición del satélite. La posición se mide sobre la imagen como la intersección entre la dirección de movimiento del satélite sobre la imagen y la dirección de la traza dejada por el satélite durante el movimiento del telescopio. El proceso puede repetirse, obteniendo varios puntos de cálculo y apareciendo tantos campos de referencia como cambios de posición sufre cada estrella durante su observación.

**El telescopio reflector (1m):** del OAN está equipado con una cámara CCD de

2048x2048 píxeles cuadrados de  $13 \times 13$  micras de lado, con una escala de 100 micras por segundo de arco. El campo que abarca el CCD es relativamente pequeño y el movimiento diurno del satélite puede superar el mismo.

La técnica aplicada con este telescopio es doble y ya probada por otros trabajos como Escane, Delong y Newland (4) o Alby (5) y consiste en realizar exposiciones múltiples sobre la observación, manteniendo el telescopio fijo centrado sobre el satélite, de tal forma que el trazo creado por las estrellas de referencia queda discontinuo, o bien asignar exposiciones cortas y únicas. En ambos casos se hace uso de técnicas desarrolladas en el CIDA de ajuste de funciones a imágenes (6).

**El telescopio refractor (65cm):** todavía no tiene asignado un CCD adecuado y las observaciones se llevaron a cabo haciendo uso de un CCD pequeño de  $1535 \times 1024$  píxeles de 9 micras de lado, del Observatorio Cagigal, con una escala de 50 micras por segundo de arco. Igualmente, el campo abarcado por dicho CCD es pequeño y puede no incluir la totalidad del movimiento diurno del satélite. La técnica aplicada consiste en

fijar el telescopio sobre la posición del satélite y tomar el CCD como el sistema de referencia. La superposición de imágenes obtenidas a través de la noche de observación reflejará parte del movimiento diurno del satélite y es directamente aplicable el ajuste de las funciones [1]. La orientación del CCD o marco de referencia puede realizarse por medio de cualquiera de los dos métodos citados anteriormente, sea el método del driftscan o la determinación de posiciones de las estrellas que pasan por el campo durante la observación o que son observadas expresamente para ello.

### Observaciones desde el ROA

Cualquiera de las anteriores técnicas puede ser válida para la determinación de posiciones del satélite para un instante dado. El uso del driftscan debe ser revisado a fin de controlar los puntos a medir por medio de la electrónica en el momento de lectura, sin necesidad de realizar los saltos en el telescopio durante la observación.

Desde marzo de 2005, el ROA tiene instalado un nuevo detector CCD, Apogee Alta-9, de 3072x2048 píxeles de 9 micras de lado cada píxel, en su telescopio Astrógrafo Gautier (1889), y que ha participado en proyectos como: Catálogo Astrográfico y Carta del Cielo (7). Ambos, telescopio y detector están actualmente dedicados en exclusiva al proyecto, haciendo factible la toma de datos tantas veces como el clima y la posición Sol-Tierra-Satélite lo permita. Hasta el momento solo se han tomado imágenes de calibración y seguimiento quedando por hacer aquellas sistemáticas, en combinación con el consorcio HISPASAT y el uso de la doble vía para la determinación de la distancia, función que desarrolla el ROA en la actualidad.

Se han realizado observaciones sobre los satélites Hispasat y algunos Intelsat, mostrando a continuación la factibilidad de asegurar la unión entre coordenadas observadas y movimiento diurno de los mismos, si bien no queremos dar resultados numéricos por no poseerlos en la actualidad con suficiente grado de confiabilidad.

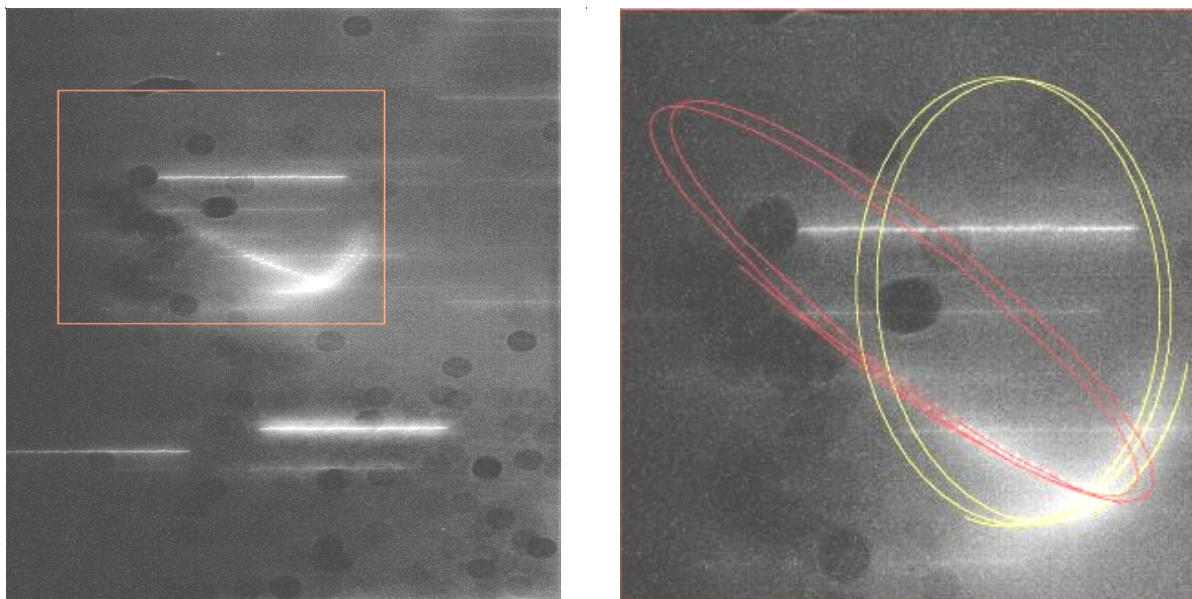


Figura 2. (Izda) Composición de 3 días de observación de los satélites Hispasat con el telescopio del ROA. (Dcha) Incluye la predicción del movimiento diurno de ambos satélites obtenido por ajuste de mínimos cuadrados a las observaciones.

En los días 14, 15 y 16 del mes de mayo se realizaron observaciones sobre el par de satélites Hispasat, ocupantes de una misma ventana, y estas observaciones siguieron la técnica de tomar el CCD como sistema de referencia, pudiendo asociar los  $(x,y)$  de las imágenes a la longitud y latitud del satélite cuando la orientación del eje X se corresponde con la orientación del ecuador terrestre. La Figura 2 nos muestra la composición de los 3 días de observación y la predicción de los movimientos diurnos, por ajuste de mínimos cuadrados de las ecuaciones [1] aplicadas a las posiciones  $(x,y)$  obtenidas a lo largo de los tres días de observación. La Figura 3 muestra los resultados analíticos del ajuste.

El mantenimiento del satélite en estación es necesario para asegurar su presencia dentro de la ventana asignada. Estos movimientos se realizan frecuentemente y es necesario su control.

Entre los días 25 de mayo y 6 de junio del año 2005 se realizaron 9 noches de observación sobre el satélite Intelsat-1002. En la Figura 4 se muestra la composición de las observaciones para una de dichas noches, y los ajustes en longitud y latitud, y las trayectorias predichas por dichos ajustes a partir de la totalidad de los datos. Es obvia la existencia de maniobras durante dichas noches

La Figura 5 muestra la factibilidad de que dichas maniobras puedan controlarse por la observación, al separarse en grupos de noches de características comunes.

## Conclusiones

El futuro es prometedor y esperamos en próximas sesiones de observación, en combinación con el consorcio Hispasat, poder afinar las funciones de ajuste para determinar todos aquellos elementos que intervienen y son determinantes en el movimiento de los satélites. La idea final es hacer uso de

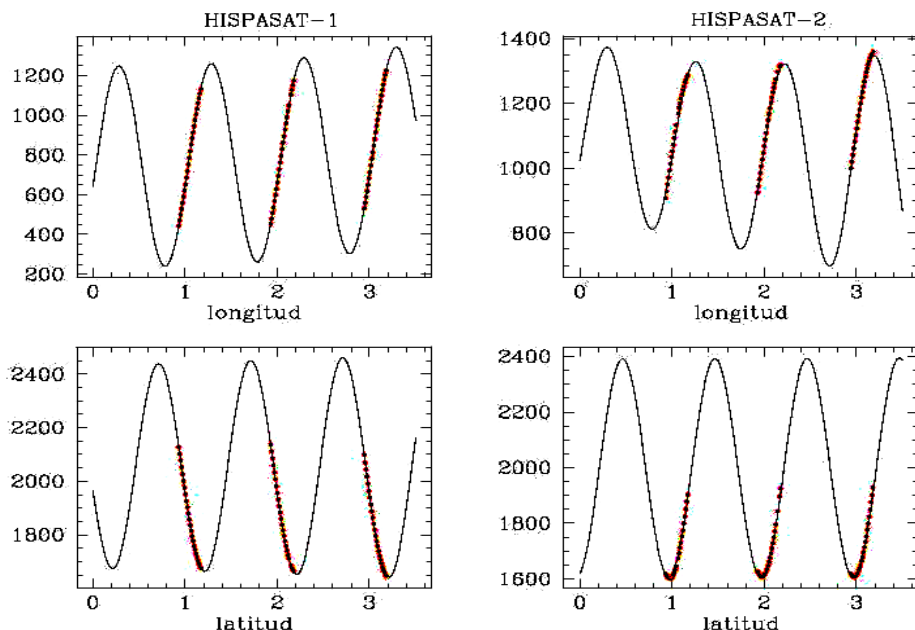


Figura 3. Representación del ajuste en longitud y latitud de los datos observados. La línea continua se corresponde con las predicciones calculadas a partir de los puntos que se corresponden a los datos obtenidos para el par Hispasat. El eje X representa el tiempo y el eje Y la variación según la coordenada tratada.

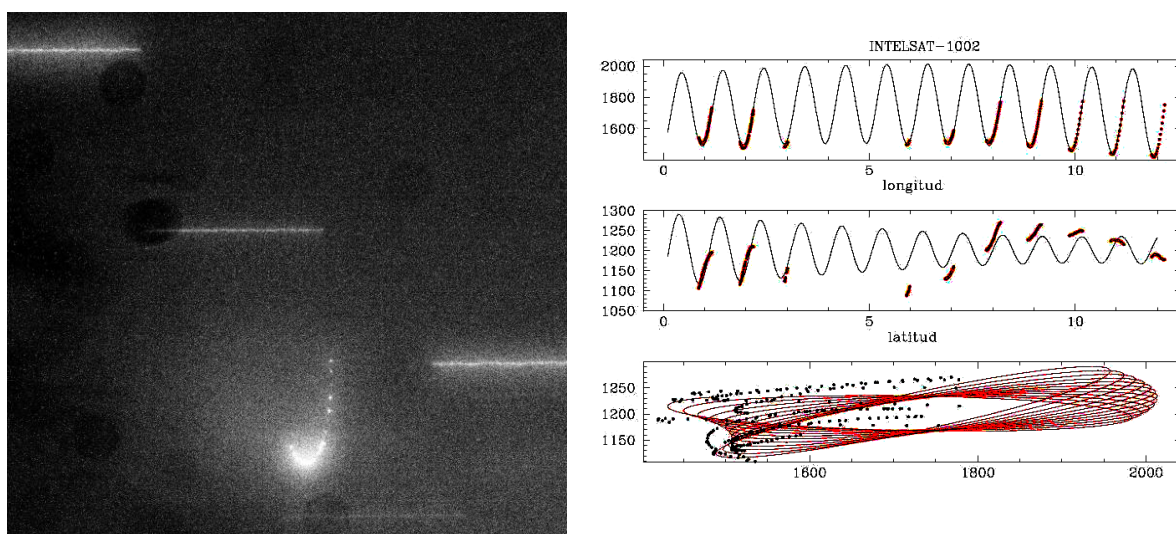


Figura 4. (Izda) Composición de una noche de observación del Intelsat-1002. (Dcha) Ajustes al conjunto de observaciones a las funciones de longitud y latitud y representación de las trayectorias calculadas.

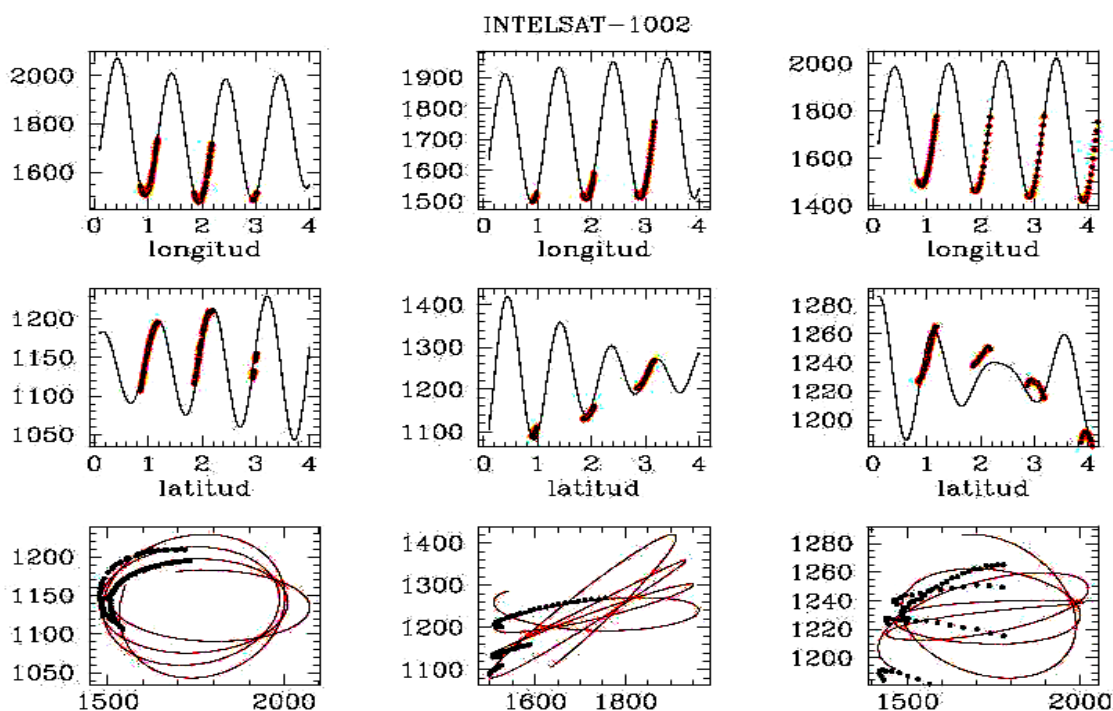


Figura 5. Representación por grupos de días de los ajustes en longitud y latitud y las predicciones de las trayectorias calculadas.

pequeños telescopios, actualmente con uso restringido a proyectos ocasionales, para estos fines, lo cual abarataría los costos de seguimiento, dando un nuevo campo de aplicación a la astronomía basada en tierra.

### Referencias Bibliográficas

1. SOOP E.M. **Handbook of geostationary orbits**. Ed. Kluwer Academic Publishers. 1994.
2. LÓPEZ MORATALLA T., ABAD C., BELIZÓN F., COMA J.C., MONTOJO F.J., MUIÑOS L.L., PALACIO J., VALLEJO M. **RevMexAA(SC)** 25: 59-60, 2004.
3. BALTAY C., SNYDER J.A., ANDREWS P., EMMET W., SCHAEFER B., SINNOTT J., BAYLYN C., COPPI P., OEMLER A., SABBAY C.N. 25 coauthors: **PASP** 114: 780-794, 2002.
4. ESCANE I., DELONG N., NEWLAND F. **16th International Symposium on Space Flight Dynamics**, Pasadena, California (USA), 2001.
5. ALBY F., BOER M., DEGUINE B., ESCANE I., NEWLAND F., PORTMANN C. **Advances in Space Research** 34(5): 1143-1149, 2004.
6. ABAD C., DOCOBO J.A., LANCHARES V., LAHULLA J.F., ABELLEIRA P., BLANCO J., ALVAREZ C. **A&A** 416: 811-814, 2003.
7. GARCÍA S., de AZCÁRATE T. **Introducción al Catálogo Astrográfico y Apuntes relativos a la Práctica de su Cálculo**. Eds. Int. Publicaciones del Real Instituto y Observatorio de Marina, S. Fernando (España), 1921.