

PÉNDULOS ASTRONÓMICOS Y CRONÓMETROS MARINOS DE LA ARMADA: EL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO Y LOS ANTECEDENTES DEL PATRÓN NACIONAL DE TIEMPO (1753-1957)

Francisco José González González

Bibliotecario del Real Observatorio de la Armada - San Fernando. Cádiz (España)

RESUMEN

Este artículo presenta un breve estudio sobre los relojes de precisión usados por la Armada española durante los siglos XVIII, XIX y XX. Se trata, por una parte, sobre la introducción en España de los cronómetros marinos, necesarios para la aplicación de las nuevas técnicas de navegación astronómica. Se estudia, además, la evolución del sistema de determinación y conservación de la hora mediante péndulos astronómicos, origen del servicio horario del Observatorio de San Fernando. Ambas vertientes sitúan a la Marina, y a su Observatorio, en un lugar preferente en los trabajos relacionados con el cómputo científico del tiempo en nuestro país.

SUMMARY

This article is a brief review on the precision clocks in use by the Spanish Navy during the XVIII, XIX and XX centuries. It deals with the introduction in Spain of marine chronometers needed for the application of the new techniques of astronomical navigation and also, with the evolution of the methods for time keeping and determination by astronomical pendulum clocks. Both facts placed the Navy and its Observatory in a good starting position for future activity in the field of the scientific study of time in our country.

1. PENDULOS DE PRECISION Y CRONOMETROS MARINOS EN LA ESPAÑA DEL SIGLO XVIII.

El desarrollo de la relojería de precisión estuvo directamente relacionado con la evolución de la astronomía y sus aplicaciones a la navegación. Durante los siglos XVII y XVIII, las observaciones astrométricas, dirigidas a establecer las posiciones de los astros en la esfera celeste y a la elaboración de catálogos estelares, registraron un sustancial avance que incidiría directamente en un aumento de los intentos por mejorar las técnicas relojeras. Este objetivo astronómico no era nuevo, pero, para ser

llevado a cabo con cierta fiabilidad, necesitaba unos instrumentos dotados de ciertos perfeccionamientos técnicos que no serían conseguidos hasta bien entrado el siglo XVIII. Tanto el anteojo de pasos como el círculo mural, instrumentos imprescindibles en las observaciones astrométricas, habían sido ideados en el siglo anterior. Sin embargo, la necesidad de establecer con la mayor exactitud posible el momento del paso de una estrella por el meridiano del lugar de observación hizo del péndulo, convertido en instrumento de precisión por Huygens, y perfeccionado después por Graham, un complemento imprescindible de toda observación astronómica realizada con los citados instrumentos para la determinación de las coordenadas celestes de un astro¹.

Por otro lado, el desarrollo de relojes de precisión y, además, portátiles fue uno de los principales objetivos de los astrónomos desde que, en el siglo XVI, fuese propuesto para la determinación de la longitud geográfica el método de los cronómetros, basado en la observación de un mismo fenómeno celeste desde dos puntos diferentes y en el cálculo de la diferencia horaria entre ambas observaciones. No obstante, a pesar de la aparente simplicidad del método, su aplicación a la navegación tuvo lugar mucho más tarde, pues la construcción de relojes de precisión capaces de mantener la hora en alta mar no tendría lugar hasta bien entrado el siglo XVIII.

En 1736, el relojero inglés John Harrison obtuvo autorización del *Board of Longitude* para probar un cronómetro marino, cuyos positivos resultados le permitieron conseguir ayuda oficial para construir un reloj más perfeccionado. Unos años más tarde, Harrison fabricó un cronómetro capaz de no superar los cinco segundos de error tras una prueba continuada de 81 días. Mientras tanto, en el último tercio del siglo, los franceses Ferdinand Berthoud y Pierre Le Roy conseguirían construir aparatos de una precisión similar a la obtenida muy poco tiempo antes por el relojero inglés².

1.1. Los cronómetros marinos de Berthoud y de Arnold

El siglo XVIII, caracterizado, como acabamos de comentar, por la generalización del uso de los péndulos de precisión en los observatorios astronómicos y por el desarrollo de los cronómetros marinos, vió en España el nacimiento del Real Observatorio de Cádiz, institución científica y docente creada por la Marina para promover entre sus oficiales de mentalidad ilustrada los nuevos conocimientos científicos y las técnicas de aplicación de la astronomía a la navegación. Durante la segunda mitad

¹ La construcción de relojes con precisión válida para trabajos científicos tuvo sus principales hitos en el desarrollo del péndulo capaz de marcar segundos (1657) y en la introducción del uso de la espiral regulada en los relojes (1675), mejoras debidas a Christian Huygens. Véase DAUMAS, M. (1983), *Las grandes etapas del progreso científico*, Madrid.

² Véase GONZÁLEZ, F.J. (1992), *Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII*, Madrid, pp. 141-144.

del siglo XVIII, el Real Observatorio de Cádiz fue, además, la única institución científica española dotada de aparatos de relojería de precisión. Por un lado, para su uso en las observaciones y para la determinación de la hora por métodos astronómicos, fueron adquiridos algunos péndulos de precisión en Inglaterra. Por otro lado, con la intención de dotar a las expediciones marítimas ilustradas que caracterizaron al último tercio del siglo, la Marina adquirió un cierto número de cronómetros construidos en París por Berthoud, que pasarían a formar parte del cargo instrumental del Observatorio, iniciándose entonces su función como depósito de este tipo de aparatos³.

Los primeros cronómetros, que, como ya hemos visto, fueron construidos para participar en los concursos oficiales convocados para premiar a un método seguro para la determinación de la longitud en alta mar, eran máquinas prototipo de las que sólo existían contados ejemplares. No obstante, ya durante los años en que Harrison realizaba las pruebas de sus aparatos, Jorge Juan propuso al Gobierno la adquisición de algunos de estos cronómetros y la puesta en marcha de un plan para introducir en España el arte de la relojería, con la idea de conseguir la formación de un personal especializado en técnicas relojeras de precisión. Con ello se pretendía preparar un equipo de especialistas, capaces de llevar a cabo el mantenimiento de los delicados aparatos que proponía adquirir y de emprender en el futuro la construcción de nuevos cronómetros, liberando a España, de esta forma, de la dependencia tecnológica de otras potencias⁴.

Desde la mencionada propuesta de Jorge Juan hasta 1820, la Marina adquirió 46 cronómetros, también llamados en aquella época relojes de longitud, que fueron inscritos en el inventario de instrumentos del Observatorio⁵. De todos ellos, merecen una atención más destacada, por la importancia de sus constructores, los adquiridos en París a Ferdinand Berthoud y en Londres a John Arnold. Entre septiembre de 1775 y mayo de 1776 llegaron a Cádiz ocho cronómetros construidos en Francia por Berthoud. Fueron los primeros cronómetros marinos de la Armada española y, como puede apreciarse por su numeración, otorgada por el propio constructor, se trata de algunos de los primeros aparatos de este tipo construidos en el país vecino⁶.

³ Sobre los primeros años de funcionamiento del Observatorio de la Marina, véase LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid.

⁴ Véase LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), pp. 321-334. Más antecedentes sobre la introducción de la cronometría de longitudes en España en LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1985), "The problem of longitude at sea in the 18th century in Spain", *Vistas in astronomy*, vol. 28, pp. 243-250.

⁵ Véase el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, conservado en la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada (BROA), Instrumentos-Inventarios, Caja nº 1.

⁶ La documentación sobre la adquisición de estos aparatos se encuentra en el Archivo General de Simancas (AGS), Marina, Leg. 96. Véase LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), p. 323. Según estos autores, el número 7 fue construido en 1771, aunque no fue adquirido por la Marina hasta 1774. LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), p. 41.

CUADRO Nº 1: CRONÓMETROS DE BERTHOUD EN CÁDIZ (1775-1802)

Nombre	Fecha de llegada
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 7.....	sept. 1775
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 9.....	mayo 1776
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 10.....	mayo 1776
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 12.....	mayo 1776
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 13.....	mayo 1776
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 14.....	sept. 1775
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 15.....	sept. 1775
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 16.....	sept. 1775
Reloj de longitud de L. Berthoud n.º 57.....	junio 1801
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º s/n.....	mayo 1803
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 42.....	mayo 1803
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 46.....	mayo 1803
Reloj de longitud de F. Berthoud n.º 49.....	mayo 1803

Las pruebas realizadas para determinar la estabilidad de la marcha de estos primeros cronómetros recibidos en Cádiz no dieron unos resultados muy positivos⁷. Dos de ellos, los números 7 y 12 demostraron tener una marcha tan irregular que les hacía poco apropiados para su uso en alta mar. Comenzó entonces un complicado proceso de reparaciones y sucesivas limpiezas que culminaría en 1788 y 1789, con el envío a París de los ocho aparatos para su revisión y arreglo en los talleres del propio Berthoud⁸. A su vuelta a Cádiz, alguno de estos relojes, que habían sido utilizados anteriormente por Vicente Tofiño en sus campañas hidrográficas para el levantamiento del *Atlas Marítimo de España* (1783-1789), fueron asignados a expediciones hidrográficas o científicas como las de Alejandro Malaspina (1789-1794), Cosme de Churruca (1790-1791) o Ventura Barcaiztegui (1790-1793).

Como puede comprobarse en el cuadro número 1, en los primeros años del siglo XIX, llegaron al Observatorio, ya en su nueva ubicación de la Isla de León, más cronómetros franceses. El primero en hacerlo fue el reloj de longitud número 57 de Louis Berthoud, relojero que había destacado ya en Francia por haber heredado la habilidad en las técnicas relojeras de su tío Ferdinand Berthoud. Este cronómetro fue

⁷ Las pruebas de estabilidad a las que fueron sometidos también han sido estudiadas por LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), pp. 323-334.

⁸ Algunos de estos cronómetros, concretamente los números 7, 9 y 10 fueron descritos por el propio Ferdinand Berthoud (1773), *Traité des horloges marines*, París, pp. 250-270, 309-315 y 336-344.

entregado al Observatorio por José de Mazarredo, y sería utilizado en diversos trabajos hidrográficos por Ciriaco Ceballos entre 1802 y 1815⁹.

Poco después de la llegada de este cronómetro, fueron entregados en el Observatorio doce cajones de máquinas y herramientas para el obrador de relojería procedentes del puerto francés de Brest. Estas cajas, que habían permanecido retenidas en aquel puerto como consecuencia de la guerra con Inglaterra, contenían el material encargado en París por Antonio Molina, oficial del obrador de relojería del Observatorio, durante un viaje llevado a cabo en 1798¹⁰. Entre los diversos útiles y aparatos contenidos en las cajas, llegaron cuatro cronómetros más pertenecientes al taller de Berthoud, aunque no debía ser muy bueno su funcionamiento, pues permanecieron en la relojería del Observatorio desde su llegada hasta que fueron dados de baja en virtud de una Real Orden de fecha 17 de mayo de 1829¹¹.

Unos años más tarde, la colección de relojes de longitud a cargo del Observatorio de Cádiz aumentó considerablemente, gracias a la adquisición de un buen número de cronómetros al relojero londinense Arnold. Los primeros ejemplares construidos por Arnold fueron inscritos en el inventario del Observatorio en los años 1788 y 1789. Se trataba del reloj de longitud de 2ª clase número 71 (utilizado por Cosme de Churruca en la campaña de reconocimiento del estrecho de Magallanes) y del cronómetro número 61 (a cargo de Alejandro Malaspina desde enero de 1789)¹².

Por otro lado, Malaspina encargó la adquisición a Arnold de los cronómetros números 71 y 72, con sus respectivos acompañantes números 351 y 344¹³, que fueron usados en los trabajos científicos de la expedición y, una vez devueltos al Observatorio, en trabajos hidrográficos de diversa índole. Además, la otra gran expedición hidrográfica del último decenio del siglo XVIII español, destinada al levantamiento cartográfico de las costas de la América Meridional (Atlas Americano), necesitó también buenos cronómetros marinos para sus trabajos; de ahí la llegada a Cádiz en 1790 de una nueva partida de cronómetros construidos en Londres por Arnold. Cos-

⁹ Según el ya citado *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, este aparato tenía una inscripción en la que se podía leer: "Luis Berthoud en París en 1800, para el Rl. Observatorio de Marina de S.M.C. en la Isla de León".

¹⁰ Véase LAFUENTE, A. y SELLES, M. (1988), p. 343.

¹¹ De todos los cronómetros de Berthoud anotados en los asientos del inventario del Observatorio no se conserva ninguno en la actualidad. Sin embargo, en el Museo Naval de Madrid existe un cronómetro de este autor, el número 39, cuya procedencia es desconocida y que no se corresponde con ninguno de los citados anteriormente. Véase MORENO, R. (1991), *Péndulos y cronómetros del Museo Naval y del Observatorio de la Marina*, Madrid. Ejemplar mecanografiado conservado en BROA.

¹² Véase el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, BROA, Instrumentos-Inventarios, Caja nº 1.

¹³ Durante el siglo XX se ha conservado la denominación de acompañante para los cronómetros de más batalla que se sacaban a cubierta para las observaciones, mientras que a los de mejor comportamiento se les conocía como magistrales. Según R. MORENO (1991), los cronómetros acompañantes, más pequeños y menos exactos, también reciben el nombre de cronómetros de 2ª o relojes de cubierta.

me de Churruca, comandante del bergantín *Descubridor*, quedó a cargo del número 3 y de su acompañante el número 372/673. Joaquín Francisco Fidalgo, comandante del bergantín *Empresa*, se hizo cargo del número 5 y de su acompañante el número 383/684. Antonio García de Quesada, comandante del bergantín *Vigilante*, recibió el número 89 y su acompañante el número 375/676. Y por último, Manuel del Castillo, comandante del bergantín *Alerta*, retiró del Observatorio el número 94 y su acompañante el número 387/688. No obstante, los cronómetros de Arnold números 89 y 94 tuvieron que ser sustituidos antes de la partida de la expedición, pues al ser comprobados demostraron tener una marcha muy irregular. De los aparatos entregados a cambio, los cronómetros de 1ª números 6 y 8/98, no consta en el inventario su autor, aunque sí su procedencia de Londres. Esto nos hace pensar que posiblemente también fueran construidos en el taller de Arnold¹⁴.

Además, entre 1790 y 1816, tuvo lugar la llegada al Observatorio de la Marina de otros cronómetros Arnold, de diversa procedencia, que también serían utilizados en los trabajos hidrográficos desarrollados por la Armada en los primeros años del siglo XIX (nos referimos a los cronómetros de 1ª números 56, 75 y 100 y al de 2ª número 154)¹⁵.

CUADRO Nº 2: CRONÓMETROS DE ARNOLD EN CÁDIZ (1788-1816)

Nombre	Fecha de llegada
Cronómetros de 1ª	
Cronómetro de Arnold n.º 3.....	11-09-1790
Cronómetro de Arnold n.º 5.....	26-01-1791
Cronómetro de Arnold n.º 56.....	23-03-1805
Cronómetro de Arnold n.º 61.....	02-12-1788
Cronómetro de Arnold n.º 71.....	25-07-1789
Cronómetro de Arnold n.º 72.....	25-07-1789
Cronómetro de Arnold n.º 75.....	22-05-1804
Cronómetro de Arnold n.º 89.....	11-09-1790
Cronómetro de Arnold n.º 94.....	26-01-1791
Cronómetro de Arnold n.º 100.....	01-05-1816

¹⁴ Véase GONZÁLEZ, F.J. (1995), *Instrumentos científicos del Observatorio de San Fernando*, Madrid. Este libro recoge los principales resultados obtenidos tras dos años de trabajos en un proyecto de investigación, auspiciado por el Instituto de Historia y Cultura Naval de Madrid, sobre la historia de los instrumentos del Real Observatorio de la Armada. Una gran parte de los datos utilizados para la elaboración de este artículo tienen su origen en dicha investigación.

¹⁵ De todos los aparatos de Arnold citados, han llegado hasta nuestros días los cronómetros de 1ª números 5, 71 y 89 y los de 2ª números 351 y 375. Todos ellos se conservan actualmente en el Museo Naval de Madrid.

PÉNDULOS ASTRONÓMICOS Y CRONÓMETROS MARINOS DE LA ARMADA:...

Cronómetros de 2ª (acompañantes)

Reloj de longitud de Arnold n.º 71	27-09-1788
Reloj de longitud de Arnold n.º 154	24-12-1814
Cronómetro de Arnold n.º 344.....	03-11-1789
Reloj de longitud de Arnold n.º 351	25-07-1789
Reloj de plata de Arnold n.º 372/673.....	11-09-1790
Reloj de plata de Arnold n.º 375/676.....	11-09-1790
Reloj de plata de Arnold n.º 383/684.....	11-09-1790
Reloj de plata de Arnold n.º 387/688.....	11-09-1790

1.2. *Los péndulos astronómicos de Ellicott y Berthoud*

Los cronómetros eran relojes portátiles de precisión, muy útiles en el traslado de la hora y para su determinación en campañas de observación. Sin embargo, los observatorios fijos usaban otro tipo de aparatos de relojería para el cómputo del tiempo, los péndulos astronómicos, que, como ya hemos visto, se convirtieron durante el siglo XVIII en complemento imprescindible de cualquier instrumento de observación astronómica. Cuando Jorge Juan recibió el encargo de adquirir en Londres instrumentos útiles para la enseñanza de los guardias marinas, le fue entregada una relación con el exiguuo instrumental existente en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz. Según esta lista de instrumentos, en la citada Academia no había entonces ningún péndulo de precisión¹⁶.

El principal instrumento encargado por Jorge Juan para el Observatorio de Cádiz fue un cuarto de círculo mural construido por John Bird. Las observaciones astronómicas que con él se realizaban exigían la existencia de un aparato de precisión para el establecimiento del instante de la observación, de ahí que supongamos que su adquisición fuese acompañada por la de un péndulo. Esta suposición se confirma en el primer inventario de instrumentos que se conserva referido al propio Observatorio, en el que aparece, por primera vez, entre los instrumentos de astronomía, un péndulo de segundos, que debía ser usado en las observaciones llevadas a cabo con el citado cuadrante mural¹⁷.

En 1776, Vicente Tofiño y José Varela publicaron el primer tomo de las *Observaciones astronómicas hechas en Cádiz, en el Observatorio Real de la Compañía de*

¹⁶ La relación de instrumentos enviada a Jorge Juan está firmada en Cádiz el 23-3-1750, AGS, Marina, Leg. 712. Documento citado por LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), p. 138.

¹⁷ *Inventario de los instrumentos y demás aderentes, que al presente existen en la Rl. Academia de Guardias Marinas y Observatorio del Castillo (ca. 1767)*, AGS, Marina, Leg. 98. Citado por LAFUENTE, A. y SELLÉS, M. (1988), p. 116.

Cavalleros Guardias-Marinas. De esta obra se puede extraer una información muy concreta sobre la dotación instrumental del Observatorio de Cádiz en sus primeros años de funcionamiento. En la relación de los instrumentos del Observatorio utilizados en el programa de observaciones astronómicas desarrollado por ambos astrónomos, aparecen un cuarto de círculo mural de John Bird de seis pies de radio y un péndulo astronómico de John Ellicott. Se trata posiblemente del péndulo de Ellicott número 22, reloj que, a partir de 1775, estuvo a cargo de Bruno de Heceta, comandante de la fragata *Santiago* y jefe de la expedición a la costa NO. de América, que partió del Apostadero de San Blas. Según consta en el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, documento del que hemos extraído esta información, fue devuelto en Veracruz en 1786, como el resto de los instrumentos utilizados en dicha expedición, aunque no volvió al Observatorio hasta 1811¹⁸.

Coincidiendo con la llegada de los primeros relojes de longitud al Observatorio, fueron adquiridos a Ellicott dos nuevos péndulos, inscritos en el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (1789)* con los números 5 y 6. No hemos podido localizar la fecha concreta de la compra de estos aparatos, pero puede ser situada con toda seguridad entre 1776, fecha en la que no aparecen en la ya citada relación de instrumentos hecha por Vicente Tofiño, y 1789, año en el que son inscritos en el citado inventario. Durante cerca de cien años, estos péndulos fueron utilizados en los trabajos astronómicos desarrollados en Cádiz y San Fernando por el Observatorio de la Marina hasta que, una vez superada su precisión por otros relojes, fueron cedidos a la Comandancia General del Departamento y al Arsenal de La Carraca como objetos ornamentales¹⁹.

Parece ser que la Marina adquirió otros dos aparatos de las mismas características para las Academias de Guardias Marinas de Ferrol y Cartagena fundadas en 1776. Sin embargo, estos péndulos no pasaron previamente por el Observatorio y sólo fueron inscritos en su inventario de instrumentos cuando llegaron a San Fernando, tras el cierre de los citados centros docentes en 1827²⁰.

¹⁸ Este péndulo permaneció en San Fernando hasta 1877, fecha en la que fue dado de baja. Actualmente, el péndulo de Ellicott nº 22 se conserva en el Museo Naval de Madrid. Véase MORENO, R. (1991).

¹⁹ Recientemente, ya en 1995, han vuelto al Observatorio, donde han sido instalados en una sala de la Biblioteca. Se encuentran en buen estado de conservación y siguen funcionando. Entre sus excelentes características técnicas destaca el sistema original de compensación térmica basado en dos láminas de acero sobre las que descansa la lenteja y en un mecanismo que permite subir o bajar el centro de gravedad del péndulo. Este sistema, diseñado por el propio Ellicott, fue descrito en su momento por el relojero inglés. Véase ELLICOTT, J. (1751-1752), "A description of two methods, by which the irregularity of the motion of a clock...", *Philosophical Transactions*, vol. XLVII, pp. 479-494.

²⁰ Posiblemente, uno de ellos sea el otro péndulo de Ellicott que actualmente se conserva en el Museo Naval de Madrid. Véase el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, asientos nº 388 y 440. BROA, Instrumentos-Inventarios, Caja nº 1.

En los últimos años del siglo XVIII fueron comprados en Londres otros tres péndulos astronómicos, que formaban parte de las colecciones de instrumentos facilitadas por el comerciante portugués afincado en Londres Juan Jacinto de Magallanes (Colecciones números 1, 2 y 4 de Magallanes). De ellos, uno quedó a cargo del Observatorio, aunque pronto sería vendido como inútil a causa de su mal estado. Los otros dos, que con el paso del tiempo tendrían el mismo final, estuvieron a cargo de Cosme de Churruca, en la campaña de reconocimiento del estrecho de Magallanes (1788-1789), y de Alejandro Malasпина, en su expedición alrededor del mundo²¹.

Por lo tanto, podemos afirmar que en la fecha del traslado del Observatorio de la Marina a su nuevo edificio en la Isla de León (1798), esta institución sólo contaba para sus observaciones con los dos péndulos construidos por John Ellicott, y adquiridos entre 1776 y 1789, y con los pertenecientes a las colecciones de Magallanes, estos últimos adquiridos teóricamente para ser utilizados en las campañas hidrográficas emprendidas por la Armada en los últimos años del siglo ilustrado.

De todas formas, antes del final del siglo XVIII fueron construidos dos nuevos péndulos astronómicos destinados al Observatorio de la Marina, aunque su llegada a Cádiz no se produjo hasta los primeros años del siglo XIX. Se trata de los péndulos de Ferdinand Berthoud y de Louis Berthoud²². Aunque el primero de ellos fue construido en 1790, como atestigua su inscripción ("*Ferdinand Berthoud n° 1 al Rey 1790*"), ambos llegaron en 1803, procedentes de Brest, en los cajones de material encargado en París unos años antes para el obrador de relojería del Observatorio, junto a los cronómetros descritos en el anterior punto de este trabajo. Con ellos se completaba un equipo de aparatos de precisión destinados al cómputo de la hora que no registraría ya ninguna nueva incorporación hasta pasado el primer tercio de la nueva centuria.

²¹ Véase el *Inventario general de los instrumentos pertenecientes al Observatorio Real de Cádiz (11 de febrero de 1789)*, asientos n° 116, 131 y 240. BROA, Instrumentos-Inventarios, Caja n° 1.

²² Ambos se conservan actualmente en el Real Observatorio de la Armada (San Fernando). Se caracterizan por su sistema de compensación térmica mediante parrilla bimetálica. Los péndulos astronómicos, cuya maquinaria era cada vez más precisa y complicada, nunca quedaban totalmente libres de la influencia de factores externos como las variaciones de temperatura, presión y humedad, la estabilidad de su instalación o la influencia del desgaste, la falta de engrase o el polvo. Para compensar las variaciones de los factores atmosféricos fueron ideados, desde el siglo XVIII, diversos mecanismos, entre los que destacan, además del sistema inventado por Ellicott citado anteriormente, la compensación mediante parrilla bimetálica, característica de estos dos aparatos, y mediante un depósito de mercurio, propio de otros péndulos que comentaremos más adelante.

2. EL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO COMO DEPOSITO DE CRONOMETROS DE LA MARINA.

Durante los últimos decenios del siglo XVIII, en la época de los marinos científicos de la Ilustración, era normal que los oficiales de la Armada, además de contar con los aparatos adquiridos por la Marina para el desempeño de las expediciones científicas, embarcasen con sus propios sextantes y cronómetros. Desde los primeros años de funcionamiento del Observatorio había sido costumbre que estos oficiales de la Marina acudiesen al relojero de la institución, encargado del cuidado de los péndulos de precisión utilizados en las observaciones astronómicas, para el arreglo de los cronómetros marinos de su propiedad.

La crisis de los primeros años del siglo XIX dejó notar pronto sus efectos. Como consecuencia, la adquisición oficial de instrumentos cesó durante un largo período de tiempo y los oficiales de la Armada, que tenían serias dificultades para cobrar sus sueldos, no quedaron precisamente en una situación muy favorable para la adquisición de sus propios instrumentos. Este estado de cosas se prolongó durante bastante tiempo, dando lugar a la paradójica situación de que, hacia 1830, los escasos buques operativos de la Armada contasen con una peor dotación instrumental que la que había sido normal treinta años antes. La gravedad del problema llevó a los responsables de la Marina a establecer la obligatoriedad de que todos los comandantes de buques de guerra con más de doce cañones tuviesen a su cargo, además de una colección general de cartas, planos y derroteros, una colección de instrumentos compuesta por un quintante, un anteojo acromático, un cronómetro, un termómetro y un barómetro, de cuya adquisición y distribución estaría encargado el Observatorio de San Fernando²³.

Un decenio más tarde se vuelve a insistir sobre el mismo asunto por parte de las autoridades de la Marina que, mediante una Real Orden de 19 de noviembre de 1844, dispusieron la creación de un depósito de instrumentos en el Observatorio de San Fernando. A partir de entonces, este centro tendría asignado, además, un fondo económico especial para la adquisición de una serie de colecciones de instrumentos, destinadas a cubrir las necesidades de los oficiales de la Armada en calidad de “*reintegrable a plazos*”, es decir, haciendo efectivo su importe mediante una serie de descuentos en sus sueldos²⁴.

Con el paso de los años, la utilización del Observatorio de San Fernando como depósito de instrumentos y de cronómetros de la Marina se fue consolidando. En 1857, fue enviada una circular a los departamentos de Cádiz, Ferrol y Cartagena y a los apostaderos de La Habana y Filipinas, solicitando una relación de los cronómetros asignados a los buques, para que el Observatorio pudiese tener constancia del

²³ Véase GONZÁLEZ, F.J. (1992), *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)*, Madrid, pp. 253-258.

²⁴ Véase GONZÁLEZ, F.J. (1995).

número real de cronómetros al servicio de la Marina²⁵. Poco después, el nuevo reglamento del Observatorio, aprobado en 1859, recogió de forma explícita la misión del Observatorio como depósito de instrumentos de la Marina, tarea que ya le había sido encomendada, como acabamos de ver, por una serie de disposiciones oficiales emitidas durante los años precedentes y que, sin embargo, no había sido mencionada por el primer reglamento de la institución aprobado en 1831. Según esta nueva ordenanza, el Observatorio contaría con una sección dedicada especialmente a los instrumentos de la marina militar. Las funciones de esta nueva sección, conocida como Sección de Geografía, serían las siguientes:

“En la quinta sección, que se denominará “de geografía”, radicarán todos los asuntos relativos a las aplicaciones de la física y de la astronomía, a la geografía y navegación; y en tal concepto en ella se custodiarán, conservarán y arreglarán los cronómetros de la marina militar, los instrumentos de física, de astronomía náutica y de geodesia, destinados al servicio de la Armada, y las colecciones de atlas, cartas, portulanos, derroteros e instrucciones que hayan de emplearse en las necesidades del servicio; se cuidará que las existencias de cronómetros, instrumentos de todas clases, atlas, portulanos, derroteros, etc., sean proporcionadas a las necesidades probables del mismo; se sostendrá y conservará archivada la correspondencia a que den lugar las adquisiciones y entregas de cronómetros, instrumentos, etc.”²⁶.

La entrada en vigor del reglamento de 1859 vino acompañada de una nueva disposición oficial, en la que se regulaba todo lo relativo a la adquisición y arreglo de instrumentos por particulares o instituciones que no fuesen el Observatorio de San Fernando. Quedó establecido entonces, que todos los instrumentos y cronómetros de la Marina tendrían que ser adquiridos por la dirección del Observatorio de San Fernando, exceptuando aquellos casos que requiriesen una especial urgencia o que contasen con autorización expresa del Gobierno. El Observatorio sería la institución de la Armada encargada de establecer las relaciones con las casas constructoras de cronómetros marinos, de firmar los contratos de los encargos y de someter a prueba, durante un determinado periodo de tiempo, a los cronómetros recibidos en San Fernando. También estableció esta norma que todos los cronómetros e instrumentos sin uso o averiados fuesen enviados al Observatorio, donde pasarían a formar parte del depósito o serían dados de baja²⁷.

De nuevo, unos años después, mediante una Real Orden de 7 de mayo de 1868, publicada a raíz de la entrada en vigor de un nuevo cuaderno de bitácora a cumplimentar

²⁵ Circular de fecha 5 de mayo de 1857. Archivo Museo Don Alvaro de Bazán (Archivo General de Marina) (AGM), Observatorio, Generalidad, Leg. 4855.

²⁶ *Reglamento para el régimen, dirección y gobierno del Real Observatorio de Marina de San Fernando (1859)*. Sobre la organización del Observatorio en el siglo XIX y sus sucesivos reglamentos, véase GONZÁLEZ, F.J. (1992).

²⁷ Real Orden del 27 de diciembre de 1859. Véase *Colección Legislativa de la Armada* (1909), Madrid.

por los buques de la Armada, serían dictadas unas normas que insistían en lo ya estipulado en 1859 sobre adquisición, arreglo, depósito y exclusión de instrumentos. En líneas generales, la mayor parte de los puntos incluidos en esta nueva disposición oficial seguía inspirada en las anteriores resoluciones emitidas en este sentido. Como ejemplo de ello podríamos citar el primero de ellos, que decía lo siguiente:

“Que la adquisición de todos los cronómetros e instrumentos del servicio de los buques, como son los de reflexión, barómetros, termómetros, areómetros, anteojos y correderas mecánicas, así como los de astronomía y geodesia para las comisiones científicas, se verifique exclusivamente por la dirección del Observatorio”²⁸.

Todas estas disposiciones legales tuvieron como consecuencia un rápido aumento del número de cronómetros anotados en los inventarios de instrumentos del Observatorio. Hasta 1850, fecha en la que se cierra el primer inventario general abierto en 1789, podemos constatar la existencia de 48 cronómetros marinos propiedad de la Armada. Si de ellos exceptuamos los fabricados por Berthoud y por Arnold en el siglo XVIII, que suman un total de 31 aparatos, se puede comprobar lo exiguo del material de nueva adquisición durante toda la primera mitad del siglo XIX.

No obstante, a raíz de la reactivación de la Marina producida a mediados del XIX, esta situación cambió sustancialmente. Buena prueba de ello puede ser el hecho de que en 1850 se abriese un inventario especial dedicado exclusivamente a cronómetros. En los ocho años siguientes, tiempo que estuvo vigente el Inventario de cronómetros nº 1, fueron anotados más de 70 cronómetros, cifra que puede dar una idea aproximada del cambio registrado en la dotación instrumental de la Armada (véase el cuadro nº 3)²⁹.

CUADRO Nº 3: CRONÓMETROS MARINOS ADQUIRIDOS POR LA ARMADA EN EL SIGLO XIX

Periodo	Número de cronómetros
1850-1858	74
1859-1863	107
1864-1873	61
1874-1904	141

²⁸ Real Orden del 7 de mayo de 1868. Véase *Colección Legislativa de la Armada* (1909), Madrid.

²⁹ A partir de 1850, la historia de los cronómetros de la Marina española puede ser rastreada en los siguientes inventarios: *Inventario de cronómetros nº 1* (hasta 1858), *Inventario de cronómetros nº 2* (1859-1863), *Inventario de cronómetros destinados a los buques* (1864-1873), *Historial de los instrumentos y cronómetros* (1874-1910). Todos ellos se conservan en la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada.

Durante todo el siglo XX, hasta llegar a la actualidad, el Observatorio de San Fernando ha seguido haciéndose cargo de la adquisición, depósito y arreglo de los cronómetros de la Marina, que llegó a tener en activo en 1920 más de 180 aparatos de este tipo³⁰. Como consecuencia, podemos afirmar que, durante buena parte de los siglos XIX y XX, han pasado por la relojería del Observatorio, para ser sometidos a prueba o para ser limpiados y reparados, cronómetros de las más afamadas casas relojeras del momento, entre las que podríamos citar las conocidas Arnold, Dent, Losada, French, Frodsham, Johannsen, Parkinson, Hughes, Ditisheim o Mercer³¹.

3. LOS PÉNDULOS ASTRONÓMICOS DEL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO EN LOS SIGLOS XIX Y XX.

Tras la llegada de los péndulos de Ferdinand y Louis Berthoud en 1803, tendrían que pasar casi treinta años hasta que, una vez superada la profunda crisis del inicio del siglo XIX, se comprase un nuevo aparato de este tipo para el Observatorio. Esta nueva adquisición formó parte de los instrumentos magistrales para la astrometría construidos por el artista inglés Thomas Jones. Los grandes instrumentos integrantes de este encargo, el anteojo de pasos y el círculo mural, debían estar acompañados en la práctica de observación por un péndulo para la determinación de la hora por observación astronómica y su conservación. Este péndulo llegó al Observatorio, junto al anteojo de pasos, en 1831.

Aunque fue entregado al Observatorio de San Fernando por Thomas Jones como parte integrante de su encargo, y aparece en todas las referencias consultadas como de tal autor, este péndulo al que ahora nos referimos fue construido en Londres por el afamado relojero Dent³².

Después de veinte años de servicio como guardatiempos magistral del Observatorio, el péndulo entregado por Thomas Jones comenzó a resentirse en la regularidad de su marcha. Por aquel entonces, hacia 1851, funcionaban en San Fernando seis péndulos astronómicos de precisión, además del citado de Thomas Jones. Cuatro de ellos habían sido construidos por John Ellicott entre 1776 y 1789, y los otros dos, uno de Luis Berthoud y el otro de Fernando Berthoud, como ya hemos visto, no eran

³⁰ Véase el *Inventario general de los instrumentos astronómicos, meteorológicos y geodésicos (1920)*, conservado en la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada.

³¹ Actualmente esta función sigue a cargo del Servicio de Cronometría Naval, adscrito a la Sección de Hora del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (Cádiz).

³² "... que fue contratado en 126 L. como uno de los instrumentos magistrales, en 1827, con el artista Mr. Jones cuyo nombre lleva, aunque se tiene por averiguado que lo hizo Mr. Dent...", Saturnino Montojo, Director del Observatorio, a Ministro de Marina, 23-9-1851, AGM, Observatorio, Asuntos Particulares, Leg. 4871. Actualmente, este péndulo está instalado en la Comandancia General de la Zona Marítima del Estrecho (San Fernando).

mucho más modernos. De todos ellos, el de mayor regularidad era el fabricado por Luis Berthoud, con sistema de compensación térmica de parrilla bimetálica, de ahí que fuese utilizado como péndulo de referencia durante los periodos en que el de Jones era examinado y desmontado para su limpieza. Los demás, dada su antigüedad, no reunían las características necesarias, sobre todo en cuanto a exactitud, para su utilización en los trabajos astronómicos del Observatorio. Esta situación llevaría al director del Observatorio a solicitar autorización a sus superiores para adquirir un nuevo péndulo astronómico de compensación térmica mediante depósito de mercurio, proponiendo para su construcción a la casa Dent de Londres³³.

Tras la aceptación de la propuesta de adquisición de un nuevo péndulo formulada por el director del Observatorio, la institución pudo contar con un nuevo guardatiempos, el péndulo número 1166 de la casa Dent. Este péndulo fue adquirido directamente a Dent y llegó a San Fernando en agosto de 1852. Como su antecesor, fue utilizado como magistral durante un período de aproximadamente treinta años. Una vez sustituido en esta misión, continuó siendo útil y fue usado sucesivamente por la Comisión encargada de la observación del paso de Venus de 1882 en Puerto Rico, por la Comisión nombrada para determinar la longitud de Santa Cruz de Tenerife y de La Palma y, por último, por el vapor *Piles* en los trabajos para determinar la diferencia de longitud entre San Fernando y Almería llevados a cabo por la Comisión Hidrográfica de la Península³⁴.

Pocos años después, al final de ese mismo decenio, llegaron tres nuevos péndulos astronómicos a la Sección de Observaciones del Observatorio, construidos todos ellos por José Rodríguez de Losada, relojero español establecido en Londres³⁵. Estos aparatos, con los números 3.616, 4.455 y 4.521, fueron regalados por su autor al Observatorio, coincidiendo con la entrega por parte de éste de dos sucesivos encargos de 24 y 42 cronómetros para la Marina, cronómetros que habían de ser sometidos a prueba en el Observatorio de San Fernando³⁶.

Así pues, podemos afirmar que, durante los primeros sesenta años del siglo XIX, la colección de péndulos custodiada en San Fernando fue creciendo paulatinamente hasta llegar a estar formada por 11 aparatos. No obstante, la calidad de la marcha de los mismos variaba mucho de unos a otros, pues no podemos olvidar que algunos de

³³ Saturnino Montojo, Director del Observatorio, a Ministro de Marina, 23-9-1851, *AGM*, Observatorio, Asuntos Particulares, Leg. 4871.

³⁴ Se conserva actualmente en el Real Observatorio de la Armada, instalado en el domo del antejojo ecuatorial fotográfico de la Carta del Cielo. Se encuentra en buen estado de conservación y funciona.

³⁵ La figura y la producción relojera de Losada ha sido estudiada recientemente. Véase MORENO, R. (1995), *José Rodríguez de Losada. Vida y obra*, Madrid.

³⁶ Desde su llegada en 1858 han permanecido siempre en la institución, a excepción del número 4455, que fue enviado al Instituto Hidrográfico de la Marina (Cádiz). Los otros dos, actualmente instalados en una sala de la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada, están bastante bien conservados y en funcionamiento.

estos relojes habían sido construidos en el siglo XVIII. No puede extrañarnos, por tanto, la negativa descripción que del estado de los mismos presentaba Cecilio Pujazón en 1869, en el informe redactado al hacerse cargo de la dirección del Observatorio:

“Once son los péndulos que posee el Observatorio, a saber 4 de Ellicott, uno de Luis Berthoud, otro de Fernando Berthoud, uno de Jones, uno de Dent y tres de Losada. Los cuatro primeros, procedentes del antiguo Observatorio de Cádiz, no pueden considerarse hoy sino como medianos relojes ordinarios. Uno de los de Berthoud que vale algo más se empleaba para la comparación de los cronómetros. Los de Dent y Jones no tienen arreglada la compensación. Los de Losada que están montados se encuentran en el mismo caso y uno de ellos está aún desmontado...”³⁷.

El mal estado de alguno de estos péndulos aconsejó al nuevo responsable del Observatorio darles de baja como instrumentos del mismo. Así, en 1875, sólo quedaban cinco de ellos en activo: el de Jones, el de Dent y los tres de Losada. De ellos, el construido por Dent y adquirido por el Observatorio en 1852, seguía siendo considerado como péndulo de referencia, aunque el director del Observatorio era partidario de proceder a la adquisición de uno nuevo dotado de las mejoras técnicas conseguidas por los relojeros de la época:

“De todos ellos solo el de Dent puede considerarse como mediano, atendidas las irregularidades que presentan en sus movimientos, y si después del minucioso examen que de ellos he emprendido resultase que no reúne las condiciones que debe tener un péndulo de Observatorio, será preciso adquirir otro”³⁸.

Dos años después, las sospechas de Cecilio Pujazón quedaron confirmadas, pues las averías del péndulo considerado magistral comenzaron a ser habituales:

“Al péndulo Dent, que es el mejor de los existentes en el Observatorio, ha sido preciso ponerle de nuevo uno de los centros de la rueda de escape; se ha limpiado además, y ha quedado con una marcha aceptable, aunque no tal como la tienen los péndulos que en la actualidad se construyen con aparato de compensación para la desigualdad barométrica”³⁹.

Así las cosas, a fines de 1878, la casa Dent de Londres aceptaría el encargo de construir un péndulo sidéreo de compensación térmica mediante depósito de mercurio.

³⁷ Informe redactado por Cecilio Pujazón al hacerse cargo de la Dirección del Observatorio, 30-9-1869, BROA, Informes-Memorias, Caja nº 1.

³⁸ BROA, Memoria anual de 1875, 14-2-1876, Informes-Memorias, Caja nº 1.

³⁹ BROA, Memoria anual de 1877, 8-1-1878, Informes-Memorias, Caja nº 1.

rio dotado, además, de un dispositivo de contactos eléctricos para enviar sus indicaciones a un cronógrafo⁴⁰. De todas formas, antes de la llegada a San Fernando de este nuevo aparato, que debía sustituir como péndulo de referencia del Observatorio al Dent número 1166, una nueva avería de éste obligó a tomar como magistral a uno de los regalados por Losada. Esta situación se mantuvo hasta que, en junio de 1881, llegó desde Londres el péndulo de Dent número 38.406, cuyas características técnicas cumplían fielmente lo estipulado en el encargo realizado en 1878⁴¹.

Por otro lado, a la vuelta de un viaje realizado en 1874, Cecilio Pujazón había informado a sus superiores de la conveniencia de dotar al Observatorio de San Fernando de un sistema para distribuir la hora, tanto dentro de sus propias instalaciones como al exterior, por medio de una señal visible⁴². La propuesta fue aceptada y ello dió lugar a la instalación en el Observatorio, durante 1879, del llamado péndulo eléctrico de Hipp con compensación de mercurio. Este aparato, mediante una serie de repetidores llamados cuadrantes simpáticos, trasladaba la hora a las distintas dependencias del Observatorio. Uno de ellos, estaba destinado a hacer caer la bola de señales, recibida a finales de 1877 y colocada en la azotea del edificio principal del Observatorio para dar la hora cada día a los buques surtos en la bahía de Cádiz y en el Arsenal de La Carraca⁴³.

Con estas mejoras, el control de la hora se mantendría sin muchos cambios en el Observatorio de San Fernando durante los últimos decenios del siglo XIX y los primeros años del XX, en los que sóloamente habría que reseñar la llegada al Observatorio de un aparato procedente de Cuba, que pasaría a formar parte también del equipo de péndulos astronómicos de la institución. Nos referimos al péndulo de Gustavo Jensen, inscrito en los inventarios del Observatorio en 1899, procedente de la Co-

⁴⁰ Se llamaba péndulos sidéreos a aquellos que, situados en los salones de observación, marchaban en "Tiempo Sidéreo Local", proporcionando directa y permanentemente el primer término de la fórmula "tiempo sidéreo = horario del astro + ascensión recta", utilizada para el posicionamiento del astro o del instrumento de observación. Su uso supuso una interesante mejora práctica en el trabajo de observación astronómica, pues permitía al astrónomo realizar ésta con una mayor comodidad. Sin embargo, la utilización del Tiempo Sidéreo, con un adelanto de 3 minutos y 56 segundos sobre el Tiempo Medio, resultaría bastante problemática para la integración de estos péndulos en los primeros servicios horarios.

⁴¹ BROA, Memoria anual de 1879, 23-1880, Informes-Memorias, Caja nº 1. El Dent número 38.406, que sería considerado péndulo magistral durante un largo periodo de tiempo, ha permanecido siempre en el Observatorio. Actualmente está instalado en una sala de la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada. Se encuentra en buen estado de conservación y funciona.

⁴² Se trataba de instalar una bola de señales en un lugar visible del Observatorio para dar la hora exacta a los buques. Esta bola de señales iría conectada a un reloj motor electromagnético que, además de hacerla funcionar, podría transmitir la hora a algunos relojes del Observatorio y del Arsenal de La Carraca. Escrito de la Secretaría General, Negociado 3º, a Ministro de Marina, 17-11-1875, AGM, Observatorio, Asuntos Particulares, Leg. 4876.

⁴³ Memoria anual de 1877, 8-1-1878, BROA, Informes-Memorias, Caja nº 1.

mandancia General de Marina del Apostadero de La Habana y sin ninguna documentación sobre la fecha de su fabricación o adquisición⁴⁴.

En 1915 fue encargada a la casa alemana Riefler la construcción de un péndulo eléctrico de observatorio, para efectuar con él las observaciones cronográficas del círculo meridiano. Con ello se pretendía dotar al círculo meridiano Troughton & Simms, instrumento magistral de la astrometría en San Fernando desde 1859, de las mejoras técnicas ya adoptadas en otros observatorios. Este nuevo péndulo, que todavía tardaría algún tiempo en llegar a causa del estallido de la Primera Guerra Mundial, debería estar dotado, además, de un dispositivo para enviar sus indicaciones a los demás péndulos del Observatorio.

Según se desprende de los informes anuales de las actividades del Observatorio, aunque había sido construido en Munich en 1914, este péndulo no llegó a San Fernando hasta 1920⁴⁵. Los péndulos de este tipo se caracterizan por el hecho de que su oscilación tiene lugar dentro de un ambiente a presión constante, conseguido mediante un cilindro de fundición o de bronce y una campana neumática de vidrio. Con ellos se iniciaría una generación de péndulos de precisión sobre los que recaería el estudio científico de la hora hasta la generalización de los relojes de cuarzo (1950/1957).

Una vez recibido, el nuevo péndulo Clemens Riefler número 372 fue instalado, para aislarlo de las variaciones de temperatura, en una cámara con las paredes forradas en corcho, situada en el subsuelo del salón de observaciones meridianas. Su sistema de conexiones eléctricas permitiría, a partir de entonces, transmitir sus batidos a los alojamientos de otros péndulos, particularmente a los de observación astronómica. Sobre la perfección de este nuevo aparato opinaba así Salvador García Franco en 1928:

“Con tal instalación de péndulos, y con haber provisto a los anteojos meridianos de micrómetros impersonales, tenemos en el Observatorio de Marina los medios más modernos y seguros para determinar la hora y para conservarla dentro de los límites de las posibilidades humanas”⁴⁶.

Como ya hemos visto, la difusión al exterior de la hora marcada en los péndulos del Observatorio de San Fernando había dado comienzo en mayo de 1878, tras la

⁴⁴ Desde entonces ha permanecido en el Observatorio. Como los demás que han llegado hasta nuestros días, está expuesto en la Biblioteca del Real Observatorio de la Armada, funciona perfectamente y su estado de conservación es bastante bueno. Parece ser que Jensen, domiciliado en 55 Wardour St. de Londres, no era relojero, aunque se dedicaba al comercio de los relojes. Algunos autores lo catalogan como “*watch & clock materials dealer*”. Véase MORENO, R. (1995), p. 35.

⁴⁵ Informe anual correspondiente a 1920, *BROA*, Informes-Memorias, Caja nº 1.

⁴⁶ Véase GARCÍA FRANCO, S. (1928), “El servicio horario en el Observatorio de Marina”, *Revista General de Marina*, tomo CIII, p. 18.

instalación en la azotea del edificio principal de una señal visual consistente en una esfera visible desde toda la bahía (bola de señales horarias). Desde entonces, cada día se producía la caída de la bola a las 13.00 horas (tiempo medio astronómico de San Fernando). El sistema empleado para ello era el siguiente: a las 12.50 la bola era izada en el mástil, permaneciendo en esta posición hasta ser liberada a las 13.00 por el mecanismo de relojería. En caso de algún fallo o irregularidad, el proceso volvía a repetirse a las 13.10, y si la niebla o la lluvia impedía la visibilidad la señal era repetida a las 14.00 horas. De esta forma, podían ser puestos en hora los cronómetros de todos los buques y dependencias que pudiesen observar con claridad esta señal del Observatorio⁴⁷.

En lo que afecta a la navegación, no podemos olvidar que la determinación de la longitud había sido, durante mucho tiempo, uno de los principales problemas prácticos de la astronomía. El uso del telégrafo proporcionó a los astrónomos, durante la segunda mitad del siglo XIX, determinaciones de longitud con una gran precisión y rapidez, lo que facilitó sin duda el establecimiento de observatorios temporales para la observación de fenómenos astronómicos de carácter extraordinario. A principios de nuestro siglo, los problemas derivados de la dificultad de comunicar mediante los hilos telegráficos dos lugares muy alejados quedaron superados gracias a la radiotelegrafía o telegrafía sin hilos.

A partir de entonces, la recepción de señales telegráficas comenzó a ser de gran utilidad, sobre todo en el campo de la navegación y de los transportes terrestres (determinación de la longitud, arreglo de relojes). De ahí que, gracias a las gestiones del *Bureau des Longitudes*, la estación radiotelegráfica de la Torre Eiffel de París transmitiese señales horarias dos veces al día desde los primeros años del siglo XX. En este sentido, podemos afirmar que las señales horarias radiotelegráficas fueron el primer paso práctico del proceso de universalización de la hora dentro de la fracción de segundo.

En 1916 el Observatorio de San Fernando ya disponía de una estación receptora de señales radiotelegráficas, en la que se recibían las señales horarias internacionales transmitidas desde París todas las noches a las 23.30 y a las 23.45 tiempo medio de Greenwich. La comparación de estas señales con el péndulo considerado magistral o de referencia servía para establecer un control "exterior" de los péndulos del Observatorio, con independencia del control local consistente en el estudio astronómico de la hora, que era propio de cada observatorio⁴⁸.

Unos años después, la citada estación receptora de telegrafía sin hilos, sistema Marconi, ya estaba bastante deteriorada, pues apenas recibía con claridad las señales horarias de la Torre Eiffel. De ahí la propuesta del director del Observatorio para la

⁴⁷ Véase GONZÁLEZ, F.J. (1992), p. 257.

⁴⁸ Véase el Informe anual de actividades correspondiente a los años 1913, 1914 y 1915, 15-8-1916, BROA, Informes-Memorias, Caja nº 1.

adquisición de un equipo más moderno de este tipo, pues ya en esa época eran muchos los observatorios e instituciones que emitían señales horarias, cuyo uso se había generalizado en las comparaciones horarias y en las determinaciones de diferencia de longitud en la mar⁴⁹.

En la misma sala donde fueron instalados los nuevos equipos receptores de telegrafía sin hilos, fue colocado también el péndulo de nueva adquisición Leroy número 1.388. Este reloj formaba parte del sistema automático de transmisión de señales horarias construido por la casa Brillié-Leroy, compuesto por un péndulo director (Leroy número 1.388) que estaba conectado mediante una línea eléctrica a una penduleta del mismo autor, que marcaba la hora en la Estación de Telegrafía sin Hilos de San Carlos, desde donde se enviaban las señales horarias⁵⁰.

El péndulo Leroy, como referencia de tiempo del equipo receptor-transmisor del Observatorio realizaba, pues, una doble función: el control de la hora de otros observatorios, cuyas diferencias con la hora propia se obtenía mediante la recepción de las señales emitidas por éstos, y la difusión de la hora obtenida en San Fernando mediante las observaciones astronómicas propias, hora que se introducía en la penduleta que, para este fin, estaba dotada de un sistema que permitía su atraso o adelanto según las circunstancias. La complejidad y lo novedoso del sistema instalado en San Fernando llevarían a Salvador García Franco a afirmar solemnemente:

“A los más apartados rincones llegan ya, en alas de las ondas hertzianas, las rítmicas cadencias de los musicales sonidos horarios españoles, y pueden recibirlos el sabio y el investigador en su gabinete, el relojero en su taller, el aficionado radioescucha en la comodidad de su aposento, el explorador y el viajero en las sendas más escondidas, el aviador en las alturas atmosféricas y el navegante en el aislamiento infinito del mar”⁵¹.

Por otro lado, hacia 1930, con el reloj adquirido a la casa Riefler unos años antes, y utilizando los otros péndulos existentes en el Observatorio, fue organizado el Servicio de Hora del Observatorio de San Fernando, que pasaremos a describir brevemente a continuación. Los péndulos Hipp y Riefler, instalados en la cámara aislada situada en el subsuelo del salón de observaciones, fueron considerados como pé-

⁴⁹ *Presupuesto para la instalación de una estación receptora de señales horarias, 17-6-1921, BROA, Instrumentos, Caja nº 16.* La propuesta fue aprobada por Real Orden de 13-12-1923, *BROA, Instrumentos, Caja nº 16.*

⁵⁰ Al parecer, pocos años después la penduleta fue trasladada al Observatorio, aunque siguió conectada a la citada Estación de Telegrafía. El péndulo Leroy ha permanecido en el Observatorio hasta fechas muy recientes. Actualmente está instalado en la Comandancia General de la Zona Marítima del Estrecho (San Fernando). Se encuentra en buen estado de conservación y funciona como péndulo ordinario, sin conexiones eléctricas.

⁵¹ Véase GARCÍA FRANCO, S. (1928), p. 13.

dulos sidéreos magistrales. Con los batidos del Riefler podían sincronizarse los péndulos instalados en la sala de observaciones meridianas (Dent, Losada y Jensen). Paralelamente, cuatro pequeñas esferas, llamadas muestras o cuadrantes simpáticos, marcaban la hora del péndulo Hipp en distintas dependencias del Observatorio. Para establecer el estado absoluto de estos dos péndulos se efectuaban observaciones astronómicas en las que se utilizaba el péndulo Jensen⁵².

En el año 1933 tuvo lugar la primera Campaña Internacional de Longitudes, en la que se relacionarían entre sí, de una forma organizada, un grupo de observatorios distribuidos por todo el mundo y dotados de equipos horarios como el descrito anteriormente. Para esta campaña se mejoraron las condiciones de instalación de alguno de los péndulos, particularmente las del Leroy número 1.388, que fue trasladado a la planta baja del edificio principal del Observatorio, donde fue colocado en un pequeño alojamiento aislado térmicamente por el espesor de los muros y dotado de un sistema eléctrico de termostatación.

Esta era la organización del equipo de péndulos astronómicos del Observatorio cuando, con motivo de la citada primera Campaña Internacional de Longitudes (1933), llegó a San Fernando el péndulo libre número 52 construido en Londres por William Shortt⁵³. Los relojes de este tipo habían sido ideados a finales del siglo XIX por R. J. Rudd, aunque su definitivo perfeccionamiento fue llevado a cabo entre 1921 y 1924 por William Shortt. La invención de los relojes de péndulo libre supuso el avance más importante realizado en la técnica relojera desde la invención del péndulo a finales del siglo XVII. Con ellos, el error acumulado a lo largo de un año quedó reducido a un segundo, lo que significó un sustancial progreso frente al error de un segundo cada diez días propio de los péndulos tradicionales. Ello explica que, en muy pocos años, este nuevo tipo de relojes desplazase de los servicios de hora de los observatorios a los citados péndulos astronómicos tradicionales, algunos de los cuales habían estado en funcionamiento desde el siglo XVIII⁵⁴.

⁵² Véase el informe sin fecha titulado "Servicio de Hora del Observatorio" (ca. 1935), conservado en *BROA*, Informes-Memorias, Caja nº 1.

⁵³ No hemos podido localizar documentación alguna sobre la adquisición e instalación de este péndulo. De todas formas, sabemos que el nº 49 del mismo fabricante fue adquirido por el servicio de hora del Observatorio de Greenwich en 1934 y que el nº 67, adquirido también por el Observatorio de Greenwich, fue construido en 1940. Véase GONZÁLEZ, F.J. (1995).

⁵⁴ Los relojes de péndulo libre reciben también el nombre de péndulos a presión constante, pues su maquinaria va instalada dentro de una cámara de vacío. Su exactitud estaba basada en la ausencia de rozamientos en el péndulo instalado en la cámara de vacío, cuyo movimiento permanecía siempre inalterable y aislado del exterior. Sólo en dos momentos el péndulo libre tenía contacto con el exterior: al recibir el impulso de remontaje (cada vez que su oscilación disminuía un pequeño porcentaje, una pequeña pesa caía impulsando a la barra oscilante) y al enviar, cada vez que era necesario, los impulsos de sincronismo al reloj esclavo.

Con motivo de la celebración de una segunda Campaña Internacional de Longitudes, como parte del programa del Año Geofísico Internacional (1957), fue encargado el péndulo de Shortt número 80, ya en una época en la que los relojes de cuarzo estaban sustituyendo en los observatorios a los péndulos tradicionales⁵⁵. En aquella época, para colocar a los péndulos de precisión del Observatorio (Riefler número 372, Shortt número 52 y Shortt número 80, este último regulado a tiempo sidéreo) en las mejores condiciones de aislamiento térmico fue construido un alojamiento subterráneo para éstos al norte del edificio principal del Observatorio, donde la temperatura se conserva de un modo natural con oscilaciones anuales de $\pm 1^\circ$ centígrado. De los Shortt allí instalados salían conexiones eléctricas hacia otros dos relojes llamados esclavos, que eran péndulos ordinarios que, mediante conexiones eléctricas, siempre acompañaban como subsidiarios, o esclavos, al péndulo libre de Shortt, que hacía de reloj magistral⁵⁶. Así se completaba el equipo de aparatos que integraron el servicio de hora del Observatorio hasta la llegada de los primeros relojes de cuarzo⁵⁷.

4. CONCLUSIÓN.

Durante los primeros años del siglo XX, el progreso de las técnicas en la construcción de instrumentos y de los métodos de observación fijaron el umbral de la determinación astronómica de la hora en las centésimas de segundo. Por otro lado, como acabamos de ver, la conservación de esta hora así determinada también fue mejorando gracias al desarrollo de los péndulos a presión y temperatura constante como los construidos por William Shortt.

Sin embargo, no pasarían muchos años hasta que la incorporación de los relojes de cuarzo a los servicios horarios de los observatorios facilitase la conservación del tiempo a la milésima de segundo. Ya en la primera Campaña Internacional de Longitudes (1933), las estaciones de Lembang y Hamburgo participaron utilizando como guardatiempos uno y cuatro relojes de cuarzo respectivamente. Durante los preparativos de la siguiente Campaña, que como ya hemos visto se celebraría en 1957, y en virtud de la calidad obtenida con estos relojes, tanto en el fraccionamiento del segundo como en la conservación de la hora, se aconsejó a los observatorios participantes la utilización de relojes de cuarzo en sus equipos horarios. Los péndulos de

⁵⁵ Véase ORTE, A. (1958), "La operación mundial de longitudes del Año Geofísico y el problema de la hora", *Urania*, 247.

⁵⁶ Actualmente, los péndulos de Shortt están instalados en la *Biblioteca del Real Observatorio de la Armada*, junto a sus péndulos esclavos. No están en funcionamiento, pero sus maquinarias se conservan en buen estado.

⁵⁷ Véase ORTE, A. (1956), "El nuevo servicio horario del Observatorio de Marina de San Fernando", *Urania*, 242.

precisión, como los que integraban el equipo horario del Observatorio de San Fernando, solo fueron utilizados entonces por los observatorios más modestos o excesivamente tradicionales.

Ello explica la iniciativa tomada por la dirección del Observatorio de San Fernando en 1953, dirigida a la adquisición de dos de estos aparatos que, junto a los péndulos de Shortt, debían integrar un servicio de hora acorde con las necesidades derivadas de la próxima celebración del Año Geofísico Internacional. Desde su llegada a San Fernando, los dos relojes de cuarzo de la casa Belin números Q40 y Q41 acompañaron a los péndulos de Shortt en el servicio de determinación y conservación de la hora. Pocos años después fue adquirido a esa misma casa un nuevo reloj de este tipo, el número Q66. Esta adquisición fue seguida más tarde por la conexión al equipo del Observatorio de los batidos de los relojes Norrman C-102, Norrman C-119 y Sulzer, pertenecientes a la Estación de Seguimiento de Satélites (*Satellite Tracking Station* nº 4) que la *Smithsonian Institution* había instalado en terrenos del Observatorio en 1958⁵⁸.

No obstante, los avances obtenidos con los relojes de cuarzo serían superados al poco tiempo por los osciladores atómicos. Como consecuencia, en 1967, la Conferencia General de Pesos y Medidas adoptaría oficialmente una definición física del segundo basada en la transición del átomo de cesio⁵⁹. El proceso iniciado entonces llevaría a la creación de una Sección de Hora en 1971, que acogería en su seno las tareas del Servicio Horario dependiente hasta entonces de la Sección de Astronomía del Observatorio⁶⁰.

Muy poco tiempo después, en 1972, comenzaron a funcionar en San Fernando los dos primeros relojes atómicos Oscillatom B-5.000 números 016 y 017, con los que se introduciría definitivamente en este Observatorio una base para la medida del tiempo fundamentada en las propiedades físicas del átomo⁶¹. Con estos aparatos, y con la

⁵⁸ Véanse los ya citados trabajos de ORTE, A. (1956), (1958) y los boletines horarios del Observatorio (*Publicaciones del Instituto y Observatorio de Marina. Serie C. Servicio de Hora*), publicados en San Fernando entre 1957 y 1969.

⁵⁹ A partir de entonces se produciría un cambio sustancial en todo lo relacionado con la determinación de la hora. Hasta aquel momento, la hora se obtenía mediante observaciones astronómicas y se conservaba en relojes más o menos precisos. Con la nueva definición del segundo y la utilización de relojes atómicos, estos serían los encargados tanto de definir el tiempo como de conservarlo. Sobre la introducción de los relojes atómicos en los observatorios astronómicos, y más concretamente en el de San Fernando, véanse los trabajos de ORTE, A. (1962), "Los observatorios astronómicos ante el problema de la hora", *Urania*, 255-256, (1964), "Definición física de la unidad de Tiempo", *Revista del Instituto Nacional de Electrónica*, 27, (1971), "El Tiempo Atómico Internacional", *Electrónica y Física Aplicada*, vol. 14 nº 1, pp. 374-378.

⁶⁰ Véase ORTE, A. (1976): "La hora oficial española", *Revista General de Marina*, octubre.

⁶¹ El proceso de adquisición, instalación y funcionamiento de los relojes atómicos en el Observatorio de San Fernando, así como la evolución de su escala de tiempo pueden ser seguidos en *Bulletin Horaire du Bureau International de l'Heure* (hasta 1967), *Annual Report of the Bureau International de*

incorporación de nuevos relojes atómicos, la Sección de Hora del Observatorio de San Fernando ha podido definir y mantener desde 1974 la Escala de Tiempo Universal Coordinado, considerada base de la Hora Legal Española por el Real Decreto número 2.781 de fecha 29 de octubre de 1976. En la actualidad esta misión sigue a cargo de la mencionada Sección de Hora, en virtud de lo estipulado en el Real Decreto número 1.308 de fecha 23 de octubre de 1992, por el que se declara al Real Observatorio de la Armada laboratorio depositario del patrón nacional de tiempo y laboratorio asociado al Centro Español de Metrología⁶².

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer la colaboración prestada durante el proceso de preparación de este artículo al personal de la Sección de Hora del Real Observatorio de la Armada, con especial intensidad a Isaac Vitini y Javier Navas.

Además, queremos hacer constar nuestro más profundo y sincero agradecimiento a Alberto Orte, Contralmirante de la Armada y ex-Director del Observatorio, sin cuyas serias correcciones y oportunas sugerencias este trabajo dejaría bastante que desear.

BIBLIOGRAFIA

BAILLIE, G.H.; ILBERT, C.; CLUTTON, C. (1982): *Britten's old clocks and watches and their makers* (Londres, 1982).

BARTKY, I.R.; DICK, S.J. (1981): "The first time balls", *Journal of History of Astronomy*, XII, 151-164.

l'Heure (1967-1987), *Annual Report of the Bureau International des Poids et Mesures (Time Section)* (desde 1988) y en los informes de la Comisión 31 (*Time*) de la Unión Astronómica Internacional, publicados en los *Reports of the I.A.U.*

⁶² Los antecedentes de esta decisión del Gobierno se remontan a finales del siglo XIX. La Conferencia Internacional de Washington sobre el Meridiano Cero marcó el punto de partida para el proceso de unificación de criterios en cuanto a la determinación de la hora. En este congreso fueron adoptados el meridiano de Greenwich como origen de las longitudes y el sistema de husos horarios que ha llegado hasta nuestros días. Unos años después, en 1900, el tiempo solar medio del meridiano de Greenwich fue establecido como hora oficial española (Real Decreto de 26 de julio de 1900). En 1907, una nueva disposición oficial (el Real Decreto de 4 de abril) ordenó referir al citado meridiano todas las cartas náuticas publicadas por el Depósito Hidrográfico y las efemérides astronómicas publicadas en el Almanaque Náutico. Esta disposición fue completada dos años más tarde con una Circular de fecha 26-11-1909, que establecía: "el arreglo de los cronómetros a bordo, se hará para el tiempo medio del meridiano de Greenwich, y la señal de hora dada en el Observatorio de Marina de San Fernando por la caída de la bola, será a la 1 h. de tiempo medio del expresado meridiano". Desde entonces, no hubo ninguna otra disposición oficial sobre el tema de la hora oficial española. Véase *Colección Legislativa de la Armada* (1909), Madrid.

- CLERCQ, P.R. de (ed.) (1985): *Nineteenth-century scientific instruments and their makers* (Amsterdam).
- DAUMAS, M. (1972): *Scientific instruments of the seventeenth and eighteenth centuries* (Londres).
- DAVIES, A.C. (1978): "The life and death of a scientific instrument: The marine chronometer, 1770-1920", *Annals of Science*, 35, 509-525.
- FITZ-RANDOLPH, J. (1982): *From sundials to atomic clocks* (Nueva York).
- GONZÁLEZ, F.J. (1992): *Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII* (Madrid).
- GONZÁLEZ, F.J. (1992): *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)* (Madrid).
- GONZÁLEZ, F.J. (1995): *Instrumentos científicos del Observatorio de San Fernando* (Madrid).
- GOULD, R.T. (1923): *The marine chronometer: Its history and development* (Londres).
- GUYOT, E. (1968): *Histoire de la détermination de l'heure (La Chaux-de-Fonds)*.
- HOWSE, D. (1975): *Greenwich Observatory: The buildings and instruments* (Londres).
- KING, H.C. (1978): *Geared to the stars. The evolution of planetariums, orreries and astronomical clocks* (Bristol).
- LAFUENTE, A.; SELLES, M. (1988): *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)* (Madrid).
- LAFUENTE, A.; SELLES, M. (1985): "The problem of longitude at sea in the 18th century in Spain", *Vistas in astronomy*, vol. 28, 243-250.
- LE BOT, J. (1983): *Les chronometres de marine françaises au XVIII^e siècle* (Grenoble).
- MASCART, J. (1910): *La détermination des longitudes et l'histoire des chronomètres* (París).
- MORENO, R. (1995): *José Rodríguez de Losada. Vida y obra* (Madrid).
- MORENO, R. (1991): *Péndulos y cronómetros del Museo Naval y del Observatorio de la Marina* (Madrid).
- ORTE, A. (1953): "Estudio de la hora en el Observatorio de París y Bureau International de l'Heure", *Publicaciones de la Real Sociedad Geográfica*, Serie B, nº 304.
- ORTE, A. (1956): "El nuevo servicio horario del Observatorio de Marina de San Fernando", *Urania*, nº 242.
- ORTE, A. (1958): "La operación mundial de longitudes del Año Geofísico y el problema de la hora", *Urania*, nº 247.
- TURNER, G. L'E. (1983): *Nineteenth-century scientific instruments* (Londres).