

LA ASTROMETRÍA MERIDIANA EN EL OBSERVATORIO DE SAN FERNANDO DURANTE EL SIGLO XX

FRANCISCO JOSÉ GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Real Instituto y Observatorio de la Armada

1. La tradición astrométrica en San Fernando (siglos XVIII y XIX)

La astrometría, o astronomía de posición, es la rama más antigua de la astronomía, pues se dedica a la tarea básica de determinar la posición, el movimiento y la distancia entre los astros. Los catálogos estelares son el principal resultado de las observaciones astrométricas. En ellos se recogen las posiciones y movimientos propios de un conjunto de estrellas seleccionadas, con la precisión necesaria para determinar sus posiciones para épocas posteriores. Esta era, y sigue siendo hoy día, una tarea de capital importancia, tanto para las restantes ramas de la astronomía como para otras muchas disciplinas científicas y técnicas¹.

Actualmente, la astrometría avanza en tres frentes. El más tradicional es el de la astrometría fundamental, dedicada, desde el siglo XVIII, a la elaboración de catálogos astrométricos fundamentales basados en observaciones realizadas desde tierra con instrumentos astronómicos muy especializados². De aparición más reciente es la astrometría diferencial, aquella cuyo objetivo es la determinación de la posición de unas estrellas respecto a otras y que, actualmente, una vez superada técnicamente la época de las placas fotográficas, se realiza utilizando cámaras con sistema CCD. Por último, la vertiente más moderna es la astrometría global desde el espacio, que trabaja conjuntamente en los dos campos anteriores mediante la insta-

¹ Esta comunicación pretende dar a conocer la astrometría meridiana realizada en San Fernando durante el siglo XX, uno de los aspectos tratados en el desarrollo del proyecto de investigación titulado *Estudio histórico de las actividades del Real Instituto y Observatorio de la Armada en el siglo XX* (Ministerio de Ciencia y Tecnología, Programa Nacional de Promoción General del Conocimiento, ref. BHA2000-0204).

² Para estas observaciones se han empleado principalmente los cuadrantes murales, los anteojos de pasos y los círculos murales y, desde mediados del siglo XIX, los círculos meridianos. Estos últimos siguen siendo los pilares de la astrometría fundamental. Durante la segunda mitad del siglo XX fueron sometidos a importantes modificaciones para conseguir mejorar su rendimiento. Primero se aplicaron cámaras fotográficas para el registro de los pasos de las estrellas y la lectura de los microscopios del círculo de declinación. Más adelante, la aplicación de técnicas fotoeléctricas e informáticas hizo posible la completa automatización de las observaciones y el control remoto de las mismas. Por último, en las últimas décadas del siglo XX, tuvo lugar la incorporación de las cámaras CCD, con las que se consiguió mejorar notablemente la eficacia de estos instrumentos.

lación de los instrumentos de observación en satélites astrométricos que permiten una máxima precisión en las observaciones³.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada se ha dedicado desde su fundación en Cádiz (1753) a la astrometría fundamental, es decir, aquella cuyo objetivo es la determinación de las posiciones de los astros. Actualmente, su principal instrumento astrométrico es el llamado Círculo Meridiano Automático de San Fernando (CMASF). Éste es, hoy día, uno de los pocos instrumentos dedicados en el mundo a la astrometría fundamental basada en tierra, junto a aparatos como el Círculo Meridiano Automático Carlsberg de la Universidad de Copenhague, el Círculo Meridiano del Observatorio de Burdeos, el Círculo Meridiano del Observatorio de Valinhos y el Flagstaff Astrometric Scanning Transit Telescope (FASTT) del Observatorio Naval de los Estados Unidos.

La astrometría fue la tarea básica de la astronomía en el siglo XVIII. El principal instrumento con el que contaban los astrónomos de aquellos tiempos para determinar las posiciones de los astros era el cuadrante mural. Uno de estos instrumentos, algunos anteojos y un péndulo de precisión, todos ellos de buena calidad, formaban la dotación instrumental imprescindible para la creación de un buen observatorio astronómico. Como el resto de los observatorios de la época, el entonces Real Observatorio de Cádiz contó para sus observaciones astrométricas con un cuarto de círculo mural, construido en Londres por John Bird. Con él se pudo desarrollar el primer plan sistemático de observaciones astrométricas realizadas por un observatorio español, emprendido por Vicente Tofiño y José Varela entre 1773 y 1776⁴.

Una vez trasladado a San Fernando el observatorio fundado en Cádiz por la Marina, fueron adquiridos nuevos instrumentos astrométricos, similares a los usados en aquellos años por el Real Observatorio de Greenwich. Entre 1830 y 1834, fueron instalados los tres instrumentos que en aquella época aparecían como indispensables para la astronomía de posición: un círculo mural, un anteojo de pasos y un péndulo magistral, todos ellos construidos en Londres por Thomas Jones. Estos serían los instrumentos magistrales de la astrometría española por un período de casi treinta años⁵. Con ellos se materializó el meridiano de San Fernando, usado hasta 1907 como

³ Sobre este tema, véase Núñez, J. (2002), “Astronomía óptica desde la Tierra y desde el espacio”, *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, LIX (10), 413 y siguientes.

⁴ Los resultados de este trabajo fueron publicados por Tofiño, V. y Varela, J. (1776-1777), *Observaciones astronómicas hechas en Cádiz en el Observatorio Real de la Compañía de Caballeros Guardias-Marinas*, Cádiz, 2 vols. Sobre la adquisición, instalación y utilización del cuarto de círculo mural del Real Observatorio de Cádiz, véase Lafuente A. y Sellés, M. (1988), *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)*, Madrid.

⁵ Sobre este asunto, véase González, F. y Berrocoso, M. (1993), “Instrumentos magistrales para la astrometría española en el siglo XIX: El Observatorio de San Fernando”, comunica-

origen de las longitudes en la cartografía náutica española y referencia para la determinación de la hora. De sus observaciones, sólo fueron publicadas las correspondientes a 1833, 1834 y 1835. No obstante, en el Archivo Histórico del hoy Real Instituto y Observatorio de la Armada se conservan los borradores de las observaciones realizadas con el anteojo de pasos y el círculo mural hasta 1859⁶.



El Observatorio de San Fernando a fines del siglo XIX

En 1856, la necesidad de mantener la calidad de las observaciones realizadas en San Fernando al mismo nivel que las de los principales observatorios europeos, y los avances registrados en las técnicas de construcción de la instrumentación astronómica, fueron las premisas básicas esgrimidas por la dirección del Observatorio, al solicitar a sus superiores autorización para proceder a una importante renovación instrumental, mediante la adquisición de un círculo meridiano y un gran anteojo ecuatorial.

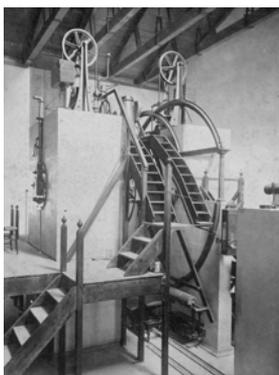
Se optó entonces por encargar a la casa Troughton & Simms de Londres la construcción de un círculo meridiano similar al ideado unos años antes por Airy para el Observatorio de Greenwich. Aunque el nuevo instrumento fue terminado en 1859, no estuvo operativo hasta unos años después, cuando terminaron las obras de remodelación del edificio y el acondicionamiento del salón de observaciones donde iba a ser instalado. Estas obras se desarrollaron entre 1857 y 1862, y fueron de tal envergadura, que tuvieron como consecuencia una total remodelación del edificio principal del Observatorio de San Fernando, que había sido diseñado a finales del siglo XVIII por el marqués de Ureña. Ello explica que hasta 1864 no diesen comienzo las prime-

ción presentada en el XIXth International Congress of History of Science, celebrado en Zaragoza.

⁶ *Observaciones hechas en el Observatorio Real de San Fernando, en el año de 1833 (1835), San Fernando. Observaciones hechas en el Observatorio Real de San Fernando, en el año de 1834 (1836), San Fernando. Observaciones hechas en el Observatorio Real de San Fernando, en el año de 1835 (1837), San Fernando.*

ras observaciones que, como solía ser habitual en estos casos, estuvieron dirigidas a fijar la posición del instrumento y practicar en su manejo⁷.

La provisionalidad marcó los trabajos del nuevo círculo meridiano durante algunos años. En noviembre de 1870 quedaron establecidos de forma definitiva los astros que debían ser observados con el círculo meridiano, para iniciar así una serie continua de observaciones meridianas: el Sol, la Luna, los planetas principales, los asteroides, las 36 estrellas de Maskelyne y las doscientas restantes del catálogo del *Almanaque Náutico*. Comenzó entonces un largo período de observaciones meridianas regulares (pasos de estrellas, Sol, Luna y planetas, distancias cenitales de estrellas, Sol, Luna y planetas) realizadas con el aparato adquirido unos años antes a Troughton & Simms⁸.



Círculo meridiano Troughton & Simms

⁷ Una vez terminadas las obras, la imagen exterior del edificio quedó sustancialmente modificada. Aunque la fachada conservó la mayor parte de los elementos arquitectónicos neoclásicos diseñados por el marqués de Ureña, la cúpula y la tercera altura fueron suprimidas, mientras que a ambos lados del cuerpo central fueron añadidos dos salones de observaciones dotados de ranuras meridianas, con un aspecto exterior acorde con el estilo arquitectónico del edificio y conservando, incluso, la simetría característica de la construcción dieciochesca. En el nuevo salón meridiano occidental fueron instalados los anteriores instrumentos astrométricos, el anteojo meridiano y el círculo mural de Thomas Jones, además del comparador Brunner y el teodolito de primer orden del mismo autor. El círculo meridiano de Troughton & Simms fue instalado en el nuevo salón meridiano oriental, que de esta forma, se convirtió en la sala magistral para la astrometría durante un largo periodo de tiempo. Véase González, F.J. (1992), *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)*, Madrid.

⁸ Entre los borradores de observaciones que se conservan en el *Archivo Histórico del Real Instituto y Observatorio de la Armada* (en adelante AHROA) existe constancia de las realizadas con el círculo meridiano de Troughton & Simms desde 1864 en adelante. Sin embargo, hasta 1870 no se inició un plan sistemático de observaciones, después de sustituir las escalas que, con carácter provisional, se le habían hecho al montarlo.

En los últimos años del siglo XIX, se seguían realizando con regularidad las observaciones necesarias para la determinación de la hora y de las constantes del instrumento, además de los pasos de estrellas, del Sol y de la Luna por el meridiano. En un intento de dar a conocer el trabajo observacional realizado en el Observatorio, la dirección del mismo impulsó la publicación de las observaciones, aunque la iniciativa no tuvo continuidad y sólo salieron de la imprenta las realizadas en 1892 y 1893 (correcciones instrumentales, ascensiones rectas y declinaciones medias de estrellas, catálogo de posiciones medias de estrellas, observaciones de los diámetros horizontal y vertical del Sol, Júpiter y Saturno, y de las ascensiones rectas del centro de estos mismos astros, de la Luna y otros planetas, observaciones de declinación del centro del planeta Marte en su oposición y de las estrellas de comparación, etc.)⁹.

2. Las observaciones meridianas en San Fernando (siglo XX)

2.1. El círculo meridiano Troughton & Simms

Durante la primera mitad del siglo XX, el Observatorio de San Fernando siguió utilizando los grandes instrumentos astronómicos adquiridos e instalados en la segunda parte del siglo XIX. Como consecuencia, tanto el círculo meridiano Troughton & Simms (1864) como el anteojo ecuatorial Brunner (1869) y el astrógrafo Gautier (1889) siguieron en funcionamiento durante muchos años.

El círculo meridiano de Troughton & Simms instalado en el Observatorio de San Fernando tenía 20 cm de abertura y una distancia focal de 353 cm. El ocular de observación estaba provisto de siete hilos verticales fijos y uno móvil, además del horizontal, que también era móvil. El eje horizontal, de 183 cm de longitud, era de acero fundido. El círculo vertical, con 183 cm de diámetro, también era de acero y estaba fijo a la parte occidental del eje horizontal. En su cara externa tenía una banda de plata con graduaciones a intervalos de cinco minutos de arco. Disponía también de seis microscopios situados, a intervalos de 60°, en perforaciones hechas en el pilar, que permitían lecturas con una precisión de la milésima de minuto de arco. Para determinar los errores de colimación y flexión iba acompañado por dos telescopios colimadores, situados al Norte y al Sur en el mismo salón de observaciones. Por último, tenía, además, un horizonte artificial móvil de mercurio, muy sensible a cualquier alteración en el terreno, que se utilizaba para el control de los errores de inclinación y punto nadir¹⁰.

⁹ *Anales del Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando. Sección 1ª: Observaciones astronómicas. Año 1892* (1896), San Fernando. *Anales del Instituto y Observatorio de Marina de San Fernando. Sección 1ª: Observaciones astronómicas. Año 1893* (1899), San Fernando.

¹⁰ Aunque la concepción teórica del círculo meridiano es muy simple, su funcionamiento práctico puede estar afectado por una serie de imperfecciones físicas y mecánicas que se conocen como errores instrumentales. Entre ellos cabría destacar los siguientes: la colimación (separación del eje óptico del instrumento del plano perpendicular al eje horizontal E-

El principal propósito de la observación con un círculo meridiano era, y sigue siendo, la determinación de la ascensión recta y de la declinación de las estrellas observadas, es decir, las coordenadas celestes ecuatoriales, a partir del ángulo de elevación del anteojo y de la hora de paso por el meridiano. Hasta bien entrado el siglo XX, la técnica de observación con un aparato de estas características consistía en dividir el campo de visión en tres partes, que el astro iba atravesando en su movimiento diurno. En las dos zonas extremas del campo se medía una de las dos coordenadas celestes (ascensión recta o declinación) y en la central la otra. La ascensión recta se obtenía midiendo la hora sidérea a la que el astro pasaba por los hilos verticales y, si el instrumento tenía hilo vertical móvil, éste se colocaba sobre el astro y se le hacía seguir su movimiento, registrándose las horas sidéreas al paso del hilo por ciertos puntos. La medida de la altura, que permitía obtener la declinación del astro observado, se hacía colocando el hilo horizontal sobre la estrella y leyendo en un micrómetro su posición¹¹.



El Observatorio de San Fernando a mediados del siglo XX

El plan de observaciones establecido en 1870 siguió vigente durante los primeros años del siglo XX. Los cuadernos conservados en el Archivo Histórico del Real Instituto y Observatorio de la Armada recogen observaciones de pasos y distancias

O), la inclinación (desvío en la horizontalidad del eje de rotación E-O), el acimut del eje de rotación (ángulo formado entre el eje de rotación y la verdadera dirección E-O) y la flexión (aunque la intersección del tubo está situada muy próxima a su centro de gravedad, éste sufre en cada una de sus mitades una deformación debida a la fuerza de flexión provocada por su peso). Véase Muiños, J.L., Belizón, F y Vallejo, M. (1998), “El círculo meridiano del Real Instituto y Observatorio de la Armada”, *Boletín ROA* 1/98, 1-34.

¹¹ La ascensión recta es la distancia angular, medida a lo largo del ecuador celeste, desde el primer punto del Carnero (el cero para establecer posiciones en astronomía) hasta el círculo horario en que se sitúa la estrella (círculo que pasa por la estrella y por los dos polos celestes); se mide en unidades de tiempo sidéreo hacia el Este del punto del Carnero. La declinación es la distancia angular de una estrella al Norte (+) o al Sur (-) del ecuador celeste; se mide en grados.

cenitales, además de las diarias de colimación, inclinación y punto nadir. A ellas se añadían las observaciones para la rectificación de los microscopios y las destinadas al estudio de la flexión del tubo, todas ellas realizadas entre 1900 y 1932¹².

Durante todos estos años se continuaron las determinaciones de la hora astronómica por observaciones de pasos de estrellas por el meridiano. En 1933 se hicieron observaciones extraordinarias de pasos para contribuir a la determinación de las diferencias de longitudes geográficas entre distintos observatorios de todo el mundo, dentro de la primera Campaña Internacional de Longitudes. Por último, entre 1933 y 1937, se llevaron a cabo con regularidad observaciones de pasos por el meridiano para el Servicio de Hora de la Sección de Astronomía del propio observatorio.



Círculo meridiano Grubb Parsons

2.2. El círculo meridiano Grubb Parsons

En 1940, todavía se utilizaba en San Fernando como instrumento fundamental para la astrometría meridiana el círculo meridiano Troughton & Simms adquirido en la segunda mitad del siglo XIX. Wenceslao Benítez, recién nombrado entonces director del Observatorio, propuso un plan de actividades para este instrumento basado en la observación meridiana de planetas y estrellas fundamentales, en la posterior reducción de estas observaciones y en la consecución de un aumento de precisión en las determinaciones de tiempo, mediante la adquisición de cronógrafos y de un péndulo de alta precisión.

¹² El AHROA (*Astronomía, Observaciones Astronómicas*) conserva los originales de las observaciones realizadas con el círculo meridiano Troughton & Simms entre 1900 y 1932: Cajas número 371 (1900-1907), 372 (1907-1909), 374 (1908-1911), 377 (1900-1929), 378 (1927), 379 (1930-1932) y 380 (1877-1931). Las observaciones están recogidas en cuadernos titulados: Rectificación de los microscopios, Cálculos del punto nadir, Colimación e inclinación del eje, Pasos y distancias cenitales de estrellas, Determinación de los estados y movimientos del péndulo.

Sin embargo, las observaciones tuvieron que ser suspendidas poco tiempo después, tras detectarse variaciones anormales en las constantes instrumentales, acimut e inclinación de su eje de rotación. El motivo de estas alteraciones estaba en unos corrimientos del terreno sobre el que estaba cimentado el salón de observaciones, que habían provocado la aparición de grietas en las paredes y el suelo del mismo. Como consecuencia, y ante la necesidad de tener que desmontar el instrumento para proceder a la demolición del salón de observaciones, la dirección del Centro propuso a sus superiores su sustitución por un nuevo círculo meridiano, que estuviese dotado de los últimos adelantos técnicos del instrumental astrométrico¹³.

La propuesta del director del Observatorio tuvo buena acogida y la adquisición del nuevo instrumento fue autorizada en el verano de 1946. Como ya había ocurrido en el siglo XIX, el modelo a seguir en la renovación del instrumental fue el Real Observatorio de Greenwich, donde tenían instalado un círculo meridiano reversible construido por Cooke, Troughton & Simms, que había sustituido en 1933 al círculo meridiano Airy. El aparato para San Fernando fue encargado a la casa inglesa Grubb Parsons (Sir Howard Grubb Parsons & Company Limited), que debía construir un instrumento similar al instalado en el Observatorio de Greenwich e idéntico al encargado por la Universidad de Copenhague para su Observatorio. En mayo de 1947, el subdirector del Observatorio viajó a Londres al frente de una comisión cuyo principal cometido era la firma del contrato para la construcción del nuevo círculo meridiano. Durante su estancia en la capital británica se sucedieron las entrevistas con los astrónomos de Greenwich y con los responsables de la casa Grubb Parsons, que había sucedido en la construcción de este tipo de instrumentos a Troughton & Simms¹⁴.

El círculo meridiano Grubb Parsons adquirido para San Fernando disponía de un objetivo de 178 mm de abertura y 2.667 mm de distancia focal, dimensiones que aún hoy día siguen siendo las idóneas para este tipo de instrumentos. Estaba provisto de un micrómetro movido a motor, con rueda de contactos para registrar en un cronógrafo las horas de paso, y dos círculos de declinación de cristal de 724 mm de diámetro, con intervalos de graduación cada 5' y seis microscopios equidistantes para su lectura.

¹³ La principal razón aducida en la solicitud del cambio fue la antigüedad del instrumento de Troughton & Simms. Decía al respecto Wenceslao Benítez: “data de hace más de 90 años y, aunque ha sido dotado posteriormente de alguna, escasísima, modernización, resulta un instrumento anticuado”. Director Observatorio a Comandante General del Departamento, San Fernando, 18-10-1943, AHROA, *Dirección, Edificios, Caja 027 y Ayudantía Mayor, Obras*, Caja 491.

¹⁴ “Diario del viaje a Londres” [1947], AHROA, *Astronomía, Instrumentos*, Caja 094.

La instalación del nuevo círculo meridiano finalizó en los primeros días de marzo de 1953¹⁵. Fue montado en el salón occidental de observaciones, gemelo y simétrico al que había tenido que ser demolido. Este salón, sin embargo, no tenía problemas de cimentación, pues estaba construido sobre el suelo rocoso que daba solidez al edificio principal del Observatorio desde el siglo XVIII¹⁶. Las primeras observaciones (1954-1955) se realizaron para ajustar y controlar la orientación del instrumento, estudiar los errores de graduación del círculo y determinar la flexión del tubo¹⁷. Su primera misión científica fueron las observaciones, en conjunción con los anteojos de pasos Repsold y Bamberg, para la determinación de la hora y de la longitud del Observatorio, con motivo de la campaña del Año Geofísico Internacional (1957-1959). A partir de entonces, el círculo meridiano Grubb Parsons sería utilizado en las observaciones relacionadas con la determinación de la hora y en programas observacionales de carácter internacional como los que se describen a continuación.

- Programa “Estrellas de Referencia del Hemisferio Sur” (SRS)

Una vez que se hubo comprobado que el número de estrellas de magnitud hasta 7,5 contenidas en el catálogo fundamental FK4 (**Fourth Fundamental Katalog**), resultaba insuficiente para muchas investigaciones astronómicas, los astrónomos plantearon la necesidad de conseguir las posiciones de 40.000 estrellas hasta la magnitud 9,5. De ahí surgiría un programa de observaciones propuesto, hacia 1950, por la Comisión de Astronomía de Posición de la Unión Astronómica Internacional a trece observatorios de todo el mundo, dotados de círculos meridianos.

Como consecuencia, entre 1963 y 1973, el Observatorio de San Fernando participó en un programa internacional de observación llamado *Estrellas de Referencia del Hemisferio Sur (Southern Reference Stars) (SRS)*, encargándose de la determinación de las posiciones de 3.709 estrellas correspondientes a la zona de declinación comprendida entre -10° y -30° , zona en la que también tenían que trabajar el Observatorio Naval de los Estados Unidos y el Observatorio de Tokio.

¹⁵ Durante ese mismo año, el antiguo círculo meridiano fue cedido a la Universidad Complutense de Madrid, donde se pensaba construir un salón de observaciones: “en cuanto me lo comuniquen oficialmente empezaré las gestiones para conseguir la construcción del pabellón correspondiente”. J.M. Torroja a W. Benítez, 13-11-1953, AHROA, *Dirección, Correspondencia*, Caja 021.

¹⁶ De todas formas, hubo un intento previo de demoler también este salón y construir uno nuevo. Aunque esta iniciativa no se llevó a cabo se conservan los planos del proyecto de nuevo salón que se pretendía construir. E.N. Bazán a Director del Observatorio, San Fernando, 22-7-1949, AHROA, *Ayudantía Mayor, Obras*, Caja 491.

¹⁷ A lo largo de 1956 hay bastante correspondencia entre el director del Observatorio y la casa Grubb Parsons sobre los errores en la división del círculo. AHROA, *Dirección, Correspondencia*, Caja 022.

Cada sesión de observación tenía una duración aproximada de dos horas. En cada una de ellas se observaban 12 estrellas del programa SRS, 5 estrellas del catálogo FK4 con declinaciones entre -35° y $+5^\circ$, y 3 estrellas del mismo catálogo correspondientes a la zona de declinación $+20^\circ / +36^\circ$. Al principio y al final de cada sesión se hacían determinaciones de colimación, inclinación y lectura de nadir (constantes instrumentales). En total, a lo largo de 11 años, participaron en el programa 14 observadores, que llevaron a cabo 1.590 sesiones de observación, en las que se observaron 16.935 pasos de estrellas SRS y 7.924 pasos de estrellas FK4¹⁸.

- Programa “Tubos Cenitales Fotográficos del Hemisferio Norte” (NPZT)

En 1970, la Comisión de Astronomía de Posición de la Unión Astronómica Internacional propuso la realización de un nuevo programa de observaciones, organizado por el Observatorio de Tokio y destinado a referir al citado catálogo FK4 las posiciones y los movimientos propios de las estrellas que se estaban observando en aquel momento con 12 tubos cenitales fotográficos situados en observatorios del Hemisferio Norte¹⁹.

El de San Fernando fue uno de los diez círculos meridianos que colaboraron en este programa. Como consecuencia, entre 1973 y 1980, el círculo meridiano del Observatorio de San Fernando observó 1.716 estrellas, con declinaciones comprendidas entre $+10^\circ$ y $+60^\circ$.

Para la observación, las estrellas se agruparon en cinco zonas según sus declinaciones. En este programa, cada sesión de observación duraba unas tres horas. Se observaban 15 estrellas del programa NPZT, 8 del catálogo FK4, correspondientes a la misma zona de observación, y una de cada una de las cuatro zonas restantes. Por último, se observaban tres estrellas al Norte y otras tres al Sur de la zona de observación. Al principio y al final de cada sesión se hacía una determinación de colimación y nadir. En total, a lo largo de 8 años, participaron en el programa 12 observadores, que realizaron 585 sesiones de observación, en las que se observaron 7.490 pasos de estrellas NPZT y 9.546 pasos de estrellas FK4²⁰.

¹⁸ Los resultados de este trabajo fueron publicados en el *Catálogo SRS de San Fernando. Zona -10° a -30° . Equinoccio 1950.0* (1987), San Fernando.

¹⁹ Los tubos cenitales son instrumentos fijos verticales que permiten determinar el tiempo astronómico y el movimiento del polo celeste con gran precisión, de ahí que fuesen considerados, junto con los astrolabios, los instrumentos fundamentales para el estudio de la rotación de la Tierra.

²⁰ Los resultados de este trabajo fueron publicados en el *Catálogo NPZT de San Fernando. Equinoccio 1950.0* (1988), San Fernando.

3. La observación astrométrica fuera de San Fernando

3.1. El Círculo Meridiano Automático Carlsberg (La Palma)

En 1952, la Universidad de Copenhague había instalado en su observatorio un círculo meridiano Grubb Parsons idéntico al encargado para el Observatorio de San Fernando. Desde 1970 en adelante, este instrumento fue sometido a una serie de modificaciones para conseguir un funcionamiento automático sin pérdida de precisión en las observaciones. A lo largo de ese proceso fue dotado de un micrómetro fotoeléctrico de rendija móvil, para la observación de estrellas y planetas, de un sistema de posicionamiento automático y de micrómetros fotoeléctricos para la lectura del círculo graduado y para el estudio de las constantes instrumentales.

Al finalizar este proceso de automatización, se pudo pasar de las observaciones tradicionales, con dos observadores y un ayudante, al control automático de las mismas por medio de un ordenador. A partir de entonces, el ordenador prepararía los programas de observación de cada noche, seleccionando los astros a observar de un fichero con más de 300.000 estrellas situadas entre el Polo Norte Celeste y -52° de declinación. La selección se efectuaba teniendo en cuenta la importancia astrométrica de los astros y reduciendo al máximo los tiempos muertos entre las sucesivas observaciones.

Estas mejoras, y el consiguiente aumento de la eficacia y de la precisión del instrumento, hicieron pensar a los responsables del Observatorio de la Universidad de Copenhague en la necesidad de instalar este aparato en un observatorio de montaña, donde la calidad de la imagen obtenida estuviese menos deteriorada por la acción de la atmósfera y por la contaminación lumínica. Como consecuencia, tras la inauguración del Instituto de Astrofísica de Canarias, el Observatorio de la Universidad de Copenhague (CUO) y el Real Observatorio de Greenwich (RGO) presentaron un proyecto conjunto para la instalación y utilización del círculo meridiano danés en el Observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, a 2.400 m de altitud. Dado que los convenios internacionales del Instituto de Astrofísica de Canarias obligan a la cesión de un 20% del tiempo de observación a los astrónomos españoles, el Observatorio de San Fernando, único de España dedicado a la astrometría meridiana, fue invitado a participar en sus observaciones²¹.

²¹ Orte, A. (1986), "Astrometría en la isla de La Palma", *Revista General de Marina*, 210, 27-31.



Emplazamiento del Círculo Meridiano Automático Carlsberg en el Roque de los Muchachos (Isla de La Palma)

El Real Instituto y Observatorio de la Armada, que había iniciado los contactos con el proyecto conjunto de los astrónomos daneses y británicos en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional celebrada en Montreal en 1979, se integró en el proyecto. Por acuerdo de las tres partes, se inició entonces un programa sistemático de observación astrométrica. Reunidos los representantes de los tres observatorios en San Fernando, crearon en 1980 el Comité de Dirección del Círculo Meridiano Automático Carlsberg (CMAC), así llamado por la Fundación que financió su construcción. Este comité, formado por dos miembros de cada observatorio, tendría como misiones acordar los programas de observación y los métodos de reducción de las observaciones, analizar los resultados obtenidos y publicarlos para uso de la comunidad científica internacional.

Desde la inauguración de sus instalaciones en el Roque de los Muchachos, las observaciones han sido continuas. Al principio, desde 1985, éstas fueron realizadas por equipos de observadores procedentes de los tres observatorios que se turnaban en la utilización del instrumento. Desde 1997 no es necesario enviar a La Palma a los observadores, pues el control del aparato y el registro de los datos de la observación se realiza por internet desde los observatorios participantes en el proyecto.

Como consecuencia de su programa observacional, entre 1985 y 1999 se publicaron 11 catálogos con las posiciones, los movimientos propios y las magnitudes de 180.000 estrellas y 2.900 planetas, satélites y asteroides (observaciones comprendidas entre 1984 y 1998). Posiblemente, ésta pueda ser considerada la más importante contribución a la astrometría meridiana desde observatorios en tierra realizada en los últimos años del siglo XX²².

²² *Carlsberg Meridian Catalogue La Palma : Observations of positions of stars and planets...*, números 1 a 11, publicados en San Fernando entre 1985 y 1999. El último de ellos, publicado en cd-rom, contiene además los 10 catálogos anteriores.



Círculo Meridiano Automático Carlsberg (La Palma)

3.2. El Círculo Meridiano Automático de San Fernando (Argentina)

De forma paralela a la participación en el proyecto del Círculo Meridiano Automático Carlsberg, y siguiendo el camino trazado por el Observatorio de la Universidad de Copenhague, el Real Instituto y Observatorio de la Armada inició un proceso de automatización de su círculo meridiano Grubb Parsons, que, como ya hemos dicho, era idéntico al perteneciente al observatorio danés. Para el desarrollo de este proceso, en el que se trataba de convertir el aparato en un instrumento automático de observación fotoeléctrica, se firmó un acuerdo de colaboración con el observatorio danés y se obtuvo la financiación oficial necesaria²³.

En 1987 se interrumpieron las observaciones y se iniciaron los trabajos técnicos para la automatización²⁴. Durante 1992, un miembro del Observatorio de la Universidad de Copenhague, se integró en el Servicio de Astrometría Meridiana, colaborando en la puesta a punto de la automatización del instrumento, proceso que terminaría en 1994.

Dado que el Círculo Meridiano Automático Carlsberg podía observar desde La Palma estrellas situadas entre el Polo Norte Celeste y -45° de declinación, se pensó que, trasladando el círculo meridiano de San Fernando a una ubicación de alta montaña en el Hemisferio Sur, se podrían observar las estrellas situadas entre 45° de declinación Norte y el Polo Sur Celeste. De esta forma, utilizando dos instrumentos gemelos, se podrían formar catálogos astrométricos que abarcasen toda la

²³ Proyecto de investigación PR84-0570: *Formación de catálogos astrométricos de precisión. Círculos meridianos de La Palma y San Fernando.*

²⁴ Quijano, L. (1998), "La astronomía meridiana en el Real Observatorio de la Armada en San Fernando", *Boletín ROA* 4/98, 75-85.

esfera celeste, completando así la tarea realizada desde el espacio por el satélite astrométrico Hipparcos de la Agencia Espacial Europea (ESA).



Emplazamiento del Círculo Meridiano Automático de San Fernando en la Estación de Altura Carlos Ulrrico Cesco (Argentina)

En 1990, el entonces director del Observatorio de San Fernando, Manuel Catalán, en una reunión de trabajo con astrónomos dedicados a la astrometría celebrada en Cambridge, planteó el interés que podía tener el traslado del círculo meridiano de San Fernando al Hemisferio Sur, una vez que fuese concluida su automatización. A principios de 1991, la Comisión Nacional de Astronomía constituyó un grupo de trabajo para estudiar la mencionada propuesta. Su informe, presentado en Madrid en octubre de ese mismo año, fue favorable a la propuesta de traslado.

Mientras tanto, en la Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional, celebrada en 1991 en Buenos Aires, se establecieron los primeros contactos con astrónomos de Chile y Argentina²⁵. Como resultado de estas gestiones surgió la propuesta del Observatorio Astronómico Félix Aguilar de la Universidad de San Juan (Argentina), que ofreció la posibilidad de instalar el Círculo Meridiano Automático de San Fernando en la Estación de Altura Carlos Ulrrico Cesco, situada a 2.330 m de altitud en la vertiente oriental de los Andes (El Leoncito).

Una vez firmados los preceptivos convenios de colaboración, el instrumento astrométrico de San Fernando fue desmontado en 1996 del salón meridiano occidental, donde había estado instalado desde su adquisición, para ser trasladado a la Argentina. En septiembre de 1997 se constituyó el Comité de Dirección del Círculo

²⁵ En esa reunión fue presentada una comunicación proponiendo la idea del traslado, firmada por el director del Observatorio, el jefe de la Sección de Astronomía y el Jefe del Servicio de Astrometría Meridiana. Véase Catalán, M., Quijano, L., Muñíos, J.L. (1991), “Proposal to move the San Fernando Meridian Circle to the Southern Hemisphere”.

Meridiano Automático de San Fernando, formado por dos representantes del Real Instituto y Observatorio de la Armada y otros dos del Observatorio Astronómico Félix Aguilar. Tras un año de pruebas y ajustes, en los últimos meses de ese mismo año se iniciaron las observaciones de estrellas, planetas y asteroides para la formación del primer catálogo.



Círculo Meridiano Automático de San Fernando (Argentina)

Las observaciones realizadas entre octubre de 1997 y septiembre de 1999 dieron lugar al *Catálogo Meridiano Hispano-Argentino (HAMC)*²⁶. Este catálogo contiene las posiciones y magnitudes de 6.192 estrellas situadas al Sur de +40° de declinación, 5.399 movimientos propios y 923 posiciones y magnitudes de objetos del Sistema Solar, todas ellas referidas al ICRF (*International Celestial Reference Frame*).

4. Algunas conclusiones

A lo largo de nuestro trabajo hemos podido comprobar como la importancia de la astrometría ha ido evolucionando desde el siglo XVIII. De ser el objeto principal de la astronomía de la Ilustración ha pasado a convertirse en una de las ramas de una ciencia mucho más amplia y en continuo avance. De todas formas, su estudio sigue siendo imprescindible para el desarrollo de otras ramas de la astronomía.

El Observatorio de San Fernando ha sido el único de España dedicado a la astrometría durante sus casi 250 años de existencia. De hecho, la astrometría fue uno de los objetivos fundacionales de la institución. Hoy día, a pesar del paso de los años y de las numerosas misiones encomendadas al Observatorio a lo largo del tiempo, la astrometría sigue siendo el principal objeto de trabajo de la Sección de Astronomía.

²⁶ *Hispano-Argentinian Meridian Catalogue CMASF on El Leoncito: Observations of positions of star and planets, Oct. 1997 to Sep. 1999* (2001), San Fernando, publicado en cd-rom.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, durante más de dos siglos, el Observatorio de San Fernando ha adquirido y utilizado unos instrumentos astrométricos de precisión únicos en España. Con ellos se han llevado a cabo programas de observación que, por lo tanto, pueden ser considerados como la principal, y en gran parte única, aportación española a la astrometría internacional.

Por otro lado, estas observaciones astrométricas, enmarcadas casi siempre en programas de ámbito internacional, han favorecido la existencia de un continuo proceso de cooperación científica con astrónomos e instituciones astronómicas de todo el mundo, incluso en períodos históricos en los que el contacto con el extranjero fue bastante complicado para el resto de los científicos españoles.

Por último, podemos afirmar que, en los últimos años del siglo XX, y como consecuencia del traslado de los instrumentos astrométricos a emplazamientos de alta montaña, el Real Instituto y Observatorio de la Armada, lejos de abandonar la práctica de la astrometría, ha participado en la principal aportación astrométrica de esa época, mediante la participación en el proyecto conjunto del Círculo Meridiano Automático Carlsberg (junto al Observatorio de la Universidad de Copenhague y el Real Observatorio de Greenwich), además de impulsar el traslado del Círculo Meridiano Automático de San Fernando a su nuevo emplazamiento en los Andes.

Bibliografía

- D. Howse: *Greenwich Observatory: the buildings and instruments* (London, 1975).
- A. Orte: “Astrometría en la isla de La Palma”, *Revista General de Marina* (Madrid), 210 (1986), 27-31.
- A. Lafuente, M. Sellés: *El Observatorio de Cádiz (1753-1831)* (Madrid, 1988).
- A. McConnell: *Instrument makers to the world: a history of Cooke, Troughton & Simms* (York, 1992).
- F. J. González: *El Observatorio de San Fernando (1831-1924)* (Madrid, 1992).
- F. J. González: *Instrumentos científicos del Observatorio de San Fernando (siglos XVIII, XIX y XX)* (Madrid, 1995).
- L. Quijano: “La astronomía meridiana en el Real Observatorio de la Armada en San Fernando”, *Boletín ROA* (San Fernando), 4/98 (1998), 75-85.
- J. L. Muiños, F. Belzón y M. Vallejo: “El círculo meridiano del Real Instituto y Observatorio de la Armada”, *Boletín ROA* (San Fernando), 1/98 (1998), 1-34.
- J. Núñez: “Astronomía óptica desde la Tierra y desde el espacio”, *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, (Barcelona) LIX (10) (2002).