

**Elementos ópticos del telescopio
de Herschel de 25 pies del
Observatorio Astronómico de Madrid**

Pere Planesas

Observatorio Astronómico Nacional
Informe técnico OAN 2001–14

19 de diciembre de 2001

El telescopio de Herschel de 25 pies

Breve historia del telescopio

En el año 1802 debió llegar a Madrid el telescopio que había sido encargado por la corte española a principios de 1796 al astrónomo germano-inglés William Herschel (Bennett, 1976) y que debía constituir el instrumento principal del Observatorio de Madrid fundado diez años antes (Gil de Zárate, 1859). Se trataba de un telescopio de reflexión dotado de un espejo de 2 pies de diámetro situado en la parte posterior de un tubo de hierro batido (Mendoza, *Explicacion sucinta* ...) de 25 pies de longitud.

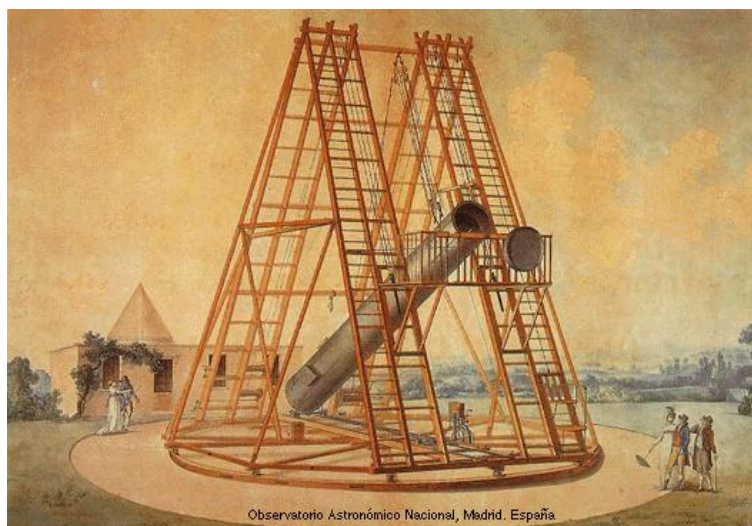


Figura 1: Aspecto del telescopio de Herschel de 25 pies en una acuarela realizada probablemente en Slough (Inglaterra) durante las pruebas que su constructor W. Herschel realizó para probar su adecuado funcionamiento. Según sus propias palabras: “[Urano] está mejor definido en este instrumento que lo que jamás he visto.” (Bennett, 1976). (Plano I, serie 1).

Como se aprecia en la figura 1, el telescopio estaba formado por una estructura a base de vigas de madera en forma de diedro con base de figura decagonal con una diagonal máxima de 920 cm y una altura de 880 cm. Dicha figura decagonal estaba riostrada por nervios diagonales que se cruzaban en su punto medio, donde se encontraba el eje de giro de la estructura. La orientación y movimientos del tubo del telescopio y demás elementos móviles (galería de observación, silla ascensora) se lograban mediante elementos metálicos tales como cremalleras, tornos, sistemas de poleas y ruedas, todo ello accionado con mecanismos de manivela. Es un montaje telescópico conocido como altacimutal, en que el orientación según el acimut se lograba girando toda la estructura y la orientación en altura se lograba moviendo el tubo del telescopio.

Tras su montaje, pruebas de funcionamiento y mejoras realizadas por el propio Herschel (Bennett, 1976), el telescopio fue embarcado en Londres a principios de 1802 y llegó a Madrid donde se eligió un emplazamiento adecuado, que supuso el traslado del cercano y reciente cementerio de San Blas a un lugar más alejado del Observatorio, y se montó (Gil de Zárate, 1859; Tinoco, 1951). La primera observación astronómica de la que se tiene noticia, con el telescopio montado pero la instalación no finalizada del todo, tuvo lugar el 18 de agosto de 1804 (Tinoco, 1951).



Figura 2: Puerta principal del edificio diseñado por el gran arquitecto Juan de Villanueva para el Observatorio de Madrid, cuya construcción se inició en 1790.

Dos semanas después y a instancias del Director, el personal del Observatorio dejaba de pertenecer al cuerpo militar de Ingenieros Cosmógrafos de Estado y el Observatorio se constituía como una institución civil (Tinoco, 1951). Tras los sucesos del 2 de mayo de 1808, los astrónomos decidieron trasladar las partes del telescopio fácilmente transportables (los dos espejos, tornos, poleas y cuerdas) a una casa particular. En diciembre las tropas francesas se alojaron en el Observatorio (Figura 2), donde quemaron la madera del telescopio y destruyeron su tubo (López Arroyo, 1978).

Reconstrucción del telescopio

Los planos detallados y cuadernos descriptivos de los elementos y el funcionamiento del telescopio fueron confeccionados bajo la dirección del capitán de navío D. José de Mendoza y Rios, a quien se encomendó llevar a cabo los trámites del encargo del telescopio, seguir al detalle las fases de su construcción y redactar instrucciones adecuadas para su montaje y uso, documentación que se terminó en diciembre de 1801, poco antes de que el telescopio fuera embarcado hacia España. Toda esta documentación se conserva en el Observatorio Astronómico de Madrid y ha servido de base para la reconstrucción del telescopio que el Observatorio Astronómico Nacional ha iniciado en el año 2001.

Tal empresa se inició en 1997, con el encargo al Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, a través de la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial, de un estudio de viabilidad para la reconstrucción del telescopio. En marzo de 1998 se recibió dicho informe que se acompañaba de un proyecto constructivo bastante detallado de los elementos de madera y metálicos elaborados a partir de la documentación disponible. Se concluía que dicha reconstrucción era posible pues los trabajos requeridos podían ser llevados a cabo por diversos fabricantes nacionales. Se incluía un presupuesto y un plan de ejecución.

En el año 2001 se ha iniciado la reconstrucción del telescopio. A fecha de hoy, está terminada una maqueta en madera a escala 1:10, está muy avanzada la construcción de los elementos metálicos y la madera necesaria para confeccionar la estructura principal está finalizando su periodo de secado y reposo tras el corte previo a la fabricación de dicha estructura.

En el año 2002 se planea realizar la construcción de la estructura de madera, terminar todos los elementos metálicos y realizar el montaje y las pruebas de funcionamiento de todo el conjunto en el lugar de construcción que se repetirán, más adelante, en el propio Observatorio. Además se construirá un edificio para contenerlo en los terrenos de dicho Observatorio situados al sudoeste del Parque del Retiro de Madrid.

La reconstrucción del telescopio debe completarse dotándole de los elementos ópticos oportunos. De ellos sólo se conservan dos grandes espejos pulidos por W. Herschel, uno de los cuales está expuesto al público (Figura 4) y constituye una de las importantes piezas del Museo que se encuentra en el Edificio de Villanueva citado.

Elementos ópticos del telescopio de Herschel

La configuración óptica del telescopio se denomina *herscheliana*. En ella el espejo principal es esférico y está ligeramente inclinado respecto del eje del tubo principal, en cuyo extremo inferior se halla. El ocular está situado en el borde inferior de la boca de dicho tubo. Las coordenadas horizontales (acimut y altura) del punto del cielo observado en un cierto momento se determinaban, respectivamente, mediante un círculo completo situado en una columna solidaria con un radio de la estructura de madera y un cuadrante solidario con el tubo metálico. Un pequeño telescopio refractor, conocido como telescopio *buscador*, estaba también sujeto al tubo.

En resumen, los elementos ópticos del telescopio eran: espejo, ocular, círculo, cuadrante y buscador.

El aspecto y colocación de los diversos elementos ópticos del telescopio se conoce por los planos que se realizaron bajo la dirección Mendoza. En ellos se basan, salvo que se indique otra cosa, la mayoría de ilustraciones que acompañan el resto de este documento.



Figura 3: Espejo de 2 pies de diámetro construido y pulido por W. Herschel y expuesto en el Museo del Observatorio Astronómico de Madrid.

Espejo

William Herschel dotaba a los telescopios que construía de espejos esféricos metálicos, con una aleación que nunca divulgó pero se cree que era 71% de cobre y 29% de estaño, que después pulía trabajosamente. Según J.A. Bennett (1976), los dos espejos del telescopio de Madrid fueron fundidos en agosto de 1796, tras recibir el encargo oficial, y su pulido se realizó intermitentemente desde septiembre hasta abril del año siguiente. Tras probarlos en el telescopio ya montado en enero de 1797, prosiguió su pulido para mejorar su calidad, lo que le ocupó hasta el mes de mayo (Figura 3).

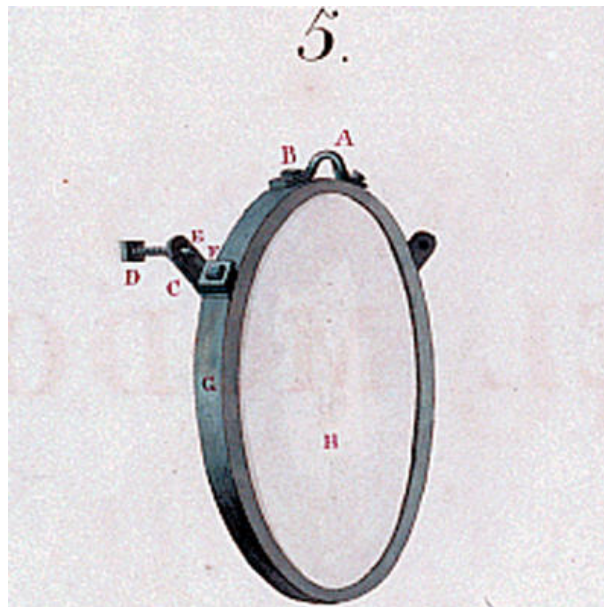


Figura 4: Espejo de 2 pies de diámetro tal como aparece en los planos de Mendoza. Se aprecian los elementos de sujeción C y el aro A para su extracción mediante cuerda y polea (Plano IX, serie 1)

Medidas realizadas por E.J. Hysom (1996) en espejos realizados por Herschel muestran que éstos tienen efectivamente una forma esférica que, para espejos de larga focal, difiere muy poco de un espejo parabólico. En efecto, para un espejo de 2 pies de diámetro y 25 pies de focal la diferencia en el borde exterior de un espejo esférico y uno parabólico es de 0,3 micrómetros, aproximadamente la mitad de la longitud de onda de observación.

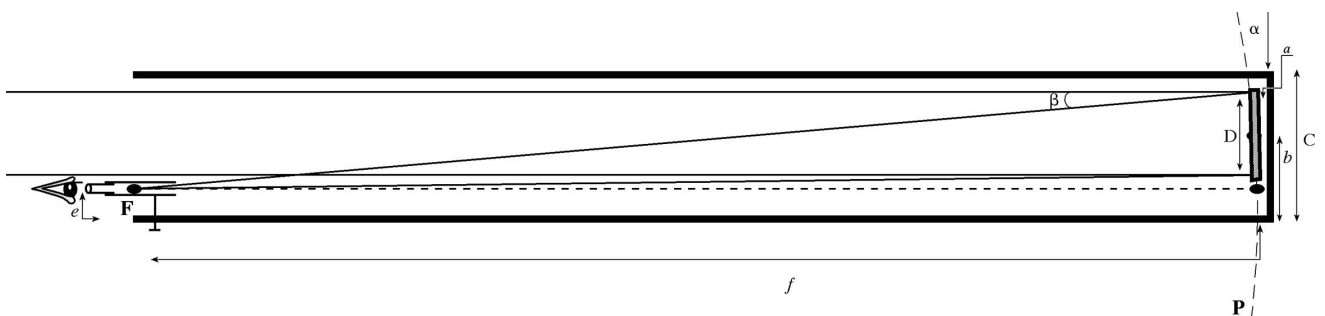


Figura 5: Sistema óptico de un telescopio herscheliano. En el caso que nos ocupa los parámetros son (a confirmar): $\alpha = 1,8$, $\beta = 3,6$, $a \approx 5$ cm, $b \approx 55$ cm, $e \approx 8$ cm, $f = 750$ cm, $C = 92$ cm y $D = 61$ cm.

La colocación del espejo dentro del tubo en el montaje herscheliano es peculiar (Figuras 4 y 5). El espejo está inclinado respecto del eje del tubo y desplazado respecto de su centro, pues se pretende que el haz de luz que incide sobre el espejo no sea obturado por ningún elemento opaco, como podría ser un espejo secundario (que Herschel debía evitar dadas las elevadas pérdidas en la reflexión en los espejos metálicos) o la propia cabeza del observador.

Sugerencias para su reproducción: Pueden utilizarse las técnicas típicas de los astrónomos aficionados para

realizar un espejo esférico o parabólico aluminizado de 61 cm de diámetro. Debe ser adaptable al soporte que se construye junto con el resto del telescopio y se deben comprobar otros detalles de la sujeción con los planos de Mendoza. Revisar la estructura y apariencia del expuesto en el Observatorio de Madrid (Figura 3).

Ocular

Sujeto al tubo del telescopio mediante un manubrio exterior (Figura 7), un piñón y una cremallera o corredera para poder ajustar el foco (Mendoza, *Relación de las obras de fierro ...*) (Figuras 7 y 8) se encuentra un tubo de latón (Figura 6) dentro del cual encaja el adaptador del ocular (Figura 9). El conjunto se debe poder desplazar al menos 100 mm para permitir el uso de los dos oculares que se describen más abajo. Debe ser fácilmente desmontable, pues debe extraerse cada vez que se coloca la tapa terminada la sesión de observaciones.

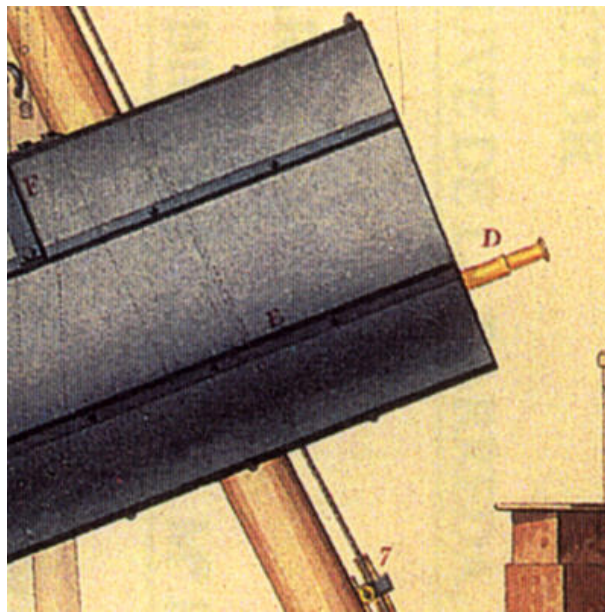


Figura 6: Tubo de latón que sujeta el ocular a la boca del tubo (Plano VI, serie 1)



Figura 7: Situación del ocular en la boca del tubo (Plano I, serie 1).

Los tamaños que se deducen de los planos son: grosor del tubo de enfoque 34 mm, grosor del tubo de sujeción 45 mm, longitud que sobresale del tubo 215 mm (Figura 6, pero hay que tener en cuenta que es variable por ser móvil), distancia del centro del soporte del ocular al tubo principal 75 mm (Figura 8) y distancia que sobresale del tubo el tornillo o manubrio 40 mm.

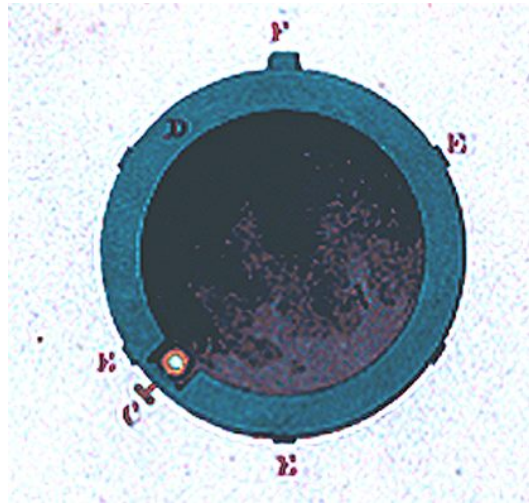


Figura 8: Boca del tubo donde se aprecia la situación del ocular y el sistema de enganche (Plano XII, serie 1).

Los dos oculares disponibles consistirían probablemente en lentes acromáticas, en uso habitual tras el primer diseño por Dollon en 1757. En particular, según Mendoza (*Relacion de las obras de fierro ...*), el objetivo del buscador era acromático.

Herschel solía usar oculares que daban muchos aumentos, en exceso de lo que ahora se considera adecuado para un telescopio. Los diámetros de las lentes solían ser muy pequeños, pues la pupila de salida es muy pequeña para tan elevados aumentos. Para reproducir la apariencia de un ocular de Herschel (Figura 9) debería realizarse un ocular con un diámetro de 1 mm y una focal de unos 13 mm, que corresponden a lo que a continuación denominamos aumento óptimo del telescopio.

Para un telescopio de diámetro 61 cm las consideraciones actuales fijan el número de aumentos mínimo adecuado en 80 y el número óptimo en 600. Este valor último es excesivo para el cielo de Madrid, de manera que para poder realizar alguna demostración del funcionamiento del telescopio se puede considerar adecuado fabricar dos oculares (modernos) de focales 25 y 100 mm que darán, respectivamente, unos aumentos de 300 y 75. Estos deben tener un diámetro de la lente similar a los oculares de los telescopios modernos.

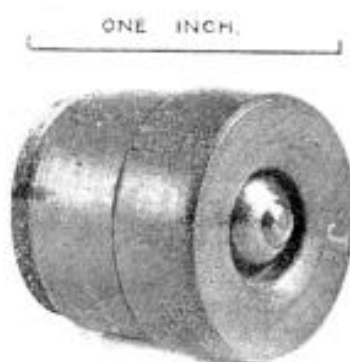


Figura 9: Soporte de un ocular de Herschel (imagen obtenida por internet, en un documento que remite a un artículo de W.H. Stevenson en *Transactions of the Optical Society* (Londres), volumen 26).

Sugerencias para su reproducción: Basarse en las indicaciones anteriores y en oculares y soportes construidos a finales del siglo XVIII que se puedan encontrar en museos, como en el del propio Observatorio de Madrid. Remitirse al artículo de Stevenson para una reproducción más exacta.

Anexo: debería añadirse un ocular de miles de aumentos para demostrar el uso de tales oculares por Herschel, quien decía usar entre 1000 y 6000 aumentos. En tal caso hay que prever una mayor carrera del soporte a fin de poder enfocar tal ocular.

Círculo

El círculo entero, utilizado a modo de teodolito (Mendoza, *Explicación sucinta ...*) para medir los desplazamientos en acimut y la orientación en acimut, consta de un círculo graduado de 36 cm de diámetro exterior con seis radios y un telescopio de 41 cm de longitud solidario a un ancho brazo con un nonius que permite realizar las lecturas sobre el círculo. Otros detalles de su estructura pueden apreciarse en las Figuras 10 y 11. Debe ser removible, pudiendo ser instalado en cualquiera de las dos columnas previstas para tal propósito.

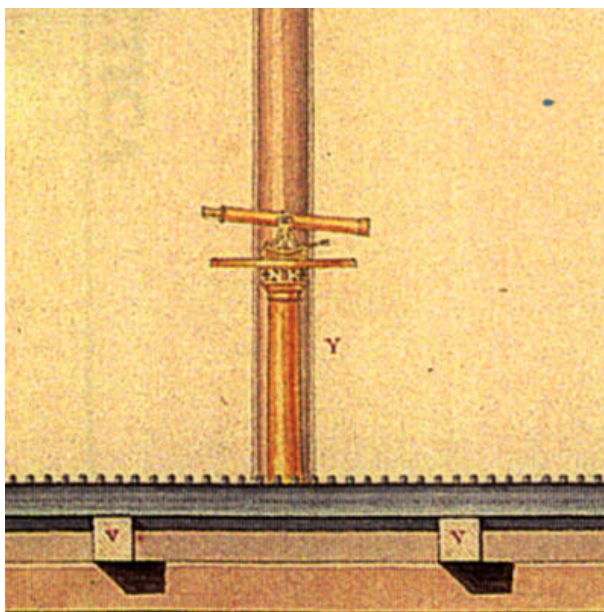


Figura 10: Vista lateral del círculo completo destinado a la medida del acimut (Plano VI, serie 1).

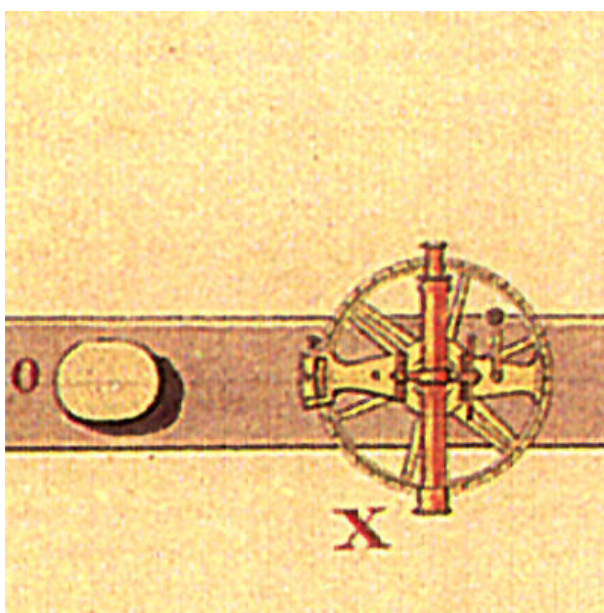


Figura 11: Vista superior del círculo completo destinado a la medida del acimut (Plano II, serie 1).

El instrumento está construido en latón, posiblemente laminado pues esta técnica era ya usada a finales del siglo XVIII. El círculo debe estar graduado en grados y fracciones. En tal época se usaban divisiones de 15' y 10', y con un nonius de 15 o 10 divisiones, respectivamente, se lograba 1' de precisión en la medida.

Sugerencias para su reproducción: Basarse en las indicaciones anteriores y en círculos construidos a finales del siglo XVIII que se puedan encontrar en museos, como en el del propio Observatorio de Madrid. El único instrumento similar que se encuentra en dicho observatorio es el círculo de reflexión (Figura 12) construido en latón por Troughton en Londres hacia 1790. Se trata de un instrumento distinto, menor y más sencillo en su parte mecánica que el círculo usado en el telescopio de Herschel. Puede servir de orientación al tratarse de un instrumento construido en la misma época y en el mismo país.



Figura 12: Círculo de reflexión de un pie de diámetro construido hacia 1790 por Troughton en Londres, expuesto en el Observatorio Astronómico de Madrid.

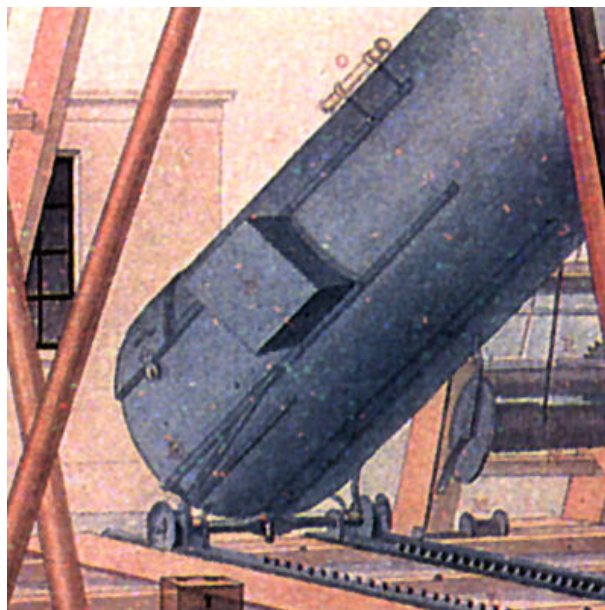


Figura 13: Caja protectora del cuadrante (Plano I, serie 1).

Cuarto de círculo o cuadrante

El cuadrante solidario al tubo mediante un armazón está destinado a la medida de la altura de los astros sobre el horizonte. Dispone también de una cubierta metálica protectora (Figura 13) y un nivel para fijar su horizontalidad.

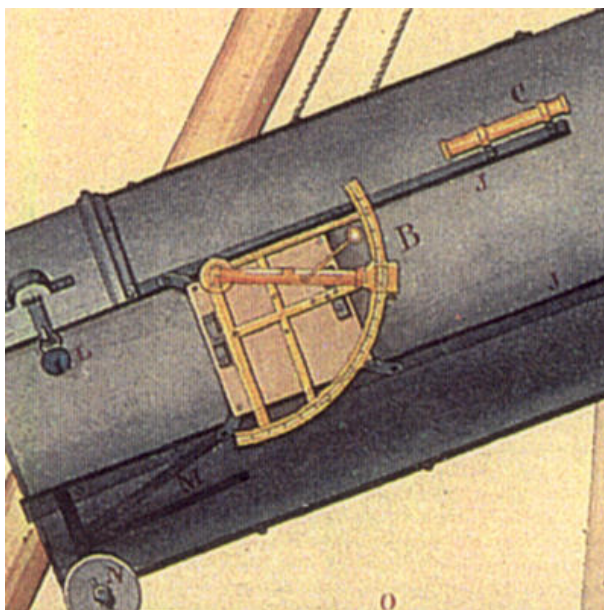


Figura 14: Cuadrante destinado a la medida de la altura del astro respecto del horizonte. En esta imagen también se aprecia la colocación del pequeño telescopio buscador (Plano VI, serie 1).

En la figura 14 se puede apreciar la estructura de su armazón, las sujeciones a la plancha cuadrada, unida ésta a su vez al tubo, y la pieza móvil que lleva sujeta un pequeño antejo. En la figura 15 se aprecia el perfil, donde se distingue la separación entre el cuadrante y la plancha, así como el diámetro del tubo del antejo (de unos 34 mm). De acuerdo con medidas realizadas sobre la figura 14, la longitud de la pieza móvil es de 455 mm, la longitud del radio superior es de 421 mm y el radio exterior del cuadrante es de 432 mm. La longitud del tubo del antejo es de 360 mm.

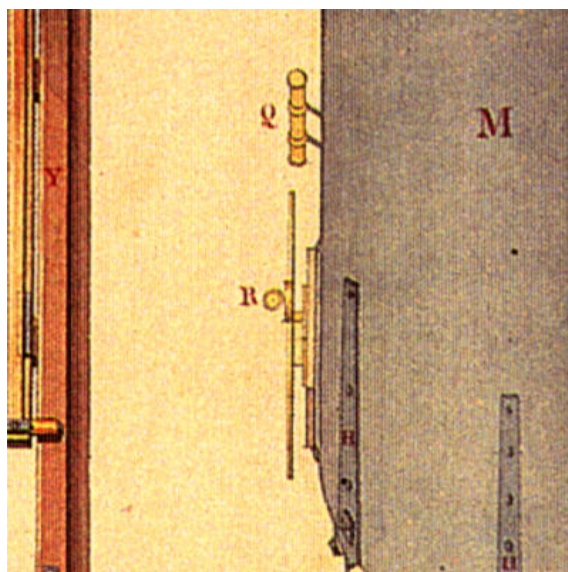


Figura 15: Vista lateral del cuadrante y del telescopio buscador (Plano IV, serie 1).

Sugerencias para su reproducción: Basarse en las indicaciones anteriores y en oculares y soportes contruidos

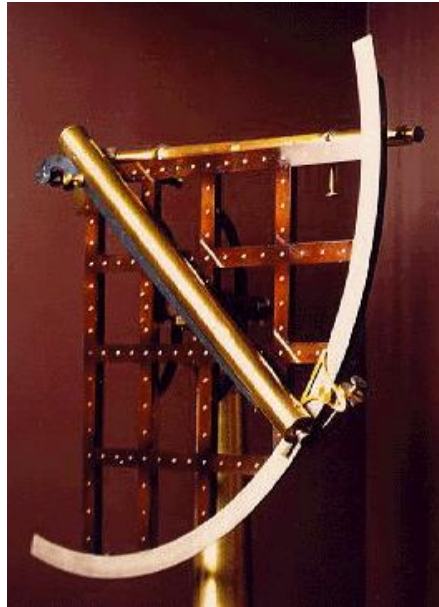


Figura 16: Cuadrante de dos pies construido en 1788 por Troughton en Londres, expuesto en el Observatorio Astronómico de Madrid.

a finales del siglo XVIII que se puedan encontrar en museos, como en el del propio Observatorio de Madrid. En dicho observatorio está expuesto un cuadrante mayor que el que nos ocupa, construido en 1788 por Troughton (Figura 16) en Londres, que puede ser usado como modelo constructivo orientativo al tratarse de un instrumento de la misma época construido en el mismo país.

Telescopio buscador

Se trata de un pequeño telescopio con objetivo acromático sujeto a una varilla de refuerzo del tubo mediante dos abrazaderas. El ocular va sujeto a un tubo deslizante para enfocar y dispone de cruz filar. Sendas tapas sirven para proteger el ocular y el objetivo cuando el telescopio no es usado. La longitud del buscador es de 335 mm y el diámetro de su tubo es de unos 34 mm (figura 17).

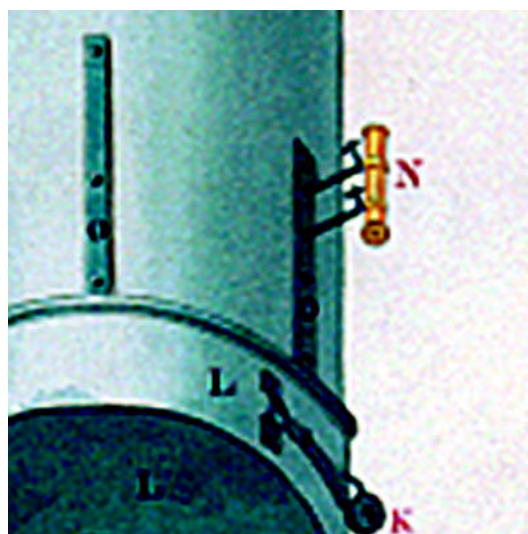


Figura 17: Telescopio buscador situado en la parte posterior del tubo de hierro. Se aprecia su sujeción mediante dos abrazaderas (Plano V, serie 1).



Figura 18: Vista lateral del telescopio buscador (Plano I, serie 1).

Sugerencias para su reproducción: Basarse en las indicaciones anteriores y en pequeños telescopios refractores contruidos a finales del siglo XVIII que se puedan encontrar en museos, como en algunos de los aparatos expuestos en el propio Observatorio de Madrid.



Figura 19: Círculo repetidor de aproximadamente medio metro de focal y 30 mm de apertura construido por Francisco Lorenzo en Madrid en 1804, que se encuentra en el Observatorio Astronómico de Madrid.

Otros elementos

Nivel de alcohol que se sujeta con dos tornillos a su caja, colocada en el extremo del undécimo radio (dirigido al oeste) de la estructura móvil de madera (figura 20). Se cubre con una tapa de madera.

Elaboración de un proyecto de reconstrucción

Debe basarse en la información contenida en este informe, ampliada con la información visual que se extrae de los planos de Mendoza, la información sobre dichos aparatos y su uso contenida en sus cuadernos, del conocimiento documentado de los instrumentos similares que se construían alrededor de 1800, especialmente en los contruidos

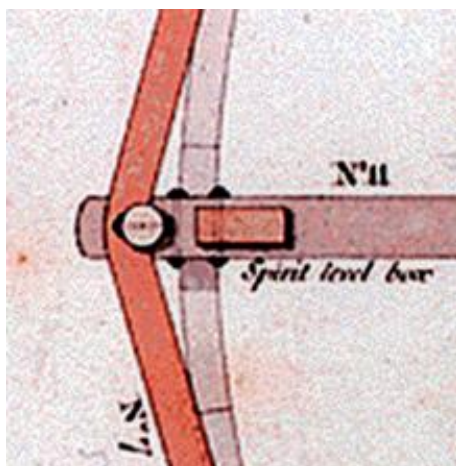


Figura 20: Posición del nivel en la estructura móvil (Plano I, serie 2).

en Londres entre 1796 (año del encargo) y 1801 (posible año del empaquetado para su traslado), y añadir cualquier otra documentación que pueda ser relevante. Debe incluir el modo de montaje y desmontaje e instrucciones para su mantenimiento.

Pere Planesas Bigas
Observatorio Astronómico Nacional
Instituto Geográfico Nacional
Ministerio de Fomento

Bibliografía

- [1] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Planos generales y particulares del Telescopio de 25 pies ingleses de largo*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid. Conjunto citado en el texto como Serie 1.
- [2] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Explicación de los Planos del Telescopio*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid.
- [3] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Planos para explicar las piezas del Telescopio segun van empaquetadas*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid. Conjunto citado en el texto como Serie 2.
- [4] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Relacion de los caxones en que va empaquetado el Telescopio y de las piezas que contienen*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid.
- [5] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Relacion de las obras de madera correspondientes al Telescopio*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid.
- [6] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Relacion de las obras de fierro y de laton &c. correspondientes al Telescopio*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid.
- [7] MENDOZA Y RIOS, José de [1801]. *Explicacion sucinta de la vista del Telescopio de veinte y cinco pies ingleses de largo*. Biblioteca del Observatorio Astronómico de Madrid.
- [8] GIL DE ZÁRATE, Antonio [1859]. *Noticia histórica del Observatorio de Madrid*. Anuario del Observatorio de Madrid para 1860.
- [9] TINOCO, José [1951]. *Apuntes para la historia del Observatorio de Madrid*. Anuario del Observatorio de Madrid para 1952.
- [10] BENNETT, J.A. [1976]. “*On the power of penetrating into space*”: *the telescopes of William Herschel*. JHA, vii, 75.
- [11] LÓPEZ ARROYO, Manuel [1978]. *El gran telescopio de W. Herschel*. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- [12] HYSOM, E.J. [1996]. *Tests of the shape of mirrors by Herschel*. JHA, xxvii, 349.