

PROCESO DE IDENTIFICACION DE AUTOR DE UN IMPORTANTE ASTROLABIO FLAMENCO EN EL MUSEO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA

AMPARO SEBASTIAN
Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

RESUMEN

La autora presenta el estudio de un astrolabio flamenco anónimo del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (Colección San Isidro), del que intenta conocer el taller donde se produjo y su autor.

La autora explica la metodología usada: Análisis comparativos del grafismo, así como de los repertorios de estrellas, signos del zodiaco y análisis metalográficos etc. para analizar la relación con otros astrolabios de Mercator y otros instrumentos de Gualterius Arsenius. Se presenta también una ballestilla del siglo XVI recientemente identificada en otro museo de Madrid.

ABSTRACT

The author presents the study of a Flemish anonymous astrolabe of the National Museum of Science and Technology (San Isidro Collection), trying to identify the possible author and workshop.

The author presents the different methods used: comparative analysis of the graphisms, star repertory, zodiacal signs, metallography, etc., specially in relation with other astrolabes by Mercator and a cross-staff by Walterius Arsenius. The author also presents a new 16th cross-staff recently identified in another of Madrid museum.

Palabras clave: Astronomía, Navegación, Astrolabio, Flandes, Siglo XVI, Ballestilla, Gualterius Arsenius, Mercator, Juan de Rojas, Lovaina.

1. Introducción

Siguiendo con la línea de trabajos de investigación que vamos desarrollando en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología (desde ahora

MNCT), y dentro de lo que hemos ido llamando *Arqueología de la Ciencia* [JIMENEZ, MARTINEZ, y SEBASTIAN, 1995 y GUIJARRO, JIMENEZ, y SEBASTIAN, 1994], enlazada a esa historia de la ciencia que incluye en su trabajo el análisis de los instrumentos, parece importante intentar avanzar en el conocimiento de muchos de los objetos de nuestra colección que siguen haciéndonos guiños con los que nos retan a intentar avanzar en su conocimiento.

Sin duda están en los instrumentos las claves de muchas respuestas que hoy no tenemos, respecto a las que fueron condicionándose tanto los avances técnicos respecto a los científicos, como al revés. Es obvio que un instrumental más refinado y sofisticado técnicamente permitía la posibilidad de llevar a cabo nuevos trabajos, como algunos autores habían visto hace muchos años [BOFFITO, 1982], y hacerlo con mayor seguridad en los cálculos. Un conocimiento matemático más complejo y avanzado iba a permitir la construcción de nuevo instrumental para avanzar en determinados cálculos que antes no podían ser planteados. Para avanzar en este conocimiento, vamos desarrollando los trabajos de tipo histórico, analítico y arqueológico, realizados directamente sobre el instrumental como el que ahora se presenta.

El MNCT cuenta entre sus instrumentos más antiguos con un astrolabio universal anónimo en latón de la segunda mitad del siglo XVI, procedente de la Colección del Instituto San Isidro, cuyo origen primero hay que centrarlo en la Real Academia de Matemáticas [MARTINEZ VALDES, 1941, pp. 19-21 y SANTISTEBAN, 1867, pp. 1-29], aunque la fecha exactamente no coincida con la de la creación de la Academia. Este instrumento permaneció hasta 1985 en el Instituto San Isidro, heredero de la Real Academia y del Colegio Imperial, desde donde pasó al museo, junto a otros objetos de la misma colección.

El instrumento debió ser adquirido por Felipe II o alguien de su entorno en Lovaina, ya que es bien conocida la vinculación de Carlos V y Felipe II con el ámbito flamenco de los constructores-matemáticos, como Mercator, así como su relación con el teórico Frisius, su hijo Cornelius, y con el taller de su sobrino Gualterius Arsenius cuando Mercator abandonó Lovaina, dado que Arsenius continuó el taller en el que el mismo Mercator había fabricado los instrumentos intelectualmente planteados por G. Frisius. Otro personaje que no hay que ignorar dentro de ese marco histórico es el arquitecto de Felipe II: Juan de Herrera. El inventario realizado a su muerte de todos sus bienes [CERVERA, 1977], figuran varios instrumentos que podrían haber pasado a la Academia, dadas las vinculaciones de Herrera con el rey y con la Academia.

Al astrolabio del MNCT le faltan algunos elementos. A pesar de ello la calidad del instrumento es apreciable en primer lugar en sus materiales, así como en el cuidado de su grabado y en el trazado de cada uno de sus elementos, lo que me motivó a investigar sobre él, a través de un planteamiento arqueológico afín con mi disciplina académica, para intentar llegar a una datación fiable, un origen (ciudad y taller de producción) y una posible atribución de autor.

Hace ya muchos años que García Franco, pionero en estos temas, incluyó unas hipótesis interesantes en relación con nuestro astrolabio en uno de sus trabajos: *Catálogo crítico de astrolabios existentes en España* que dada la falta de otros estudios posteriores sigue siendo de referencia obligada [GARCIA FRANCO, 1945, pp. 261-263, más fotos 31 y 32]. No hay que olvidar que García Franco apuntó que es un instrumento del *tipo de los hermanos Arsenius, Coignet, etcétera*, aunque nunca realizó un estudio muy profundo.

Se estudian ahora distintos aspectos: elementos físicos y científicos, así como sus componentes: los elementos de medición presentes, la grafía utilizada y otras variantes específicas que aparecen frecuentemente como constantes de cada autor o taller, así como la composición metalográfica o el repertorio de estrellas utilizado que, como el resto de información, se pone en relación con constantes culturales que aparecen en otros instrumentos de fecha y autor conocido, para abrir la vía comparativa.

Dado que desde hace algún tiempo observaba algunos paralelos entre éste astrolabio y el de Felipe II, fui analizando las semejanzas con otros instrumentos de su autor. El astrolabio del MNCT no sigue fielmente el planteamiento de Frisius, que si aparece en otros astrolabios flamencos, como el de Felipe II del Museo Arqueológico Nacional (desde ahora MAN) de Arsenius, el del mismo autor de la colección de *Arts et Metiers*, el del Museo del Cincuentenario (Bruselas) y en otros [GARCIA FRANCO, 1945, p. 30]. En este caso estamos ante un astrolabio universal con elementos de Frisius, como el cuadrante náutico, pero con un planteamiento universal en el dorso que se debe a Juan de Rojas, quien a su vez fue también discípulo de Frisius. Otro fabricante a tener en cuenta en principio como posible autor era Mercator.

2. Elementos del astrolabio anónimo del siglo XVI del MNCT (Num. inv. 85/4/362) (Lams I a III y Figs. 1 y 2)

El astrolabio del MNCT consta en la actualidad de la madre, una lámina y la alidada.

- *El trono* (Fig. 3). Es muy original y sencillo y está soldado a la madre. Es bien conocido que el trono y la araña son unos de los elementos principales

para identificar a los autores de los astrolabios, cuando responden a rasgos identificados en otros trabajos desarrollados por fabricantes conocidos, pero en este caso este elemento separa en principio a nuestro astrolabio de los astrolabios de Mercator (1512-1594) y de Arsenius más conocidos. Sin embargo el parecido con el trono del astrolabio de Arsenius del Museo Nacional de Historia de Méjico (desde ahora MNHM) es sorprendente (Lams. IV a VI) [FERNANDEZ VILLAR, 1986, Lam. 8], dado que además se trata, al parecer, del más antiguo conocido de este autor, realizado en los primeros años: 1554, puesto que Mercator estuvo en el taller hasta 1552, fecha en que salió de Lovaina hacia Duisburg, de donde no regresó.

El astrolabio de Méjico (Lams. IV a VI) está fechado y firmado: *Authore Gema Frisio et exaratu a Gualtero Arsenio Lovanij, 1554*, y curiosamente parece que es uno de los pocos casos en que parece aclararse que el autor intelectual es Gema, mientras que el grabado se debe a Arsenius, y que la colaboración entre ambos debió ser muy positiva. Las colaboraciones de Frisius para la fabricación de globos con Gaspar de Myrica y Mercator, donde también se reflejan los nombres de todos ellos son bien conocidas [WATELET, 1994, pp. 78-79]. En la colección *Mensing (Adler Planetarium* de Chicago existe otro astrolabio firmado por W. Arsenius en 1558 con un trono muy similar a los del MNCT y al de Méjico [EUNTHER, 1976].

Esto aconseja que se estudien con atención algunos de los astrolabios de nuestro país, puesto que las sorpresas surgen en cada momento; por ejemplo existen elementos como la araña de un astrolabio de la Escuela Náutica de Cádiz (ahora en el Museo Naval) (Lam VII) [GARCIA FRANCO, 1945, Fig. 64], cuyo diseño es muy similar al que aparece en el retrato póstumo de Frisius (1508-1555) [TURNER y DEKKER, 1993, Fig. 12] realizado en 1557.

- *La madre* (Lam. I). En su faz se grabaron las horas en numeración romana en dos series de I a XII y los grados en cuatro series de 0-90. En su dorso, como sucede a menudo en otros astrolabios de las colecciones españolas aparece la proyección ortográfica de Juan de Rojas de la esfera celeste (Lams. II y Fig. 2).

La madre mide 33 cms. de diámetro, lo que supone un tamaño medio muy habitual y cuenta como adelantábamos con una sola lámina. Lo primero que sorprende al estudioso de estos temas, cuando tiene este astrolabio delante, es la falta de algunos elementos esenciales como la araña, el eje de rotación y el pasador, y tampoco se conserva el horizonte móvil, con el que sin duda debió contar, dada la proyección ortográfica de Juan de Rojas en el dorso de la

pieza. Algunos de estos elementos debieron desaparecer hace mucho tiempo, puesto que G. Franco ya lo señaló en 1945.

Tampoco existe en la madre la muesca que generalmente permite en otros astrolabios fijar la araña y las láminas. Estas cuentan generalmente con un pequeño saliente o denticulo en la parte superior, para poder llevar a cabo su fijación. Estas ausencias, incluidas la falta de araña y de otras láminas, son sin embargo las mismas que se observan en el pequeño astrolabio de 1563 del Museo Naval (desde ahora MN), en el que encontramos la misma proyección de Juan de Rojas (bóveda celeste) en su dorso, así como otros paralelos que habrá que analizar [GARCIA FRANCO, 1945, pp. 109-122].

Según García Franco la ausencia de fijación (dada la inexistencia de muesca y diente) es intencionada en los astrolabios que siguen la proyección de Juan de Rojas, dado que es esto precisamente lo que permite averiguar la latitud en estos instrumentos. En su opinión, para ello se utilizaban como referencia dos estrellas: podía moverse la lámina hasta hacer coincidir una de las dos estrellas hasta la zona superior donde se encontraba la hora XII, esperando entonces a que dicha estrella estuviera en medio del cielo. Entonces se tomaba la altura de la segunda, colocando la alidada sobre la hora del limbo que le correspondiese a esta estrella. Después, se señalaba con el cursor, y se movían cursor y regla hasta que el grado de la escala tocase el paralelo de la segunda estrella. El horizonte móvil marcaba así la latitud de la región [GARCIA FRANCO, 1945, p. 334].

En el dorso de la madre del astrolabio del MNCT se observan todas las características de la proyección de Juan de Rojas, formada por dos proyecciones ortográficas simultáneas y desde el infinito, en una lámina translúcida del coluro del solsticio. En ella los paralelos fueron proyectados como líneas rectas, y los meridianos por curvas elípticas a intervalos de cinco grados, teniendo señalada la línea del meridiano central, perpendicular a la que señala el Ecuador celeste. En su corona se encuentran las divisiones de los 360 grados, en cuatro series de 0-90. El fondo de la madre no fue grabado.

Juan de Rojas, personaje poco estudiado, puede ser otra de las claves para comprender la relación entre el mundo científico español peninsular y los talleres de Lovaina, dada su vinculación con Frisius. Al parecer existió un astrolabio de este matemático español en el Escorial en el que figuraba una inscripción: *Ast. uni. Joannis de Roxas* [GARCIA FRANCO, 1945, p. 30] y en nuestro museo existe otro astrolabio relacionado de algún modo con su figura [JIMENEZ, MARTINEZ, y SEBASTIAN, 1995, pp. 187-189 e Ills. 8-13].

- *La lámina* (Lam. I). mide 29,8 cms. de diámetro. En su anverso se ubican los ábacos de planimetría y altimetría con el *cuadrante de las horas* (trazado de curvas horarias) y el *cuadrado de sombras*. La importancia de esos cuadrantes se deriva de la posibilidad de medir el tiempo en *horas iguales o equinociales* de igual duración en cualquier periodo del año y cualquier latitud (uso actual), y *horas desiguales* que corresponden a la división del tiempo en doce partes iguales entre el orto y el ocaso, y otras doce para el tiempo que durará la noche, lo que significaba que la duración de las horas era variable en las distintas épocas del año y dependiendo de la latitud en que se encontraran.

Varias coronas con distintas divisiones rodean a los anteriores, y con ellas se pueden realizar diversas mediciones. En su parte exterior fueron grabadas las divisiones de 360° en series de 10-20-30, que son los grados que corresponden a cada signo del zodiaco; y conectados con ellos, en la siguiente corona, aparecen sus nombres en latín y los signos correspondientes; a continuación los días del año: 0-31 (Enero), 0-28 (Febrero) etc., los meses del año con su identificación en números romanos, y en la corona interior dos círculos con nombres de estrellas.

Los cuadrantes de las horas se encuentran en la mitad superior, enmarcados por las coronas mencionadas. El trazado de las curvas horarias (horas desiguales, con las curvas de horas iguales *ante meridiem* y *post meridiem*) incluye desde el principio de Libra al final de Piscis. En su mitad inferior se grabó el cuadrante de sombras o escala altímetra, ocupando desde el inicio de Aries al final de Virgo, dividido por una línea que señala dos pequeños cuadrados, divididos a su vez por una línea que hará en cada uno de ellos de línea hipotenusa de los dos triángulos que se han formado. En la parte inferior de estos cuadrados se repite: *Vmbra recta* y en las dos mitades ascendentes del trazado del cuadrado *Vmbra Versa* (Fig. 4). Hay que señalar que estos ábacos de planimetría y altimetría fueron muy usados y difundidos por Gemma Frisius y Juan de Rojas [GARCIA FRANCO, 1945, p. 118].

Los inicios de las estaciones del año comienzan en este como sigue: Aries: 10'3 de Marzo (Fig. 5), Cáncer: 11'6 de Junio, Libra: 13 de Septiembre y Capricornio: 11'5 de Diciembre. La fecha de Aries: 10'3 de Marzo corresponde en opinión de García Franco con una fecha de construcción del instrumento en 1606, si el astrolabio hubiera sido construido en un país que hubiera aceptado la reforma del calendario, y una fecha coincidente con la corrección gregoriana (1582) si se hubiera construido en un país que no hubiera aceptado de inmediato la reforma y además la medida de 10,3 hubiera tenido un error de un par de décimas, siendo en realidad el valor de $f=10,5$ para el inicio de Aries [GARCIA FRANCO, 1945, p. 262 y GARCIA FRANCO,

1959, p. 62]. Sin embargo parece bastante extraño que un astrolabio flamenco tan cuidado como éste, pueda tener un error semejante.

El reverso de ésta su única lámina está ocupado por el cuadrado náutico (Lam. III y Figs. 6 y 7) que tiene grabada la rosa de los vientos enmarcada por un cuadrado cuyos lados tienen la posibilidad de medir de 0º a 90º. La corona enmarcada en el cuadrado contiene los nombres de los vientos: Apracticus, Aquilo, Cecias, Subsolanus, Vulturmus, Euroauster, Auster, Libonatus, Aphricus, Favonicus, Corus, y Circius. Coincidiendo con las esquinas del cuadrado: Grecco, Syrocho, Magistralis, Lebeccio. En el centro se grabaron todos los nombres de las distintas direcciones de los vientos en un flamenco arcaico que se mezcla con una terminología latina. Aparecen: Noord Septentrio, Noord ten Oosten, Noord noord Oost etc. No es el único astrolabio en que aparecen, ya que en la madre del astrolabio del Museo Naval que G. Franco llama *Nº 5*, aunque de modo abreviado parece que se ha usado también el flamenco, y según este autor es de un astrolabio de 1570 [GARCIA FRANCO, 1945, p. 183], y también aparecen en el de 1563 del mismo museo.

En la parte superior de nuestro cuadrado náutico aparece grabado con un modo muy cuidado: *Quadratû Nauticû* y en un nivel inferior *Longitudo minor Occidentalior*. A la derecha de esta última inscripción *Longitudo maior five Orietalior*. En la zona izquierda encontramos: *Latitudo maior aut Borialior* y *Latitudo minor vel Australior*. El tipo de tratamiento de sus materiales, así como la calidad del trazado y la denominación en flamenco de todos los nombres de los vientos grabados en el cuadrado náutico, muestran su vinculación con un centro flamenco con origen en el siglo XVI.

Como es bien conocido, parece que el cuadrado náutico fue diseñado por G. Frisius, y a él se refiere en sus comentarios a la *Cosmographia de Pedro Apiano* y en *De Astrolabo Catholico Liber* en 1556. Otros constructores a los que vinculamos con su taller, como sucede con Coignet, discípulo suyo, lo incluyeron en sus astrolabios. Sin embargo existen algunas diferencias entre el cuadrado náutico que aparece en nuestro astrolabio y por ejemplo el de Coignet (M.N.), pues en este último no aparecen las orientaciones de los vientos, ni ninguna palabra en flamenco. En el suyo sólo se grabaron los nombres de los siete vientos principales, y dentro de la rosa de los vientos, sólo aparecen las líneas que señalan su orientación, quedando todo ello enmarcado como en el del MNCT. Además en capital romana se pueden leer en sus lugares correspondientes: *Septentrio*, *Oriens*, *Meridies* y *Occidens*.

La ausencia de otras láminas en el astrolabio de MNCT sin duda se relaciona con la presencia de la proyección de Rojas, dado que ésta hace

innecesarias las láminas para diversas latitudes; y eso mismo sucede en el astrolabio de 1563 del MN (sin autor conocido) en el que también aparece la proyección de Juan de Rojas en el dorso [GARCIA FRANCO, 1945, pp. 109-122]. Además de esto, como ya hemos señalado, tampoco aparece en este astrolabio el dentículo ni la muesca para su fijación. Otros paralelos entre estos dos instrumentos son la presencia en ambos del cuadrante de conversión de horas iguales y desiguales; así como la del Cuadrante Náutico.

Entre los astrolabios flamencos de las colecciones españolas revisados hasta ahora hemos podido comprobar la presencia de cuadrado náutico en:

- El de Coignet de 1598 ya mencionado (MN); que cuenta con la proyección de Gemma Frisius en el dorso de la pieza.

- El astrolabio de 1563 (MN), en cuyo dorso también se encuentra la proyección de Juan de Rojas de la bóveda celeste.

- El de Felipe II (MAN), en el que está situado en el fondo de la madre. Los nombres de los vientos aparecen en latín, en el que en este caso se entremezcla lo que debe ser italiano arcaico *4ª dimezzodi verso Sirocco*.

- El de Coignet-Arsenius de 1618 (MAN), con el cuadrado náutico ubicado en el fondo de la madre.

- El de la Escuela Náutica de Cádiz (ahora en el M.N.).

Para finalizar este apartado conviene recordar que aunque Maddison sugirió que el astrónomo J. de Rojas pudo rentabilizar o usar las ideas sobre un planteamiento *universal* de un instrumento descrito por Hugo Helt (Maddison 1966), aun reconociendo la calidad habitual de los trabajos de Maddison, debe recordarse que no existe evidencia de plagio ni de otro tipo de apropiación intelectual poco clara. A nadie se le olvida que el astrolabio universal de Azarquiel [PUIG, 1987] es otra original creación española, que sin duda debió ser tenido en cuenta por Rojas, y por otro lado, como vamos viendo, en el s. XVI existen elementos comunes en los astrolabios flamencos (Arsenius, Mercator, Coignet, Zeelst), dado que todos ellos como el propio Rojas se relacionan con la escuela de Frisius. A ese nivel tampoco debe extrañar la transmisión de ideas entre dos amigos como Helt y Rojas, cuando además no puede asegurarse que cuando se habla de la utilidad para varios lugares del reloj de sol de Helt, se refiera a una proyección como la de Rojas [ROJAS, 1550]. De hecho no existe siquiera un dibujo preciso que nos permita conocer su planteamiento.

A nadie escapa tampoco que Helt siempre se refiere a su *reloj*, incluso en el título de su libro:

"Declaración y uso del reloj español entretexido en las armas de la muy antigua y esclarecida casa de Roias, con el mesmo reloj agora nuevamente compuesto por Hugo Helt Frisio. Y romançado por Francisco Sanchez natural de Braças, con algunas adiciones del mesmo. Año MDXLIX" [HELT, 1545].

Sin embargo citado en 1550 se publicó el libro de Juan de Rojas *Commentariorun in Astrolabium, quod Planisphaerium vocant....* en él que aparecen no uno, sino sesenta y tres xilografías relacionadas con la construcción y uso de su astrolabio. La figura de Juan de Rojas parece de indiscutible interés, especialmente si recordamos que contó con un gran maestro como G. Frisius [GARCIA FRANCO, 1945, p. 26], un amplio conocimiento de matemáticas. así como un amplio bagaje intelectual que incluía un buen conocimiento del griego, latín, etc. con el que pudo analizar los clásicos. En un ambiente en el que otros matemáticos andaban tras los pasos de los planteamientos universales, no existe la evidencia de que otro autor explicara en una publicación y con anterioridad la proyección de Rojas. Como ha sucedido tantas veces en la Historia de la Ciencia (Telescopio, Microscopio) es difícil asegurar determinadas autorías en un momento en que en varios lugares o varios autores trabajan un mismo proyecto, pero sin duda, nadie en la actualidad discute con rigor la autoría de la proyección del ilustre y universal español. El camino contrario nos llevaría a revisar todas las fuentes e influencias de cada nuevo planteamiento surgido en cada país, especialmente en esos periodos.

3. Análisis comparativo con el contenido de otros astrolabios flamencos

Para estudiar los posibles paralelos con otros astrolabios, había que comenzar entre otras cosas con el análisis del planteamiento y de la organización del contenido de sus láminas, (que son las que muestran el uso), así como con el de otros datos objetivos como es la utilización de determinados repertorios de estrellas, cuyos nombres aparecen grabados en los astrolabios y la elección de sus signos astronómicos. Igualmente significativos suelen ser su graffía y la forma del trono, ya que la ausencia de araña en el nuestro no permitiría un análisis comparativo tan importante.

Para iniciar esta vía nos hemos apoyado especialmente en determinados trabajos de carácter general sobre los astrolabios universales [SAUNDERS, 1984, pp. 55-81] y otros muy específicos y recientes como los publicados por

G. Turner y E. Dekker en los que estudian varios astrolabios que atribuyen a Mercator, cuya metodología ha sido de gran ayuda [TURNER y DEKKER, 1993 y TURNER, 1994].

La información recogida por G. Franco sobre muchos astrolabios con origen en los talleres flamencos, entre los que incluye el importante astrolabio de Felipe II (MAN) fue también esencial en principio. Pudimos analizar este astrolabio en su museo, lo que nos ayudó en una primera aproximación a compararlo con el repertorio y formas de denominación que aparecen en el del MNCT, además fueron estudiados los Arsenius del museo de Florencia y del de Oxford. No hay que olvidar sin embargo, que nos movemos en un terreno en el que, como ya hemos ido viendo, las conexiones e influencias entre algunos de los constructores de instrumentos flamencos son evidentes e históricas [WATELET, 1994]. Dato significativo es que Mercator fuera el encargado de convertir en realidad los planteamientos del matemático Gemma, siendo posteriormente Arsenius su sucesor en el taller. Quizá conviene también recordar que Gemma Frisius (1508-1555) estuvo diseñando globos y probablemente otros instrumentos desde 1529, que eran más tarde grabados por un joyero y grabador conocido como Gaspar de Myrica, quien a su vez se uniría en 1536 Gerard Cremer, conocido como Mercator (1512-1594), que antes de ser conocido como cartógrafo, lo fue como constructor de instrumentos y como calígrafo, llegando a publicar su conocido tratado: *Litterarum latinarum...scribendum ratio* en 1540, que sería guía para otros muchos constructores [MERCATOR, 1540; CROISET, 1994, pp. 151-162 y TURNER, 1987, p. 48]. De hecho aunque Mercator dejó el taller de Lovaina en 1552, su estilo de escritura se siguió usando en el taller de Frisius, al menos hasta que Arsenius dejó de fabricar instrumentos hacia 1574, lo que ayuda a entender los paralelos tan notorios en algunos casos. Otro dato de interés es que Mercator como hicieron otros constructores no firmó sus instrumentos. Sólo en uno de ellos (el de Brno) aparecen sus iniciales [TURNER, 1994, Fig.1]. Por otro lado el taller de Arsenius fue continuado por Erasmo Habernel hasta 1588, quien al parecer continuó una línea de diseño muy similar.

En este trabajo ya han sido señaladas algunas conexiones entre los astrolabios flamencos de las colecciones españolas. Vimos por ejemplo que los nombres de Rojas y Coignet, ambos discípulos de Frisius, presentan planteamientos similares, y con ello queremos comenzar a plantear que el astrolabio del MNCT no está aislado. Además ninguno de los instrumentos antiguos de astronomía de esta calidad en el MNCT son fruto de compras recientes, estando además la colección vinculada en origen a las instituciones reales.

Para enmarcar un ámbito más amplio hay que ver en este panorama no sólo la existencia del interesante conjunto de astrolabios flamencos en España a los que ya nos hemos referido (MAN, MN), pues habría que añadir a los del Instituto de Valencia de Don Juan y otros astrolabios flamencos de los grandes museos europeos y americanos (Museos de la Ciencia de Oxford y Florencia, más el Adler Planetarium y el Museo Nacional de Historia de Méjico).

3.1. *Análisis de la grafía*

La grafía de nuestro astrolabio muestra de un modo general su semejanza respecto a la utilizada en otros astrolabios flamencos: Astrolabio de Arsenius (Felipe II) del MAN (52069) ya citado, Astrolabio Coignet del MAN, Astrolabio de Zeelst del MAN, Astrolabio de Mercator del Museo de la Ciencia de Florencia (IC 490) (desde ahora MCF), Astrolabio de Augsburgo (IC 4609), Astrolabio de Brno (IC 4608), o el Astrolabio europeo del Instituto de Valencia de Don Juan [GARCIA FRANCO, 1945, pp. 267-271 y Fot. 34]; sin duda aunque hablemos de distintas procedencias (diferentes talleres), los más importantes marcaban un estilo y concepto que era continuado por otros constructores que, en la mayoría de las ocasiones, debieron seguir las pautas marcadas por Mercator [TURNER y DEKKER, 1993, pp. 427-429 y UCHELEN, 1994, pp. 151-162], Frisius y Arsenius.

3.1.1. Estudio comparativo entre las grafías de nuestro astrolabio, y varias piezas de G. Arsenius: el astrolabio de Felipe II (MAN), las ballestillas del British Museum y la del MNCT, así como la que hemos atribuido al mismo autor (MAN)

En el MNCT contamos con la magnífica ballestilla de Gualterius Arsenius (Lam. IX y Fig. 8), realizada según los criterios de G. Frisius, firmada en Lovaina en 1563, que es la más antigua conocida y conservada completa en el mundo [JIMENEZ, MARTINEZ, y SEBASTIAN, 1995], existe otra muy semejante en el British Museum (desde ahora BM) (Figs. 9 a 11), fechada en 1571, más la recientemente identificada como tal en el MAN, con origen en el mismo taller que la nuestra, y esto permitió realizar un análisis comparativo de su escritura. A las del MNCT y B.M. se ha referido muy superficialmente una reciente e interesante publicación, probablemente por estar dedicada a las ballestillas navales [MÖRZER, 1994].

Como es bien conocido el diseño de la ballestilla de Frisius, llamada por el *radius astronomicus seu geometricus*, aludiendo a sus distintas aplicaciones fue muy original, la vara de madera estaba forrada de latón aunque mantiene las innovaciones de Regiomontanus, Werner y Petrus Apianus. Frisius aconsejaba que tuviera de tres a seis pies de longitud y un solo *transversarius*,

aunque parece que aquellas que se construyeron bajo su dirección tuvieron 4 1/2 pies [ROCHE, 1981], lo que es equivalente a 147,5 cms. Gemma Frisius la describió en 1545 en su obra: *De radio astronómico geometrico liber* publicado en Amberes y Lovaina explicando que era un instrumento con varias aplicaciones, desmontable con facilidad, ligero y transportable. Como podemos ver en la del MNCT, ocupa muy poco espacio una vez desmontada, lo que se hace además con gran facilidad. Se usó tanto para astronomía como para realizar otras mediciones con un mismo fundamento basado en la medición de ángulos y la triangulación (navegación, topografía, etc.) y fue especialmente utilizada en los siglos XVI y principios del XVII.

Las similitudes entre la grafía de la escritura itálica de nuestro astrolabio y la ballestilla de Gualterius Arsenius del MNCT son muy claras. Lo mismo sucede con la parte de un virote de latón de la ballestilla inédita del MAN (Fig. 10) a la que ya nos hemos referido (Num. inv. 55.981. Colección Rico y Sínobas) cuyas dimensiones son: 81,3 más 5,8 del vástago de madera para introducirlo en la otra parte localizada x 1,9 x 1,9 cms., localizada recientemente por sugerencia del Dr. R. Anderson, cuyo estudio más profundo será acometido más adelante, aunque parece que podemos atribuirle por sus características al mismo autor. Ahí puede leerse: *Locus status transversarij y Graduum numerus et ordo* con la misma grafía en letra itálica, única que aparece en la del B.M. y la del MNCT (Figs. 12 y 13). La inicial "L" (Locus) del MAN es sin embargo más parecida a una capital romana que a una mayúscula itálica, y lo mismo sucede con una "E" mayúscula que aparece en otra de sus caras aunque ello no impide establecer un paralelo muy claro con las otras dos ballestillas firmadas.

En las tres aparece una pequeña rosa de los vientos asociada a la inscripción que indica la correcta situación para el *transversarius*. La del MNCT y la del BM tienen además la inscripción: *Nepos Gemmae Frisij Lovany fecit* y la fecha de 1563 en el MNCT y 1571 en la del BM, a lo que hay que añadir las iniciales de GAL (Gualterius Arsenius Lovaina) en la del MNCT. Esto falta en la del MAN, ya que sólo se ha localizado por el momento la parte anterior del virote.

El astrolabio de Felipe II (Gualterius Arsenius, 1566) presenta también en su grafía unos paralelos evidentes con la del astrolabio del MNCT. *En su araña* no existen capitales romanas, sin embargo los meses del año se han escrito con unas minúsculas romanas de doble tamaño que las empleadas para escribir en la araña los nombres árabes de algunas estrellas principales. El paralelo puede observarse mejor respecto a esta escritura, dado que el gran equilibrio entre altura y anchura y la falta de ligaduras que sin embargo

emplean otros autores como Mercator (por ejemplo en October entre c-t) no aparece aquí en ningún caso, como tampoco sucede en nuestro astrolabio con las minúsculas romanas. En ningún caso aparecen estas letras condensadas.

También hay que señalar que tanto los puntos de las *i* de las minúsculas romanas como de las itálicas son en el astrolabio de Felipe II un punto prolongado hacia abajo (a veces casi un minúsculo triángulo). La *e* minúscula romana cierra muy alto, pero quizá de un modo menos rígido que en el MNCT, donde cierran bajo la curva superior en un sentido horizontal respecto a su línea imaginaria de asentamiento de la línea. La *g* minúscula romana es muy semejante a la del astrolabio del MNCT, pudiendo verse que el trazo inferior es también de mayor tamaño que la parte superior de la letra.

Entre las letras itálicas de la araña del astrolabio de Felipe II no existen *E* mayúscula con la silueta de 3 en imagen especular, que sin embargo si aparece en su cuadrado náutico. Esa *E* aparece también en el astrolabio de Mercator (Museo de Florencia) en una ocasión, al escribir el nombre de una estrella: *Extr: man: dex: Oph::* en la araña. Sin embargo toda la escritura itálica de la araña, el dorso de la madre y cada uno de los otros elementos del de Felipe II son muy semejantes a los de nuestro astrolabio y nuestra ballestilla. Uno de los rasgos notables es el idéntico trazado de los lazos que sobrevuelan a las letras produciendo las uniones entre x-t, c-t y s-t en los dos astrolabios (Felipe II y MNCT).

En el dorso del astrolabio de Felipe II del MAN, donde se encuentra la proyección de Frisius de la bóveda celeste, la escritura itálica asociada a los nombres de las estrellas presenta paralelos evidentes con la empleada en el astrolabio del MNCT. Lo mismo sucede con el resto de la escritura de los otros elementos de ese astrolabio. Tan sólo en el cuadrado náutico, grabado en el fondo de la madre, las capitales romanas que fueron trazadas y grabadas con una belleza y un equilibrio sorprendente se diferencian de las del MNCT. Probablemente al ser de mayor tamaño el de Felipe II y contar con más espacio para una misma información el grabador empleó unos trazos muy sencillos y elegantes en las capitales de: LEBECCIO, OCCIDENS, MERIDIES y otros términos, que no aparecen en el del MNCT. El resto de la grafía itálica es muy semejante, con un trazado y ejecución que muestran un mismo modelo, equilibrio y buen hacer. Sin embargo la grafía y calidad del grabado de la inscripción *Philippo Rege* parece haber sido realizada por otra mano y con otro concepto. Esto nos lleva a plantear que quizá esa inscripción no fue realizada en el mismo taller que produjo este instrumento. Los mismos paralelos pueden establecerse respecto al astrolabio de Arsenius de Florencia.

3.1.2. Estudio comparativo entre la grafía de los astrolabios de Mercator y el astrolabio anónimo del MNCT

Aunque en un principio y de modo general la grafía parece semejante en muchos astrolabios de cronología coincidente, siguiendo las indicaciones que señalan Turner y Dekker observamos algunos paralelos y diferencias respecto a la utilización y escritura de los repertorios de *letras de tipo romano* y *letras itálicas* utilizadas por Mercator, para poder descartar, en su caso, la posible autoría mercatoriana de nuestro astrolabio que en un principio podría haberse planteado como hipótesis.

En alguno de ellos, como sucede con el astrolabio de Florencia de Mercator, especialmente, podría admitirse la existencia de paralelos generales con el del MNCT, dadas las grandes similitudes de grafía y de planteamiento de alguna de sus láminas, y especialmente al analizar en ese mismo instrumento el planteamiento de las líneas horarias y el semicuarto de las sombras. En ambos, su grafía es de una gran belleza y equilibrio, además de mostrar una gran maestría y, en principio, parece que se han seguido las mismas pautas. A pesar de ello, siguiendo los análisis de Turner y Dekker observamos variaciones significativas. Hay que tener siempre presente que la caligrafía de Mercator iba a ser seguida como modelo por la mayoría, dada la aceptación de sus normas caligráficas.

Respecto al repertorio de letras de tipo romano se observa que:

- Como sucede en los trabajos de Mercator, también en astrolabio del MNCT las mayúsculas y minúsculas romanas mantienen gran equilibrio y proporción entre altura x anchura, no aparecen condensadas las letras, y además los espacios entre letras son muy regulares.

- En ocasiones existen paralelos claros entre los modelos mercatorianos y el trabajo del autor del MNCT, como sucede con la palabra *Augustus*, que fue escrita en el del MNCT (Fig. 14) como en la araña del astrolabio de Mercator de Florencia [TURNER y DEKKER, 1993, Fig. 13], con el mismo tipo de *ligadura* entre la *s* y *t*, utilizando la *S* larga que se une en su arranque con la parte superior de la *t*.

- Otras constantes que son indicativas de un tipo de grafía personal en Mercator no aparecen sin embargo en el del MNCT:

- Los puntos de las *i*, en nuestro caso ni son alargados ni inclinados hacia la derecha (Figs. 15 y 16). En casi todos los casos, en el MNCT son puntos breves con tendencia a tener forma real de punto prolongado hacia abajo y están bastante centrados sobre la letra (forma invertida de una gota de agua). Esa silueta es una constante en los

instrumentos de Arsenius analizados. Mercator emplea, sin embargo, esa forma de *gota* en su correcta posición. Curiosamente los puntos de las *i* no fueron grabados en un 90% en la araña de su astrolabio de Florencia, algo que no sucede en los instrumentos de Arsenius ni en el astrolabio del MNCT (en sus distintos elementos).

- Otro dato de igual significación parece el de la forma de la *e*, pues en contra de lo que se observa en el astrolabio de Florencia de Mercator, en el nuestro es una constante que el cierre superior de esa letra sea inclinado cerrando a un nivel muy alto la letra (Fig. 17), como sucede en los otros instrumentos de Arsenius citados.
- Las ligaduras entre *ct* y *st* con *s* larga no son frecuentes en las letras romanas de nuestro astrolabio, como parece que se repite en los instrumentos de Mercator. No existe ligadura en dos ocasiones: *Apracticus* (Fig. 15) en el cuadrado náutico, y en *October* (Fig. 18) en la cara principal de la lámina, como sucede en el de Mercator. Sin embargo si que existe en *Magistralis*, en el cuadrado náutico y *Augustus* (Fig. 14) en la cara principal de la lámina.
- Contrastando con lo que sucede en el astrolabio de Mercator de Florencia, en el del MNCT el lazo de la *g* minúscula romana es de mayor tamaño que la parte superior de la letra, muy redondeado y descendente, en las únicas palabras en que aparece: *Magistralis* y *Augustus*. Al parecer Mercator realizaba la parte inferior de la *g* en relación con el espacio disponible.
- En contra de lo que sucede en el astrolabio de Florencia atribuido a Mercator, ni las capitales ni las minúsculas romanas aparecen condensadas en el del MNCT.

Respecto a las constantes de uso de la letra itálica se observa que:

- En contra de la alternancia de uso en la *E* mayúscula en el astrolabio de Mercator de Florencia, en el nuestro, las dos veces que aparece la *E* mayúscula itálica tiene la silueta de un 3 en imagen especular (Fig. 19), y en ningún caso con la silueta aproximada a la capital romana.
- Respecto a la ligadura de la *s* minúscula itálica larga mercatoniana, debemos señalar que sólo se usa en dos ocasiones en este tipo de letras en el cuadrado náutico del astrolabio del MNCT, para nombrar en flamenco a los vientos: *Noord Oosten noord* y *Noord Noord Oost*. Sin embargo en cuarenta y seis ocasiones se enlazan *s-t*, *w-t*, *c-t* y *x-t* mediante un lazo variable de tamaño que las sobrevuela (Figs. 20 Y 21).

3.2. Análisis comparativo de los nombres de las estrellas que aparecen en los instrumentos de Mercator (según Dekker y Turner) y Arsenius, y los que aparecen en el astrolabio del MNCT

Además de presentar un cuadro comparativo de los repertorios de estrellas usados por Mercator, Arsenius y el autor del astrolabio del MNCT, a continuación aparece otro listado de los nombres de las estrellas que hemos podido leer en el de Felipe II del MAN.

MERCATOR (Según Turner y Dekker)	ASTROLABIO MNCT	ARSENIUS (Según Turner y Dekker + G^a. Franco)
1. Cassiop:pect		1. Cassio: pec
2. Cauda Ceti		2. Cauda Ceti
3. Media cinguli Andr:		3. --
4.--		4. Andro: ôbili
5. Venter Ceti	5. Venter Ceti	5. Venter Ceti
6. Medusae cap.		6. Meduse Caput
7. --		7. Persei lat' dex:
8. Naris Ceti		8. Nares Ceti
9. Pleaiad med:		9.--
10. Oculus (Tau)	10. Oculus Tauri	10. Oculus (Tau)
11. Hircus	11. Hircus	11. Hircus
12. Orionis sinister pes	Orionis. (Puede ser de 12 a 15)	12. Orio: sinis: pes
13.--		13. Orionis sinister humer'
14.--		14. Cinguli orio: media
15. Orionis dex: hum:	15. Dexter hume Orionis	15. Orio: dex: hume:

MERCATOR (Según Turner y Dekker)	ASTROLABIO MNCT	ARSENIUS (Según Turner y Dekker + G^a. Franco)
16. Canis maior	16. Canis maior	16. Canis maior
17. Gemini	17. Caput II antecedentis y Caput gemini antecedentis	17. Caput (Gem) antecedentis
18. Gemini		18.--
19. Canis minor	19. Canis minor	19. Canicula
20. Hydrae lucida	20. Lucida Hijdrae e Hijdrae Clara	20. Hijdrae clara
21. Cor (Leo)	21. Cor Leonis	21. Cor (Leo)
22. Vrsa maior/1	22. (o 24,26,28,32 o 34) Extrema cau de vrsae maioris	22. Vrsa maior/1
23. Fundus vasis		23. Crateris Fundus
24. Vrsa maior/2		24. Vrsa maior/2
25. Dorsum (Leo)		25. Dorsum leonis
26. Vrsa maior/3		26. Vrsa maior/3
27. Cauda (Leo)	27. Cauda Leonis	27. Cauda leonis
28. Vrsa maior/4		28. Vrsa maior/4
29. Ala detra Corui		29. Corui ala dextra
30. Vrsa maior/5		30. Vrsa maior/5
31. Spica (Vir.)	31. Spica Virginis	31. Spica Virginis
32. Vrsa maior/6		32. Vrsa maior/6
33. Vrsa maior/7		33. Vrsa maior/7
34. Arcturus	34. Arc^turus	34. Arcturus

MERCATOR (Según Turner y Dekker)	ASTROLABIO MNCT	ARSENIUS (Según Turner y Dekker + G ^a . Franco)
35. Bootis sinis:hum:		35. Bootis sinister humerus
36. Lanx spet: (Lib)		36. Lanx boreae clarior
37. Coruna sept:		37. Corona septentri:
38. Ophiuchi pal: sin:		38. Ophiuc: sinis: manis
39. Cor (Sco)	39. Cor Scorpy	39. Cor (Sco)
40.--		40. Ophiuc: genu sinis:
41. Herc: cap		41. Caput herculis
42. --		42. Ophiuchi: genu dex:
43. Ophiu: cap:		43. Ophiuchi caput
44. Extra: man: dex: Ophi:		44. Ophiuchi ma: dex:
45. Caput Draconis		45. Caput draconis
46. Lyra	46. Lyra	46. Lijjra
47. Aquila	47. Aquila	47. Aquila
48. Cauda Cygni		48. Cauda Cijgni
49. --		49. Sinister hume (Aqu)
50.--		50. Cephei dex hume:
51. Cauda (Cap)	? Cauda Capricorni	51. Cauda (Cap)
52. Cauda (Cap)	(Puede ser la anterior)	52. --
53. Pegasi rictus		53. Pegasi rictus
54.--	54. Dexter humery	54. Dexter hume (Aqu)

MERCATOR (Según Turner y Dekker)	ASTROLABIO MNCT	ARSENIUS (Según Turner y Dekker + G ^a . Franco)
55. Crus Aquary		55. Crus (Aqu)
56. Crus Pegasi		56. Crus pegasi
57. Pegasi hum:		57. Pegasi humerus
58. Peg: Vmb:		58. Peg: vmbili:
59. Extr: ala Pegasi		59. Ala Pegasi

En el astrolabio del MNCT, aparecen también los nombres de: Canopus, Extrema caudae mai y postrema aquae fusae y Extrema cau urse maioris. Salvo postrema aquae fusae que aparece en el astrolabio de Felipe II (MAN), el resto no se incluyen en el repertorio de Arsenius ni en el de Mercator publicado por Turner y Dekker. Hay que señalar además que como puede apreciarse en el listado elaborado ahora del repertorio del astrolabio de Felipe II, existen otras pequeñas variaciones frente a ese mismo repertorio.

Se añade ahora el listado con los nombres de estrellas del astrolabio de Felipe II (Gualterius Arsenius); dado que debe ser el repertorio más extenso de Arsenius:

• *En la araña:*

Ophiuchi manus dex=
 Aquila
 Ophiuchi genu dext
 Ophiuchi caput/5
 Ophiuchi fin= manus/3
 Dexter hum: (Aqu)
 Cauda cijgni
 Lijra (previa a ella: "VUEGA")
 Caput herculis/2
 Corona septentri=
 Arcturus/1 (previa a ella: "ALRAMECH")
 Lancis boree clarior
 Mussida pegasi/3
 Pegasi humerus/2
 Pegasi rictus/2

Cephei dex= humerus/3 /previa a ella: "ALDERAIN")
 Caput draconis/3 (previa a ella: "RAS ABEN")
 Cassiopea pectus/3
 Persei lat dextru
 Andro ubilicus/3
 Pegasi umbilicus/2
 Crus Pegasi
 Dorsum ursa maioris/2
 Cauda ursa maioris/2
 Bootis sinister humerus/3
 Ala Pegasi/2
 Medusae caput/2
 Caput II antecedentis
 Dorsum (Leo)/2
 Cauda (Leo)/2

En la misma araña (bajo la eclíptica):

Cauda (Capric) (Previa a ella: "DENEBC ALCHEDI")
 Crus (Aqu)/3 (Previa a ella: SHEAT")
 Cauda ceti/3 (Previa a ella: "DENEBC KAITOS")
 Venter ceti/3
 Nares ceti/3
 Oculus (Tau) (Previa a ella: "ALDEBARAN")
 Orionis sinister humerus (Previa a ella: "BELLATRIX")
 Orionis sinister pes/1
 Cinguli orionis media/2
 Orionis dex= hum=1
 Canis maior/1 (Previa a ella: "AFCHERE ALIEMENI")
 Canicula/1 (Previa a ella: "ALGOMEIFA")
 Cor (Leo)/1 (Previa a ella: "KALB ELET")
 Hijdrae clara/2
 Crateris fundus
 Corui dextra ala/3
 Spica (Vir)/1 (Previa a ella: "AZIMECH")
 Cor (Scor) (Previa a ella: "KALB ALATRAB".

En dorso del astrolabio:

Cauda draconis
 Caput draconis
 Cauda cijgni
 Ursa maior

Hircus
 Lyra
 Caput medusae
 Caput II antecedentis
 Pegasi umbilicus
 Caput herculis
 Arcturus
 Dorsum (Leo)
 Oculus tauri
 Aquila
 Cauda (Leo)
 Canicula
 Orionis dex humerus
 Cingulum orionis
 Hijdrae clara
 Orionos finis ter pes
 Ophiuchi manus dex=
 Spica virginis
 Cauda ceti
 Canis maior
 Cauda (Scor)
 Postrema aquae fusae
 Eridani extrea

Los paralelos más claros con Arsenius se observan en: Venter Ceti, Hircus, Canis Maior (nombres también usados por Mercator), más Hijdrae Clara, Cauda Leonis, Spica Virginis, Arcturus, Lyra (ambas también con paralelo con Mercator) y Aquila.

Hemos podido ver por otra parte que Arsenius usó también en el Astrolabio de Felipe II (MAN): Caput II antecedentis, Oculus tauri, Dexter hum, Postrema aquae fusa, las cuales aparecen también en el del MNCT. Con ello vemos que hay más de *once estrellas* de uso común con *Arsenius* frente a *las que son comunes a Mercator*. Teniendo en cuenta que sólo podemos establecer comparación con diecinueve estrellas que son las que lo permiten, puede esto tomarse como un dato que aproxima a nuestro astrolabio a los trabajos de G. Arsenius.

En otro cuadro (Lam.VIII) se puede observar el diseño aproximado de los signos del zodiaco usado por Mercator y Arsenius, así como los que aparecen en nuestro astrolabio, dado que su uso por parte de cada autor suele ser redundante y esto ayuda a identificar a sus constructores cuando las piezas no se firmaron. Los signos usados por Mercator han sido extraídos de fotografías del

astrolabio de Florencia, pero indudablemente este tema requiere un estudio más minucioso.

Se han comparado los signos del astrolabio del MNCT con los usados por Mercator y Arsenius. Así, respecto a los signos de Mercator se observa el diferente uso para Geminis, dado que Mercator sitúa a Geminis en un plano horizontal, mientras que el mismo diseño se apoya en un plano inclinado en astrolabio del MNCT, como sucede en el astrolabio de Felipe II (Arsenius). Sin embargo el signo de Cáncer (dada la orientación inclinada en Mercator) es bastante semejante. Aunque parece que los signos usados para Virgo, Scorpio y Sagitario responden a una misma idea, presentan una variación que los aproxima sin embargo al planteamiento de Arsenius, como puede verse en el cuadro, pareciendo especialmente interesante la presencia del *aguijón* en el extremo derecho del trazo ascendente final, tal como sucede en el astrolabio de Felipe II. El trazo con que se realiza Leo y Capricornio es más discutible, pero parece que el del astrolabio del MNCT presenta un ritmo de curvas que le aproxima a los observados en el astrolabio de Felipe II. Sagitario es siempre una flecha y tanto uno como otro autor la cruzan con un pequeño trazo, sin embargo parece interesante señalar que mientras que Mercator orienta la flecha a izquierda, está en el astrolabio del MNCT a derecha. Respecto a Aquario, habría que comprobar si la repetición de tres *olas* presentes en el astrolabio de Felipe II y en el nuestro es una constante en otros astrolabios de Arsenius, pues parece que Mercator usa sólo dos.

4. Análisis metalográficos

En principio quisimos analizar la composición metalográfica del astrolabio y de otras dos piezas de las colecciones del MNCT (Ballestilla de Arsenius y Radio latino), cuya cronología no debe estar muy alejada de la del astrolabio y continuar si era posible con las más significativas de otros museos, como las dos piezas del MAN: el astrolabio de Felipe II y la porción de virote de la ballestilla de ese mismo museo al que ya nos hemos referido.

El método elegido, de acuerdo con el Dr. Salvador Rovira, que fue quien realizó los análisis, ha sido un sistema de fluorescencia de rayos X (Energía dispersiva), mediante la aplicación de una sonda puesta en contacto con las piezas, con lo que se consiguió una lectura informática de la composición química del material empleado en la fabricación de cada uno de los objetos que trasladamos al laboratorio del ICRBC (Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales). El sistema es en opinión del Dr. Rovira absolutamente fiable. De todos modos conviene recordar que el sistema fue empleado en otros análisis en el British Museum (que incluyen a astrolabios)

cuyos aparatos están calibrados con los del ICRBC. El sistema de fluorescencia de rayos X ha sido aplicado también a un conjunto de instrumentos del *National Maritime Museum* (Greenwich) y a otro del *History of Science Museum* (Oxford) [KING, y TURNER, 1994, pp. 183-186].

El análisis podía permitirnos avanzar un poco más en el estudio de estos instrumentos, y conocer los posibles paralelos de sus composiciones, así como la posible relación con el taller de Arsenius, sin olvidar que otros datos debían tenerse en cuenta junto a esos resultados. Desconocemos por el momento la composición metalográfica de los instrumentos de Mercator dada la falta de análisis y, siendo éste el antecesor de Arsenius, debemos pensar que probablemente no habrá demasiadas diferencias en su composición, lo que podría crear nuevos problemas si el estudio de la pieza se apoyara únicamente en este tipo de análisis.

Por ello no sólo había que analizar la composición metalográfica del astrolabio anónimo y la ballestilla de Arsenius, sino que era deseable conocer el resultado de los análisis de otros objetos con una datación y procedencia conocida. Cabía suponer que un mismo taller tendría unas pautas de comportamiento que quedarían reflejadas en la composición de sus mejores producciones durante un mismo periodo, y ello motivó que desde el principio de este trabajo intentáramos se permitiera analizar metalográficamente una pieza tan fundamental como el astrolabio de Felipe II de Arsenius, puesto que su calidad incuestionable y el nombre de Arsenius junto a la fecha de fabricación: *Gualterus Arsenius Gemmae Frisij Nepos Lovanij fecit an. 1566* grabados en la madre convierten a esta pieza en elemento indispensable para establecer cualquier comparación analítica.

Su estudio permitiría avanzar en el conocimiento del uso de materiales en las aleaciones de estas piezas y el Museo Arqueológico Nacional permitió que la pieza saliera al ICRBC junto a la porción de ballestilla que he atribuido a W. Arsenius para ser analizadas tras conocer que los primeros análisis de nuestras piezas estaban aportando datos que han ayudado a un mayor conocimiento.

Por otra parte el análisis del magnífico radio latino de nuestro museo, permitiría comparar en su caso la diferencia de composición química respecto a las flamencas de un periodo próximo. En principio la fecha del astrolabio del MNCT podía no estar demasiado alejada del radio (2ª mitad del siglo XVI), aunque su origen parece italiano y muy probablemente florentino dada su similitud con el descrito por Danti [DANTI, 1584]. El resultado de su composición metalográfica ha sido también, como se puede ver, de gran interés, precisamente por su diferente composición química.

4.1. Resultado del Análisis Metalográfico

Análisis de un astrolabio anónimo, una ballestilla de W. Arsenius y un radio latino italiano del M.N.C.T.

PIEZA	N°Invent.	Cu	Zn	Sn	Pb	Fe	Ni	As	Sb	Ag	Au
BALLESTILLA											
Transversario	85/4/478	64,67	32,63	0,60	1,63	0,10	0,05	nd	0,057	0,023	--
Pinula	85/4/478	70,15	28,44	0,007	1,15	0,04	0,17	nd	0,017	0,017	--
Virote	85/4/478	64,65	32,75	0,63	1,71	0,09	0,05	nd	0,061	0,024	--
Abrazadera	85/4/478	71,62	27,01	0,023	1,00	0,04	0,21	nd	0,048	0,02	--
RADIO LATINO											
Radio	85/4/351	72,19	25,10	nd	2,61	0,04	0,04	nd	tr	0,006	--
Mango	85/4/351	80,34	13,76	2,11	3,17	0,12	0,16	nd	0,238	0,037	--
ASTROLABIO											
Madre	85/4/362	64,23	34,86	nd	0,44	0,17	0,21	nd	0,042	--	--
Madre (dor.)	85/4/362	--	--	--	--	--	--	--	--	0,25	99,71
Plancha	85/4/362	67,27	31,79	nd	0,55	0,10	0,24	nd	0,020	--	--
Plancha (dor.)	85/4/362	--	--	--	--	--	--	--	--	0,25	99,73
Alidada	85/4/362	71,11	26,23	1,54	0,69	0,14	0,21	nd	0,039	--	--
Alidada (dor.)	85/4/362	--	--	--	--	--	--	--	--	0,63	99,37

Análisis del Astrolabio de Felipe II y una Ballestilla de W. Arsenius del M.A.N.

ASTROLABIO											
Madre	52.069	66,95	31,20	0,13	1,25	0,13	0,21	nd	0,061	0,023	nd
Madre (limbo)	52.069	68,47	29,08	0,35	1,32	0,17	0,19	nd	0,018	0,39	nd
Madre (fleje)	52.069	69,61	28,04	0,48	1,42	0,21	0,14	nd	0,047	0,021	nd
Alidada	52.069	69,63	28,44	0,47	1,13	0,13	0,14	nd	0,022	0,019	nd
Cursor	52.069	68,66	29,45	0,42	1,19	0,15	0,12	nd	0,017	0,017	nd
BALLESTILLA											
Virote (Porción)	55.981	67,02	31,91	0,18	0,48	0,15	0,04	nd	0,015	0,025	nd

En principio conviene comentar que aunque el uso del zinc está bien documentado desde el mundo romano (Familia Cassia, 20 a.C.) parece que las primeras descripciones coinciden en la mitad del XVI con Agricola, aunque el término con el relacionado sea *conterfei* [AGRICOLA, 1950, pp. 112-113, 408-410 y 354] y parece que hasta esa fecha se importaba desde el extremo oriente (China). Aunque la alta proporción del zinc de este astrolabio sorprende en principio, comparándolo con otros instrumentos de fechas anteriores, existe otro astrolabio andalusí en Granada (Nº inventario 12.115) con un alto contenido de zinc (24,8%, 26,3%: [CRADDOCK, 1990, p. 158], y aunque en el listado de Craddock aparece con datación en el siglo XVI es del s. XV (año 1418, según aparece en la publicación española [MENDOZA, 1990, p. 160]). Al parecer una proporción de 30 ó 31% de zinc es bastante normal cuando se trabaja con el método de la calamina (hasta el siglo XVII).

4.1.1 Análisis comparativo entre la composición de la Ballestilla de Gualterius Arsenius, el astrolabio anónimo del MNCT, más el astrolabio de Felipe II del mismo autor y la porción de ballestilla del MAN

Este trabajo ha dado un resultado que parece mostrar la homogeneidad de composición respecto algunos de sus elementos, destacando entre ellos el cobre y el zinc ya que son los elementos básicos y cuantitativamente fundamentales en todas las partes más importantes de los instrumentos analizados (astrolabio y radio latino), siendo el zinc, especialmente significativo de la calidad del latón.

El conocimiento actual sobre el comportamiento de los talleres en periodos posteriores a los de estas piezas, probablemente explique en parte el de los talleres de mayor nivel cualitativo del periodo que nos ocupa. Sabemos que en el S.XVIII se usa el mejor metal para los elementos fundamentales de las piezas, dejando el de refundición de restos para sus complementos y otros elementos pequeños fácilmente sustituibles. Es una premisa lógica de la que partir, que aquí parece confirmarse. Por otro lado el Dr. Rovira indicó que el análisis del metal en las partes doradas (a fuego), se hizo a través de esa capa dorada. Por ello, dado que las cantidades de plata que aparecen se explican especialmente por la aleación con el oro, sumó en éste la plata existente, ya que el sistema no permite discriminar qué cantidad de plata corresponde al latón y qué cantidad está en el dorado. En su opinión la plata se usó especialmente para poder trabajar el oro, por lo que la cantidad que pueda haber en el resto del material no sería significativo aunque existiera.

Parece que el dorado también pudiera contener una mínima cantidad de cobre que, en este caso, dada su insignificancia se sumó a la composición del latón. Conviene aclararlo para la comprensión y claridad del trabajo. De ese modo sabemos que la composición del dorado es muy aproximado, pero no

exacta. También sabemos que la técnica del dorado es a fuego porque se detecta mercurio, aunque no se ha podido obtener un resultado cuantitativo; a pesar de ello, el dorado fue en opinión de su analista realizado con oro de alta pureza, siendo todos los instrumentos flamencos analizados muy semejantes desde el punto de vista metalúrgico, separándose del radio latino, como imaginábamos. Sus latones son de muy buena calidad, especialmente por el alto contenido de zinc y, las pequeñas adiciones de estaño y plomo se relacionan en su opinión con la mayor facilidad a la hora de modelar las piezas, pero no guardan relación con la calidad del producto final.

La presencia de *cobre* (*Cu*) es muy similar en el *transversarius* y el virote (64,67 y 64,65 % respectivamente) y se observa la presencia de unas cantidades muy aproximadas en la madre y la plancha del astrolabio (64,23 y 67,27% respectivamente). Lo mismo sucede con todas las partes esenciales de los objetos del MAN (entre 67,02% en la ballestilla y 69,63% en la alidada del astrolabio de Felipe II). Contrasta con ello la irregularidad respecto a los elementos complementarios anteriores, así como la regularidad entre ellos mismos de la cantidad de cobre (pínula y abrazadera de la ballestilla) (70,15 y 71,62 %), así como su coincidencia con el otro elemento complementario del astrolabio: la alidada con 71,11%.

Algo parecido sucede respecto a la presencia del *zinc* (*Zn*), pues es también significativa cuantitativamente la relación entre la cantidad de zinc en el *transversarius* y virote de la ballestilla (32,63 y 32,75%) respecto a las de la madre y la lámina del astrolabio (34,86 y 31,79%), y su semejanza con lo que sucede en los instrumentos del MAN (desde 31,91% en la ballestilla, hasta el 29,8 y 31,20% en la madre del astrolabio de Felipe II), mientras que los elementos complementarios mantienen también un equilibrio (28,44 y 27,01% en la pínula y la abrazadera de la ballestilla y 26,23% en la alidada del astrolabio). La estabilidad y calidad de estos instrumentos se relacionan sin duda con la cantidad de zinc elegida por su constructor, lo que parece indicar que el taller eligió un comportamiento metalográfico muy regular y controlado.

Del resto de elementos cuya presencia es menos significativa, hay que destacar:

- Respecto a la *plata* (*Ag*) existe un comportamiento coherente y regular dentro de cada pieza. La regularidad entre las partes más importantes de la ballestilla (0,023 y 0,024% de transversario y virote), e incluso respecto a la pínula y la abrazadera (0,017 y 0,020%), contrastan con su ausencia aparente en la madre y la lámina del astrolabio, y decimos aparente, porque como dijimos anteriormente se ha acumulado en el dorado. El comportamiento es también sorprendentemente regular en los instrumentos del MAN.

- Se observa que el *hierro (Fe)* mantiene una regularidad muy clara en el *transversarius* y virote de la ballestilla (0,10 y 0,09% respectivamente) similar a 0,17 y 0,10 % de la madre y la lámina del astrolabio del MNCT, regularidad que se mantiene en los obreros del MAN. Sin embargo la pínula y la abrazadera son absolutamente regulares entre ellos (0,04% ambos) y se diferencian un poco más de la alidada del astrolabio con 0,14%.

- Aunque el *estaño (Sn)* mantiene una regularidad en las partes esenciales de la ballestilla (0,60 y 0,63% en transversario y virote) y unas cantidades semejantes entre sí en sus elementos complementarios (0,007 y 0,023% en la pínula y la abrazadera), no admite comparación con lo que sucede en el astrolabio, ya que sólo aparece en la alidada y con muy diferente proporción (1,54%) a las que veíamos en la abrazadera y la pínula de la ballestilla. Al parecer no es extraño que no haya estaño ni en la madre ni en la lámina. La irregularidad también existe en los obreros del MAN.

- Respecto al *plomo (Pb)*, *niquel (Ni)*, *arsenio (As)* y *antimonio (Sb)*, hay que señalar la nula presencia de arsenio (*nd* = no detectado), así como un comportamiento regular de los otros elementos en las partes más importantes de cada pieza, pero sólo respecto a ella misma, así el *plomo* es bastante regular en el transversario y el virote de la ballestilla, pero se diferencian de la pínula y la abrazadera, que mantienen a su vez una regularidad común, sucediendo algo similar en las otras piezas. Lo mismo ocurre con el níquel, mientras que el antimonio tiene un comportamiento todavía más irregular en todos los instrumentos.

4.1.2 Análisis comparativo entre el radio latino y las piezas anteriores

Como suponíamos, la diferencia entre la composición de esta pieza y las anteriores es notable. Como puede observarse es significativa la mayor cantidad de cobre de la parte elemental del radio (72,19%) respecto a las partes esenciales de los otros instrumentos. Lo mismo sucede respecto al zinc (25,10%) frente a 31,79 y 34,86% de las partes más importantes de otros instrumentos. Sólo en los elementos cuantitativamente menos significativos comienza a haber alguna aproximación entre sus metales fundamentales (hierro y níquel), siendo notable como la proporción de plomo dobla la de los instrumentos flamencos. También existe un comportamiento muy diferenciado respecto a la composición de la parte fundamental y la de su mango.

En definitiva nos encontramos ante una pieza cuya composición ayuda a confirmar frente al análisis anterior que el taller donde se produjo no seguía las pautas señaladas en las otras piezas. La mayor proporción de cobre y la menor de zinc son las diferencias más notables que dan como resultado un latón de menor calidad, especialmente en el mango. Nuevamente nos encontramos con

el ejemplo en que el elemento complementario (el mango) es más pobre en zinc (13,76%) que el propio instrumento (25,10%).

La regularidad en la composición química fundamental de los instrumentos flamencos ayuda a plantear, como hemos ido viendo, una procedencia común, de un mismo autor o taller que usa y probablemente hereda un comportamiento muy semejante.

El resultado del estudio y de los diversos análisis presentados parecen permitir que se proponga un autor para nuestro astrolabio: Gualterius Arsenius. Tanto la calidad de materiales y tratamiento, como los paralelos respecto a la forma del trono de nuestro astrolabio, así como los elementos comparativos analizados de su escritura; las estrellas en el reflejadas, y el resultado de los análisis metalográficos, son en nuestra opinión desde un punto de vista de *arqueología de la ciencia* elementos suficientes para pensar que los datos con los que hemos trabajado son significativos y objetivos. Dejamos ahora el terreno de un estudio matemático y astronómico más preciso para otros especialistas.

Respecto a su datación, la calidad del instrumento y la semejanza de su trono con el de Méjico y al de Chicago (1558), unido a lo ya señalado, parecen enmarcarlo entre 1554 (MNH de Méjico) y 1566 (MAN), sin olvidar que los paralelos conceptuales del astrolabio anónimo de 1563 (MN), y los elementos metalúrgicos, -especialmente la ballestilla- del MNCT fechada también en 1563 representan una aproximación cronológica de interés. Aunque estas fechas precedan a la creación de la Academia de Matemáticas (1582) conviene no olvidar que con anterioridad a su fundación llegaron piezas de G. Arsenius a España y a América, como ya hemos visto.

La situación del inicio de Aries en 10,3 de Marzo como indicador de una fecha cierta no parece muy desajustada respecto a la de otros astrolabios flamencos con un inicio aproximado para Aries que tienen fecha cierta y próxima al periodo apuntado para nuestro astrolabio. En todo caso parece seguro que otros especialistas confirmarán o ajustarán esta propuesta.

En el inventario de los bienes de Juan de Herrera realizado a su muerte figuran entre otros instrumentos un par de ballestillas, una de las cuales estaba firmada por Gualterius Arsenius, y un anillo astronómico del mismo autor [CERVERA, 1977, pp. 67-75]. Es difícil demostrar en este momento la relación de estas piezas con las que tenemos en nuestros museos (MNCT -Colección San Isidro-, MAN y MN), pero no hay que tener siempre presente la vinculación entre Felipe II (Fundador de la Real Academia) y Juan de Herrera (su colaborador más directo en esta labor).

En Madrid no se conocen más ballestillas metálicas de Arsenius que la del MNCT y la que acabo de identificar como tal en el MAN. Aunque la del MAN pertenece a la Colección Rico y Sínobas, quiero incidir sobre los lazos que existieron en el siglo XIX entre este catedrático de la Universidad Central de Madrid (precedente de la actual Universidad Complutense), de la que dependía el Instituto San Isidro, y el profesor Santisteban (encargado de la colección de instrumentos científicos en el Instituto). Esto pudo facilitar que, por los avatares más diversos y por la relación-dependencia con la universidad, unidas a la falta de valoración de los objetos como patrimonio histórico de un país, propios de su momento histórico, algunos de los objetos pasarán por diversas circunstancias que no excluyen el deseo de protección, a las manos de Rico y Sínobas, quien en un momento determinado donó al museo un conjunto de gran valor cuyo origen parece que no debió quedar documentado al realizar la donación.

Problemas semejantes se plantearán muy probablemente al revisar parte de los fondos del MAN no publicados y la colección de la Facultad de Física de la Universidad Complutense (que heredó colecciones de la Universidad Central), con la que se prepara actualmente un proyecto de estudio en que co-dirigirá el MNCT.

Agradecimientos: La autora agradece especialmente la colaboración del Dr. D. Salvador Rovira, quien en el Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales realizó los análisis metalográficos de las piezas y ayudó a su interpretación con la profesionalidad y el compañerismo de siempre. Igualmente queremos agradecer a D. Jose M^a Losada, Subdirector General de Patrimonio Mueble y D. Ramón Rubio, Subdirector General de Investigación, que permitieran se usaran los equipos de ese centro. También queremos agradecer al Dr. Turner, Catedrático del *Imperial College* y al Dr. Anderson, Presidente de la *Scientific Instrument Society* y Director del *British Museum*, algunas de sus sugerencias, así como su constante apoyo académico y humano que están ayudando e influyen en el desarrollo de esta nueva disciplina en nuestro país. A mis compañeras Dra. Carmen Pérez Die, directoras del MAN y D^a Carmen Mañueco, Conservadora de la Sección de Edad Moderna del Museo Arqueológico Nacional, les debo agradecer que me facilitara el acceso al astrolabio de Felipe II y que se realizan los análisis metalográficos de las piezas del MAN. Por último quiero agradecer a D^a Angeles Penas la información facilitada sobre el astrolabio de G. Arsenius de Méjico y a D^a Maria Blizinski, Conservadora de la sección de astronomía del National Maritime Museum (Greenwich) la información recibida sobre el astrolabio de Ferdinand Arsenius. Así mismo debo agradecer la colaboración y el buen trabajo realizado por D. Raul Galache, en cuyas láminas del astrolabio y la

ballestilla del MNCT puede apreciarse su calidad como dibujante, y a D^{ña} Carmen Serradilla su constante y positiva colaboración.

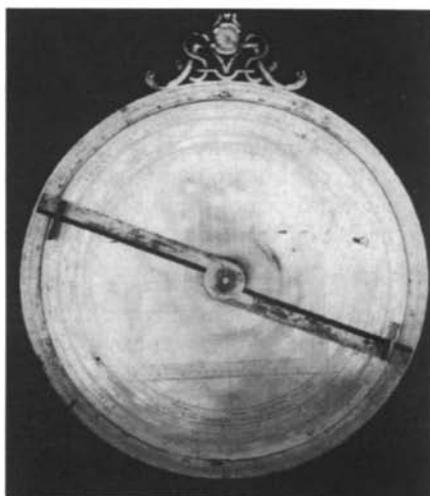


Figura 1. *Astrolabio MNCT.*

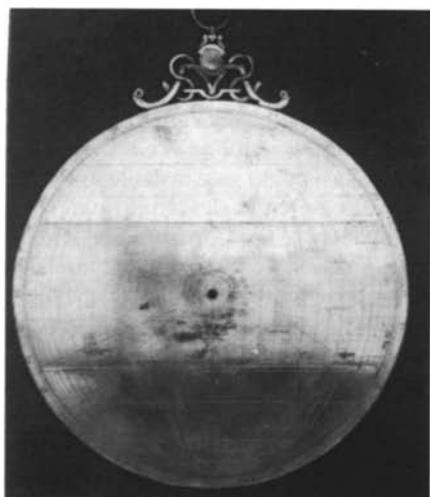


Figura 2. *Dorso de astrolabio del MNCT.*

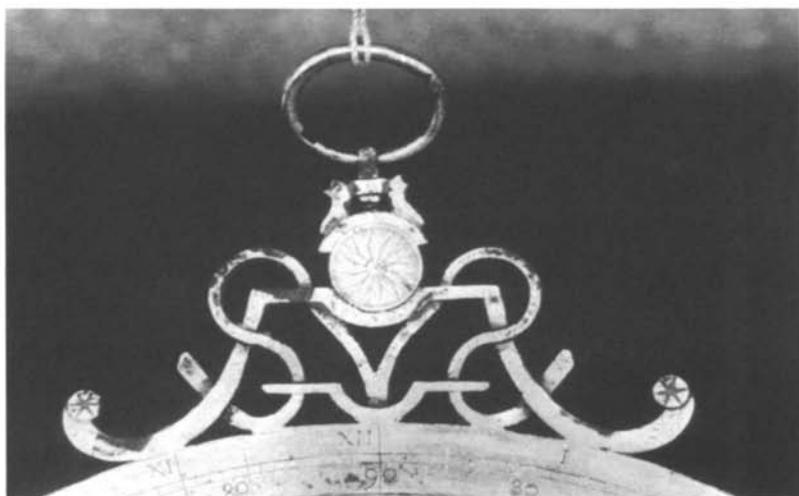


Figura 3. Trono o colgadero del astrolabio del MNCT.

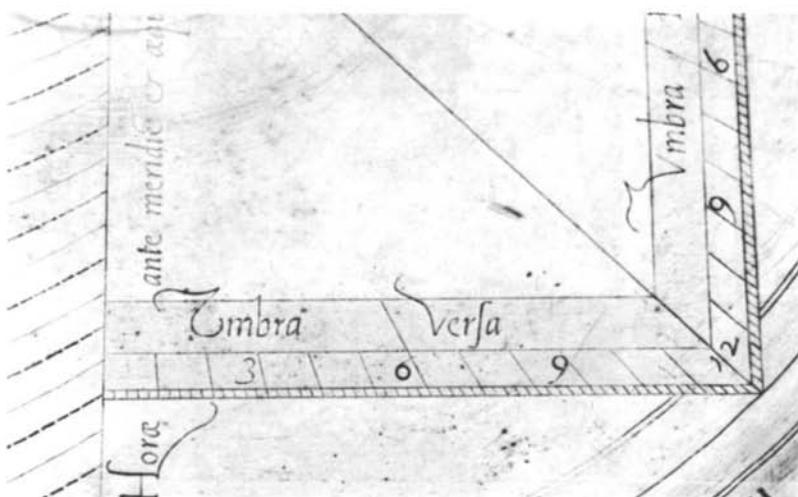


Figura 4. Detalle del cuadrante del astrolabio del MNCT.

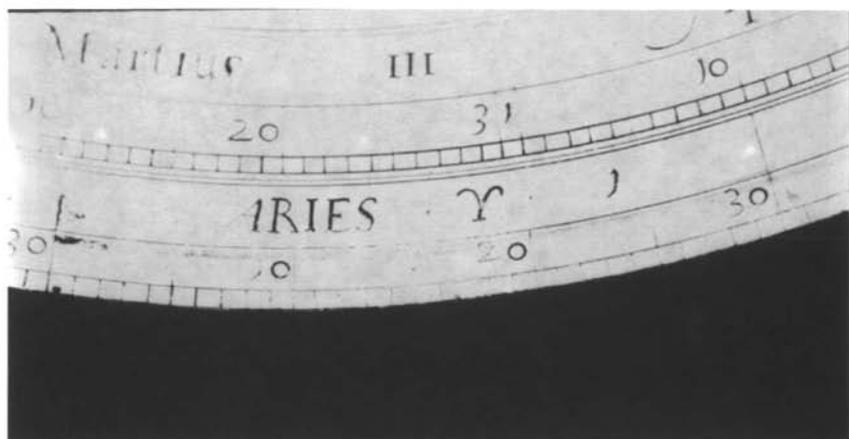


Figura 5. Detalle del inicio de Aries en astrolabio del MNCT.



Figura 6. Cuadrante náutico del astrolabio del MNCT.

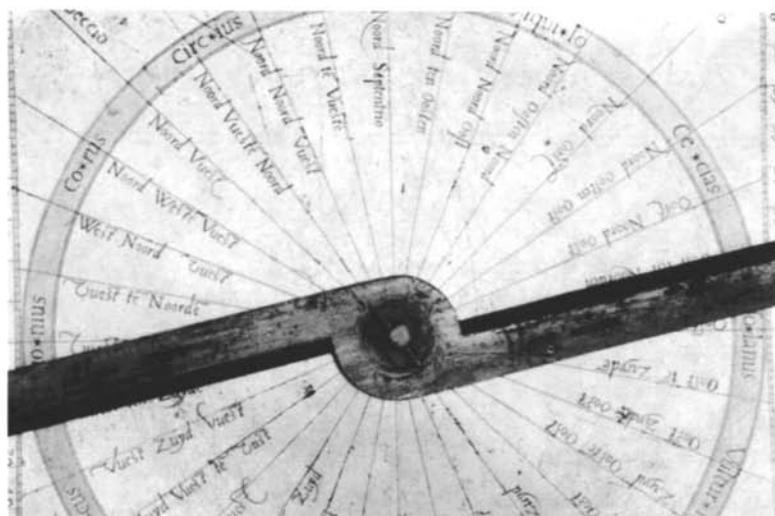


Figura 7. Detalle del cuadrado náutico (rosa de los vientos con nombres en flamenco) del MNCT.



Figura 8. Detalle de la ballestilla de Gualterius Arsenius de 1563 del MNCT.



Figura 9. Detalle de la ballestilla de Gualterius Arsenius de 1571 del B.M.
(Por cortesía del British Museum).

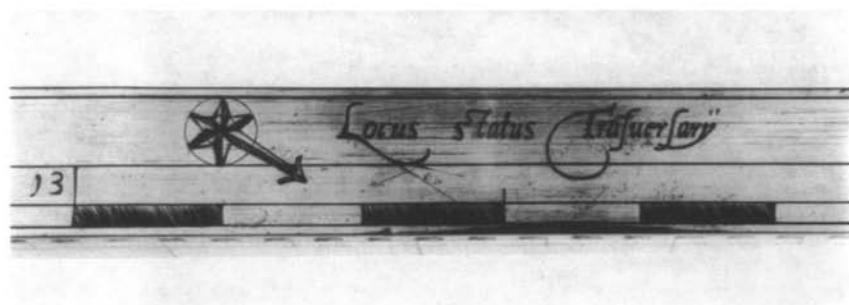


Figura 10. Fragmento de la ballestilla de Gualterius Arsenius del B.M.
(Por cortesía del British Museum).



Figura 11. Fragmento de la ballestilla de Gualterius Arsenius del B.M.
(Por cortesía del British Museum).

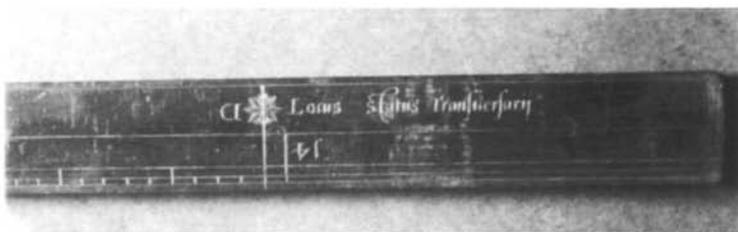


Figura 12. Fragmento de la ballestilla del MAN atribuido a Gualterius Arsenius.



Figura 13. Fragmento de la ballestilla del MAN atribuido a Gualterius Arsenius.

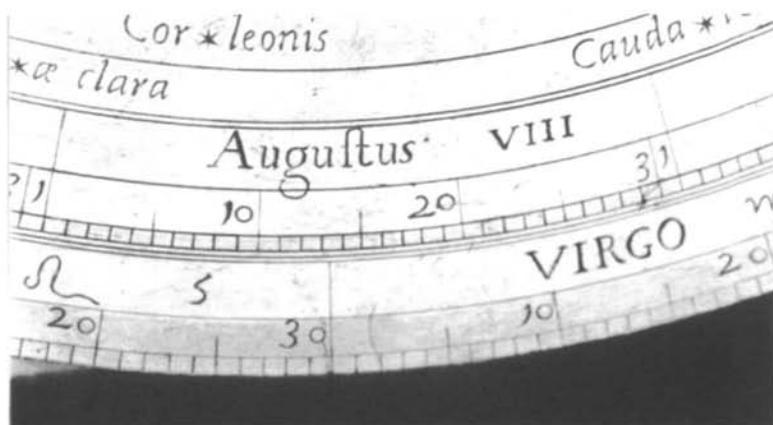


Figura 14. Detalle de la unión entre s-t en el astrolabio del MNCT y signo de Leo.

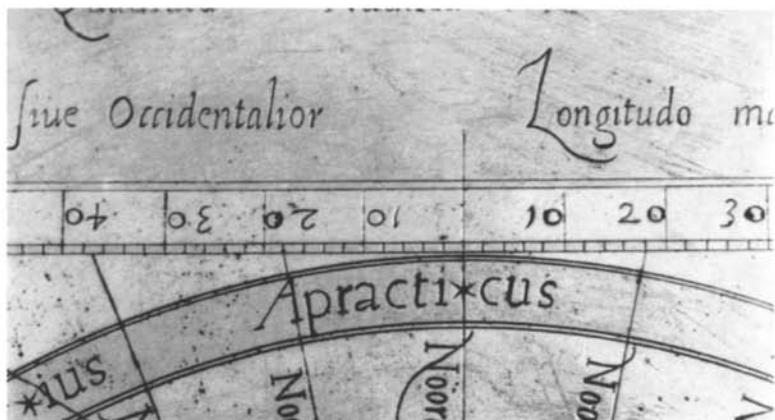


Figura 15. Detalle del modo de realización de los puntos de la "i" romana minúscula en el astrolabio del MNCT, e inexistente unión entre c-t.

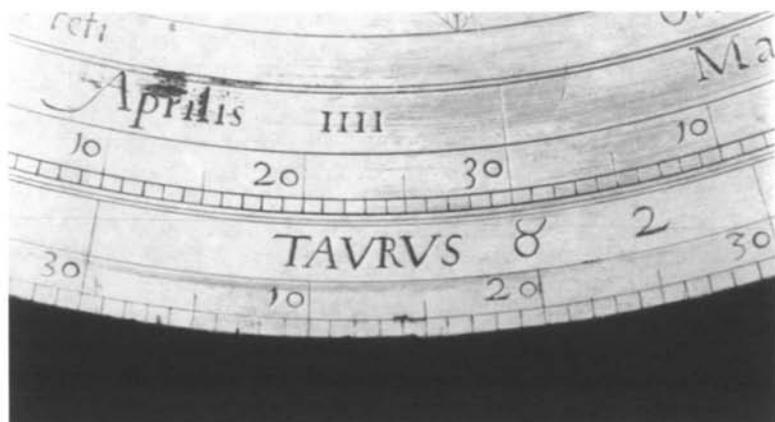


Figura 16. Detalle del modo de realización de la "i" romana minúscula en el astrolabio del MNCT y detalle del signo de Tauro.



Figura 17. Detalle del modo de realización de la "e" minúscula romana y signo de Sagitario.

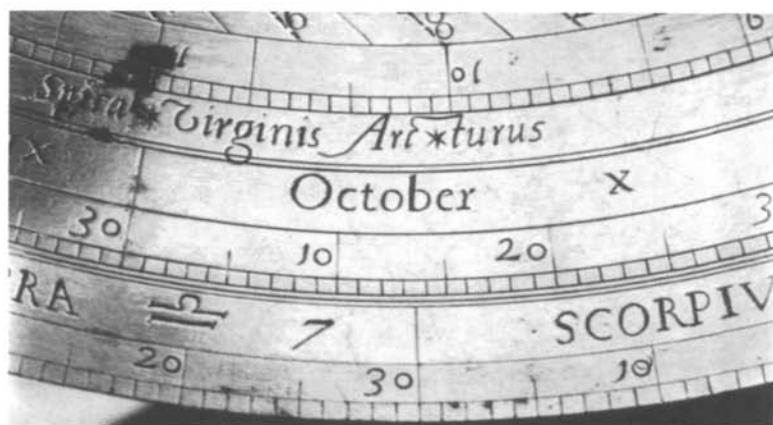


Figura 18. Detalle de la inexistencia de la unión c-t en el astrolabio del MNCT y signo de Libra. Además se ven las uniones de c-t y x-t en minúscula itálica.



Figura 19. Detalle de "E" mayúscula itálica en astrolabio del MNCT.



Figura 20. Unión en minúscula itálica de s-t en astrolabio del MNCT.

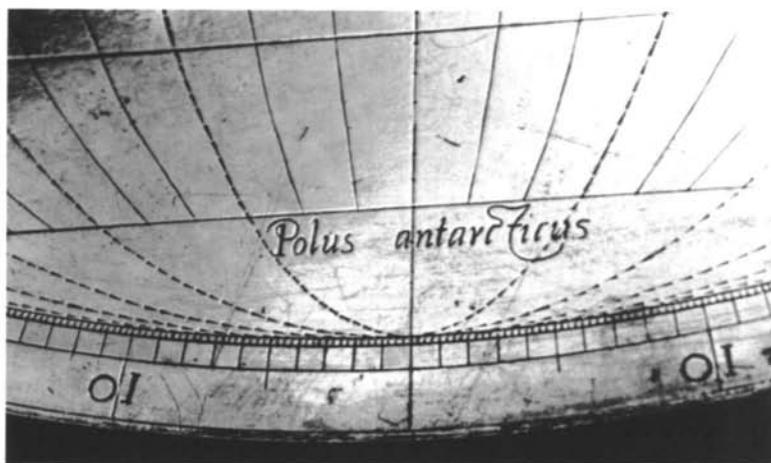
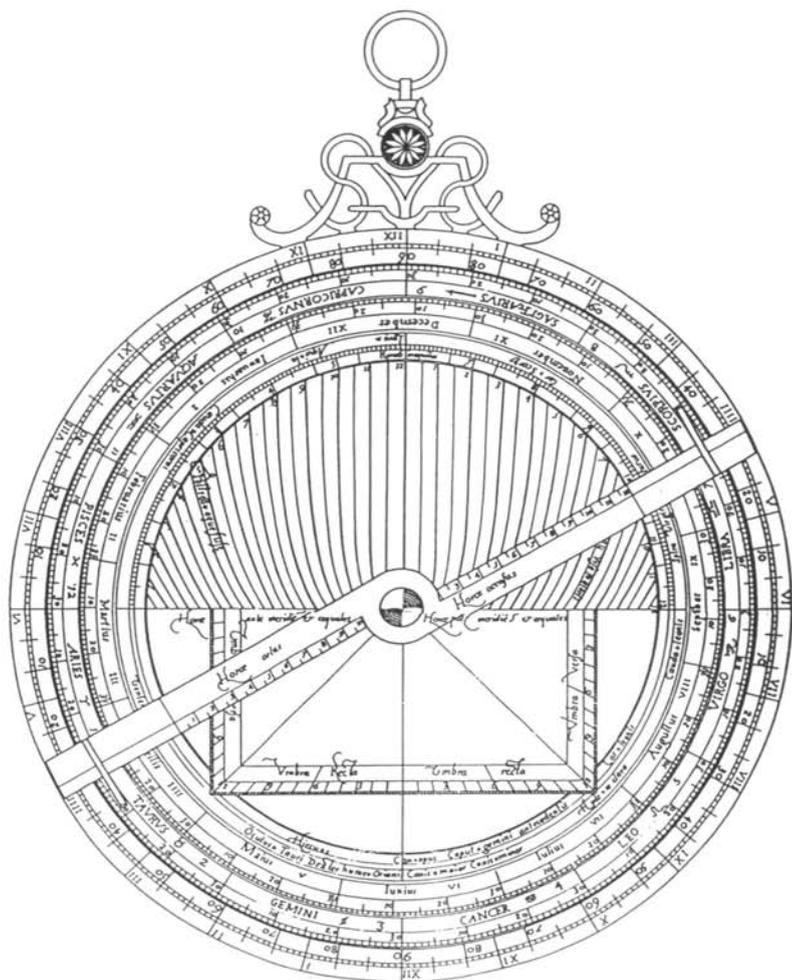


Figura 21. Unión en minúscula itálica de c-t en astrolabio del MNCT.

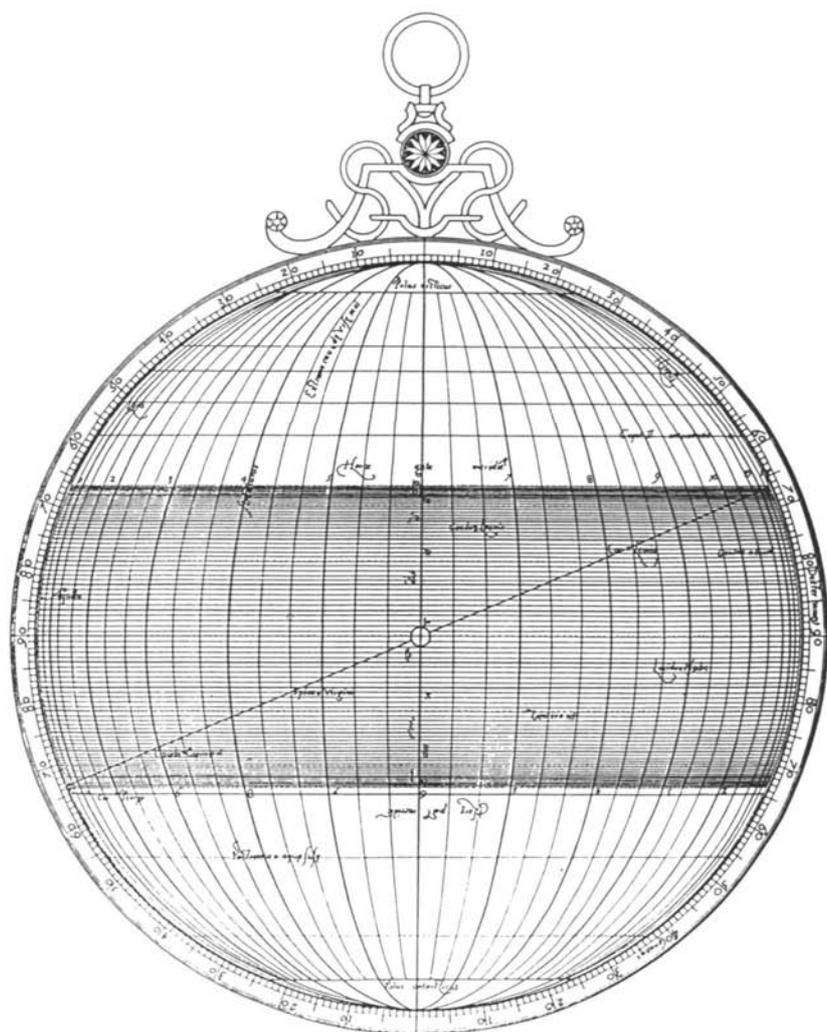


ASTROLABIO

ESCALA



Lámina I. Anverso del astrolabio del MNCT.



ASTROLABIO

ESCALA



Lámina II. Dorso del astrolabio del MNCT, con lámina universal (proyección de Juan de Rojas).

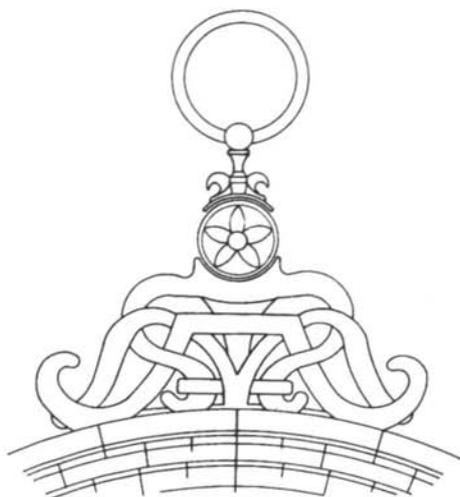


Lámina IV. *Detalle del anverso del trono del astrolabio de W. Arsenius, de 1554 del MNHM. (Reconstrucción a partir de los dibujos y fotografías publicados).*

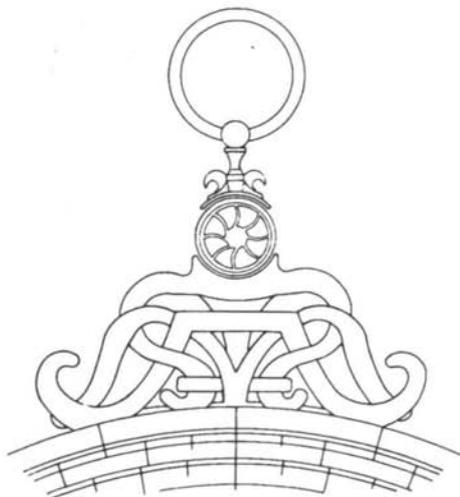


Lámina V. *Detalle del dorso del astrolabio de W. Arsenius de 1554 del MNHM. (Reconstrucción a partir de los dibujos y fotografías publicados).*

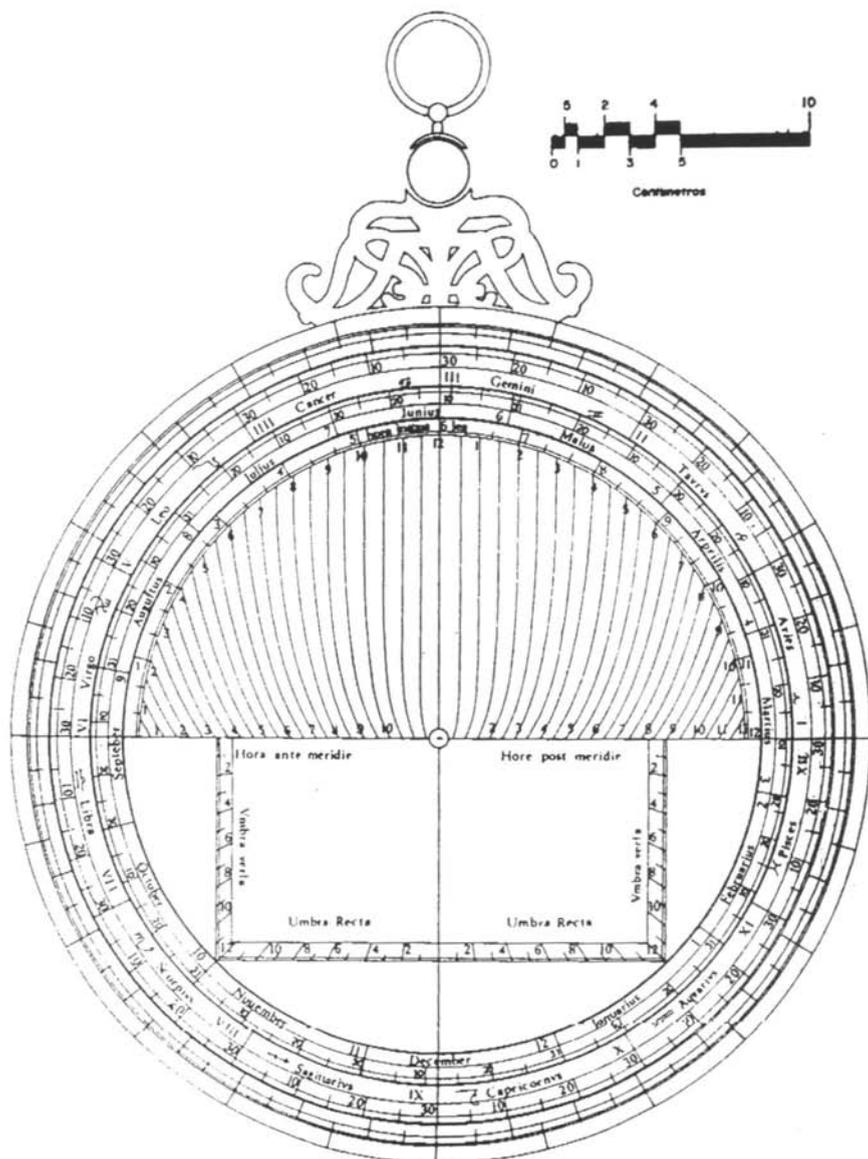


Lámina VI. Dibujo del astrolabio de W. Arsenius de 1554 del MNHM
(según Fernández Villar, 1986).

SIGNOS DE CONSTELACIONES

	MERCATOR	ARSENIUS? MNCT	ARSENIUS (DORSO) MAN	ARSENIUS (ARA RA) MAN
ARIES				
TAURUS				
GEMINI				
CANCER				
LEO				
VIRGO				
LIBRA				
SCORPIUS				
SAGITARIUS				
CAPRICORNIUS				
ACUARIUS				
PISCIS				

Lámina VIII. Cuadro comparativo del diseño aproximado de signos del zodiaco usados por Mercator, Arsenius(astrolabio del MAN) y astrolabio del MNCT.

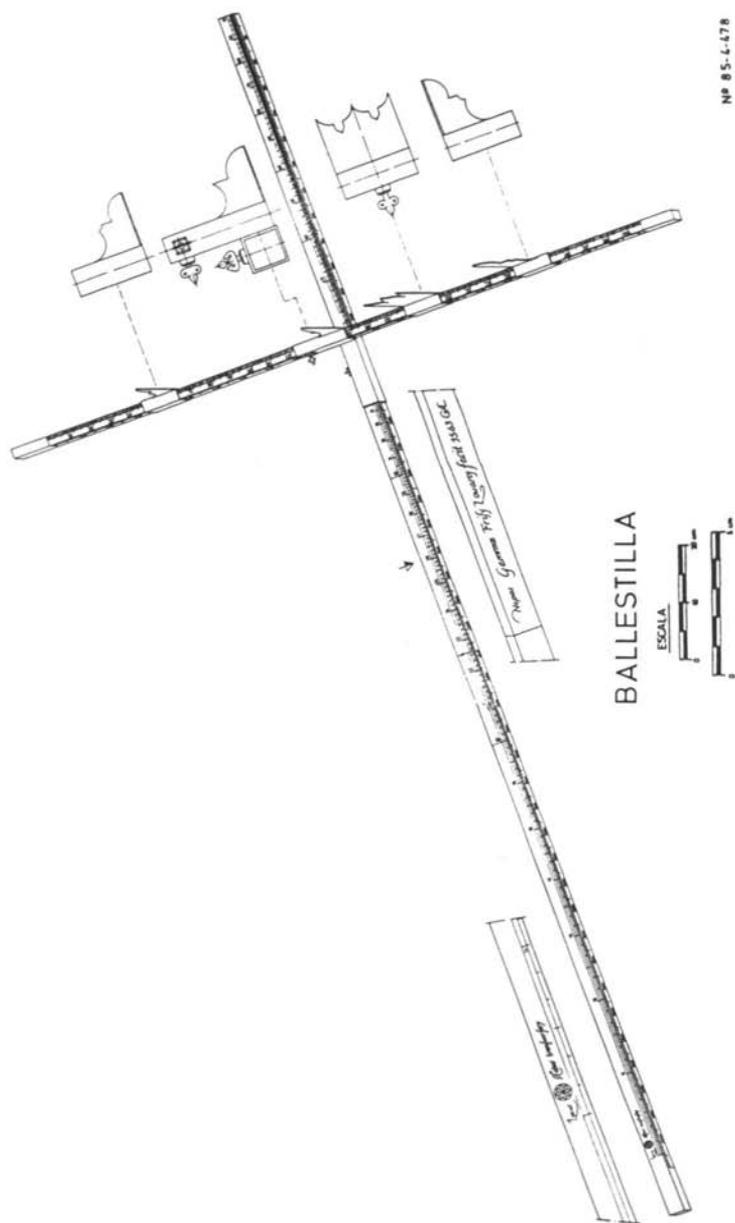


Lámina IX. Ballestilla de Gualterius Arsenius de 1563, del MNCT.

BIBLIOGRAFIA

- AGRICOLA, G. (1950) *De Re Metallica*. New York, Dover Publications Inc. Traducción de Hoover H.C. y Hoover L.H.
- BOFFITO, G. (1982) *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti*. Roma, Multigráfica Editrice, Edición facsímil de la edición de 1929.
- CERVERA, L. (1977) *Inventario de los bienes de Juan de Herrera*. Valencia, Albatros Ediciones. Ejemplar Num. 25 de una serie numerada de 500 ejemplares.
- CRADDOCK, P.T. (1990) "2000 years of zinc and brass". *Occasional Paper*, 50. London, British Museum.
- CROISSET, T. (1994) "L'écriture et la calligraphie". En: M. Watelet (ed.), *Gerard Mercator Cosmographe, le temps et l'espace*. Amberes, Fonds Mercator Paribas, 151-161.
- DANTI, E. (1584) *Trattato del Radio Latino*. Roma.
- FERNANDEZ VILLAR, M.A. (1986) "Sobre el astrolabio firmado por G. Frisius y G. Arsenius". *Revista del Museo Nacional de Historia. Castillo de Chapultepec. Instituto Nacional de Antropología e Historia*. Méjico.
- GARCIA FRANCO, S. (1945) *Catálogo crítico de astrolabios existentes en España*. Madrid, Instituto Histórico de Marina.
- GEMMA FRISIUS (1545) *De radio astronómico*. Amberes y Lovaina.
- GUIJARRO, V., JIMENEZ, M.J. y SEBASTIAN, A. (1994) "Los constructores británicos del siglo XVIII en la Colección del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología". *Llull*, 17 (32), 25-59.
- HELT, H. (1545) *Declaración y uso del relox español entreterixio en las armas de la muy esclarecida casa de Roias.....con algunas addiciones del mesmo*. Salamanca, Año de MDXLIX.
- JIMENEZ, M.J., MARTINEZ, M. y SEBASTIAN, A. (1995) "The Royal Academy of Mathematics and the Imperial College in the Science and Technology National Museum of Madrid". *Nuncius*, 10 (1), 179-200.
- KING, D.A. y TURNER, G.L.E. (1994) "The astrolabe presented by Regiomontanus to Cardinal Bessarion in 1462". *Nuncius*, 9(1), 165-206.
- LA NIELE, S.C. & HOOK, Dr. (1990) "Brass in the Medieval Islamic World". En: P.T. Craddock "2000 years of Zinc and Brass". *Occasional Paper*, 50. London, British Museum.
- MADDISON, F. (1966) "Hugo Helt and the Rojas Astrolabe projection". *Agrupamento de Estudos de Cartografia Antiga*, 12, 1-63.
- MARTINEZ VALDES, F. (1941) "El Museo de Física y Química del Instituto de San Isidro". En: *Instituto de San Isidro. Antiguos estudios de Madrid (Memoria resumen de la vida del Instituto entre 1º de Mayo de 1939, hasta 31 de Diciembre de 1941)*. Madrid, Garcia Enciso Edit.
- MENDOZA EQUARAS, A. (1990) "El astrolabio del museo de Granada". *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de Granada*, 1, 139-167.
- MERCATOR, G. (1540) *Litterarum latinarum*. Lovanni.
- MÖRZER, W.F.J. (1994) *The Cross-Staff. History and Development of a Navigational Instrument*. Amsterdam, Walburg Institut.
- PUIG, R. (1987) *Los tratados de la construcción y uso de la azafea de Azarquiel*. Madrid, Instituto Hispano-Arabe de Cultura.

ROCHE, J.J. (1981) "The radius astronomicus in England". *Annals of Science*, 38, 1-32.

SANTISTEBAN, M. (1866) *Catálogo de los instrumentos de física y química que existen en los respectivos gabinetes del Instituto San Isidro de Madrid*. Madrid, Impr. Manuel Vinuesa.

SAUNDERS, H.N. (1984) *All the astrolabes*. Oxford, Senecio Publishing Limited.

TURNER, A. (1987) *Early Scientific Instruments. Europe 1400-1800*. Londres, Sotheby's Publication.

TURNER, G.L'E. y DEKKER, E. (1993) "An astrolabe attributed to Gerard Mercator, c.1570". *Annals of Science*, 50, 403-443.

TURNER, G. y DEKKER, E. (1994) "Les astrolabes". En: M. Watelet(ed.), *Gerard Mercator Cosmographe, le temps et l'espace*. Amberes, Fonds Mercator Paribas, 179-192.

TURNER, G. L'E. (1994) "The three astrolabes of Gerard Mercator". *Annals of Science*, 51, 329-353.

UCHELEN, T.C. van (1994) "L'Escriture et la Calligraphie". En: M. Watelet (ed.), *Gerard Mercator Cosmographe, le temps et l'espace*. Amberes, Fonds Mercator Paribas.

WATELET, M. (1994) "De Rupelmonde a Louvain". En: M. Watelet (ed.), *Gerard Mercator Cosmographe, le temps et l'espace*. Amberes, Fonds Mercator Paribas, 73-91.