

**REVISTA
ASTRONÓMICA**



AGOSTO 1998

N°256

N° 256

Agosto de 1998

AG ISSN 0044-9253

REGISTRO NACIONAL DE LA

PROPIEDAD INTELECTUAL

N° 891.986

La Dirección de la Revista no se responsabiliza por las opiniones vertidas por los autores de los artículos publicados o por los datos contenidos en ellos.

Av. Patricias Argentinas 550, 1405 Buenos Aires, Argentina

Dirección postal: C.C. 369, Correo Central, 1000 Buenos Aires, Argentina.

e-mail: revast@aaaa.org.ar

DIRECTOR:

Ing. Cristian Rusquellas

SECRETARIOS DE REDACCIÓN:

Ing. Carlos E. Angueira Vázquez

Sr. Roberto Mackintosh

SECCIONES FIJAS:

Observatorio: Ing. Carlos E. Angueira Vázquez

Óptica: Sr. Rodolfo Caprio

Radioastronomía: Ing. Jesús López

Educación: Sr. Alejandro E. Blain

FOTOGRAFÍA:

Sr. Alejandro E. Blain

DIAGRAMACIÓN:

Ing. Cristian Rusquellas

CANJE:

Srta. Gloria I. Roitman

EFEMÉRIDES:

Ing. Cristian Rusquellas

COMISIÓN DIRECTIVA:

PRESIDENTE:

Sra. Gloria I. Roitman

VICEPRESIDENTE:

Ing. Cristian Rusquellas

SECRETARIO:

Arq. Adriana M. Volpe

PROSECRETARIO:

Sra. Leticia Ortiz Noguera

TESORERO:

Sr. Mauricio Berthet

PROTESORERO:

Sra. Alejandra Senici

VOCALES TITULARES:

Sr. Alejandro E. Blain

Ing. Carlos E. Angueira Vázquez

Sr. Enrique Pereira de Lucena

Sr. Demóstenes Baudracco

Dr. Juan Carlos Rodríguez

Arq. Roberto Mackintosh

VOCALES SUPLENTE:

Sr. Jorge Weselka

Sr. José Carozza

Sr. Néstor Rosso

COMISIÓN REVISORA DE CUENTAS:

Sr José Aiani

Dr. José C. Caldararo

Ing. Jesús López

Impreso en COGTAL

Rivadavia 767, Buenos Aires.

REVISTA

ASTRONÓMICA



Fundador: CARLOS CARDALDA
Organo de la Asociación Argentina
Amigos de la Astronomía

Entidad sin fines de lucro con personería jurídica por decreto de Mayo 12 de 1937, inscripta con el número c/1812. Incluida en el Registro Nacional de Entidades de Bien Público con el N° 6124.

REVISTA ASTRONÓMICA es marca registrada de la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía.

S U M A R I O

24 DE OCTUBRE DE 1997: INAUGURACIÓN DEL COMPLEJO ASTRONÓMICO GAUTIER-DEVOTO.....	3
CÚMULOS GLOBULARES (PARTE II).....	10
TEIDE 1 -	
UNA ENANA MARRÓN EN LAS PLÉYADES	15
SÍNTESIS DE IMÁGENES DE RADIOFUENTES USANDO UN ARRAY DE ANTENAS Y EL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN TERRESTRE.....	16
LOS ELEMENTOS ORBITALES.	
DEFINICIÓN Y SIGNIFICADO GEOMÉTRICO.	20
USNO-A V1.0: UN CATÁLOGO DE STANDARDS ASTROMÉTRICAS	23
UBICACIÓN DE SATÉLITES ESTACIONARIOS.....	24
BREVE GUÍA DE LAS CONSTELACIONES	25
CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN ESFERÓMETRO DE PRECISIÓN	29

EDITORIAL

Y la Revista continua tropezando con su eterno problema: la dificultad de obtener los fondos para su publicación y envío (ya que este último insume una cifra "astronómica", especialmente para el canje con instituciones del exterior del país). Para peor, los potenciales colaboradores van desertando, ante la falta del estímulo que representa el ver la concreción del fruto de sus esfuerzos.

Como ya expresáramos en la Memoria presentada en la Asamblea Anual Ordinaria de nuestra Asociación, será necesario replantear totalmente la manera de publicarla, o correrá peligro de desaparecer. Y creemos que su función de comunicación, no solo con los socios sino con multitud de instituciones del país y del mundo, es demasiado importante como para que cese sin pena ni gloria. En realidad, se puede decir sin exageración que actualmente ya no la está cumpliendo. Necesitamos urgentemente buenas ideas.

Con el ferviente deseo de que exista una próxima los saluda,

El Director

NUESTRA TAPA: El histórico telescopio Gautier luciendo sus mejores galas después de su restauración (pág. 3).

REVISTA ASTRONÓMICA

CORREO ARGENTINO SUC. 5 (B)

FRANQUEO PAGADO
Concesión N° 2928

24 DE OCTUBRE DE 1997

INAUGURACIÓN DEL COMPLEJO ASTRONÓMICO GAUTIER-DEVOTO

Por: Carlos E. Angueira Vázquez - Sub-Director de Observatorio

UN GRIS DÍA DE OTOÑO...

Era el día domingo 2 de Abril de 1995. Una tarde nublada. En la cúpula del telescopio Gautier de nuestro Observatorio, Alejandro Blain y yo nos encontrábamos dándole los ajustes a los mecanismos del telescopio, que habíamos limpiado las semanas anteriores (al día siguiente empezaban las visitas de escuelas y, dos semanas más tarde, los Cursos que dicta nuestra Asociación). De repente, yo, que estaba parado sobre la base de mampostería del instrumento, sentí que el mundo se movía a mi alrededor. Asombrados, descubrimos que el telescopio junto con su base podía oscilar con un mínimo esfuerzo de la mano.

¿Qué había pasado? Cuando se construyó el actual edificio de nuestra Institución, para que sirviera de apoyo al telescopio Gautier de la cúpula principal, se había construido una columna inde-

pendiente del resto del edificio, que lo atravesaba en su totalidad desde el sótano hasta el segundo piso. Se trataba de una columna cilíndrica (de 1,20m de diámetro) de mampostería de ladrillos macizos, asentados con mortero de cal y que, en el sótano, apoyaba sobre una zapata de cimiento cuadrada. Como suma de defectos de construcción y el paso del tiempo, la humedad había degradado el mortero de cal, generándose una fisura a la altura del piso de la planta baja del edificio. Debido a ello, todo el tramo superior de la columna se había separado del cimiento y, el gran brazo de palanca, permitía mover fácilmente esa gran masa cilíndrica de ladrillos, de más de diez toneladas, con telescopio y todo.

COMANDO DE CATÁSTROFES EN ACCIÓN

De inmediato nos dimos cuenta que se debía



Foto 1: Alejandro Blain y su padre, desarmando el Telescopio Gautier.



Foto 2: Así era la columna del Gautier

desafectar el telescopio del uso, desmontarlo y proceder a reparar de alguna forma la columna dañada. Desarmar completamente el telescopio fue la parte más sencilla: una semana más tarde ya estaba completamente despiezado (las piezas cuidadosamente guardadas e identificadas para el posterior rearmado) y hasta habíamos bajado el pesado pie de acero del instrumento.

Para reparar la columna había varias opciones, de las cuales la más segura y económica consistía en demoler (por razones de seguridad) el tramo "suelto" y construir un nuevo soporte para el telescopio en base a una estructura metálica octogonal (para que armonizara con la tarima de madera del recinto) que apoyara sobre las cuatro vigas que se cruzan bajo el segundo piso. Esta solución permitía, además, ganar superficie útil en planta baja y en el primer piso, lo que posibilitó la ampliación del

laboratorio de Fotografía y generó un espacio para futura ampliación del departamento del primer piso.

El costo de estas tareas fue mínimo ya que fue realizado por varios socios (Alejandro Blain, José Carozza, Javier Cottone, Juan Grecco, Gustavo Rodríguez y Néstor Rosso) que en sus ratos libres, sin prisa pero sin pausa, colaboraron con la Institución gratuitamente. El nuevo soporte del telescopio fue colocado a fines de 1995 y fue construido por el socio José Carozza.

SE NOS OCURRIÓ UNA IDEA

En el año 1993, el Papa Juan Pablo II había decidido perdonar a Galileo Galilei y la Curia Metropolitana de la ciudad de Buenos Aires había decidido donar a nuestra Asociación un telescopio refractor Zeiss de 2.300mm de distancia focal y 130mm de diámetro. Ese instrumento había llegado a la Argentina a principios de siglo, siendo instalado en el Observatorio del Seminario Metropolitano de Villa Devoto. Tras viajar por todo nuestro país, registrando distintos fenómenos astronómicos, hacía algunas décadas que dormía en un sótano al lado de la Catedral de Buenos Aires, hasta que nuestro querido consocio, el Dr. Angel Papetti se enteró y llevó a cabo con buen éxito los trámites de donación a nuestra Institución. En 1993 el telescopio Fortunato Devoto (así rebautizado en homenaje a Monseñor Fortunato Devoto, distinguido astrónomo y sacerdote porteño, 1872-1941) hizo su entrada a nuestro Observatorio.

Pero, apareció un problema: dadas sus características y dimensiones, se requería un recinto bastante amplio para instalarlo, recinto del que carecíamos. Así, por espacio de un par de años, el telescopio pudo ser admirado en el Salón de Actos de nuestra Asociación pero no podíamos utilizarlo.

Mientras demolíamos la vieja columna, se nos ocurrió que sería una excelente idea construir, sobre la terraza Oeste al lado del recinto del Gautier, un pequeño recinto nuevo, integrado al existente, para instalar el Telescopio Devoto, generando así un complejo de gran capacidad y con dos excelentes telescopios para atención de público, visitas de escuelas, para utilizar en los Cursos y, por supuesto, para uso de nuestros asociados: así nació el Complejo Astronómico Gautier-Devoto (así bautizado en acto de humilde inspiración). La ocasión era, además, ideal: la reparación del Gautier permiti-

tía encarar una nueva obra en esa zona del edificio sin generar mayores inconvenientes. Este complejo es hoy una realidad de nuestra Institución.

Y, YA QUE ESTAMOS...

Hacia varios años que el recinto del Gautier tenía múltiples problemas: el nulo mantenimiento durante décadas había conducido a múltiples goteras en la cúpula y a una deformación de su anillo base que hacía muy difícil moverla, sólo por mencionar los más sufridos por el instrumental y por nuestros Socios.

Nuevamente, la ocasión nos pareció ideal para encarar de una vez por todas una restauración integral del recinto. A la cúpula se le construyó un nuevo anillo base de acero que facilitara su movimiento. Además, se le retiró por completo el viejo revestimiento "impermeable" (que, en realidad, funcionaba como un muestrario de goteras), se la limpió completamente, se le reemplazaron las tablas podridas, se construyó un refuerzo de fibra de vidrio y resina poliéster (envolviéndola completamente en su lado exterior) y se la recubrió con resina epoxi y emulsión acrílica impermeable reforzada de color blanco. Del lado interior, se restauró completamente el barnizado. El viejo sistema de apertura y cierre de la ventana de observación fue reemplazado por nuevo sistema eléctrico. Se le colocó una nueva membrana asfáltica al resto del techo. Se repararon los revoques interiores y se lo pintó. Se restauró la tarima de madera. Y se reemplazó totalmente la vieja instalación eléctrica por una nueva, incluso utilizando artefactos de iluminación que generan un ambiente de época, en consonancia y perfecta armonía con los dos telescopios. Debemos agradecer a los Socios Alejandro Blain, Rodolfo Caprio, Ricardo Chittaro, Javier Cottone, Mariano Mayochi y Hernán Ruggiu, quienes, desinteresadamente, realizaron todas estas tareas: estoy muy orgulloso de haber integrado ese equipo de gente unida por el deseo de brindar a todos los Socios un ambiente agradable con telescopios de gran calidad.

FINALMENTE, LOS TELESCOPIOS

Así, llegamos al 25 de Diciembre de 1996. Ese día fue el único día despejado en varias semanas. Y ese fue el primer día en que pudimos hacer (Mariano Mayochi y yo) el primer paso para el armado final de los telescopios: marcar el meridiano. Por razones emotivas, lo

hicimos a la vieja manera: la prehistórica, marcando la sombra de un índice vertical sobre un plano horizontal (a pesar de lo viejo del método, es bastante bueno).

Armar los dos telescopios no fue tarea sencilla. No sólo queríamos que fueran buenos mecánica y ópticamente. También queríamos lograr un nivel de terminación estéticamente exquisito y que transmitiera la imagen original de 1882 (el Gautier) y de 1910 (el Devoto), como si recién salieran de fábrica.

Para ello pasamos varios meses despintándolos, masillándolos, lijándolos, volviéndolos a masillar y a lijar hasta llegar a la pintura final. Todas sus piezas fueron limpiadas y restauradas por completo. Se devolvió a los broncees su brillo original y se los protegió con una laca apropiada para minimizar las posteriores tareas de mantenimiento. Al Gautier se le agregó un nuevo sistema de puesta en estación



Foto 3: Nestor Rosso, durante la demolición de la columna del Gautier.

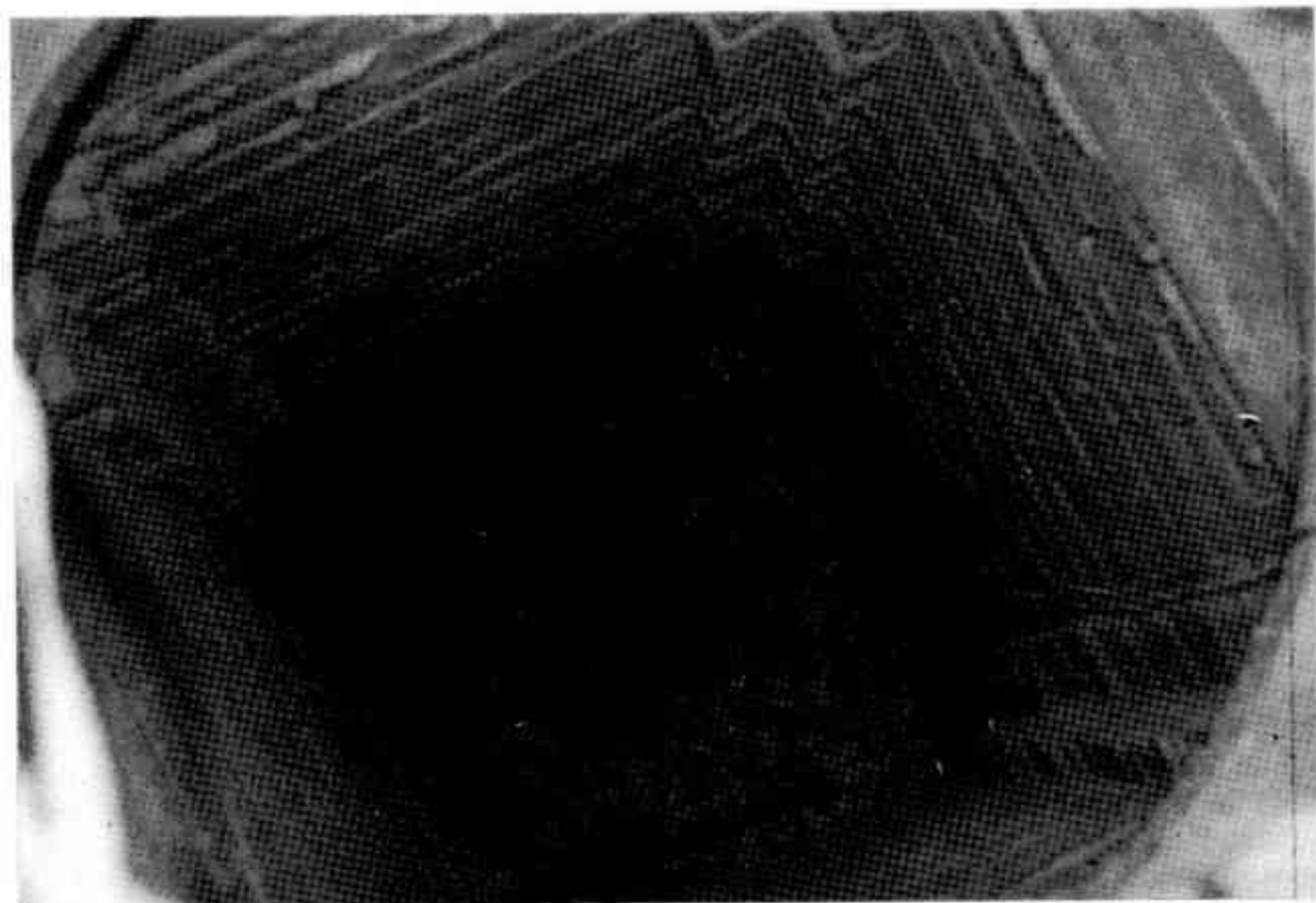


Foto 4: El pozo que alojaba la columna del Gautier.

para lograr precisión sin tener que recurrir al viejo método "fino" (mazazos en el pie que, probablemente, contribuyeron a la rotura de la columna). Finalmente fueron cuidadosamente lubricados y

recalibrados todos los mecanismos. Fueron tres meses en los que Alejandro, Hernán y yo disfrutamos de unas veladas maravillosas, ¡trabajando!

El día jueves 3 de Abril de 1997, después de

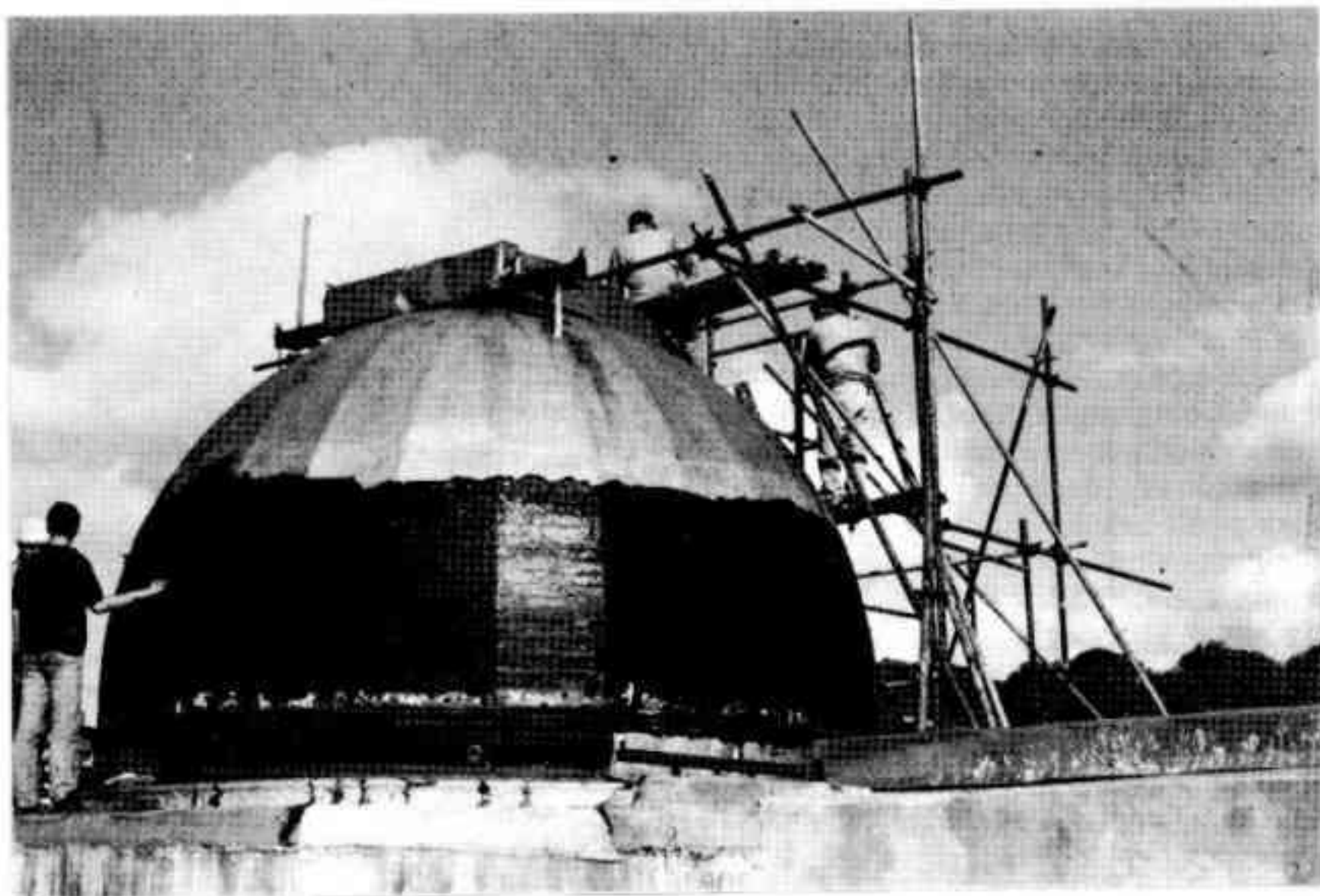


Foto 5: Un momento durante el "pelado" del viejo revestimiento de la cúpula.



Foto 6: Hernán Ruggiu "pelando" la cúpula.

dos años y un día de haber detectado la falla de la columna, en un emotivo acto amenizado con champán extra brut, el objetivo del telescopio Gautier

volvió a su lugar, en la punta del tubo del telescopio. Como suele suceder en Buenos Aires, llovía, y no pudimos ver a través de él hasta dos días más tarde.

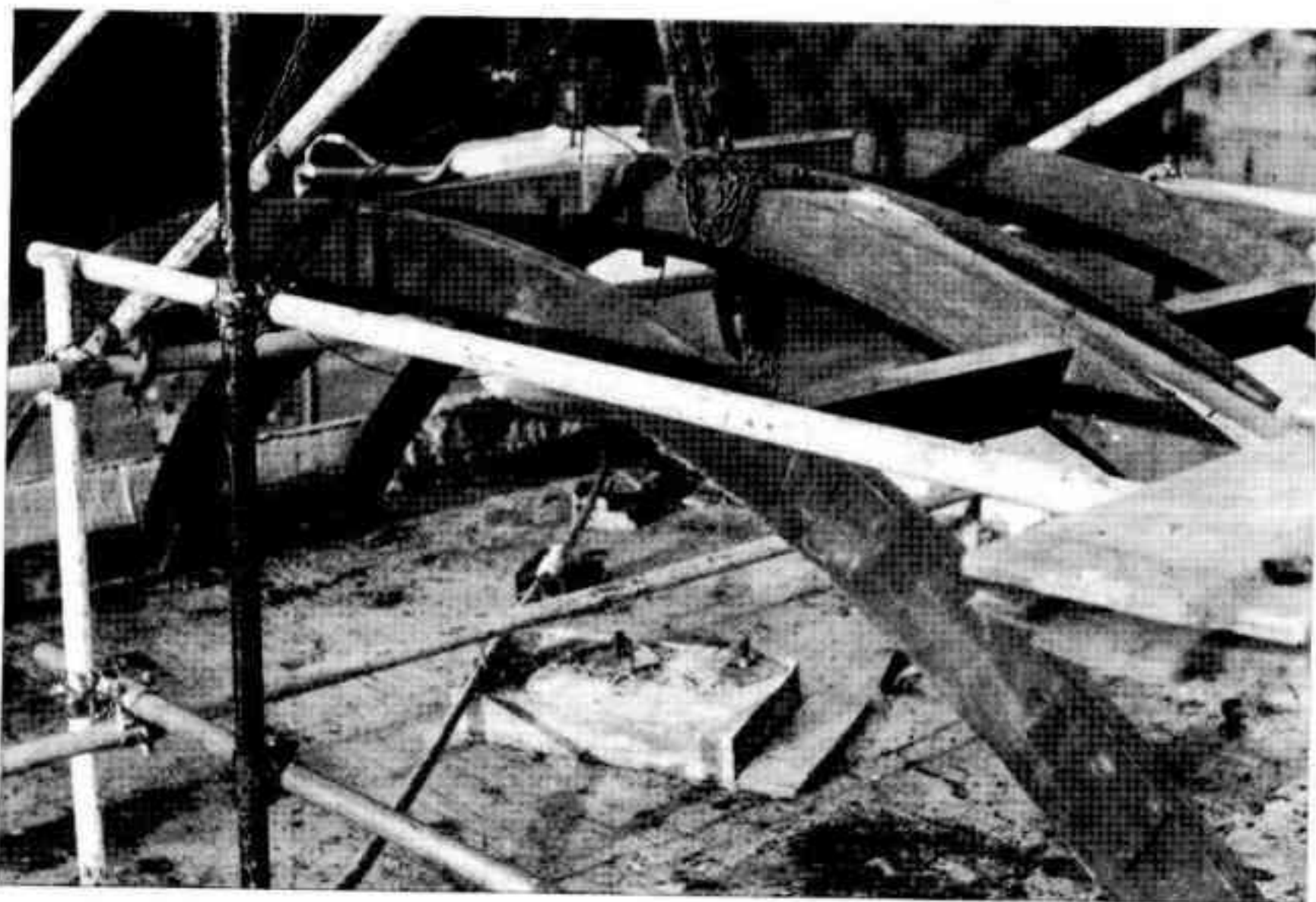


Foto 7: Las estructuras de las compuertas de la cúpula antes de que se le colocara el nuevo entablonado.



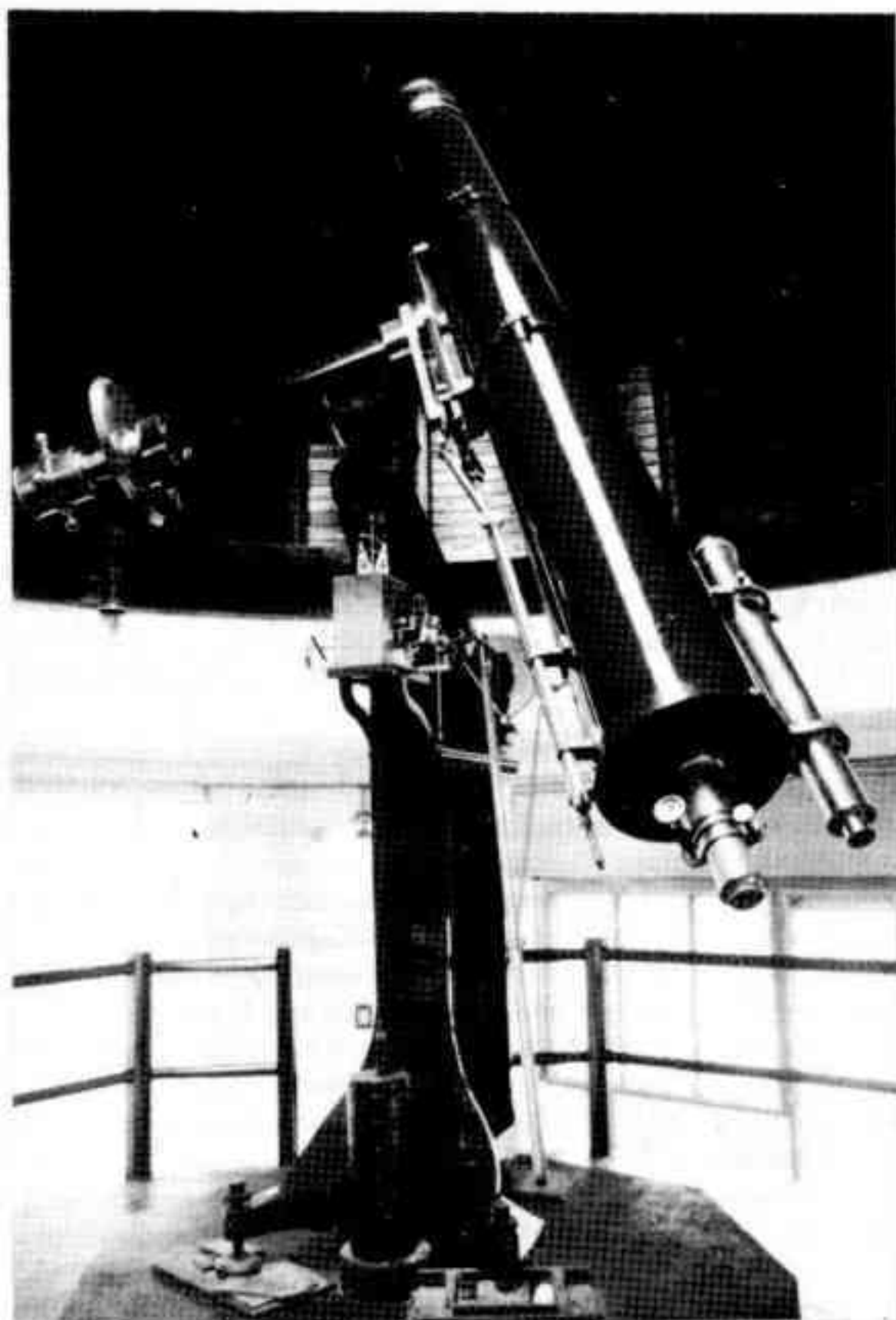
Foto 8: Así estaba el entablonado de la cúpula. Años de goteras lo habían destruido parcialmente.

Y, PARA CERRAR, LA INAUGURACIÓN

Si bien el complejo fue utilizado desde Abril para las visitas de escuelas en horario diurno, las tareas de colimación de sus ópticas y calibración de sus relojerías demandaron algunos meses más. En Agosto de 1997, ya lo estábamos usando en las observaciones por telescopios de las visitas nocturnas de escuelas y en los Cursos.

La inauguración oficial (con discursos, aplausos, fiesta, comida, baile y show) se planeó para el Día Nacional de la Astronomía: el 24 de octubre de 1997. Muchos Socios participaron del acto, al que además asistieron distinguidos astrónomos de nuestro país. ¡Y no estuvo nublado! Esa noche se acabó lo que durante dos años había diferenciado a los Socios nuevos de los antiguos: el ser de la época en que se podía ver con el Gautier.

Es difícil poder expresar en un artículo todo lo que sentimos quienes participamos de estas tareas. Con mucho amor y esfuerzo creemos haber hecho algo bueno que puedan disfrutar todos los Socios durante muchos años. Y ya estamos siguiendo con todos los demás telescopios.



*Foto 9: ASI QUEDO (1). El Telescopio
Gautier, luego de la restauración.*

*Foto 10: ASI QUEDÓ (2). El Telescopio
Fortunato Devoto*



CÚMULOS GLOBULARES (PARTE II)

Por Marisa Faraggi y Evelia Hernández

Metodología de Trabajo:

En la primera parte de este trabajo (Revista Astronómica N° 255), hemos dado la información teórica e histórica correspondiente a los CG, dado que es menester contar con una formación básica para poder desarrollar una metodología de trabajo correcta.

Algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de empezar nuestras observaciones, son las siguientes:

— Es importante contar con un tiempo de práctica y tener algo de experiencia en observación, ya que esta es la única manera mediante la cual se pueden adquirir los conocimientos mínimos necesarios para encarar una tarea de este tipo.

— En segundo lugar, destacamos la importancia de la constancia para con la observación, pues solo se pueden lograr buenos resultados si las mismas son periódicas y a largo plazo.

Condiciones atmosféricas:

La atmósfera de la Tierra genera algunos inconvenientes que reducen la nitidez de la imagen. Por otra parte absorbe, según la distancia cenital del objeto, una buena porción de su luz, reduciendo el contraste entre el objeto y el fondo del cielo.

En este mismo sentido, las partículas en suspensión, muy abundantes sobre las grandes ciudades, provocan una doble acción: por un lado, actúan como un velo que intercepta la luz del objeto y por el otro, reflejan la iluminación pública, empobreciendo notablemente las imágenes astronómicas.

Introducción al trabajo:

Es posible que se pregunten, qué se puede hacer y cómo debe hacerse para estudiar estos objetos y qué aportes se pueden realizar al campo profesional, desde la condición de aficionado, siempre teniendo en cuenta las limitaciones con las que contamos, ya que la posibilidad de trabajar con un equipo adecuado es limitada. Sin embargo, debemos destacar que en la A.A.A.A., contamos con el instrumental necesario para tal fin, el cual se halla a disposición de los socios.

Respondiendo a los interrogantes anteriormente planteados, les contamos que los astrónomos utilizan para la observación las cámaras CCD (de las cuales hablamos en la primera parte del trabajo) mediante las cuales se toman imágenes para luego ser procesadas mediante una PC. Este sistema no permite abarcar en su totalidad los CG de diámetro angular importante, de modo que deben ser observados por zonas, realizando mosaicos para poder registrarlos por completo. O bien, deben limitar su trabajo a los CG más pequeños. Por este motivo, los aficionados pueden orientar sus esfuerzos a los cúmulos más grandes, aprovechando que también son éstos, los que mejor se pueden observar.

Identificación de los CG:

Antes de comenzar con la observación propiamente

dicha, debemos conocer los nombres con los cuales identificamos a los CG. Algunos de ellos han sido catalogados con diferentes nomenclaturas, otros sólo son conocidos por un nombre determinado.

Generalmente se le han asignado letras o abreviaturas originadas en el nombre del autor que creó el catálogo o el del catálogo mismo. Como existe una gran cantidad de objetos, se los numera. Este número y las iniciales o prefijos alfabéticos, componen el nombre propiamente dicho del objeto. Por ejemplo:

NGC 5139 corresponde al objeto 5139 del New General Catalogue de J. L. Dreyer.

M4 corresponde al objeto N° 4 del catálogo de Charles Messier.

Otras denominaciones son: **DUN** (Dunlop), **PAL** (Palomar), **IC** (Index Catalogue), etc.

Messier en su catálogo incluyó 109 objetos, de los cuales 29 corresponden a CG; posteriormente Dreyer publicó su NGC, que más adelante tuvo dos modificaciones conocidas como Index Catalogue (IC) con una lista que ascendía a 13.000 objetos. Hoy en día, y en lo que se refiere a los CG, se encuentran catalogados alrededor de 120 de ellos en nuestra Galaxia, habiéndoselos encontrado además en galaxias vecinas.

Elección del Instrumental:

El primer paso a seguir para comenzar la observación de un CG, es la elección del instrumental. De más está decir que el mismo debe estar en buenas condiciones para poder visualizar las estructuras más finas de la imagen.

En nuestros trabajos, hemos utilizado telescopios reflectores del tipo newtoniano, que son los más apropiados para la observación de cúmulos y nebulosas, dado que la calidad de la imagen está determinada por el poder de resolución del telescopio. Podemos explicar lo anterior de la siguiente manera: si tenemos dos estrellas muy cerca una de la otra, por la gran distancia a la que las observamos, las vamos a ver como una imagen única; cuando logramos verlas por separado, esta separación mínima es lo que llamamos poder de resolución, que depende del diámetro del telescopio. Cuanto más grande el diámetro mayor es su poder de resolución y mayor también su capacidad para captar luz, obteniendo una imagen más luminosa.

Si las observaciones son realizadas en zonas no urbanizadas, un telescopio de 150 mm nos permite ver los CG más brillantes tales como 47 Tucana y ω Centauro. Desde la ciudad las cosas cambian y es necesario contar por lo menos con una abertura de 200 mm en adelante, para obtener una buena calidad de imagen. Los reflectores con que contamos en la A.A.A.A. varían entre los 150 y los 300 mm de abertura.

Los oculares a utilizar pueden variar según el telescopio y el trabajo en particular que se desee realizar. Para observar

un CG, al ser estos objetos extensos, no utilizamos grandes aumentos ya que nos reducirían el campo del instrumento, abarcando por lo tanto solo una parte del mismo.

El campo es el ángulo máximo que podemos ver un objeto expresado en grados. Para determinarlo, utilizamos la siguiente fórmula:

$$O = B / M$$

Donde O es el campo del instrumento, B el campo del ocular y M el aumento utilizado.

Por ejemplo: nosotras hemos utilizado en nuestras observaciones oculares ortoscópicas, que se caracterizan por su amplio campo y elevado aumento. Estos oculares poseen un campo propio de 20° a 25°. Aplicando la fórmula anterior, si estamos utilizando un aumento de M = 93 el campo sería:

$$O = 25^\circ / 93 = 0,2688^\circ = 16'$$

Ya que hemos mencionado el aumento, debemos saber que para calcularlo empleamos la siguiente fórmula:

$$M = F / f$$

Donde M = aumento, F = distancia focal del objetivo y f = distancia focal del ocular.

Es recomendable que, mientras se está ubicando al cúmulo, se utilice un aumento bajo para poder contar con un mayor campo y así barrer zonas más amplias y facilitar su localización. Una vez localizado, incrementar el aumento favorecerá la visión del mismo.

Para comprender mejor todo lo explicado vayamos a un ejemplo: supongamos que vamos a utilizar un telescopio reflector de 250 mm. de diámetro y F = 1.575 mm., colocamos un ocular ortoscópico de f = 20 mm. En este caso:

$$M = 1575 / 20 = 78 \text{ y } O = 20^\circ / 78 = 0,2564^\circ = 15'$$

Aquí tendremos menos aumento y mayor campo. Si luego colocamos un ocular de 16,8 mm. nos daría:

$$M = 1575 / 16,8 = 93 \text{ y } O = 20^\circ / 93 = 0,215^\circ = 13'$$

Aquí el aumento es mayor y el campo más reducido.

Ubicación de los CG en el cielo:

Para ubicar un CG o cualquier otro objeto, es necesario tener una carta o un mapa de la zona; también debemos conocer las coordenadas Ascensión Recta y Declinación. Para hallar el CG por medio de las cartas, hay que tomar como puntos de referencia estrellas brillantes que se encuentren lo más cerca posible de la posición del mismo; se ubica la región en la que éste se encuentra, para luego realizar con el telescopio barridos por la zona, hasta hallarlo. Para aquellos que cuentan con instrumentos con buscador, les resultará mucho más sencillo el trabajo al buscar CG grandes.

Si se cuenta con un telescopio con montura ecuatorial correctamente puesta en estación, con círculos graduados y un sistema de relojería, se podrá llevar a cabo la búsqueda con otro método: mediante las coordenadas de Ascensión Recta y Declinación es posible ubicarlos con exactitud.

Ahora bien, los discos graduados del telescopio vienen expresados en Ángulo Horario y Declinación, en cambio, los mapas y tablas en donde se publican los objetos del cielo lo hacen en Ascensión Recta y Declinación. De modo que debemos utilizar una fórmula para pasar de Ascensión Recta a Ángulo Horario. Dicha fórmula es la siguiente:

$$t = Ts - \alpha$$

Donde t = Ángulo Horario, α = Ascensión Recta y Ts = Tiempo Sidéreo.

La α ya la conocemos, así que nos queda determinar el Ts. Este dato se obtiene a partir de una tabla que la A.A.A.A. publica en las Efemérides. Pero esta tabla muestra los valores para un observador ubicado en el Meridiano de Greenwich y que realiza la observación a las 0 horas de Tiempo Universal (sistema horario unificado en todo el mundo y que se halla transformando la hora legal local a la hora civil del Meridiano de Greenwich). De modo que, para poder usar la tabla en otro lugar y a otra hora debemos hacer una conversión.

Para explicarlo mejor veamos un ejemplo (extraído de la Efemérides de 1998 de la A.A.A.A.).

Supongamos que queremos saber la Hora Sidérea el día 13 de Marzo de 1998, a las 20:00 h (horas del reloj), en la A.A.A.A. En primer lugar debemos conocer la Longitud del lugar, en este caso Longitud = 58° 26' 04" W. El Tiempo Universal en ese instante sería 23:00 h (20:00 h + 3:00 h), donde 3:00 h es nuestra diferencia horaria con Greenwich. Como el día 13 a las 23:00 h es casi el día 14, nos conviene partir de la Hora Sidérea del día 14 a las 0 h TU. Según las Efemérides:

Hora Sidérea en Greenwich el día 14/03/98 a las 0:00 h TU = 11 h 25 m 38,50 s.

Diferencia entre la hora de Observación (23:00 h TU) y la hora de Referencia (0:00 h TU) = -1 h 00 m 00,00 s

Empezamos por convertir la diferencia horaria a "tiempo Sidéreo": para ello, la multiplicamos por 1,00273790935:

$$-1 \text{ h } 00 \text{ m } 00,00 \text{ s} \times 1,00273790935 = -1 \text{ h } 00 \text{ m } 09,86 \text{ s}$$

Ahora, le sumamos este resultado a la hora sidérea en Greenwich a las 0:00 h TU:

$$-1 \text{ h } 00 \text{ m } 9,86 \text{ s} + 11 \text{ h } 25 \text{ m } 38,50 \text{ s} = 10 \text{ h } 25 \text{ m } 28,64 \text{ s}$$

Este resultado es la hora sidérea en Greenwich en ese instante.

Ahora debemos convertir la Longitud del Observador (que está en grados) a horas, para lo que la dividimos por 15:

$$-58^\circ 26' 04'' / 15 = -3 \text{hs } 53 \text{ m } 44,27 \text{ s}$$

Finalmente, a este último resultado le sumamos las 10 h 25 m 28,64 s y obtenemos:

$$-3 \text{ h } 53 \text{ m } 44,27 \text{ s} + 10 \text{ h } 25 \text{ m } 28,64 \text{ s} = 6 \text{ h } 31 \text{ m } 44,37 \text{ s}$$

Este resultado es la hora sidérea en ese instante y en ese lugar.

Habiendo obtenido el Ts, podemos utilizar la fórmula: $t = Ts - \alpha$. Si quisiéramos buscar ese día y a esa hora el CG ω Centauri, cuya $\alpha = 13 \text{ h } 26,8 \text{ m}$ y $\delta = -47^\circ 29,0'$, aplicando la fórmula obtenemos:

$$t = 6 \text{ h } 31 \text{ m } 44,37 \text{ s} - 13 \text{ h } 26,8 \text{ m} = 17 \text{ h } 04,9 \text{ m} \\ (\text{debemos sumar } 24 \text{ h})$$

Ahora sólo tenemos que mover el telescopio hasta que en el círculo del ángulo horario tengamos la lectura t obtenida arriba y en el círculo de declinación el valor correspondiente de δ .

Visualización General:

Al hablar de visualización general nos referimos a la manera en la que se observará al cúmulo a medida que las observaciones se hagan más frecuentes y extensas.

La primera vez que se observa un cúmulo globular es

muy poco lo que se logra percibir. Puede sonar paradójico pero al conocer la definición de globular se espera observar una gran cantidad de estrellas tal como aparecen en las fotografías. En realidad uno verá una gran cantidad de estrellas, sólo que se encuentran tan lejos y son tan débiles que en la mayoría de los casos sólo formarán en el ocular de telescopio una imagen aproximadamente circular, de aspecto nebuloso y con un color indefinido que va desde el blanco-pálido hasta el amarillo-anaranjado, esto dependiendo del cúmulo que se observe.

Prolongando la observación esta imagen poco definida va creciendo en tamaño, no solo vemos el núcleo y periferia sino que además se llegará a distinguir la corona y en ciertas oportunidades su débil halo. De esto se concluye que dentro de los CG existen diversas estructuras que se diferencian según la concentración de estrellas que hay en cada una de ellas.

Mientras avance el tiempo de observación los detalles serán más numerosos, los límites de la zona más fáciles de hallar y el color se definirá más exactamente.

La realización de un dibujo es sumamente conveniente cuando observamos cualquier objeto celeste; el mismo nos permite aprender a observarlo. Al comienzo es probable que no veamos demasiados detalles, pero en observaciones sucesivas, estos irán apareciendo e intensificándose permitiéndonos conocer a fondo nuestro objeto observado.

Al delinear nuestro CG tratamos que su forma y detalles sean lo más semejantes posibles a lo que vemos a través del ocular, respetando la posición relativa de las estrellas diferenciables, el tamaño de cada estructura y la forma que presentan las mismas. El dibujo se realiza con cualquier lápiz negro pudiéndose utilizar de dos clases: uno del tipo duro para estrellas más visibles y otro blando para realizar el granulado o sombreado del núcleo y alrededores.

No hay que olvidar indicar la orientación para luego poder realizar comparaciones con otros dibujos del mismo cúmulo. Para realizar esto se mueve el telescopio hacia el sur o el norte, en el primer caso, observando por el ocular, el cúmulo se moverá hacia el norte, y en el segundo caso hacia el sur. Para ubicar el este y el oeste, se detiene la relojería y se observa hacia qué lado se desplaza el cúmulo, este desplazamiento nos indica el oeste, por lo tanto el lado opuesto es el este.

Aspecto Físico

El aspecto físico de los cúmulos es caracterizado mediante el empleo de una serie de escalas definidas por letras o números:

- **Aspecto:** Existen tres tipos, R (totalmente resoluble), S (semirresoluble) e I (irresoluble). En este último caso se indica si se detectan estrellas (G - granuloso) o no, (L - liso).

- **Visibilidad:** Medida de la facilidad en ser distinguido del fondo estelar un objeto difuso. Esta escala se refiere exclusivamente al contraste con el fondo de cielo de todo el cuerpo difuso (no solo de la periferia). Escala de cinco unidades (a - e):

- a) Perfectamente visible. Muy llamativo y fácil
- b) Visible moderadamente, pero sin problemas.
- c) Visible con alguna dificultad.

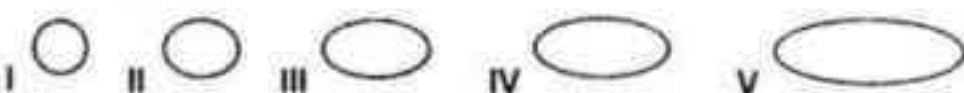
- d) Difícilmente visible pero sin dudas acerca de su presencia.

- e) Muy difícil de advertir, así como de asegurar su presencia.

- **Zonas Diferenciables:** Se indica en este espacio el número de partes en que se puede dividir un objeto, que sean diferentes entre sí. Ej. en M13 pondríamos tres (núcleo, periferia y corona), en M4 dos (núcleo y corona).

- **Color General:** Es indicado en forma abreviada el color o tonalidad que percibimos del objeto: Gr (grisáceo); P (pardo); B (blanco); A (azulado); O (ocre); V (verdoso); Am (amarillo); R (rojizo); Vi (violáceo). Es aconsejable ceñirse a la clave aquí expuesta ya que ésta es la notación utilizada habitualmente para la clasificación de esta característica. Un color puede ser definido como combinación de los aquí expuestos: Am - V, amarillo verdoso. Importante en el caso de que un objeto tenga zonas de colores diferenciables las expresaremos poniendo una barra B / V.

- **Forma dominante:** Se menciona la que se presente como la más general o visible, es decir, la que adopten sus partes más brillantes. En el caso de C. G. será: Esf. (esferoidal); E (elíptica); además se asigna un número a continuación indicando el grado de achatamiento: I = ligeramente oval, II = oval de un modo moderado, III cuando un semieje sea dos veces el otro, IV cuando un semieje sea tres veces el otro, por último V cuando un semieje sea cuatro o más veces mayor que el otro. A continuación se grafican en forma orientativa los diversos grados de elipticidad:



- **Homogeneidad:** Aspecto interno. Se mide mediante esta escala de tres valores la naturaleza interna del objeto, definiendo si está constituida por partes diferenciables o no. Así por ejemplo, una nebulosa de fondo liso y con todas sus partes de idéntico brillo sería homogénea, mientras que una de fondo idénticamente liso pero con la zona central más brillante, ya no lo sería. Del mismo modo, tampoco lo sería la que presentase más de una condensación aunque estas se repartiesen por igual en toda la superficie. Esta última la clasificaríamos como uniforme pero no como homogénea.

- I) Perfectamente homogénea: Constitución interna única.

- II) Homogénea: Si bien con alguna condensación poco importante.

- III) Heterogénea: Presenta condensaciones. Aspecto irregular nada liso.

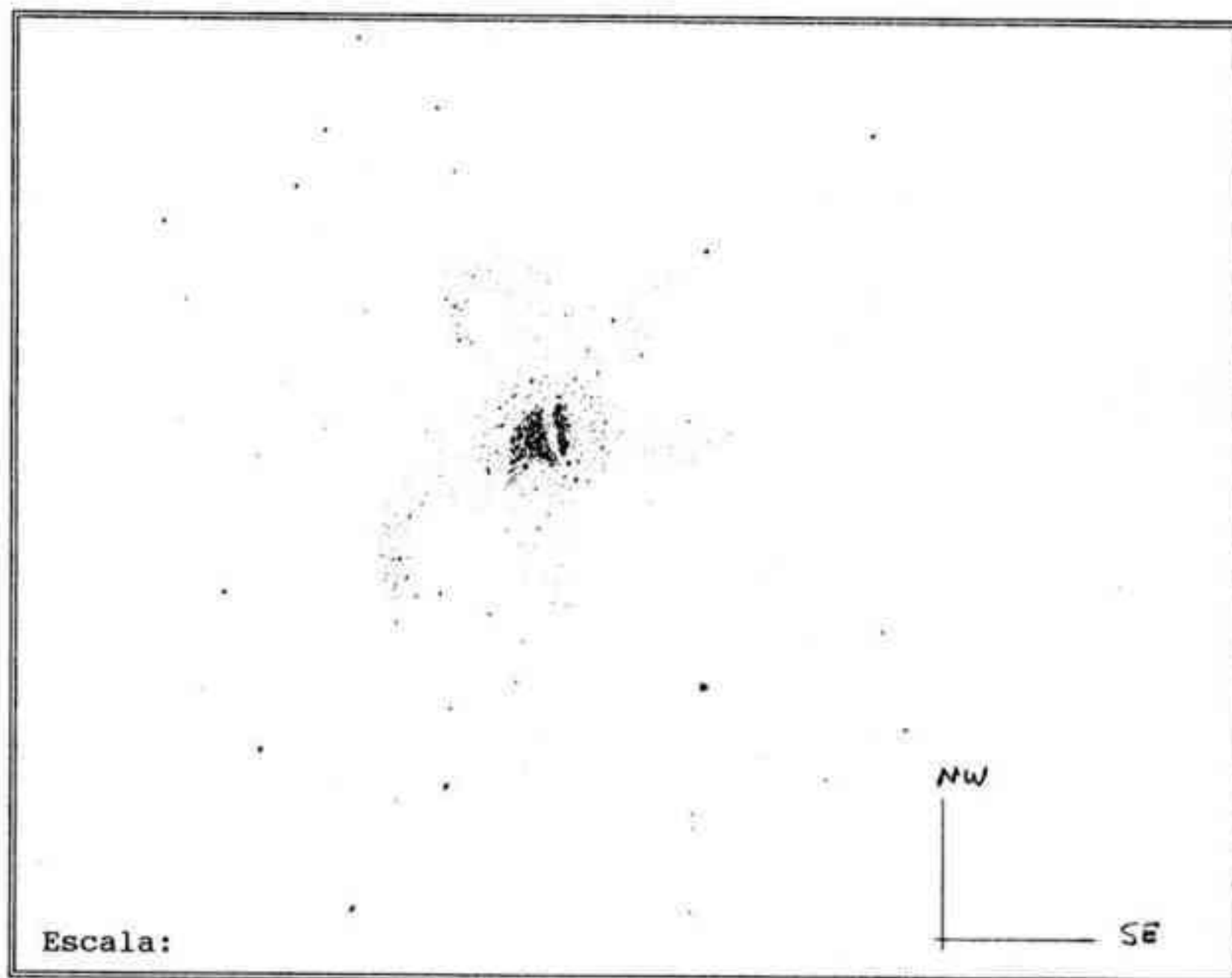
- **Uniformidad:** Ya parcialmente explicado, indica la regularidad en la disposición de las condensaciones, en el caso de que existan, y en general de cualquier tipo de estructura interna. Una nebulosa lisa (sin ninguna estructura interna) sería homogénea, pero también uniforme considerada toda ella como una única condensación. La escala consta de tres grados:

- I) Aspecto regular de la superficie y de las estructuras que contenga.

- II) Estructuras internas en disposición aproximada-

ASOCIACION ARGENTINA "AMIGOS DE LA ASTRONOMIA"			COORDENADAS (2002.0)		CATALOGO	NUMERO
Av. Patricias Argentinas 550 1405 - Buenos Aires - ARGENTINA			A.R.: 19 h 10.9 m		NGC	6752
			DECL: -59° 59'		DUN 295	
INSTRUMENTO	OCULAR	AUMENTO	DATOS TAB.	DATOS OBT.	TAMAÑO	
TIPO: REFLECTOR	OR 16.8 mm	107.	MAG: 5.4	MAG:	Núcleo:	
DIAM: 300 mm			TAM: 20'.4	TAM: 10'		
F/D : 6			DATOS TEORICOS		Situación:	
Color Gral.: BL-Am	Homogen.: III		B-V: 0.65	Mv: -7.80	Perif:	
Forma Dom. : I	Uniform.: I		SPEC: F6	RV: -32	Corona:	
Aspecto : R	Isotrop.: I		D.*: 4.2	Fe/H: -1.34	Halo:	
Visibilidad: a	Gradien.: 3		(B-V): 0.62	Tipo: 6.		
Zonas dif. : 4	Difusión: e					

ACLARACION:(*) La distancia se expresa en Kpc.



SECCION CUMULOS GLOBULARES

mente regular.

III) Estructuras dispuestas sin orden alguno por la superficie.

• **Isotropía:** Esta escala de tres valores mide la homogeneidad direccional del objeto, es decir, si partiendo del núcleo (o zona central en el caso de no tenerlo), el objeto es igual en cualquier dirección o varía según la dirección escogida. Una nebulosa con núcleo central o un cúmulo globular serían isótropos. Medimos simultáneamente forma, condensaciones y fondo.

I) Perfectamente isótropa: Aspecto invariable con la dirección escogida.

II) Isótropa: Aproximadamente igual en cualquier dirección.

III) Anisotropía: No existe ninguna semejanza en direcciones distintas.

• **Gradiente:** Similar al grado de difusión del núcleo mide el grado de transición entre el núcleo y alrededores. Escala de cinco valores:

1) Núcleo y alrededores se confunden. Sin núcleo.

2) Núcleo manifiesto pero con una variación muy lenta y suave (M4).

3) Núcleo en transición suave pero definible. En este caso podemos decir qué es el núcleo, qué es la corona y alrededores (M13).

4) Núcleo bastante bien definido y transición breve.

5) Núcleo que se interrumpe de golpe para formar la corona y periferia.

• **Difusión:** Medida del desvanecimiento del objeto, es decir, la diseminación en el fondo estelar del mismo, cuando aparece como una mancha nebulosa. La escala a usar es de cinco valores:

a) Extremadamente difuso: Los límites son indeterminables.

b) Bastante difuso: Los límites se perciben muy débilmente.

c) Difuso: Límites poco claros pero perceptibles.

d) Relativamente definido: Límites nebulosos, pero bastante perceptibles.

e) Nítido: Límites precisos y bien definidos.

Las definiciones y escalas fueron extraídas de la planilla de cumplimentación de los partes especiales de cielo profundo de la Asociación Valenciana de Astronomía.

Llenado de planillas:

Lógicamente es aconsejable hacer algo ordenado, claro y preciso, por este motivo se utilizan planillas, una para cada cúmulo y para cada observación.

En estas planillas se encuentran la numeración de las mismas y el lugar de observación detallando la posición geográfica. Además figuran los datos referidos a la ubicación del cúmulo (α , δ) la magnitud, el tipo o clase y tamaño que serán extraídos junto a otros datos de un catálogo.

Anteriormente se han mencionado las condiciones atmosféricas, algo que será de utilidad ya que en una sección habrá que describir las condiciones de observación teniendo en cuenta además de aquellas, circunstancias tales como, por ejemplo, si hay luces molestas de alumbrado o de Luna, nubes,

viento, etc.

Se seguirá luego con las estructuras internas del cúmulo donde se colocará el tamaño estimado de cada una de las zonas que se observen (núcleo, periferia, corona y halo), para lo cual se procederá de la siguiente manera:

Partiendo de una buena imagen lograda en el ocular, se deben diferenciar las zonas del cúmulo lo más exactamente posible, para ello se pueden tomar estrellas como referencias de los límites. Debemos contar con un cronómetro y si es posible con un ocular reticulado, en el caso de no tenerlo el trabajo se realizará como aquí detallamos: se ubica el cúmulo en el centro del ocular y se detiene la relojería del telescopio, de esta manera se percibirá el movimiento del cúmulo hacia el W (oeste). Se esperara hasta que el límite de la zona a medir se acerque al borde del campo y empiece a desaparecer, en ese momento se activa el cronómetro y cuando la zona diametralmente opuesta desaparezca por el mismo borde se detiene el cronómetro. A partir de este registro de tiempo en segundos se podrá hallar el tamaño angular en segundos de arco de la siguiente manera:

$$T'' = 0,25 \cdot \cos(\delta) \cdot t \text{ (seg)}$$

Donde $\cos(\delta)$ es el coseno de la declinación del objeto, t (seg) el tiempo en segundos leído del cronómetro y T'' el tamaño en segundos de arco de la zona medida. Este trabajo se debe realizar para cada una de las zonas diferenciables en el CG.

Otros datos a asentar en las planillas se refieren al aspecto físico de los cúmulos. Contamos también con un sector destinado a la confección del dibujo ya mencionado. Los demás espacios de la planilla pueden ser utilizados para redactar una descripción de las características con las que cuenta cada cúmulo en particular y contando con nuestras propias palabras lo que estamos viendo.

Conclusión

Esperamos con este trabajo haber logrado el objetivo de informarlos y motivarlos para que estudien estos interesantes objetos que son los Cúmulos Globulares. En un futuro, lo ampliaremos con el estudio de ciertos cúmulos en particular.

Agradecemos al señor Marcos Hierrezuelo y a todos aquellos que han colaborado de alguna forma para la realización de este trabajo.

Bibliografía:

Libros:

- *Introducción a la Astronomía* Cecilia Payne-Gaposchkin
- *Historia de la Astronomía* Giorgio Abetti
- *The Messier Album*

Revistas:

- *Sky & Telescope*
- *Universo* (LIADA)
- *Astronomy*
- *Revista Astronómica* (A.A.A.A.)

TEIDE I - UNA ENANA MARRÓN EN LAS PLÉYADES

Gentileza del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)

Muy recientemente, Rafael Rebolo, María Rosa Zapatero Osorio y Eduardo Martín, investigadores del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) han descubierto por medio del telescopio español IAC-80 (Observatorio del Teide, Tenerife) el miembro más débil y frío identificado en el cúmulo estelar de las Pléyades, situado en la constelación zodiacal del Toro. Su temperatura y luminosidad permiten calificarlo como una estrella enana marrón.

Sería pues, el primer objeto hallado que establece la conexión natural entre estrellas y planetas. En definitiva, es la prueba más contundente de la existencia de estos objetos que, hasta ahora, se han mostrado siempre muy esquivos para los astrofísicos.

En el universo que nos acoge existen objetos con propiedades muy particulares, que los hacen únicos y en sí mismos, interesantes. Desde los más pequeños, como los cometas y asteroides que hallamos en nuestro Sistema Solar, hasta los de mayor tamaño como las galaxias y cúmulos de galaxias, todos se hallan sujetos al estudio y análisis de los astrofísicos que tratan de desenmarañar y comprender todos los misterios físicos que los rodean. Nuestra arma básica y primer paso en el estudio es el diagrama de Hertzsprung-Russell, que representa parámetros tan significativos como la luminosidad (absoluta o real) medida en cada objeto y la temperatura efectiva. Hasta ahora, entre los planetas gigantes como Júpiter y las estrellas menos masivas existe un "vacío", un hiato en el que se supone "habitan" los denominados **objetos subestelares**, una nueva clase de objetos astronómicos a los que comúnmente se les asigna el nombre de "enanas marrones".

Desde los pioneros trabajos teóricos de Kumar (1963) y Tarter (1975), se cree en la posible formación a partir de nubes moleculares de "estrellas" de masa extraordinariamente pequeña. La masa inicial de la nube progenitora y el proceso por el cual el objeto se forma, son los dos factores fundamentales que determinan su posterior clasificación.

Las estrellas se originan como resultado del colapso de un fragmento de nube de gas interestelar. A medida que la estrella se contrae, su temperatura interior aumenta hasta alcanzar valores adecuados para la fusión termonuclear ("quemada" de hidrógeno) y ésta no sólo es el origen de la luz observada sino que además impide que la estrella siga contrayéndose por efecto de su propia gravedad.

Sin embargo, cuando la masa inicial de la "protoestrella" es inferior a 0,08 masas solares, su temperatura interior nunca llega a ser lo suficientemente alta como para mantener una reacción termonuclear estable del hidrógeno. Como consecuencia, el objeto continúa contrayéndose radiando al exterior una fracción considerable de su energía gravitacional, hasta que la presión de degeneración electrónica pone el límite. La falta del "horno" nuclear hace que se enfríen en un intervalo de tiempo muy breve siendo intrínsecamente más débiles

hasta que finalmente se apagan.

Son los objetos subestelares (o enanas marrones). Los planetas gigantes también se contraen y enfrían durante su proceso de evolución, pero se diferencian de las enanas marrones en que se forman por la acreción de masa fría del disco gaseoso que los rodea y no por la fragmentación inicial de una nube interestelar.

A medida que la enana marrón envejece se enfría, es menos luminosa y más difícil de detectar. Se hace necesario disponer de estrategias así como de pruebas viables con nuestros medios que nos permitan primero observarlas y luego analizarlas en detalle. Los grandes avances tecnológicos que han experimentado hoy en día los telescopios e instrumental óptico, así como la mejora en la construcción y en la sensibilidad de los detectores CCD nos permiten profundizar más en el cielo (alcanzar magnitudes más débiles) y cubrir un volumen espacial mayor.

Por ello, la búsqueda de estos extraños objetos estelares es posible en los cúmulos abiertos jóvenes cercanos al Sistema Solar; la ventaja de trabajar con cúmulos estelares abiertos es que todos sus miembros tienen aproximadamente la misma edad y están situados a la misma distancia de nuestro Sistema Solar.

Las enanas marrones en estos cúmulos estelares son los objetos más rojos y menos luminosos, pero esas características no bastan para asegurar su naturaleza. Pero el denominado "test del litio" es una prueba espectroscópica capaz de superar la barrera impuesta por las observaciones fotométricas.

El litio es un elemento ligero que se destruye en el interior de las estrellas. Para que dicha reacción tenga lugar, es preciso un medio con temperaturas superiores a $2,5 \times 10^6$ °K. De acuerdo con diversos trabajos teóricos, los objetos con masas de 0,065 a 0,060 masas solares, independientemente de su edad, jamás alcanzan y, por supuesto, nunca superan ese límite, por lo que el contenido inicial de litio debe preservarse en las capas superiores de las atmósferas de dichos objetos y, consecuentemente, presentan la línea a 670,8 nm característica de ese elemento.

Para masas superiores el ritmo de destrucción del litio es muy rápido (de hecho a la edad de 50-100 millones de años estas estrellas no presentan litio en sus atmósferas). No obstante, y siguiendo los mismos modelos teóricos, los objetos subestelares jóvenes en los cúmulos abiertos aún no habrían consumido totalmente su contenido de litio y estaríamos en el dominio de los objetos subestelares más luminosos y, por lo tanto, más fácilmente detectables.

Entre todos los cúmulos jóvenes que están próximos a nuestro Sistema Solar, las Pléyades es el que, por excelencia, reúne las mejores propiedades físicas para la búsqueda de enanas marrones. Su distancia a nuestro sistema es de tan sólo 400 años luz, su edad intermedia entre los 70 y 100 millones de años, peculiaridades que han hecho de ese cúmulo la región

del cielo idónea en la que las búsquedas más exhaustivas han tenido lugar.

La técnica que hemos empleado se describe a continuación: obtención de la fotometría en los filtros *R* e *I* y estudio de movimientos propios, seguido de espectroscopía en el visible de aquellos candidatos verdaderamente interesantes.

Queríamos encontrar los objetos más rojos y menos luminosos que además se movieran en el espacio con un desplazamiento consistente con el de las Pléyades. Para ello se seleccionaron muestras de imágenes CCD de archivo tomadas en noviembre de 1986 con el telescopio Isaac Newton de 2,5m del Observatorio de Roque de los Muchachos, isla de La Palma. Ocho años después hemos repetido las observaciones en imagen directa CCD con el telescopio español IAC-80 de 0,8m del Observatorio del Teide, isla de Tenerife, en los mismos filtros, cubriendo un área de 175 minutos de arco².

Tras el análisis fotométrico de nuestras imágenes y el estudio de movimientos propios por comparación entre la primera y la segunda época, surgió un objeto cuyas medidas coinciden con las que definen la más baja secuencia principal de las Pléyades y con los que, en teoría, es la región subestelar del cúmulo. Lo hemos bautizado con el nombre de **Teide Pléyades 1** (Teide 1), en honor del observatorio en el que por primera vez se vislumbró su posible naturaleza subestelar. Situado a tan sólo 16 minutos de arco del centro del cúmulo, Teide 1 con magnitud $I=18,8$, color $R-I=2,74$, es sin duda el mejor candidato a enana marrón hoy día reconocido.

Por primera vez se ha descubierto un objeto en el cielo cuyos parámetros fotométricos y espectroscópicos indican que se trata de una enana marrón, y por lo tanto un objeto subestelar "a medio camino" entre las estrellas de muy baja

masa y los planetas.

El hecho de haberlo encontrado en un cúmulo de edad y distancia conocidas facilita la determinación de su naturaleza. Su descubrimiento, resultado de una búsqueda fotométrica y de movimientos propios, habiéndose cubierto en ello sólo un 0,3% del área total de las Pléyades es alentador, siendo prueba de que estos objetos (predichos en base a la teoría desarrollada hace algo más de 30 años) verdaderamente existen.

Mediante una sencilla extrapolación, el número de objetos subestelares similares a Teide 1 en el cúmulo sería comparable al de las estrellas *M* identificadas. Aunque las enanas marrones más masivas en las Pléyades posiblemente son muy numerosas, su contribución a la masa total del cúmulo sería del orden del 1 al 2%.

Si además el ritmo de formación estelar y de objetos subestelares en este cúmulo es representativo de lo que ocurre en nuestra Galaxia, las enanas marrones no contribuirán más que en una fracción muy pequeña a la masa total del disco, siendo, por lo tanto, muy improbable que ellas por sí solas ayuden a la solución del problema que presenta la denominada "materia oscura". Habría que buscar otras posibles formas de materia que tengan en cuenta la diferencia observada entre la masa dinámica y la masa visible en las galaxias.

En la Pléyades ya está definido el límite subestelar y Teide 1 se encuentra más allá. Es lógico pensar que en otros cúmulos con edades intermedias este límite también exista. Se ha abierto pues, una frontera que debe ser investigada y caracterizada.

El presente artículo es una versión condensada del texto original realizada gentilmente por el Dr. Juan Carlos Forte.

SÍNTESIS DE IMÁGENES DE RADIOFUENTES USANDO UN ARRAY DE ANTENAS Y EL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN TERRESTRE

Por el Departamento de Radioastronomía

Uno de los objetivos fundamentales de la Radioastronomía es el de proporcionar imágenes claras de los objetos celestes recogiendo las ondas de radio que estos emiten por mecanismos naturales. Los objetos emisores son, en su mayor parte, nubes de gas que existen dentro o fuera de las galaxias y que brillan en radio al acelerarse o frenarse sus rapidísimos electrones.

La claridad o nitidez de las imágenes de radio dependen de la antena del radiotelescopio observador. Para una parábola, la nitidez aumenta con la relación: Diámetro/Longitud de onda. Como las longitudes de onda de radio son más grandes que las de las ondas visibles (centímetros-metros contra décimas de micrón) la nitidez o resolución angular de las imágenes obtenidas con instrumentos de una única parábola es pobre en comparación con la de un telescopio óptico.

El límite de la resolución angular lo da la relación entre el tamaño de la imagen de difracción y la distancia focal del objetivo del telescopio o la parábola del radiotelescopio.

La antena más grande del mundo, de 300 m de diámetro, ubicada en Arecibo, Puerto Rico, trabajando con una longitud de onda de 21 cm, resuelve 2,4 minutos de arco. Por otro lado, la resolución de un telescopio óptico de aficionado de 15 cm de diámetro llega a 1 segundo de arco, unas 140 veces superior a la gran antena!

Sin embargo, como contradiciendo lo anterior, en radio se pueden lograr resoluciones aún muy superiores a las mejores conseguidas ópticamente. Esto es posible usando agrupaciones de antenas (*arrays*) que trabajan en forma combinada. Con este recurso se ha logrado ya un poder separador del orden de los milésimos de segundo de arco. Así, por ejemplo, se pudo seguir claramente el movimiento propio de burbujas de material expulsado del núcleo de galaxias activas muy lejanas, descubriéndose con ello los fenómenos superluminales, donde esas burbujas aparentan desplazarse con velocidades que superan ampliamente a la de la luz.

La obtención de estas imágenes se realiza por "síntesis",

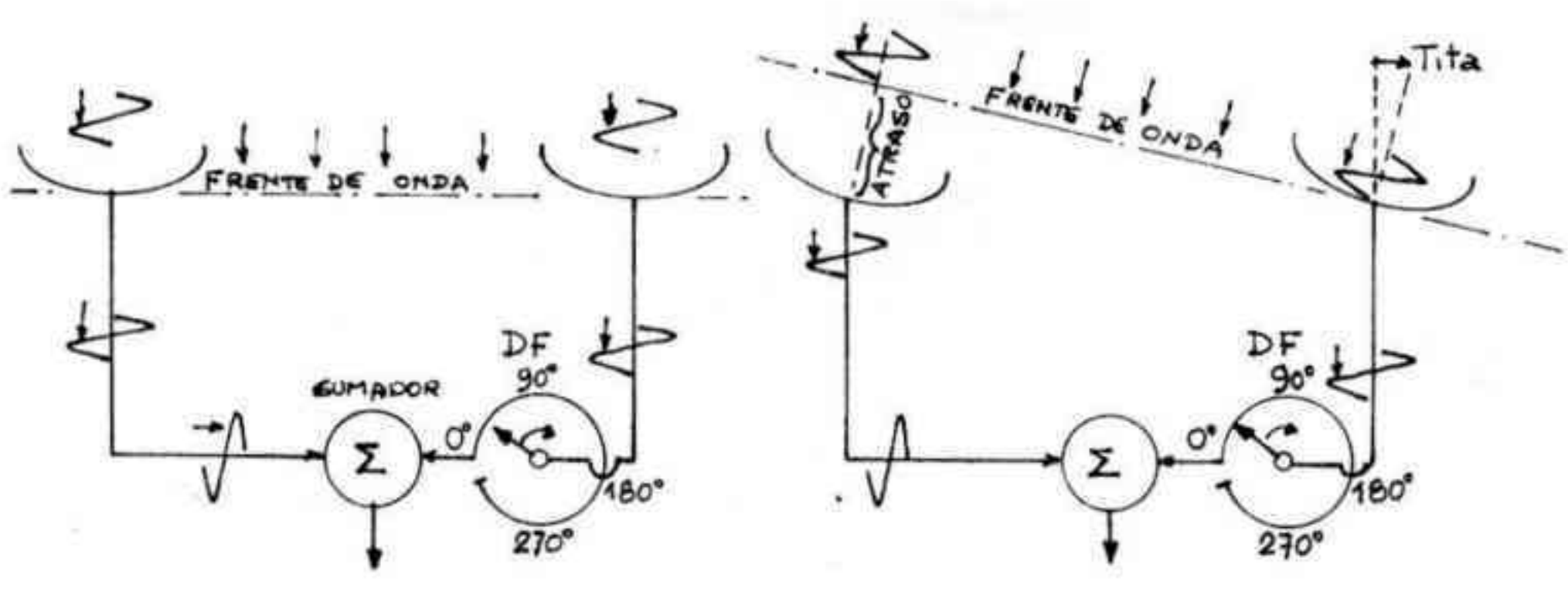


Fig. 1

un método que utiliza recursos de "interferometría".

Existen conjuntos de antenas que trabajan conectadas entre sí, en forma permanente, enviando al receptor una sola señal resultante. Este tipo de array es más bien fijo y opera como una única antena de mayores dimensiones que la de sus elementos individuales.

En otros arrays, sin embargo, no están conectadas sus antenas entre sí, sino que envían las señales individuales al edificio principal donde son procesadas. En este caso el array se divide en "celdas" elementales compuestas por pares de antenas. Cada par de antenas trabaja como un interferómetro simple. Estos arrays consisten, entonces, en una variedad de celdas. La cantidad de estas celdas está dada por el número de pares de antenas que se puede tomar. Por ejemplo, con 3 antenas, habrá 3 celdas; con 4 antenas, 6 celdas; etc. Si además las antenas son ubicadas estratégicamente, no repitiendo distancias entre ellas, no habrá redundancia en la información extraída, aprovechándose mejor el array.

Cada celda compuesta de un par de antenas compone un interferómetro. Existen varios tipos de interferómetros, pero aquí vamos a tratar el de lóbulo barredor.

En el gráfico de la izquierda de la Fig. 1 vemos dos antenas que llevan por cable sus señales a un punto central donde se suman sus valores instantáneos en forma continua. Estas señales son ondas de radiofrecuencia (RF) de forma senoidal. Vemos que la señal de la antena derecha pasa por un desplazador de fase (DF) antes de juntarse con la de la

izquierda. En ese DF, la magnitud de la señal no sufre ninguna variación, solo cambia su fase de un modo programado. El retardo de fase hace que la onda de la antena derecha se atrase respecto de la de la antena izquierda en una medida controlada. Por ejemplo, se desplaza la fase (que es una magnitud angular) en saltos de 22,5°, pasando por 90°, 180°, 270° y terminando en 0° nuevamente. Cada desplazamiento de fase se mantiene por unos segundos, que es el tiempo necesario para que se tomen los datos adecuadamente, con una computadora.

Si pensamos ahora que por sobre las antenas hay una radiofuente puntual, el frente de onda que llega a ellas las alcanza al mismo tiempo.

Esa onda de RF continuará su viaje por los cables de ambas antenas hacia el punto central donde se sumarán. Si en ese momento el DF está en cero grados, las dos ondas se sumarán dando una amplitud doble. Pero como el DF está desplazando la misma de a saltos, llegará un momento en que la onda de la derecha se pondrá en "contrafase" respecto a la de la izquierda, restándose en el sumador, del que, en consecuencia, ahora no saldrá señal. En razón de esto, con el transcurso del tiempo saldrá del sumador una señal de RF de amplitud variable. Esta variación será de naturaleza senoidal y tendrá la frecuencia del DF.

La información que buscamos está solo en esta variación senoidal a la frecuencia del DF. La RF y la señal de continua (DC) se desechan (Fig. 2).

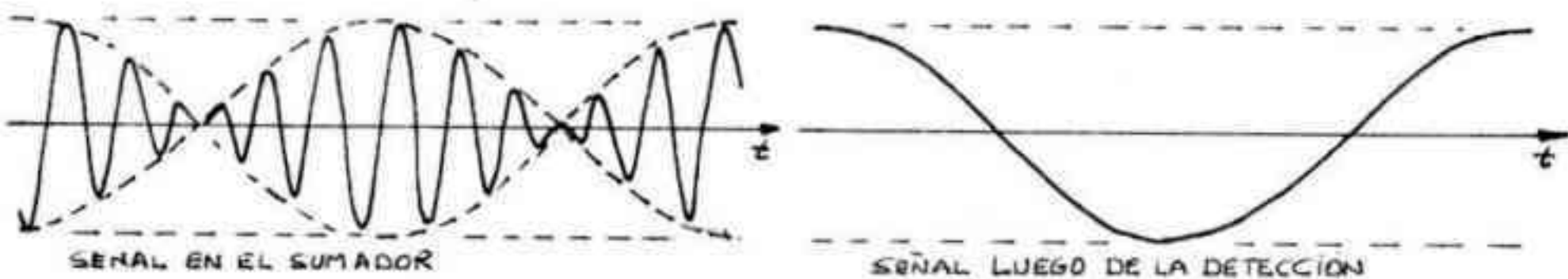


Fig. 2

Esta frecuencia puede ser relativamente baja, unos pocos ciclos por minuto, por ejemplo. En este caso, con la radiofuente encima del interferómetro, la mayor intensidad de señal se detectará cuando haya 0° de desplazamiento de fase, y será cero cuando haya 180° en la fase.

Pero, ¿qué sucede cuando la radiofuente se desliza por el cielo, a causa del movimiento de rotación terrestre? Pasamos a la posición de la porción derecha de la Fig. 1. Aparece aquí un camino adicional de la onda que llega a la antena izquierda que también retarda su fase. Ahora el máximo de señal de salida del sumador se dará cuando el desplazamiento de fase del DF sea el mismo que el equivalente al camino adicional causado por la rotación terrestre. En consecuencia, la sincronización entre la fase del DF y el máximo de salida del sumador se irá corriendo al transcurrir el tiempo.

Diagrama de radiación

El diagrama de radiación de este interferómetro es multilobular (Fig. 3), es decir, comprende una gran cantidad de pequeños lóbulos espaciados regularmente que aparecen contenidos dentro de un lóbulo más ancho, que corresponde al lóbulo de las antenas individuales. Estos pequeños lóbulos rotan continuamente dentro del lóbulo mayor a causa del DF. Cuando la radiofuente mencionada es barrida por uno de esos lóbulos, se registra un máximo de señal en el sumador. Recordemos que este tipo de aparato se llama "Interferómetro de Lóbulo Barredor".

Esto ocurre con una radiofuente solitaria y puntual, es decir de tamaño angular menor al ángulo de resolución del interferómetro, que es el ángulo que abarca uno de los lóbulos pequeños. Cuando el interferómetro apunta a fuentes puntuales múltiples, se producen tantas salidas senoidales en el sumador como fuentes puntuales haya en el cielo. Como las

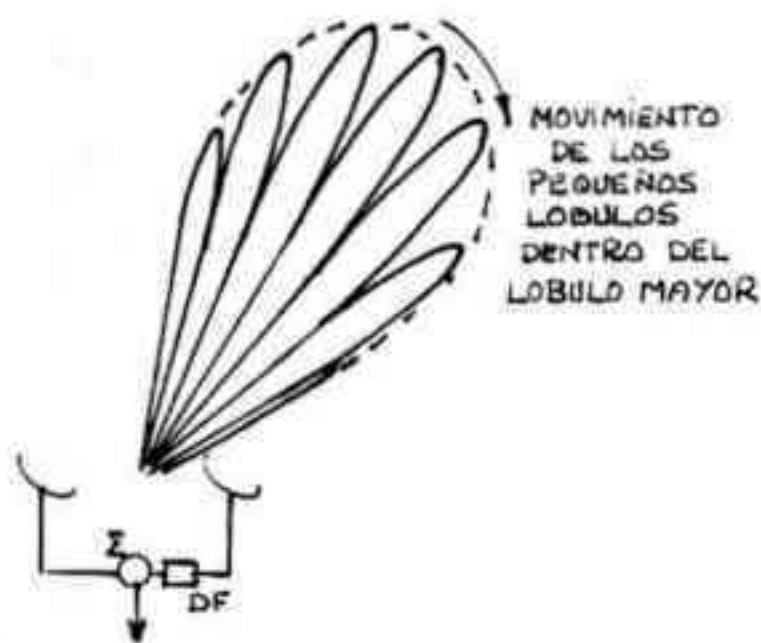


Fig. 3: Diagrama de radiación del interferómetro de lóbulo barrido

salidas senoidales se suman algebraicamente, puede darse el caso en que una señal de una fuente anule la que causa otra fuente, con el resultado que a la salida del sumador resulta señal cero. Sin embargo, a pesar de este resultado aparentemente negativo, el interferómetro sigue aún brindando valiosa información, pues ese cero es clave en la síntesis de la imagen.

Distancia angular entre lóbulos menores

Esta distancia angular es la que da la resolución del interferómetro. También se llama distancia entre franjas. Se expresa como:

$$\text{Distancia angular (rad)} = \frac{\text{Long. de onda (RF)}}{a \cdot \cos \theta}$$

donde:

a = Distancia entre las dos antenas (Línea de base)

θ = Ángulo entre la perpendicular a la línea de base y la

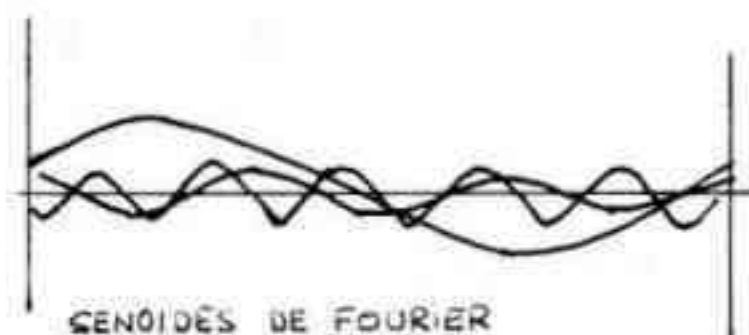


Fig. 4

dirección de apuntado de las antenas.

Se ve que la distancia angular es mínima (resolución máxima) cuando la fuente está en dirección perpendicular a la línea de base, y viceversa, en las cercanías de las intersecciones de la línea de base con la esfera celeste, las franjas se ensanchan.

Visión intuitiva de las franjas

Si se detiene la rotación de fase del DF, dejándolo en un desplazamiento de fase constante, se puede pensar en que las franjas se fijan en el cielo. Estas se disponen como paralelos en la esfera celeste con la línea de base actuando como su "eje polar". Así que dependiendo donde esté situada la radiofuente, en ese momento, en el cielo, también será la distancia entre franjas y su orientación en el sistema de coordenadas Ascensión Recta y Declinación (Angulo de posición de las franjas).

Después de toda esta compleja explicación llegamos a ver que lo único que extraemos del interferómetro, en cada medición, son dos valores:

- 1) La amplitud de la señal senoidal del sumador
- 2) La diferencia de fase entre el DF y esta señal.

Las mediciones se realizan a lo largo del tiempo en que la radiofuente está al alcance del interferómetro, a intervalos regulares de tiempo sidéreo; las antenas deben seguir a la radiofuente en su movimiento diurno. Esto significa que si se realiza una medición cada 10 minutos, se tendrá luego de 24 horas unas 144 mediciones, para fuentes circumpolares, y menor cantidad para aquellas que salen y se ponen detrás del horizonte.

Como se dijo, cada par de antenas del array forma un interferómetro distinto que tendrá su línea de base propia y su orientación también será particular. Por ejemplo, un array de 4 antenas, dará lugar a 6 posibles interferómetros. Cada diez minutos, por ejemplo, se harán 6 colecciones de datos, es decir, 6 amplitudes y 6 fases. Además de estos datos, se debe guardar el ángulo de posición de las franjas en el cielo de cada medición. Este ángulo de posición de las franjas no es una magnitud medible sino que sale del cálculo, para cada posición en el cielo de la radiofuente y la orientación de la línea de base.

Bases para la síntesis

Para resolver la síntesis de las imágenes nos remitimos a las enseñanzas del físico y matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) Veremos lo que Fourier demostró para curvas (funciones) planas, representables en un par de ejes coordenados x-y. Estas curvas representan como varía el valor de y al cambiar x. Se dice que y es una función de x, es decir, que depende de ella. Si se tiene una antena fija apuntando a un punto del meridiano local, las radiofuentes que acierten a pasar delante del haz de la antena producirán un incremento en la señal que sale del receptor. Si esta señal se grafica continuamente en un registrador de papel, por ejemplo, se obtendrá una curva que representará la energía captada por el receptor en función del tiempo. Por supuesto, la variable tiempo es fácilmente relacionable con la coordenada celeste llamada Ascensión Recta, que es una coordenada espacial. Pero lo importante es que tendremos una función representable

en ejes coordenados, como la mencionada antes. Fourier demostró que se puede obtener una curva igual sumando una serie de senoides. Cuantas más senoides sumemos, más parecida a la original es la curva así creada. Las senoides propuestas por Fourier tienen longitudes de onda fijadas de antemano y relacionadas entre si por números simples, por ejemplo: si la primera longitud de onda es =1, la segunda será 1/2, la tercera 1/3, la cuarta 1/4 y así sucesivamente.

A diferencia con la fijación de las longitudes de onda de las senoides, que se hace sin siquiera mirar la curva como se dijo arriba, las amplitudes y fases iniciales de las mismas requieren un cálculo cuidadoso que Fourier dejó bien definido, usando la curva empírica obtenida de la antena. Anteriormente habíamos explicado que del análisis de la señal de nuestros interferómetros de lóbulo barredor obteníamos la amplitud de la señal senoidal del sumador y la diferencia de fase entre la señal y el DF. Justamente es lo que necesita Fourier para reconstruir la señal original, que es la que da el brillo del cielo (en radio) en función del tiempo. La resolución angular será la equivalente a la de las franjas más angostas. Por supuesto que en nuestro interferómetro habrá diferencias muy importantes con lo explicado antes en forma simplificada. Primero: Lo nuestro no es una curva plana sino una función de dos coordenadas, la Ascensión Recta y la Declinación, pues es una imagen; debemos emplear pues Fourier doble dimensional. Segundo: Con solo tres antenas no tenemos todas las senoides requeridas por Fourier, relacionadas adecuadamente por sus longitudes de onda. Debemos asignar inteligentemente un "peso" a cada senoide para evitar sumar repetidamente la misma senoide (o una muy parecida) y para realzar las senoides más raras. En nuestro interferómetro, la amplitud y fase de las senoides darán lugar a franjas que tendrán una orientación respecto a la dirección Norte-Sur (Angulo de Posición). La suma algebraica de estas franjas, considerando longitud de onda (separación entre franjas), amplitud, fase, ángulo de posición y peso da lugar a la que se llama Síntesis de la imagen del cielo que nos interesa.

Conclusión

A fin de prever y analizar los problemas venideros con el futuro Array Sintetizador de Imágenes a construirse en nuestra Asociación, se realizó un pequeño programa simulador simplificando muchos de los parámetros que entran en juego en la realidad, pero que no por eso deja de ser de utilidad para conocer con qué nos encontraremos. El resultado parece ser bastante promisorio en lo que respecta a resolución angular y sensibilidad necesarias para detectar radiofuentes pequeñas, lo que permitirá mapear el cielo en forma más completa y aprender a introducir técnicas elaboradas en obtención de imágenes de radio por métodos interferométricos. La construcción de este ambicioso proyecto requiere de entusiastas participantes que se comprometan con lo que llamamos *trabajo x tiempo*, por ello hacemos un llamamiento a todos los socios que deseen sumarse a ese fin, a que se acerquen al Departamento de Radioastronomía los Jueves y Sábados. No se requiere ningún conocimiento específico sino voluntad de compromiso con esta tarea que quedará como patrimonio de nuestra Asociación.

LOS ELEMENTOS ORBITALES. DEFINICIÓN Y SIGNIFICADO GEOMÉTRICO.

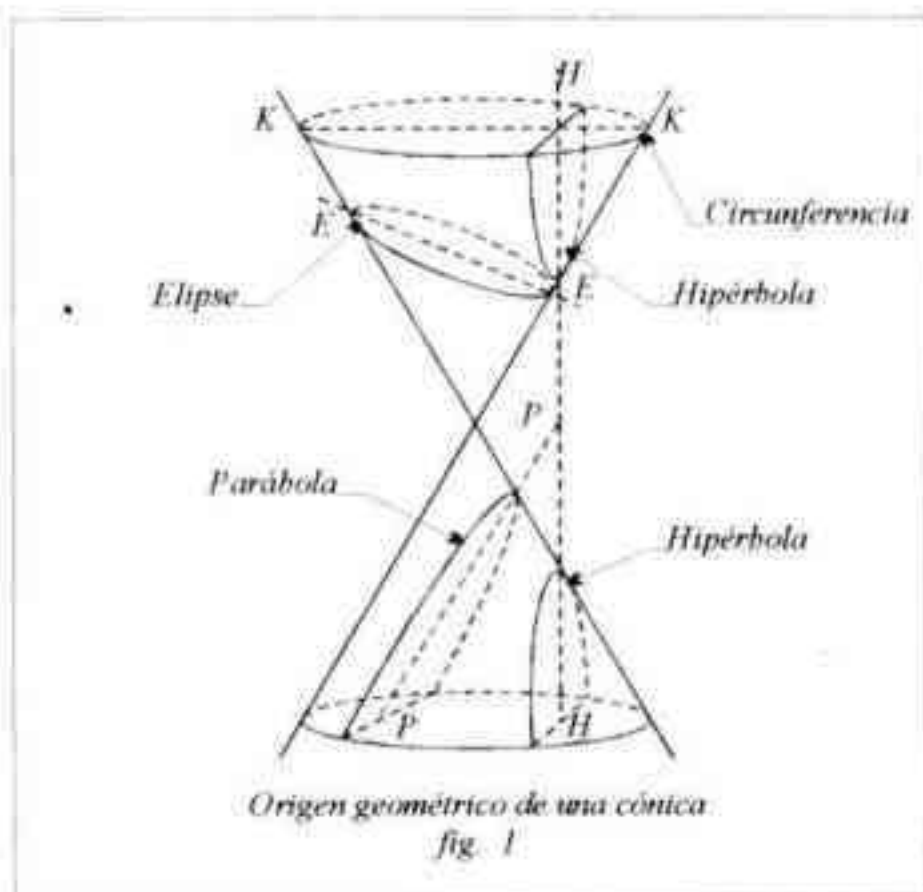
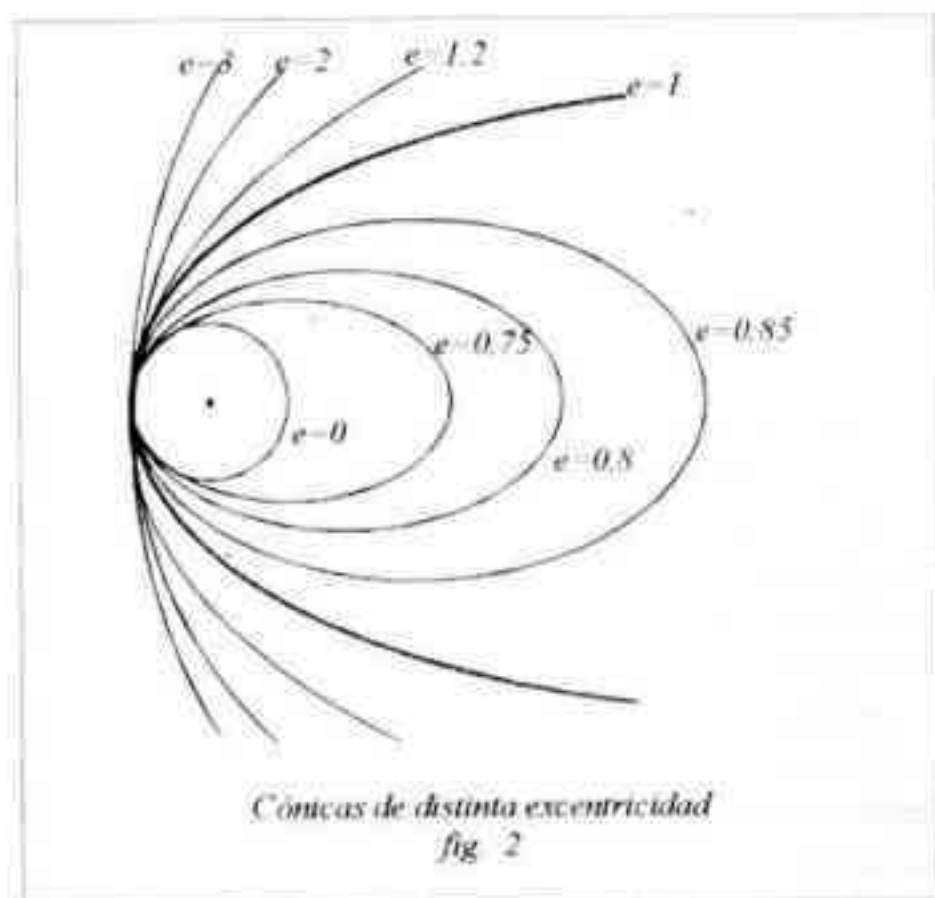
Por José R. Carozza, Sección Sistema Solar, AAAA.

Introducción

Con la Ley de Gravitación Universal y la definición física de fuerza se puede obtener una explicación del movimiento de cualquier objeto en el Universo. Según Newton, todo cuerpo en el espacio se encuentra en constante interacción gravitatoria con los demás. Una combinación de mutuas aceleraciones y deceleraciones marca las trayectorias de él y los astros que le rodean. El cálculo de las posiciones y velocidades de los cuerpos que integra un sistema gravitatorio suficientemente aislado se conoce como el *problema de los n cuerpos*. Lamentablemente, no existe método analítico que resuelva la bonita ecuación diferencial que lo representa y llegar a una solución empleando métodos de integración aproximada requiere en la práctica gran esfuerzo (y mucho tiempo).

El problema de los dos cuerpos

Sin embargo, la descripción del movimiento de un objeto de nuestro Sistema Planetario puede ser simplificado si tenemos en cuenta que el Sol representa más del 99,8% de la suma de masas de los cuerpos que lo componen. Este hecho nos lleva a poder considerar al Sol y al objeto aislados en un sistema de referencia fijo, con centro en el primero. Tal planteo es conocido como *problema de los dos cuerpos* y de su solución analítica surgen unas constantes de integración que son los *elementos orbitales*.



Los elementos para cualquier órbita

Los parámetros orbitales definen el camino que describe un cuerpo en el espacio euclídeo con trayectoria kepleriana. Según la primera ley de Kepler, un objeto se mueve en una órbita cuya forma corresponde a una cónica (que geoméricamente hablando, es una línea curva resultante de la intersección de un plano con un cono). Hay cuatro clases posibles de curvas de este tipo (fig. 1):

- la circunferencia,
- la elipse,
- la parábola,
- la hipérbola.

La circunferencia es un caso especial de elipse y la parábola es el límite entre las elipses y las hipérbolas.

Dado un sistema de referencia basado en la eclíptica como plano fundamental, con el punto vernal Υ marcando el eje x, y teniendo el Sol como origen de coordenadas y ubicado siempre en el foco primario de la cónica descrita por el astro, el problema de los dos cuerpos se puede dividir en tres partes para su análisis:

- 1) Ubicar el plano de la órbita del objeto respecto a dicho sistema,
- 2) Orientar la cónica dentro del plano orbital,
- 3) Determinar la posición del objeto en su órbita dado un instante cualquiera.

Desarrollando los dos primeros puntos surgen las definiciones de los elementos orbitales, quedando el último exento de ser partícipe de las mismas, pero que merece la promesa de ser tratado en profundidad en un próximo artículo.

De la intersección de los planos eclípticos y orbitales surge una línea recta llamada *línea de los nodos*. El *nodo*

ascendente N de la órbita es el punto en que el objeto, debido a su movimiento, pasa del hemisferio eclíptico austral al boreal.

La **longitud del nodo ascendente** Ω es el ángulo medido sobre el plano de la eclíptica, en sentido directo, desde el equinoccio vernal Υ hasta el nodo ascendente N. Su valor puede variar entre 0° y 360° , ya que en otras palabras, es la *longitud eclíptica del nodo ascendente de la órbita*.

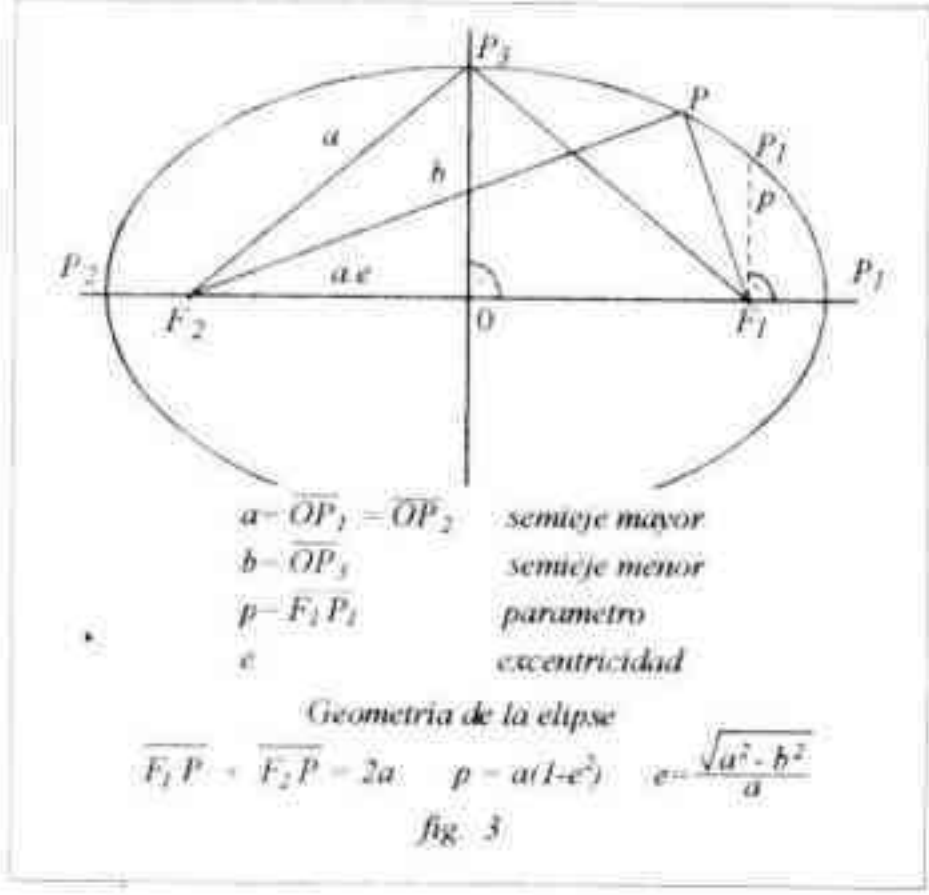
La **inclinación** i es el ángulo diedro formado por los planos eclíptico y orbital. Varía entre 0° y 180° . Para objetos con *movimiento directo (antihorario)* —en sentido contrario a las agujas del reloj—, la inclinación varía entre 0° y 90° . Para aquellos de *movimiento retrógrado (horario)* —en sentido de las agujas del reloj— está entre 90° y 180° .

Estos dos primeros elementos ubican el plano orbital respecto al eclíptico y, de esta forma, queda por resolver sólo el segundo punto. Antes de esto, vamos a analizar algunas propiedades del tipo de cónica que describe el cuerpo.

La **excentricidad** e es el elemento que define la forma de la órbita del objeto (fig. 2), es decir, la clase de cónica que describe. Su valor es siempre positivo, igual o mayor que cero. Para las elipses, e está comprendido entre 0 y 1, siendo la circunferencia una elipse de excentricidad igual a 0. La parábola tiene e igual a 1. Las hipérbolas son curvas con excentricidades mayor que 1, y son raros los casos encontrados en el Sistema Solar. Todos los planetas y todos los asteroides describen órbitas elípticas. Los cometas siguen cualquiera de las trayectorias posibles, muchos las tienen elípticas y parabólicas, siendo las hiperbólicas de una excentricidad que se aleja muy poco de la unidad. Según la cónica, la representación geométrica de la excentricidad se puede deducir a simple vista en las figs. 3, 4, 5.

El punto de la órbita en que el objeto se halla más cerca del Sol se denomina *perihelio*. Por ambos pasa el eje principal de la cónica. De él surge la definición de los elementos orbitales que faltan.

La **distancia perihélica** q es la longitud del segmento que une al Sol y al objeto cuando en su recorrido se encuentra más cercano a él, medido generalmente en Unidades Astronómicas (UA), y define el tamaño de la órbita que describe. El **tiempo del pasaje por el perihelio** T es el momento en que el cuerpo se encuentra en este punto. Suele indicárselo indistintamente en *fecha calendario* o en *fecha juliana*, y sirve de punto de referencia temporal para el movimiento del objeto.



Ahora retornemos a la solución del último punto, del que surge el elemento orbital faltante para definir completamente a cualquier órbita. El **argumento del perihelio** ω es el ángulo medido sobre el plano orbital del astro, en sentido del movimiento del mismo, desde el nodo ascendente hasta el perihelio. Su valor puede estar comprendido entre 0° y 360° .

Así quedan definidas las 6 constantes de integración o elementos orbitales comunes a cualquier tipo de órbita.

La elipse como caso particular

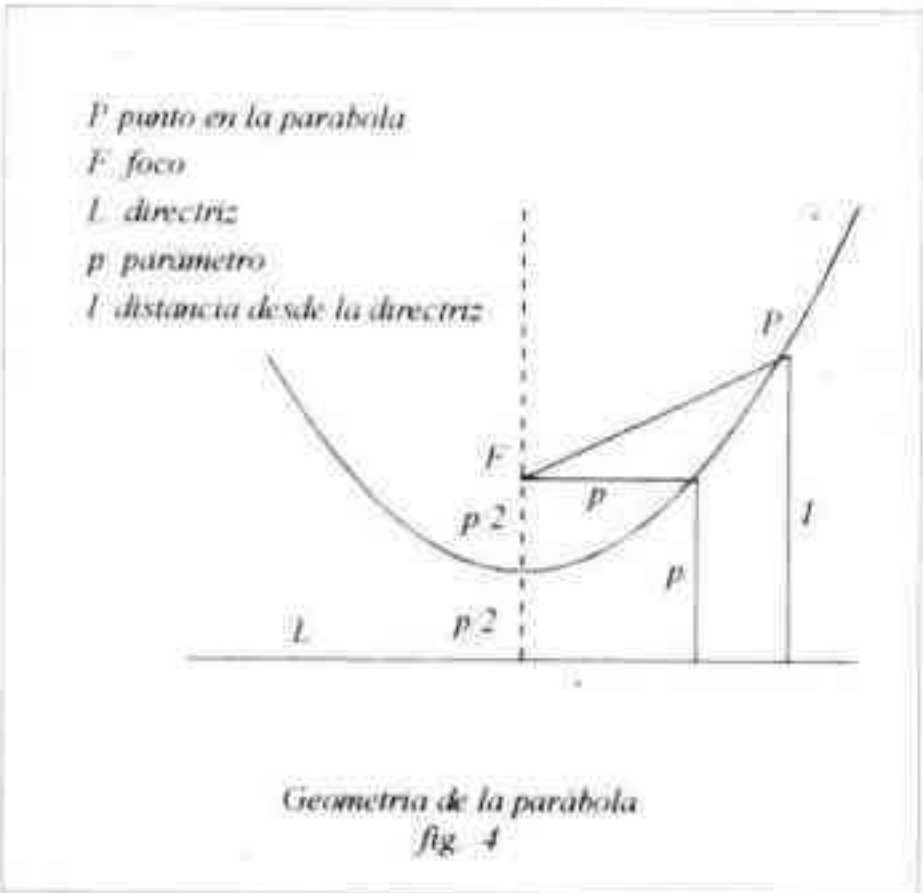
De las tres cónicas, *la elipse es la única trayectoria cerrada* que puede seguir un cuerpo en torno al Sol. Es decir, en la que el astro efectúe sucesivas revoluciones alrededor del mismo (planetas, asteroides y cometas periódicos).

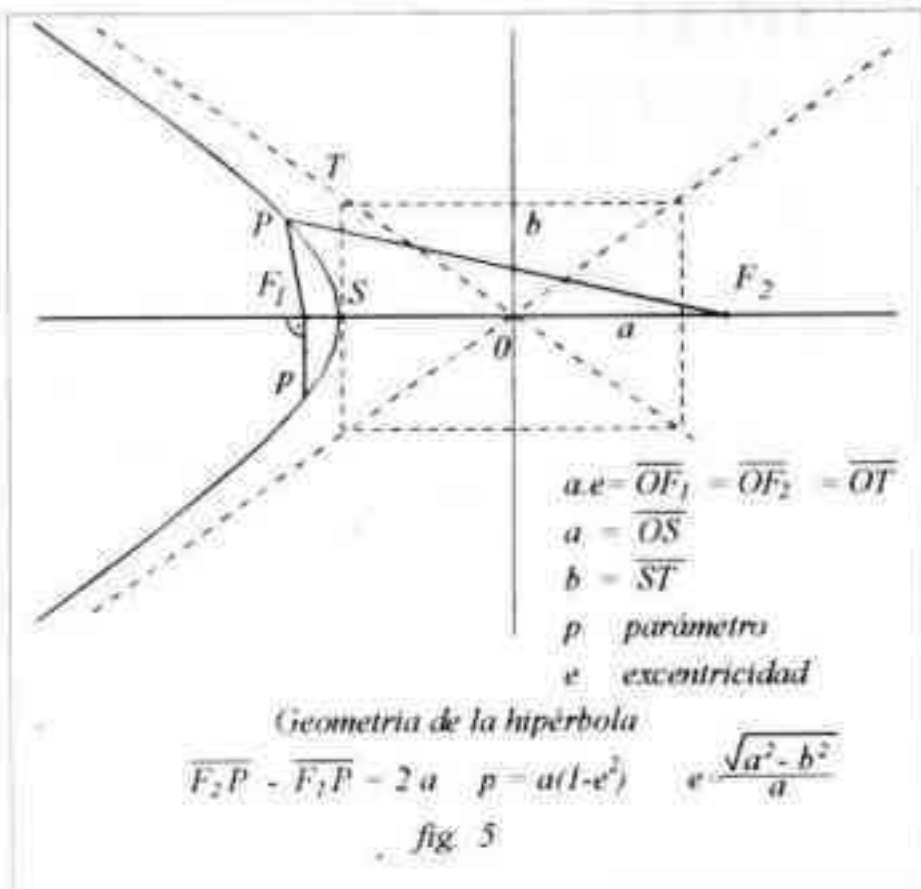
Debido a que la mayoría de los miembros del Sistema Solar describen órbitas elípticas, a la incomodidad de tener que definir el tiempo del pasaje por el perihelio T por cada revolución y a que es más práctico considerar las distancias medias al Sol de un planeta o asteroide porque sus excentricidades son pequeñas, existen elementos alternativos para la elipse que reemplazan a T y q . Aprovechando las características geométricas de la elipse, quedan definidos:

1) El **semieje mayor** a (fig. 3), equivalente a la mitad del eje mayor de la elipse, igual a la distancia desde un foco de la misma hasta el punto de intersección de la curva con el *semieje menor*. Representa a la *distancia media del Sol al objeto* y, como elemento orbital, reemplaza a la distancia perihélica q .

2) La **anomalía media** M en la época t , ángulo medido con centro en el Sol, sobre el plano de la elipse que describe el objeto, desde el perihelio hasta la posición ficticia que ocuparía en su órbita en el instante t , si se trasladaría con movimiento uniforme en torno al Sol. M y t reemplazan T .

Recordemos que según la segunda ley de Kepler, *todo*





$$n = k * (\mu / a^3)^{1/2} \quad [\text{rad/día}]$$

$$M = n * (t - T) \quad [\text{rad}]$$

donde la diferencia $t - T$ de la última igualdad es en días y k es la constante gravitacional gaussiana. El valor n es el **movimiento medio diario** del objeto y en raros casos suele dársele como elemento orbital en lugar del semieje mayor a (norma usada en algunas Minor Planet Circulars y aplicada a los asteroides).

En resumen:

Para concluir, los elementos orbitales para un objeto del Sistema Solar son:

- T** Tiempo del pasaje por el perihelio o
- M** Anomalía media y } para la elipse,
- t** Época } para la elipse,
- q** Distancia perihélica o
- a** Semieje mayor o } para la elipse,
- n** Movimiento medio diario } para la elipse,
- e** Excentricidad,
- ω Argumento del perihelio,
- Ω Longitud del nodo ascendente,
- i** Inclinação

Otros pequeños detalles a mencionar son los siguientes:

1) Al buscar en alguna publicación los elementos de un objeto veremos que se brindan para una época de osculación t . Esto se debe a que los elementos de una órbita varían continuamente a través del tiempo, segundo a segundo, por el efecto de las perturbaciones. En consecuencia, cuentan con un período práctico de validez temporal. Los elementos oscula-

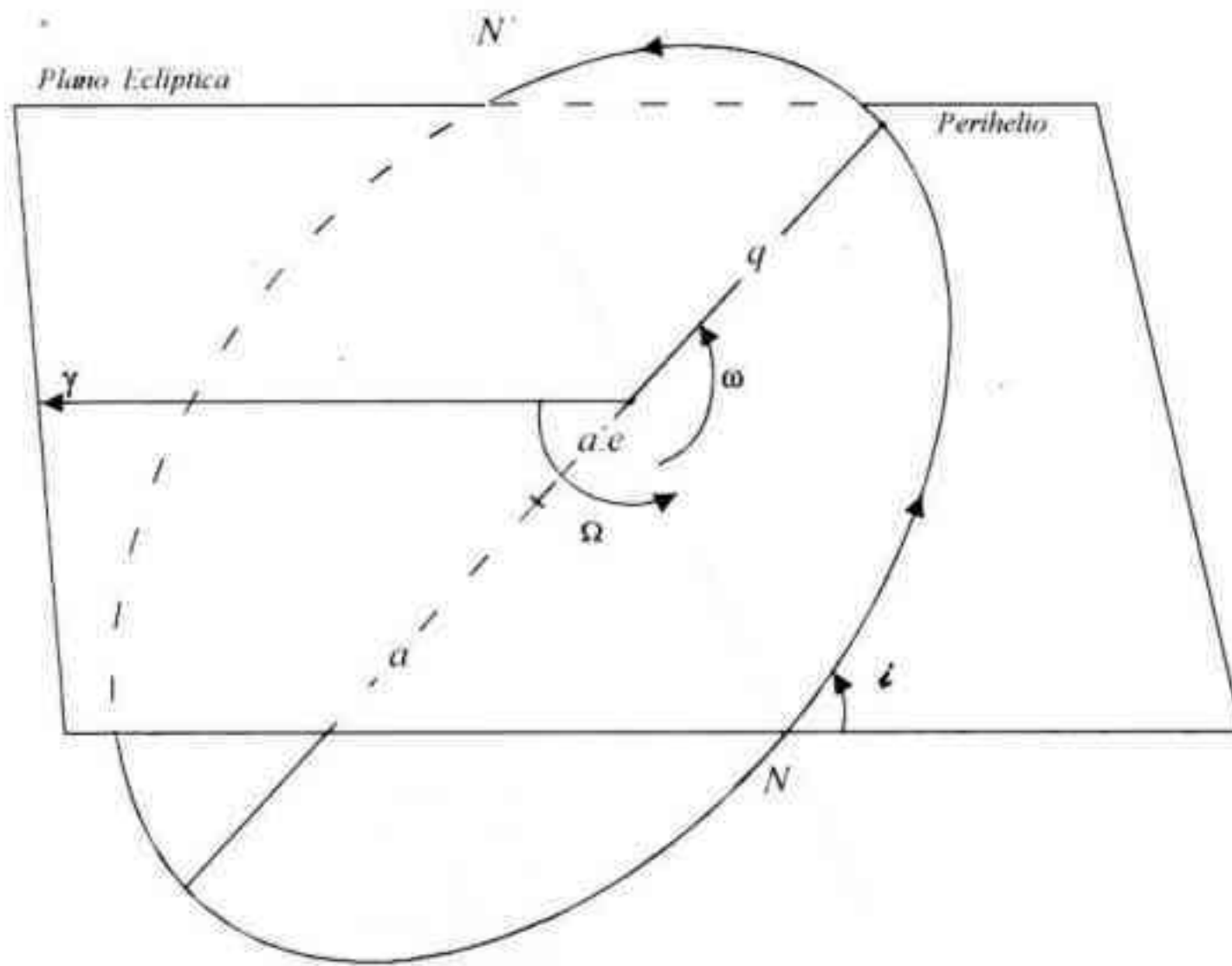
astro que gira en torno al Sol barre áreas iguales de su órbita en tiempos iguales (para cualquier tipo de cónica). Para salvar la dificultad de calcular un ángulo cuyo crecimiento con el tiempo no es uniforme se crea **M**, siempre definida para una época t , ya que es el único elemento variable ligado al tiempo.

Las relaciones entre q , T , a , M y t son:

$$k = 0,01720209895 \quad [\text{UA, masas solares, días}]$$

$$\mu = 1 + \text{masa objeto} / \text{masa Sol}$$

$$a = q / (1 - e) \quad [\text{UA}]$$



Elementos Orbitales - Representación Geométrica
fig. 6

dores —es así como debe llamárselos— generan efemérides aceptables cuando su época no se aleja más de 5 o 6 meses de la fecha elegida en el cálculo de una posición. El hecho de la variación continua de los elementos orbitales nos indica que *ningún objeto se mueve en una cónica exacta* tomando posiciones sucesivas *coplanares*, ni barriendo áreas iguales en tiempos iguales (es decir, ninguno recorre su órbita siguiendo exactamente las leyes de Kepler).

2) En las publicaciones se hace referencia al *equinoccio de la eclíptica* (FK5 J2000.0, FK4 B1950.0 o de la fecha). No se debe confundir esto de manera alguna con la época de osculación de los elementos o la época t que corresponde a la anomalía media M .

Agradecimientos:

A Roberto Mackintosh y Carlos E. Angueira Vázquez por sus sugerencias, y en especial a M. Eugenia García, quien se prestó gentilmente a la confección de los dibujos.

Referencias:

1. Herget, P. 1948. *The Computation of Orbits*.
2. Vives, T. J. 1971. *Astronomía de Posición* (1ra. Edición). Alhambra, S. A.
3. Montenbruck, O. 1989. *Practical Ephemeris Calculations*. Springer-Verlag.
4. Gil-Hutton, R. 1990. *Curso de Cálculo de Órbitas* (dictado en la AAAA)
5. Boulet, D. L. 1991. *Methods of Orbit Determination for the Microcomputer*. Willman-Bell, Inc.

USNO-A V1.0:

UN CATÁLOGO DE STANDARDS ASTROMÉTRICAS

Por Roberto Mackintosh

A finales de 1997 tuvimos la suerte de recibir el *Catálogo de Standards Astrométricas USNO-A V1.0*. El material está compuesto por 10 CD's que contienen unas 500.000.000 estrellas. Semejante cantidad de fuentes nos da la posibilidad de contar con un número importante de referencias astrométricas en los campos (por lo general muy reducidos) de las imágenes adquiridas por la CCD que son empleadas en el Programa de Astrometría de Cometas y Asteroides de nuestro observatorio. Gracias al USNO-A nos fue posible, por ejemplo, determinar posiciones astrométricas del cometa C1995O1 Hale - Bopp cuando se encontraba en declinaciones muy negativas, lo que antes no hubiera sido posible ya que el catálogo con el que contábamos (el Guide Sky Catalogue), si bien es de mucha utilidad, no posee gran cantidad de estrellas en esas regiones.

Quizás una de las cosas más dignas de ser destacadas, es la excelente predisposición de la gente de **U.S. Naval Observatory Flagstaff Station** (USNOFS), en especial de David Monet, en lo que se refiere a la atención brindada a nuestra institución. La Sección Sistema Solar formalizó el pedido del USNO-A a través de un e-mail en el que se informaba del carácter de asociación sin fines de lucro de la AAAA, avalando la solicitud por medio de las circulares del Minor Planet Centre donde figuraban publicadas posiciones reducidas por la ya citada sección (un requisito fundamental es poder demostrar el uso científico que se le dará al material solicitado). En tan solo 10 días el catálogo llegaba, sin costo alguno, a nuestras manos; recibíéndose mientras tanto un e-mail enviado por David Monet pidiendo disculpas por la demora (!). Por medio de esta nota queremos agradecerle profundamente a David Monet, y a través de su persona al USNOFS, su excelente predisposición y celeridad para atender el pedido de la AAAA.

A continuación transcribimos un extracto de un archivo de información general acerca del USNO-A, presente en el

primer CD, que les permitirá tener cierta referencia de la magnitud de esta importante herramienta de trabajo:

El USNO-A es un catálogo de 488.006.860 fuentes cuyas posiciones pueden ser usadas para referencias astrométricas. Estas fuentes fueron detectadas por la *Precision Measuring Machine* (PMM) construida y operada por el U. S. Naval Observatory Flagstaff Station durante el *escaneado* y procesado de las placas O y E del Palomar Observatory Sky Survey I (POSS-I), placas del *survey* SRC-J del UK Science Research Council, y las placas del *survey* ESO-R del European Southern Observatory. La PMM es capaz de detectar y procesar más allá del límite nominal de magnitud de estos *surveys*, pero debido a una cantidad importante de detecciones erróneas fue necesario incorporar un filtro para eliminar tantas como fuera posible. El único requisito para que una fuente fuera incluida como tal fue que hubiese una coincidencia espacial (dentro de una diafragma de 2" de radio) en la detección en placas azules y rojas de los *surveys*. Para centros de campo de -30 grados y superiores, los datos provienen de placas POSS-I, mientras que para campos con centros de -35 grados o inferiores los datos son de placas del SRC-J y ESO-R.

El USNO-A da la ascensión recta y la distancia polar sur en el sistema J2000 en la época de las placas azules del *survey* para cada objeto, y lista una estimación de la magnitud azul y roja. Para fuentes del POSS-I el sistema fotométrico es el sistema fotográfico definido por las emulsiones O y E y filtros, a la vez que para las fuentes al sur son medidas en el sistema fotográfico definido por las emulsiones IIIa-J y IIIa-F. Se cree que el error astrométrico típico es de 0,25" y el error fotométrico típico es de 0,25 magnitudes. Sin embargo, estas estimaciones de errores están dominadas por errores sistemáticos incorporados en el procedimiento de calibración, y algunas campos podrían ser significativamente peores. Para usuarios con deseos de recalibrar localmente la astrometría y la fotometría, se

estima que los errores debidos al la PMM están en el orden de los 0,15" y las 0,15 magnitudes.

Para evitar la necesidad de consultar varios catálogos, objetos más brillantes que la magnitud 11 que están presentes en el Guide Star Catalog pero que no fueron detectados por la PMM han sido insertados en el USNO-A. El catálogo cubre el cielo por completo, y llega tan profundo como O=21, E=20, J=22 y F=21 para objetos con colores apropiados. La magnitud límite es más brillante para objetos con colores extremos y esto se debe a los requerimientos para una detección en ambas placas azules y rojas. A pesar que cubre todo el cielo, hay sectores vacíos en el catálogo en la vecindad de estrellas brillantes, regiones de nebulosidad, campos muy poblados, etc.

Este trabajo está basado en parte en placas fotográficas obtenidas por el telescopio Oschin de 48 pulgadas del Observatorio Palomar para el Primer y Segundo Sky Survey del Palomar Observatory. También se base sobre material origi-

nal del UK Schmidt Telescope.

Este catálogo contiene información proveniente de diversas colecciones de fotografías, reducciones y catálogos. Diversas organizaciones poseen el *copyright* y/o la propiedad intelectual sobre las diferentes partes que componen el USNO-A:

- 1) El *Palomar Observatory Sky Survey I and II* es propiedad de: Palomar Observatory, National Geographic Society y el California Institute of Technology.
- 2) El *ESO-R survey* es propiedad del European Southern Observatory.
- 3) El *SRC-J survey* es propiedad del UK Particle Physics and Astronomy Research Council.
- 4) El *Guide Star Catalogue* pertenece al Space Telescope Science Institute (y AURA y NASA)
- 5) La digitalización de las placas y los parámetros de objetos y catálogos hechos a partir de ella es propiedad del US Naval Observatory.

UBICACIÓN DE SATÉLITES ESTACIONARIOS

Por Carina Cosentino

Introducción

Los satélites geoestacionarios deben su nombre al hecho de aparentar permanecer fijos (estacionarios) en una posición determinada de la esfera celeste, para un observador terrestre. La finalidad de este artículo es mostrar cómo obtener las fórmulas que permitan calcular el acimut y la elevación de un satélite respecto de tal observador (antena).

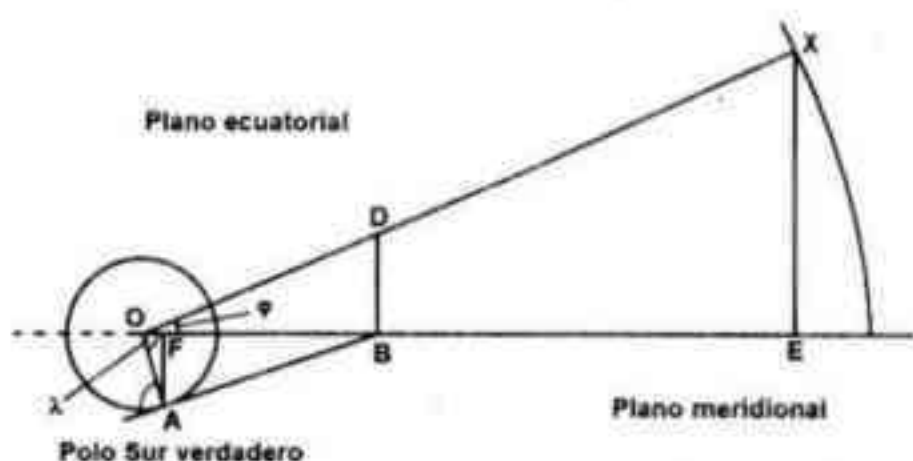


Fig. 1

- X: Posición del satélite
- A: Posición del observador
- △ OBD: Pertenece al plano ecuatorial
- △ ABE: Pertenece al plano meridional
- △ ABD: Pertenece al plano tangente a la esfera en el punto A
- $\overline{AB} = \overline{AO} \cdot \tan \lambda$
- $\overline{BO} = \overline{AO} / \cos \lambda$
- $\overline{DB} = \overline{AO} \cdot \tan \varphi / \cos \lambda$

Fundamentos e hipótesis simplificativas

Para que un satélite sea geoestacionario se deben cumplir las siguientes condiciones:

- a) El período de su órbita debe coincidir con el período de rotación de la Tierra.
- b) El plano orbital del satélite debe ser el plano ecuatorial terrestre, es decir, el eje de su órbita debe coincidir con el eje de rotación de la Tierra (recta que une el "Norte verdadero" con el "Sur verdadero").

Para la deducción se asumirán las siguientes hipótesis simplificativas:

- 1) Se supondrá a la Tierra como una esfera de radio $AO = 6.378$ km.
- 2) Se aceptará que la órbita del satélite es una circunferencia de radio $XO = 42.238$ km, con lo que se asegurará la sincronía del giro (a esta circunferencia se la conoce como "Cinturón de Clarke", en honor a Arthur C. Clarke, quien predijo la posibilidad de las comunicaciones mediante satélites geoestacionarios).

Cálculo del acimut

El acimut lo definimos como el ángulo con respecto a la dirección norte, sobre el plano horizontal (*). Para la mejor comprensión de la fig. 1, es conveniente doblarla por la recta EO, de manera que el plano ecuatorial quede ortogonal al plano meridional (meridiano en el que estará situado el observador); φ es la diferencia entre la longitud del meridiano del satélite y la longitud del meridiano del observador; λ es la latitud en la que estará situado el observador.

La proyección de la recta que pasa por los puntos **A** y **x**, sobre el plano tangente, es la recta que pasa por los puntos **A** y **D**. Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Acimut} &= \angle DAB = \alpha \\ \tan \alpha &= \frac{\overline{DB}}{\overline{BA}} = \frac{(\overline{AO} \cdot \tan \varphi) / \cos \lambda}{\overline{AO} \cdot \tan \lambda} = \frac{\tan \varphi}{\sin \lambda} \\ \alpha &= \arctan \left(\frac{\tan \varphi}{\sin \lambda} \right) \end{aligned}$$

Cálculo de la distancia y la elevación

Definimos a la elevación (altura) como el ángulo con respecto al plano horizontal, sobre el plano vertical.

$$\overline{EO} = \overline{XO} \cdot \cos \varphi$$

$$\overline{FO} = \overline{AO} \cdot \cos \lambda$$

$$\begin{aligned} (\overline{EA})^2 &= (\overline{EF})^2 + (\overline{FA})^2 \\ &= (\overline{EO} - \overline{FO})^2 + (\overline{AO} \cdot \sin \lambda)^2 \end{aligned}$$

$$\overline{EX} = \overline{XO} \cdot \sin \varphi$$

$$\text{Distancia} = \overline{XA} = \sqrt{(\overline{EX})^2 + (\overline{EA})^2}$$

$$= \sqrt{(\overline{XO} \cdot \sin \varphi)^2 + (\overline{XO} \cdot \cos \varphi - \overline{AO} \cdot \cos \lambda)^2 + (\overline{AO} \cdot \sin \lambda)^2}$$

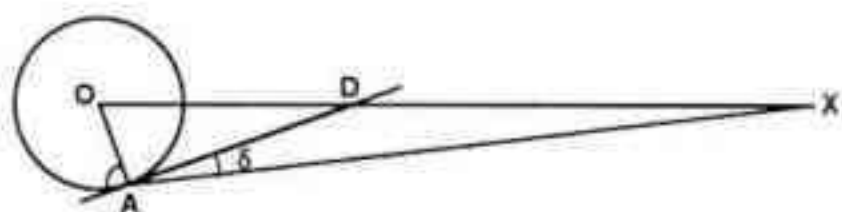


Fig. 2

En base al teorema del coseno, siendo datos la longitud de los tres lados de un triángulo, se puede obtener cualquiera de sus ángulos (fig. 2).

$$\text{Elevación} = \delta = \arccos \left(\frac{\overline{AO}^2 + \overline{XA}^2 - \overline{XO}^2}{2 \cdot \overline{XA} \cdot \overline{AO}} \right) - 90^\circ$$

A modo de ejemplo, para Buenos Aires ($\lambda = 34^\circ 30' \text{ S}$, $\varphi = 58^\circ 30' \text{ W}$), el satélite Intelsat V F4 ($27^\circ 30' \text{ W}$) se ubica en el Acimut = $46^\circ 41'$, hacia el Este, con Elevación = $38^\circ 06'$; la Distancia = 37.818 km.

Consideraciones finales

Se debe tener en cuenta que los ángulos de acimut están dados con respecto al Norte verdadero y que entre éste y el Norte magnético puede haber varios grados de diferencia, además de no ser ésta constante; la determinación del Norte verdadero en el hemisferio sur es conveniente realizarla mediante lecturas solares, habiendo programas de computación que eliminan el uso de tablas.

El error introducido por la aceptación de las hipótesis, queda corregido en el caso de grandes antenas por el sistema de seguimiento.

(*) Esto es a la inversa de la convención usual en astronomía, en que se toma como origen el sur

Bibliografía

- Elementos de Cosmografía, Cabrera y Mé dici.
- Mecánica Elemental, Leszjek Szybisz.
- Geometría III, Alcántara - Lomazzi - Mina.

BREVE GUÍA DE LAS CONSTELACIONES

por Carlos E. Angueira Vázquez

Subdirector de Observatorio - AAAA

MAS BICHOS DE BAYER

Ya hemos comentado en números anteriores como los viajes de descubrimientos geográficos al Sur del Ecuador en el Siglo XVI incorporaron a la Ciencia de Urania un montón de estrellas antes desconocidas, que era necesario catalogar (fundamentalmente, para su uso en navegación) y cómo en este proceso se armaron nuevas constelaciones. En esta ocasión, seguiremos con otras tres constelaciones que contienen gran cantidad de estrellas circumpolares para observadores a nuestra latitud (-35°) y que fueron creadas por Johannes Bayer (1572-1625): APUS, PAVO e INDUS. Bayer, de acuerdo a su costumbre, las bautizó con nombres de "animales", lo cual, en el caso de Indus (el Indio) nos da una idea clara de lo que pensaban en Europa sobre los aborígenes americanos.

REVISTA ASTRONÓMICA

APUS

Invisible desde Europa y la Mesopotamia Asiática, no existe mitología occidental asociada a esta constelación y su creación es habitualmente atribuida a Bayer, quien la incluyó en su Uranometría y en su planisferio de los cielos australes (en 1603), aunque comentando que la invención debía atribuirse a los primeros navegantes europeos que se aventuraron por estos mares.

El nombre de esta constelación pretende homenajear al Ave del Paraíso (Paradisæa Apoda). Se trata de unas cuarenta y dos especies de aves de plumaje muy colorido, que habitan en Nueva Guinea, las islas aledañas, Indonesia y el noreste de Australia.

Las primeras noticias que se tuvieron en Europa sobre este animal se remontan a 1522, en que al regreso de la única

embarcación sobreviviente de la expedición de Magallanes, entre las curiosidades que trajeron los navegantes había pieles y plumas de estos pájaros, que impresionaron mucho a los europeos.

Originariamente, Bayer le dio el nombre de AVIS INDICA (textualmente, ave de las Indias), aunque por un error tipográfico aparece como APIS INDICA en la Uranometría. El nombre actual, APUS, procede de la obra COELEM ASTRONOMICUM-POETICUM (Amsterdam, 1662), escrita por Philip Zesen (mejor conocido por la forma latinizada de su apellido, Cæsius). Este tomó el Avis Indica de Bayer, lo pasó al griego como Apou (Apous) y de allí pasó al Apus de hoy en día.

La constelación en sí abarca desde las 13h50m hasta las 18h13m de ascensión recta, y desde los $-67^{\circ}30'$ hasta los $-83^{\circ}10'$ en declinación. Si bien es totalmente circumpolar para un observador en Buenos Aires y, por lo tanto, visible todo el año a cualquier hora, por su posición el mejor momento para observarla es cuando la hora sidérea vale alrededor de las 16 horas (a las 00:00 HLA, en Buenos Aires, a principios de Junio).

No se trata de una constelación muy conspicua que digamos. Sus estrellas más brillantes son:

α Aps: Es una estrella de magnitud aparente 3,8 (magnitud absoluta -0,3), se encuentra a unos 218 años luz de distancia del Sol. Posee tipo espectral K5 III (gigante roja).

β Aps: Estrella de magnitud aparente 4,2 (magnitud absoluta 0,2), se encuentra a unos 137 años luz de distancia y posee tipo espectral K0 III (gigante anaranjada).

γ Aps: En realidad, se trata de una binaria espectroscópica. El conjunto posee magnitud aparente 3,9 (magnitud absoluta 3,2) y dista unos 46 años luz del Sistema Solar. Sus componentes pertenecen a los tipos espectrales G8 y K0 (también anaranjadas).

δ Aps: Se trata también de un sistema estelar doble, con ambas componentes separadas unos 103". Las componentes poseen magnitudes aparentes 4,7 y 5,3 (magnitudes absolutas -0,5 y -0,3) y poseen tipos espectrales M4 III y K5 III, respectivamente (ambas gigantes, más rojiza la primera que la segunda). El sistema se encuentra a unos 424 años luz del Sol.

Tampoco Apus es una zona rica en objetos de cielo profundo. Entre los más destacables, podemos mencionar:

NGC IC 4499: Se trata de un cúmulo globular. Con una magnitud aparente de 10,7 y un diámetro aparente de 7,6' empieza a ser un objeto algo difícil para el principiante (para verlo más o menos bien se requieren telescopios de 30cm de diámetro para arriba y cielo limpio y oscuro). Dista unos 50.000 años luz de nosotros.

NGC 610: Otro cúmulo globular un poco más brillante que el anterior, (magnitud aparente 8,9) y ligeramente más grande en el cielo (diámetro aparente 10,7') pero que también requiere un buen telescopio para verlo. Dista unos 28.000 años luz del Sistema Solar.

PAVO

También invisible desde Europa y la Mesopotamia Asiática, fue creada por Bayer tomando para su nombre dos leyendas mitológicas grecorromanas.

Según una de ellas, Argus (un monstruo o demonio con cien ojos, no confundir con Argos) había sido comisionado por Juno para que vigilara a Io (una de las amantes de Júpiter, que, además, estaba embarazada de él). Júpiter, a su vez, le pidió a Mercurio que eliminara la vigilancia de Argus sobre Io, para lo cual Mercurio se disfrazó de pastor y se puso a tocar la flauta hasta que Argus se quedó dormido y lo mató retorciéndole el cogote. Juno, entonces, agarró los cien ojos de Argus y los puso en las plumas de la cola de su pájaro favorito (el pavo), inventando así el Pavo Real. Y Bayer tomó las prerrogativas de los dioses grecorromanos y puso al pavo real entre las constelaciones.

Esta constelación abarca desde las 17h41m hasta las 21h32m en ascensión recta, y desde los $-56^{\circ}35'$ hasta los $-75^{\circ}00'$ de declinación. También es totalmente circumpolar para un observador en Buenos Aires y, por lo tanto, visible encima del horizonte en cualquier momento. Pero, por su posición, la mejor ocasión para verla es cuando la hora sidérea vale alrededor de las 19h30m (a las 00:00 HLA, en Buenos Aires, entre fines de Agosto y principios de Septiembre).

Incluye estrellas más brillantes que las que encontramos en Apus, como ser:

α Pav: Magnitud aparente 1,94 (magnitud absoluta -2,3), se encuentra a unos 231 años luz del Sol y posee tipo espectral B3 IV (una subgigante azul, prácticamente en la secuencia principal). En realidad se trata de una binaria espectroscópica con un período de 11,75 días. En inglés se la conoce como Peacock (pavo).

β Pav: Posee magnitud aparente 3,42 (magnitud absoluta 1,2), se encuentra a unos 91 años luz de distancia del Sistema Solar y pertenece al tipo espectral A5 IV (subgigante azul).

γ Pav: Es una estrella de magnitud aparente 4,22 (magnitud absoluta 4,5), se encuentra a sólo 28 años luz de distancia del Sol y posee tipo espectral F6 V (estrella blanca de la secuencia principal).

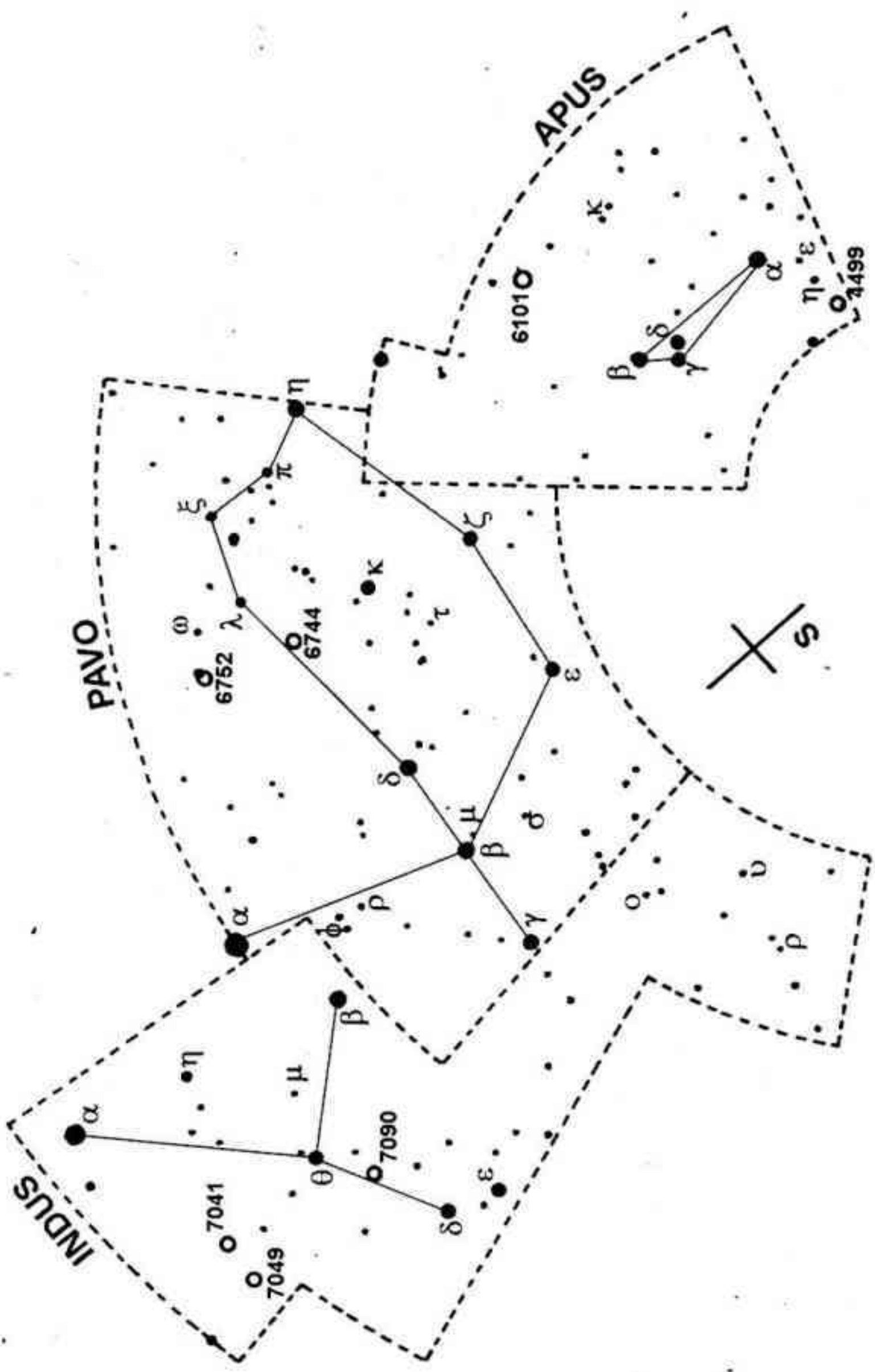
δ Pav: Brilla en magnitud aparente 3,56 (magnitud absoluta 4,8), dista unos 19 años luz del sistema solar y pertenece al tipo espectral G5 IV (subgigante amarilla).

Para quienes quieran divertirse un poco, en Pavo encontramos una estrella variable relativamente brillante: κ Pav es una variable cefeida cuyo brillo aparente fluctúa entre magnitudes 3,94 y 4,75 con un período de 9,088 días.

Pavo también es una constelación bastante pobre en objetos de cielo profundo. Entre ellos podemos mencionar:

NGC 6752: Un cúmulo globular fácilmente visible con binoculares (con cielo limpio y oscuro, se puede detectar a simple vista). Brilla con magnitud aparente 5,76 y posee un diámetro aparente de 20,4'. Es recomendable verlo con poco aumento (25 a 50). Se encuentra a unos 18.000 años luz de nuestro Sistema Solar.

NGC 6744: Para aquellos que posean telescopios de unos 25cm de diámetro (o más), ubicados en lugares con cielo limpio y oscuro, este es un objeto hermoso. Se trata de una galaxia espiral (tipo Sbc) que vemos casi perpendicularmente a su plano ecuatorial (es decir, casi desde arriba). Brilla en magnitud aparente 8,63 y posee un diámetro aparente de unos 9'.



Pavo es una región bastante interesante en galaxias, aunque la mayor parte son muy débiles y para verlas se requieren telescopios de 30cm para arriba. Sin embargo, muchas de ellas quedan al alcance de las CCD de aficionados con telescopios de 20cm de diámetro o más. Los interesados pueden consultar las coordenadas en el DeepSky Planner o en el Atlas Fotográfico de Galaxias de Manuel López Alvarez (disponible en nuestra Biblioteca y en venta en la Secretaría de la Asociación).

INDUS

Si bien sus estrellas más boreales pueden llegar a verse desde Europa y la Mesopotamia Asiática, no fueron incluidas en ninguna constelación clásica.

Como constelación, fue creada por Bayer en homenaje a los indios patagones, cuyas primeras descripciones parten de los relatos de los sobrevivientes de la expedición de Magallanes. Es interesante (para evaluar la mentalidad de cierta gente) el comentario de Richard Hinckley Allen que, en su libro *STAR NAMES: THEIR LORE AND MEANING* (escrito a fines del siglo pasado), nos avisa que "aunque [según Bayer] debía representar a un indio americano, el editor lo representó como un personaje mucho más civilizado, aunque totalmente desnudo, con flechas en ambas manos, aunque sin arco" (sic, pág. 250).

Con las estrellas de Indus y Pavo, Julius Schiller había armado una constelación representando al patriarca Job, pero su uso nunca llegó a imponerse.

Indus se extiende desde las 20h29m hasta las 23h28m en ascensión recta, y desde los $-45^{\circ}55'$ hasta los $-75^{\circ}30'$. A excepción de su extremo norte, casi toda la constelación es circumpolar para un observador en Buenos Aires, por lo que resulta visible encima del horizonte casi en cualquier momento del día o de la noche. Pero, por su posición, lo mejor es verla cuando la hora sidérea vale alrededor de las 22 horas (a las 00:00 HLA, en Buenos Aires, durante la primera mitad de Septiembre).

También es una constelación bastante poco conspicua, siendo sus estrellas más brillantes:

α Ind: Posee magnitud aparente 3,11 (magnitud absoluta 0,2), se encuentra a unos 124 años luz de distancia del Sol y pertenece al tipo espectral K0 III (gigante anaranjada).

β Ind: Es una estrella de magnitud aparente 3,65 (magnitud absoluta 0,2) que dista unos 121 años luz de nuestro Sistema Solar. Posee tipo espectral K0 III (también gigante

anaranjada).

δ Ind: Se trata de una estrella doble, cuyas componentes brillan ambas con magnitud aparente 5,3 (magnitudes absolutas 2,58), formando un conjunto que a simple vista brilla en magnitud aparente 4,4. Se encuentran separadas entre sí apenas 0,2" y poseen un periodo de 12 años. Pertenecen al tipo espectral F0 IV (subgigantes blancas, prácticamente de la secuencia principal) y se encuentran a 114 años luz del Sol.

Al igual que las dos constelaciones anteriores, Indus es pobre en objetos de cielo profundo (al alcance de los telescopios de los aficionados). Es una zona del cielo especialmente rica en galaxias, aunque la mayor parte de ellas suelen quedar fuera del alcance de los instrumentos del aficionado. Entre aquellas que pueden ser observadas con telescopios de 25cm de diámetro (o más) y con cielo limpio y oscuro, podemos mencionar:

NGC 7090: Galaxia tipo SBc (espiral barrada), vista casi de costado, brilla con magnitud aparente 10,18 y mide 6' por 1'.

NGC 7049: Galaxia elíptica, de 2,8' de diámetro aparente y magnitud aparente 10,7.

BIBLIOGRAFÍA

- *THE 1996 GROLIER ENCYCLOPEDIA*, Mindscape Inc.
- *GUÍA DE CAMPO DE LAS ESTRELLAS Y LOS PLANETAS*, de Donald H. Menzel y Jay M. Pasachoff.
- *STAR NAMES: THEIR LORE AND MEANING*, de Richard Hinckley Allen.
- *THE NEW PATTERNS IN THE SKY*, de Julius D. W. Staal.
- *ATLAS DE ASTRONOMÍA*, de Joachim Herrmann.
- *SKY CATALOGUE 2000.0*, Vol. 1 y 2, de Alan Hirshfeld y Roger W. Sinnott.
- *THE ASTRONOMICAL ALMANAC 1996*, editado por el U. S. Naval Observatory y el Royal Greenwich Observatory (usé el de 1996 porque el de 1997 tiene muchos errores).
- *URANOMETRIA 2000.0*, de Will Tirion, Barry Rappaport y George Lovi.
- *NORTON'S 2000.0 STAR ATLAS*, de Ian Ridpath.
- *ATLAS FOTOGRAFICO DE GALAXIAS PARA BÚSQUEDA DE SUPERNOVAS*, de Manuel López Alvarez.
- *DEEP SKY PLANNER 1.0*, de Phyllis K. Lang (ya existe la versión 2.0 para Windows, pero todavía no la tenemos).

**VISITE LA PÁGINA EN INTERNET DE LA
ASOCIACIÓN ARGENTINA "AMIGOS DE LA ASTRONOMÍA"**

<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/8913/aa-00-00.htm>

CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN ESFERÓMETRO DE PRECISIÓN

por el Lic. Alejandro Di Baja

Cuando el aficionado talla la curva de un espejo parabólico para un reflector newtoniano, no resulta muy importante lograr **exactamente** el valor de la distancia focal deseada. A menudo surgen diferencias de algunos centímetros entre el valor nominal y el verdaderamente logrado, siendo ésto fácilmente remediado acortando o alargando, según sea el caso, la longitud final del tubo del telescopio.

La situación resulta diferente cuando el aficionado acomete la construcción de instrumentos ópticos más complejos donde existe más de una superficie óptica activa. Casos como reflectores Cassegrain u objetivos refractores requieren que los radios de curvatura de las diferentes superficies ópticas que componen el sistema se ajusten dentro de valores muy precisos a las especificaciones nominales del sistema. En estos casos se requiere medir los radios de curvatura durante el periodo de desbaste y esmerilado mediante un esferómetro de precisión como el que describiremos a continuación.

El esferómetro descrito es del tipo de bolillas, y sus propiedades geométricas se detallan en la figura 1. Si aplicamos el conocido teorema de Pitágoras al triángulo señalado obtenemos para una superficie cóncava:

$$(R - a)^2 = r^2 + (R - a - h)^2 \quad (1)$$

y para una convexa:

$$(R + a)^2 = r^2 + (R + a - h)^2 \quad (2)$$

donde: R = radio de curvatura a medir
 a = radio de las bolillas de apoyo
 r = radio base del esferómetro
 h = flecha del casquete esférico

Resolviendo las ecuaciones anteriores obtenemos las siguientes expresiones:

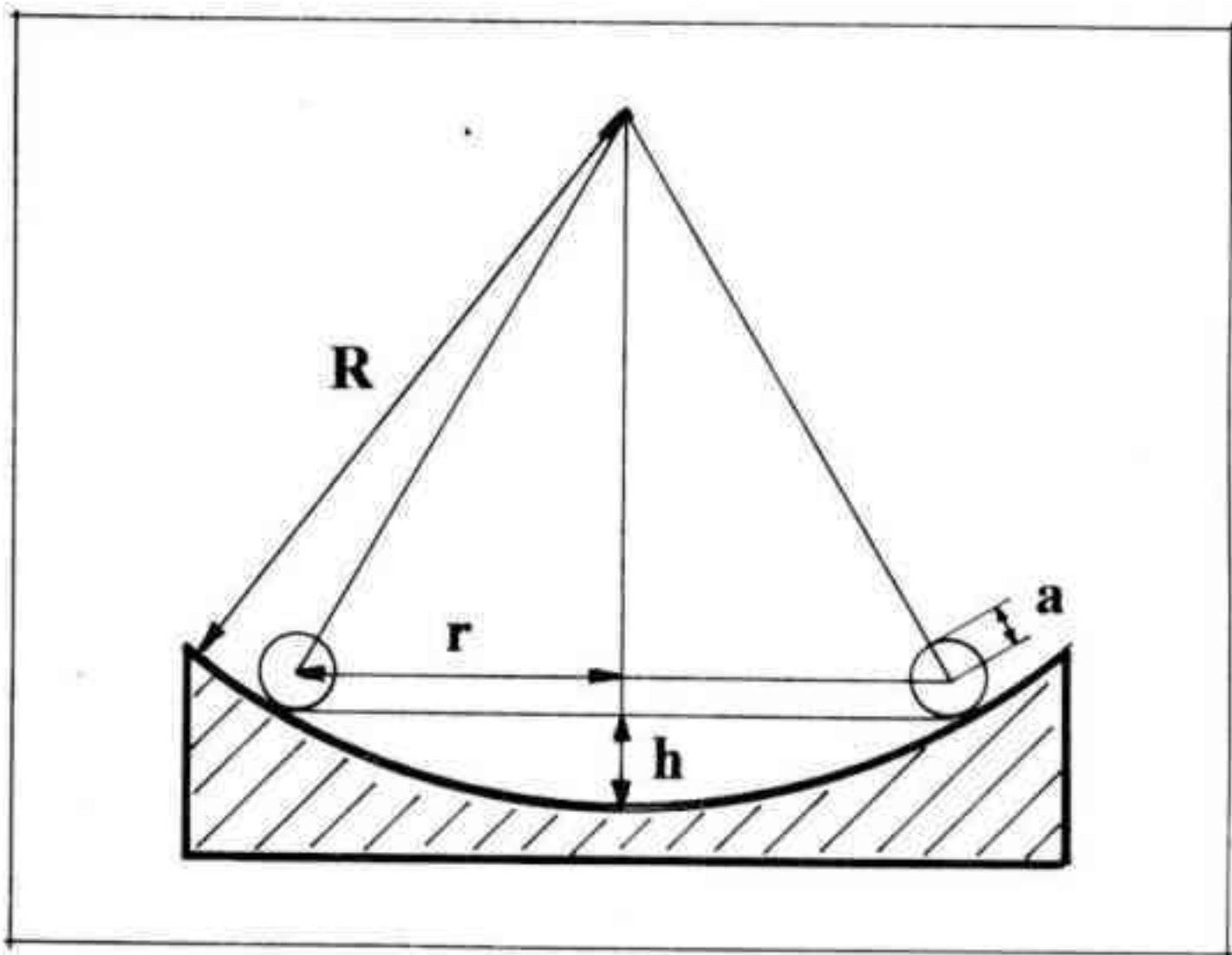


Fig. 1: Parámetros geométricos del esferómetro

$$(R \pm a) = r^2/2h + h/2 \quad (3)$$

$$h = (R \pm a) - \sqrt{(R \pm a)^2 - r^2} \quad (4)$$

$$r^2 = 2h(R \pm a) - h^2 \quad (5)$$

El signo \pm debe interpretarse como $-$ para superficies cóncavas, y $+$ para superficies convexas.

La ecuación (3) sirve para computar el radio de curvatura a partir de una flecha h medida, en tanto que la ecuación (4) sirve para computar a priori cuál debería ser la flecha h correspondiente al radio de curvatura R deseado. Finalmente, utilizaremos la ecuación (5) para calibrar el esferómetro tal como describimos más adelante.

Si efectuamos un análisis de propagación de errores sobre la fórmula (3) empleando derivadas parciales obtenemos:

$$\Delta R = (r/h)\Delta r + 1/2[(r/h)^2+1]\Delta h + \Delta a \quad (6)$$

Esta ecuación nos indica cómo influyen en la determi-

nación del radio de curvatura R pequeñas imprecisiones en las variables r , h y a . Vemos que el error en el diámetro de las bolillas de apoyo es irrelevante, en tanto que por el contrario, dado que el coeficiente $(r/h) \gg 1$, los errores en r y en h se propagan muy fuertemente.

Veamos esto en mas detalle con un ejemplo numérico: supongamos un esferómetro con un radio de apoyo de 50mm, bolillas de 6mm de diámetro, y un espejo con un radio de curvatura de 1.000mm. La ecuación (4) nos dice que la flecha teórica debe ser $h=1,254$ mm. Apliquemos ahora la ecuación (6) suponiendo las siguientes imprecisiones típicas:

$$\begin{aligned} \Delta r &= 0,2\text{mm} \\ \Delta h &= 0,005\text{mm} \\ \Delta a &= 0,01\text{mm} \end{aligned}$$

Con estos valores, de la ecuación (6) obtenemos el siguiente resultado:

$$\Delta R = 7,97\text{mm} + 3,97\text{mm} + 0,01\text{mm} = 11,95\text{mm}$$

Para reducir esta imprecisión relativamente grande de casi ± 12 mm en el radio de curvatura del espejo, debemos disminuir las incertidumbres Δr y Δh al mínimo posible. Para disminuir Δh podemos emplear un dial comparador milesimal en lugar de uno centesimal, reduciendo así la imprecisión Δh a un décimo del valor anterior. No resulta posible disminuir en forma directa la imprecisión Δr ya que es muy difícil poder medir el radio de apoyo de las bolillas con una precisión superior a la indicada, por lo que emplearemos para ello un procedimiento indirecto.

Para ello debemos disponer de un espejo cóncavo ya pulido cuyo radio de curvatura podamos medir en forma directa y precisa mediante el aparato de Foucault. Puede tratarse de cualquier espejo primario disponible, si bien lo ideal sería que su radio de curvatura fuera no muy diferente del radio del espejo que queremos medir. Midiendo con una buena cinta métrica la distancia del centro del espejo a la cuchilla del aparato de Foucault cuando ésta se encuentra exactamente en el centro de curvatura del espejo, podemos determinar el radio de curvatura R del espejo cóncavo patrón con una imprecisión de solamente 0,5mm.

Procedemos ahora a **tarar** el esferómetro sobre un espejo plano patrón, tras lo cual lo colocamos sobre nuestro espejo cóncavo patrón y tomamos nota de la lectura de la flecha h con la mayor resolución posible (de ser posible empleando un comparador milesimal). Teniendo ahora los valores experimentales conocidos de R , h y a para el espejo cóncavo patrón, los volcamos en la ecuación (5) para determinar en forma experimental y muy precisa el valor r^2 . Este será el valor que reemplazaremos en las ecuaciones (3) y (4) para computar R y h respec-

tivamente para nuestro nuevo espejo a tallar. De esta manera, al determinar experimentalmente el valor de r^2 mediante un espejo cóncavo de radio de curvatura conocido, disminuimos drásticamente la incertidumbre asociada a Δr con lo que podremos obtener los radios de curvatura deseados con errores de a lo sumo un par de milímetros; esto resultará mas que suficiente para la mayoría de las aplicaciones.

En efecto, despejando r de la ecuación (5) obtenemos:

$$r = \sqrt{2h(R \pm a) - h^2} \quad (7)$$

Si efectuamos ahora un análisis de propagación de errores sobre la fórmula (7) empleando derivadas parciales obtenemos:

$$\Delta r = [(R \pm a) - h]\Delta h + h\Delta R + h\Delta a / [2h(R \pm a) - h^2]^{1/2} \quad (8)$$

Si consideramos ahora los datos del espejo patrón y las indeterminaciones mencionadas mas arriba:

$$\begin{aligned} \Delta h &= 0,0005 \text{ mm} & R &= 1000 \text{ mm} \\ \Delta R &= 0,5 \text{ mm} & a &= 3 \text{ mm} \\ \Delta a &= 0,01 \text{ mm} & h &= 1,254 \text{ mm} \end{aligned}$$

y las reemplazamos en la ecuación (8) obtenemos:

$$\Delta r = 0,009 \text{ mm} + 0,012 \text{ mm} + 0,00025\text{mm}$$

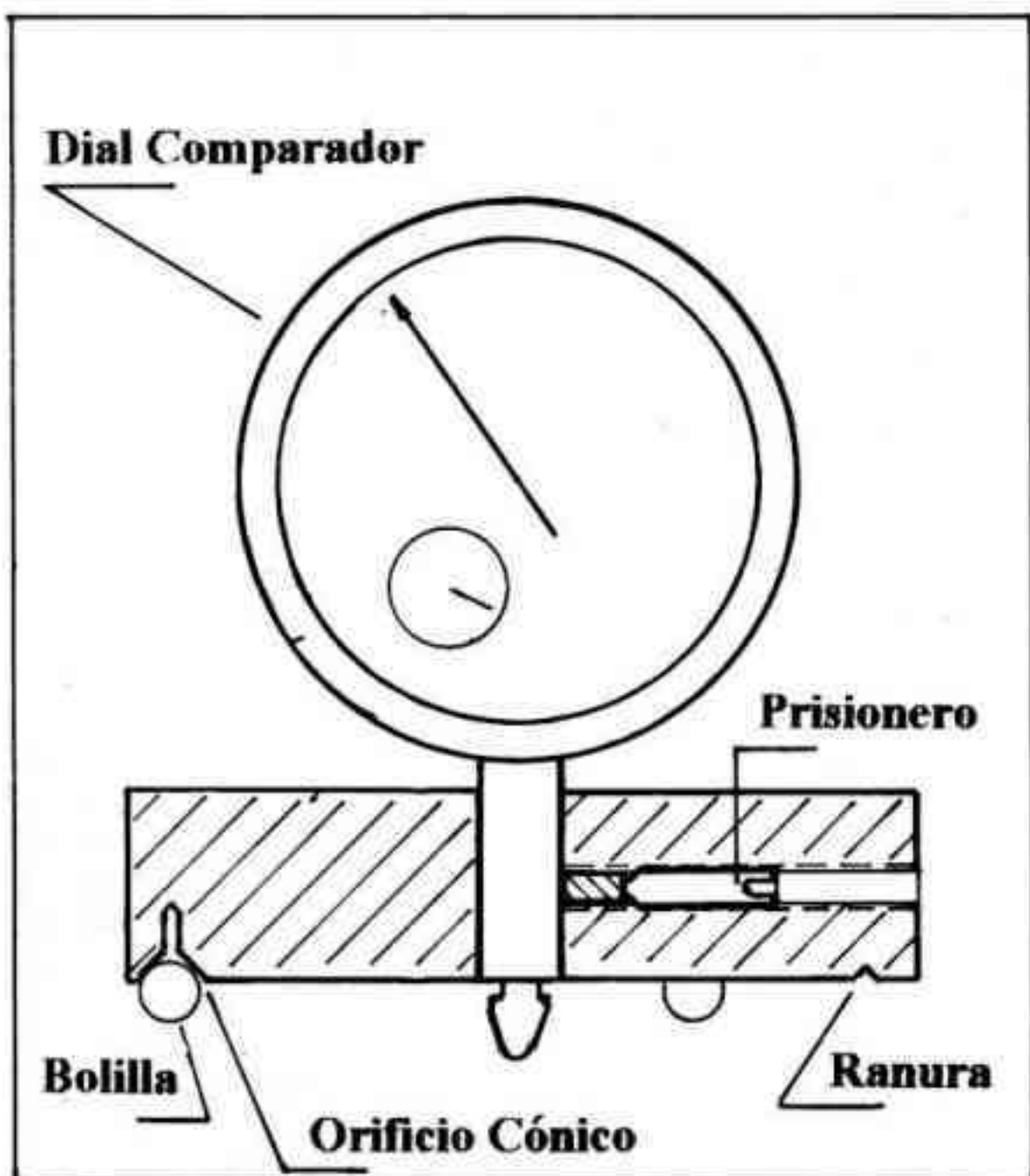


Fig. 2: Dibujo en corte del esferómetro de 3 bolillas

O sea que hemos reducido la incertidumbre en la determinación del radio de apoyo del esferómetro a solamente $\Delta r = 0,02\text{mm}$ (recuérdese que midiendo el valor de r directamente con un calibre, esta incertidumbre difícilmente pueda ser menor a $0,2\text{mm}$, o sea unas 10 veces mayor). De esta manera, se disminuye drásticamente su propagación a la incertidumbre en la medición de radios de curvatura, aumentando así la precisión absoluta del esferómetro.

Conviene finalmente dar algunos consejos prácticos sobre las precauciones al momento de fabricar el esferómetro:

- El diámetro del cuerpo del esferómetro deberá ser el mayor posible compatible con el diámetro del espejo o la lente que deseamos medir, ya que al aumentar r disminuye el error de propagación en la determinación de R . No obstante hay que verificar que la flecha a medir no exceda el rango de medición del comparador, ya que en especial los que tienen lectura milesimal suelen tener un rango acotado (en algunos modelos escasamente 1mm).
- Si bien el aluminio es el material ideal para el cuerpo del esferómetro, por su resistencia a los agentes atmosféricos y por su escaso peso, debe tenerse en cuenta que su coeficiente de dilatación térmico es elevado. Por esta razón recomendamos tarar el esferómetro y determinar experimentalmente r^2 a la temperatura de trabajo. Si la constante hubiera sido determinada en invierno, y requiriéramos los servicios del esferómetro en verano, convendrá volver a tararlo y determinar nuevamente r^2 para las temperaturas más elevadas de esta estación (seguramente comprobaremos que la constante determinada en verano será ligeramente mayor a aquella determinada en invierno).
- Para mecanizar el cuerpo del esferómetro, deberá frentearse primero la cara de apoyo de las bolillas, tras lo cual **sin retirar la pieza de las mordazas del torno**, se procederá a realizar el agujero central (normalmente de $\varnothing 8\text{mm}$) primero con una mecha de centro, y luego con una sucesión de dos o tres mechas hasta llegar a la medida nominal. De ser posible sería ideal emplear al final una mecha $0,25\text{mm}$ menor que el valor nominal del agujero, y finalizar éste con un escariador manual a la medida exacta del diámetro del vástago del comparador a reloj. Finalmente, **antes de retirar la pieza del torno**, con una herramienta de corte en punta se marcará sobre la cara frontal del cuerpo del esferómetro un círculo del diámetro en el que deseamos montar las bolillas de apoyo, tras lo cual invertimos la pieza y frenteamos la otra cara, cuidando de lograr un buen paralelismo.
- Retirada la pieza del torno, mediante una mecha de centro

montada en el mandril de una agujereadora vertical de banco, realizamos tres pequeños agujeros cónicos **de idéntica profundidad**, en los vértices de un triángulo equilátero inscripto dentro del círculo que oportunamente trazamos en el torno. No es muy importante que los tres agujeros estén separados exactamente 120° cada uno, lo que sí es muy importante —y por ello debe emplearse una mecha de centro— es que los tres agujeros estén centrados sobre el círculo trazado en el torno, es decir que los tres estén a la misma distancia del orificio central, y que tengan la misma profundidad; para garantizar esto último deberá emplearse el tope regulable en el husillo vertical de la agujereadora de banco.

- A continuación llenamos los tres orificios con pegamento epoxi (Poxipol), apoyamos en ellos las tres bolillas (previamente desengrasadas y secas), y realizamos moderada presión como para que las bolillas hagan contacto contra la superficie cónica de los agujeros y se escurra el epoxi sobrante. Finalmente apoyamos el cuerpo sobre una mesa plana (de fórmica, mármol o cristal), con las tres bolillas hacia abajo, y colocamos sobre él un peso de unos 5Kg , dejando el conjunto así formado en reposo hasta que el epoxi fragüe totalmente.
- Finalmente habrá que realizar un agujero roscado perpendicular al agujero central como para alojar un tornillo prisionero de sujeción. Este prisionero deberá ajustar suavemente al vástago del comparador **evitando apretarlo excesivamente**. Una buena precaución adicional consiste en interponer entre la punta del tornillo prisionero y el vástago del comparador un pequeño cilindro de cobre o aluminio, evitándose así que el acero del tornillo pudiera mellar el comparador.
- En cuanto a las precauciones en el uso del esferómetro, éste nunca debe deslizarse sobre la superficie esmerilada del lente o espejo, ya que la acción abrasiva del vidrio deformaría rápidamente la superficie esférica de las bolillas de apoyo, introduciendo desviaciones a las fórmulas dadas precedentemente. Su uso correcto consiste en apoyarlo suavemente sobre la superficie a medir sin efectuar desplazamientos transversales.

Teniendo las precauciones de fabricación y uso dadas precedentemente, y procediendo a calibrar el esferómetro de la forma descripta, se contará con un instrumento preciso capaz de poder medir radios de curvatura con un margen de error de apenas algunos milímetros. Seguramente resultará muy útil al momento de encarar proyector ópticos ambiciosos.