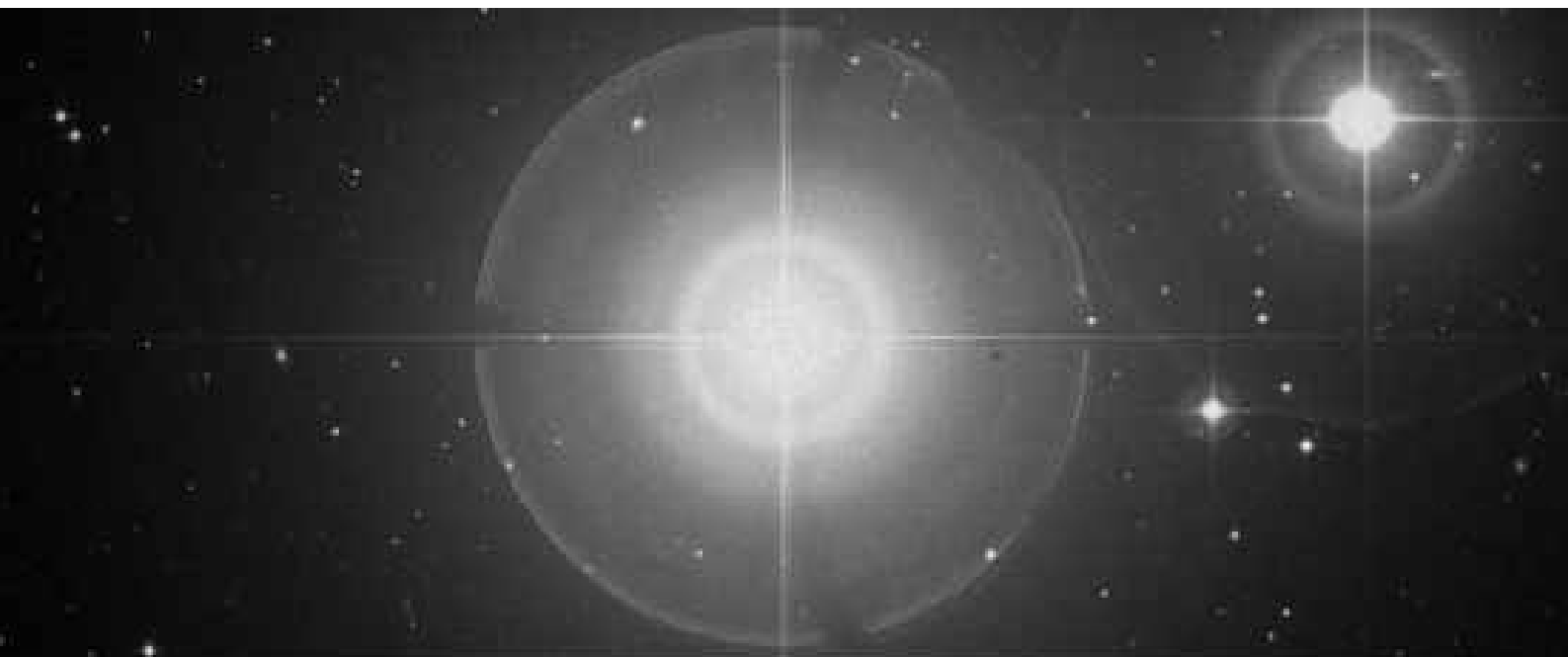


el observador de estrellas dobles

n.º 1 · enero/abril 2009



homenaje a  José Luis Comellas

ÍNDICE

	Editorial	3
HOMENAJE	Homenaje a José Luis Comellas Con la colaboración de <i>Juan Jordano</i> y <i>José Luis Comellas</i>	4
OBSERVACIÓN	Medidas de estrellas dobles con la cámara QHY Color <i>por Rafael Benavides Palencia</i>	8
	Medidas de estrellas dobles con CCD <i>por Juan-Luis González Carballo</i>	15
METODOLOGÍA	El observador de estrellas dobles <i>por Edgardo Rubén Masa Martín</i>	19
	Cómo mejorar la calidad de las medidas de estrellas dobles realizadas en imágenes digitales <i>por Florent Losse</i>	33
	Estrellas dobles duplicadas en el WDS <i>por Rafael Caballero</i>	40
PROPUESTAS	Detección del movimiento estelar con CCD <i>por Francisco Violat Bordonau</i>	43
DICULGACIÓN	Estrellas Dobles en Orión <i>por el Grupo de Estrellas Dobles del Foro de la Agrupación Astronómica Hubble</i>	46
FUERA DE FOCO	Astrofilia <i>por Jesús R. Sánchez</i>	52

CONDICIONES DE PUBLICACIÓN

Cualquier trabajo **relacionado con la astronomía de las estrellas dobles** es bienvenido para ser publicado en **El Observador de Estrellas Dobles (OED)**. Los interesados deben atenerse a las siguientes pautas:

- Se aceptará cualquier tipo de trabajo que tenga relación con las estrellas dobles, independientemente de la temática que aborde: historia de la astronomía, observación visual o fotográfica, estudios astrométricos o fotométricos, análisis y exposición de técnicas, descubrimientos, presentación de programas informáticos útiles a los doblistas, artículos de opinión, etc.
- Los trabajos deberán remitirse a cualquiera de los editores a través de los correos electrónicos que figuran en la parte inferior de la página siguiente.
- Se remitirán archivos de texto en formato Word o similar. Se agradece que vengan corregidos ortográfica y sintácticamente.
- Se deberán adjuntar las imágenes o dibujos que se desean publicar, preferentemente insertados en el texto.
- En la cabecera del artículo deberán figurar los siguientes datos: nombre y apellidos del autor, agrupación o asociación astronómica a la que pertenezca y dirección de correo electrónico.
- Los artículos deberán venir precedidos por un breve resumen del contenido del mismo (4 líneas) **en inglés**.
- OED tendrá una periodicidad cuatrimestral. La fecha límite de recepción de trabajos para el próximo número será el **1 de abril de 2009**.

editorial

¡BIENVENIDOS a *El observador de Estrellas Dobles*!

Es para nosotros todo un orgullo poder daros la bienvenida a esta nueva publicación sobre estrellas dobles. Uno de nuestros principales objetivos es formar a todos aquellos que se acercan por primera vez a este maravilloso mundo, con artículos para los que empiezan y sólo tienen necesidad de observar a través del telescopio la belleza de las estrellas. Del mismo modo, también pretendemos que la revista sea un portal donde se muestren los trabajos y medidas que vienen desarrollando hoy día los aficionados con diferentes técnicas, desde las más clásicas a las más innovadoras. Pero por encima de todo, nuestro principal objetivo es ser un punto de encuentro para todos los amantes de las estrellas dobles.

En este primer número hemos querido rendirle un sentido homenaje a D. José Luis Comellas, ya que muchos de nosotros, hace sólo un par de décadas, fuimos aquellos niños que guiados de la maravillosa mano de D. José Luis, gracias a sus libros, aprendimos a descubrir el cielo y sus rincones, a sentir la indescriptible sensación de libertad detrás del ocular de nuestro pequeño telescopio y a disfrutar de la observación de toda clase de objetos, especialmente de las estrellas dobles por las que sentimos auténtica admiración. Nos sentimos en deuda eterna con él. Gracias D. José Luis por todo lo que nos ha dado.

Finalmente, tal y como decíamos antes, esta revista nace con la voluntad de ser un portal de encuentro, así que esperamos recibir vuestras colaboraciones en forma de observaciones, artículos de opinión, sobre cuestiones metodológicas o esos aspectos teóricos de los que nos sentimos tan necesitados...; esperamos, en fin, que el próximo número de esta revista suponga un afianzamiento de los objetivos que nos planteamos gracias a vuestras aportaciones. Los amantes de las estrellas dobles de España e Hispanoamérica adolecen de fuentes de información en nuestro idioma a las que acudir para obtener pautas de trabajo, formación y, por qué no, entretenimiento.

¡Esperamos que disfrutéis de la lectura tanto como nosotros lo hemos hecho al escribir estas líneas!

¡Os deseamos buenos cielos para desdoblar estrellas dobles!



director honorífico

editores

sitio web

colaboradores

Sr. D. José Luis Comellas García-Llera

Rafael Benavides Palencia
Juan-Luis González Carballo
Edgardo R. Masa Martín

rafaelbenpal@gmail.com
carballo@eresmas.net
ermasa.dsa@gmail.com

www.elobservadordeestrellasdobles.wordpress.com

Florent Losse (Francia), Rafael Caballero (España),
Francisco Violat Bordonau (España), Juan Jordano (España)



NO PODÍA SER de otra forma. El primer número de esta humilde publicación dedicada al estudio e investigación de estrellas dobles tenía que rendir un homenaje al que ha sido *maestro* de todos los doblistas españoles: don José Luis Comellas.

Todos los que nos hemos acercado a este mundo ha sido de la mano de sus magníficos escritos al respecto, especialmente su “Guía del Fir-

mamento” (Rialp) y “Catálogo de estrellas dobles visuales” (Equipo Sirius). Es momento para el Sr. Comellas de recoger los frutos de una larga vida dedicada a la observación y la divulgación de la Astronomía. Somos, en este sentido, la generación que se aficionó a esta ciencia gracias a él.

Gracias *maestro* por participar en esta iniciativa. Estamos en deuda con usted.

a modo de biografía

JOSÉ LUIS COMELLAS GARCÍA-LLERA nació en 1928 en Ferrol (La Coruña). Desde muy pequeño desarrolló una gran curiosidad por conocer todo lo que le rodeaba; de esta manera se aficionó a la Astronomía, en la que comenzó gracias a un rudimentario telescopio construido por su padre. Cursó estudios de Filosofía y Letras en la Universidad de Santiago de Compostela, licenciándose con honores en 1951. Durante esos años mantuvo contacto con Ramón M.^a Aller, que le inculcó el amor por las estrellas dobles.

Se doctoró en Historia por la Universidad Complutense y, tras algunos años en Navarra, en los que conoció a la que sería su esposa, M.^a Jesús Aguirrezábal, recaló como catedrático de Historia en la Universidad de Sevilla. Desde entonces, hasta su jubilación, desarrolla una exitosa carrera profesional avalada por sus numerosos proyectos de investigación, tesis dirigidas, así como por sus ocupaciones y cargos desempeñados. Son especialmente destacadas sus publicaciones sobre la Historia Contemporánea de España, con especial predilección por los temas sociales.

Es miembro, entre otras instituciones, de la Real Academia de la Historia y académico de nú-

mero de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras. Es director, desde 1981, de la *Revista de Historia Contemporánea* de la Univ. de Sevilla. Recientemente ha publicado, en Rialp, dos magníficas obras: “Historia sencilla de la Ciencia” e “Historia sencilla de la Música”.



Todavía al “frente del cañón”. En casa de Juan Jordano en una reciente observación (cortesía de Juan Jordano).

Σ 2722	Del	20 41 +19 33	8.4 8.9	7"2	309 ^o	+1.7 0	f
							Delicado contraste.
h 1565	Cyg	20 41 +38 49	8.8 9.1	18"	71 ^o	0 0	?
Es	Cyg	20 41 +44 45	9.0 9.5	41"	296 ^o	0 -1	f
							B azul. En el mismo campo que Deneb.
Σ 411	Cyg	20 41 +45 39	7.7 10.5	24"	348 ^o	+1 ?	op
							Rápido desplazamiento. En 1845, 15", 274 ^o .
Arg 39	Cyg	20 41 +49 05	8.6 9.0	11"	157 ^o	+2.4 0	op
							En 1907 9"6, 110 ^o . Se han cruzado y ahora se alejan.
h 5216	Mic	20 42 -37 47	10.0 10.3	16"	22 ^o	Sp Go	f?_IDS
h 925	Aqr	20 43 -08 20	9.8 10.1	10"	175 ^o	Sp Ao	?IDS
							Solo 1905.

Un documento histórico: página mecanografiada de su Catálogo de Estrellas Dobles Visuales (1980). Poco después fue publicado por la editorial Equipo Sirius (cortesía de Juan Jordano).

José Luis Comellas y las estrellas dobles

DESDE pequeño José Luis Comellas se interesó por las estrellas dobles. En sus años de aprendizaje como autodidacta, estos objetos estelares llamaron poderosamente su atención, allá por los cielos de Lalín. Vinieron sus primeras medidas y dibujos. Sin embargo, es a partir de su estancia como estudiante de la Universidad de Santiago de Compostela cuando entra en contacto con el padre Ramón M.^a Aller, catedrático de Astronomía de esa Universidad. Este observador, una figura destacada a nivel mundial en aquellos años, le inculca la pasión científica por las dobles. No es de extrañar: el padre Aller *mimaba* a los que tenían un verdadero interés por esta ciencia. Aller destacaba como observador a pesar de los escasos recursos con que disponía el observatorio de la Universidad, pero se las había ingeniado para construir un "orbígrafo" con el que trazar las órbitas de las dobles orbitales. José Luis ya estaba contagiado por estos astros *de por vida*.

Observando con "pequeños" refractores (pero de gran calidad óptica) y valiéndose de instrumentos de medición fabricados por él mismo, el

profesor Comellas inició un estudio sistemático de todas las estrellas dobles que se ponían a su alcance. Poco a poco, el número de pares observados era tal que perfectamente podían convertirse en un catálogo.

(continúa en la página siguiente...)



Aspecto actual del Observatorio "Ramón M.^a Aller" de la Universidad de Santiago de Compostela. Este observatorio sigue desempeñando un importante papel en los estudios profesionales de estrellas dobles.



Izquierda: Con el tiempo, José Luis Comellas pudo convertir en realidad el sueño de todo aficionado: disponer de un observatorio propio. Se lo construyó en su casa de campo de Mairena del Alcor (Sevilla).

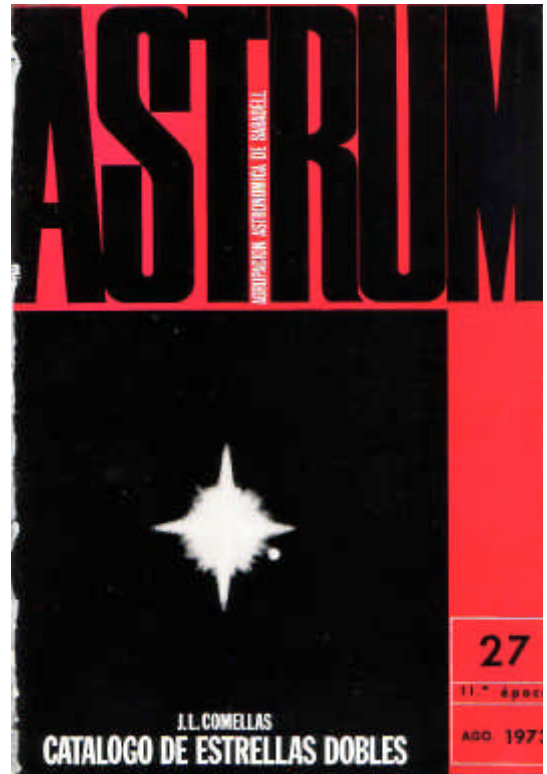
Derecha: El padre Ramón M.^a Aller (1878-1966), Catedrático de Astronomía, fue un estímulo para la afición de José Luis Comellas por las dobles. Junto a él, en Santiago de Compostela, afianzó su pasión por esta disciplina.

(...viene de la página anterior)

Y así fue, primero gracias a la Agrupación Astronómica de Sabadell, de la que era miembro activo; en un número especial de *Astrum* de 1973 aparece su primer catálogo publicado con 1200 estrellas observadas por él durante un periodo de 3 años mediante un simple micrómetro de fabricación casera y su mítico Polarex-Unitron de 75 mm.

Continuando esta ardua labor, y tras haber publicado su famosa "Guía del Firmamento" (Rialp, 1982) en la que aparecen exquisitas descripciones de cientos de pares, las medidas han aumentado hasta tal punto que presenta una ampliación de su catálogo. Esto ocurriría a comienzos de los 80. Para entonces ya contaba con otro Polarex-Unitron, en este caso de 102 mm., y había conseguido un micrómetro filar *Ron Darbinian*. Su nuevo catálogo contaba con la medida y descripción de nada menos que 5104 pares. Años después fue completado y publicado por la Editorial Equipo Sirius y constituye, sin duda, la obra de referencia para cientos de aficionados españoles e iberoamericanos.

El primer catálogo de Comellas (1973), publicado en un número especial de la revista de la Agrupación Astronómica de Sabadell *Astrum*. Cortesía de Joaquín Delgado y Juan Jordano. Reproducido con permiso de la AAS.



Aquellas noches con José Luis...

por **Juan Jordano**

AUNQUE mi experiencia en la observación de estrellas dobles es muy limitada y puramente lúdica, he tenido la suerte de conocer por primera vez las parejas estelares mas bellas enseñadas directamente por José Luis Comellas, hace ya bastantes años.

Desde mis 15 años, y hasta cumplir los 22, le acompañé asiduamente en el observatorio "Alcor", situado en Mairena del Alcor (Sevilla), usando su míticos telescopios refractores "Polarex-Unitron" de 75 mm y 100 mm, el primero de los cuales acabé recibiendo como regalo. En el observatorio "Alcor" presencié algunas de sus pacientes y sistemáticas medidas de magnitudes, índices de color, separaciones angulares y ángulos de posición de estrellas múltiples, observaciones que fueron realizadas con tenaz dedicación y gran precisión, usando unos medios que hoy nos parecerían muy precarios.

La mayoría de las veces simplemente disfruté junto a José Luis del sofisticado y gratificante placer de la observación visual, acompañado de sus comentarios a pie de telescopio que siempre eran interesantes y llenos de belleza. Fui así un testigo privilegiado de cómo, noche a noche, surgían lo que luego serían dos obras maestras de la que todos hemos acabado disfrutando y apren-

diendo: su "Guía del Firmamento" y el "Catálogo de Estrellas Dobles Visuales", que tiene especial relevancia para los lectores de esta nueva publicación, y cuya primera versión integral, mecanografiada y completada a mano por el propio José Luis, fui uno de los primeros en usar allá por el año de 1980.

Desde entonces guardo, y utilizo con cariño y admiración mis ejemplares del "Catálogo de Dobles" y de la "Guía Del Firmamento". Me honra conservar hasta hoy mi amistad con José Luis, y seguir disfrutando aún de sus enseñanzas y -de vez en cuando- de alguna observación del cielo nocturno en su compañía. En esos momentos, siempre volvemos a visitar alguna de nuestras "dobles y triples" favoritas, y a gozar con la contemplación serena de estas joyas celestes: la *gamma* del Delfín, la *beta* del Unicornio, la *eta* de Casiopea... ☾



JUAN JORDANO

¿Por qué las estrellas dobles?

por José Luis Comellas

ANTE TODO, debo decir que la observación de estrellas dobles me ha hecho muy feliz. Son un tipo de objeto celeste muy gratificante, como que para un modesto instrumento de aficionado son observables más estrellas dobles que ningún otro tipo de objeto. Y además: 1º, Se las encuentra en todas partes, con sensible independencia de ecuador de las coordenadas galácticas. Se encuentran tantas dobles fáciles en la Osa mayor como en Sagitario. 2º, Vale lo mismo para quien no puede irse al campo –y en mis tiempos de muchacho no pude permitirme tal lujo-, tener una ventana o balcón orientado en una u otra dirección cualquiera del horizonte. 3º, Las dobles son fáciles de observar (y, con un poco de ingenio, de medir en grado suficiente), y ofrecen contrastes de color que a veces alcanzan una belleza extraordinaria. Vistas al telescopio presentan un colorido mucho más marcado a la apreciación del observador que el de las estrellas simples, por razón del contraste de comparación inmediata. 4ª, No necesitan una observación diacrónica o necesaria en una determinada fecha, como las variables. Una estrella doble, salvo las de movimiento relativo muy rápido, no requieren volver a observarlas en meses, y por lo general en años. Es posible permitirse el lujo de observar una docena de estrellas dobles DISTINTAS cada noche despejada del año.

Así puede decirse que mi afición astronómica, comenzada, como la de tantos, en mis tiempos de niño, concedió una importancia preferente a las estrellas dobles, sin despreñar, por supuesto, a los demás objetos celestes. Un verdadero aficionado puede y debe interesarse por muchos objetos distintos: es divertido y hasta enriquecedor.

Cuando por razón de mis estudios hube de acceder a la universidad de Santiago, tuve ocasión de conocer a D. Ramón Aller, catedrático de Astronomía, y entonces uno de los más expertos especialistas en estrellas dobles del mundo. Era un sacerdote pequeñito, sonriente, sencillo, que en cuanto encontraba en quien acudía a él un verdadero interés por la astronomía, se volcaba para ayudarle. El Observatorio de la Universidad poseía un telescopio refractor de solo 12 cm. de

abertura, pero dotado de muy buena óptica y de un micrómetro (entonces no existía otro sistema de mensura) de excelente precisión. D. Ramón era un gran calculista, empleaba un orbígrafo de su invención para determinar órbitas aparentes, y luego las “volcaba”, como él decía, para hallar la órbita real. Observaba con atención, con una pulcritud extraordinaria, pero cada vez que descubría algo nuevo (un par o un movimiento significativo) hacía un comentario con una alegría que contagiaba necesariamente.

Desde entonces, por una mezcla de cariño y renovada afición, me he dedicado a la observación de estrellas dobles, con muy diversos instrumentos, nunca de gran abertura, porque no estaban a mi alcance, y con micrómetros de fabricación propia, hechos con más ingenio que técnica, pero que con sus telas de araña, formando triángulos cuya magnitud angular pude medir con ayuda de pares fijos bien conocidos, me sirvieron para determinar distancias y posiciones, hasta que me fue posible montar el pequeño observatorio de Mairena del Alcor y disponer del micrómetro *Ron Darbinian*. He llegado tarde a la generación de la CCD.

No puedo decir cuántas docenas miles de veces observé las estrellas dobles que estaban a mi alcance, ni cuantos miles de horas empleé en una observación que casi siempre fue gozosa, aunque


todos conocemos muy bien las extrañas manías de las leyes de Murphy. Por cierto que esas leyes perjudicaron más mi afición a las variables, a las ocultaciones rasantes (una vez en que una de ellas pasaba con seguridad por Mairena, me encontré con que me habían robado los oculares), y hasta los eclipses. En dobles, lo que no puedas observar hoy, por cansancio o por lo que sea –una señal de cansancio es siempre el medir los ángulos de posición al revés- déjalo para mañana. O para pasado mañana, da lo mismo.

Mi enhorabuena a los responsables de la edición de este boletín-revista, y con ella mis mejores deseos. Y que cuantos lleguéis a leer estas líneas, disfrutéis de la observación de estrellas dobles tanto como yo he disfrutado. ©



JUAN JORDANO

Medida de estrellas dobles con la cámara Luna QHY Color

por *Rafael Benavides Palencia* 

Agrupación Astronómica de Córdoba, España · Observatorio Posadas MPC J53 · rafaelbenpal@gmail.com



The *Luna QHY Color camera* is excellent for the measure of double stars. In this work are explained some small problems that the author found in the capture of images and their possible solutions, in addition there appears a small selection of double systems in the constellation of Cygnus with the first results.

ESTE verano tenía necesidad de obtener imágenes de estrellas dobles en color, llevaba años sin hacerlo. Mi venerada *Philips ToUcam Pro*, tantas veces usada en otra época, no era reconocida ahora por el nuevo portátil que trabaja con *Windows Vista*. A pesar de los nuevos *drivers* disponibles en Internet, con ninguno de ellos llegó a funcionar. Maldición. Tenía que hacer algo.

Debido a los excelentes resultados obtenidos con la cámara *Luna QHY-5 Mono*, sobre todo en fotografía lunar de alta resolución, me animé a adquirir la cámara CMOS *Luna QHY-5 Color*. El sensor es Mitron MT9M001 de media pulgada, presenta unos píxeles efectivos de 1280 x 1024, soportando ROI (región de interés). De esta forma podemos obtener nuestras imágenes a 640 x 480, o incluso a menor tamaño, lo cual agradecerá en gran medida el disco duro de nuestro ordenador por el ahorro de espacio que esto supone. Aunque lo más importante es el tamaño de píxel de 5,2 μm x 5,2 μm . Este pequeño tamaño de píxel nos va a proporcionar unas ampliaciones en nuestras imágenes muy adecuadas para el trabajo en estrellas dobles. Por ejemplo, en mi caso que trabajo con un Celestron 11 con una focal efectiva de 2800 mm, trabajando a foco primario me ofrece un resolución de 0,40" por píxel. Podéis ver más detalles de dicha cámara en la propia web del fabricante http://tienda.lunatico.es/epages/Store.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/Store.Lunatico/Products/CAM5Co1.

Una vez recibida en casa, apenas tardó un par de días desde que la pedí, me animé a probarla esa misma noche. En estrellas más brillantes de la octava magnitud se comporta de maravilla, con tiempos de integración muy pequeños y apenas ruido. Perfecta. Pero la cosa cambia radicalmente cuando nos encontramos ante estrellas más débiles de la octava magnitud. En estos casos, los tiempos de integración se acercan al segundo y el



La cámara Luna QHY-Color acoplada al C11

ruido se amplifica de manera dramática. De esta forma se hace imprescindible trabajar con darks. Esto se hizo evidente desde esa primera sesión, aunque en absoluto tenía que ser un problema. Remontándome a esas primeras imágenes, en el posterior procesado en casa, los resultados fueron un auténtico desastre. Los darks no se restaban bien y todas las imágenes adolecían de un ruido indecente. Ciertamente he de decir que me desanimé muchísimo, no había nada que pudiese hacer, aunque nunca me di por vencido.

En la segunda sesión advertí de pronto algo que era el origen de todos mis problemas. Los primeros segundos en los que graba la cámara, las imágenes obtenidas tienen menos señal, menor intensidad. De este modo si grabamos pocos darks, estos al tener menos señal no se restan adecuadamente de nuestras imágenes, por lo que el ruido prevalece en todas ellas. No sé el motivo de dicho comportamiento y si sólo le ocurre a mi cámara, ya que no he probado ninguna más. Pero la solución es muy fácil, basta con eliminar las 5 primeras imágenes de cada tanda para aplicar de

ESTRELLAS DOBLES OBSERVADAS EN CYGNUS							
NOMBRE	RA	DEC	MAGS	PA	SEP	EPOCA	NOTAS
STF2578AB	19457+3605		6.4 - 7.0	124.6	14.88	2008.696	1
STF2576FG	19464+3344		8.5 - 8.6	159.7	2.87	2008.695	2
S 726AD	19466+3253		6.2 - 9.4	191.1	29.20	2008.696	3
STF2588A-BC	19490+4423		7.7 - 8.1	158.8	9.64	2008.695	4
ES 23AD	19500+4509		8.2 - 9.9	326.1	30.55	2008.695	5
HJ 1448	19520+3802		9.6 - 9.7	167.7	11.45	2008.695	6
STT 390AB	19551+3012		6.6 - 9.5	22.6	9.55	2008.695	7
STF2609	19586+3806		6.7 - 7.6	23.2	1.90	2008.695	8
STF2611	19588+4721		8.4 - 8.4	207.0	5.22	2008.695	9
STF2610AB	19591+3532		8.8 - 9.2	296.0	4.30	2008.695	10
MAD 11AC	19591+3532		8.8 - 11.4	201.3	12.73	2008.695	
STF2619AB	20011+4816		8.8 - 8.8	239.3	4.12	2008.695	11
STF2624AB	20035+3601		7.1 - 7.7	172.4	1.92	2008.695	12
ES 132AB	20099+5657		9.4 - 9.8	82.1	5.44	2008.695	13
ES 132AC	20099+5657		9.4 - 9.6	62.3	32.97	2008.695	
WFC 229	20102+4130		9.5 - 9.6	298.2	4.74	2008.696	14
STF2648	20104+4949		8.1 - 9.5	117.1	6.75	2008.696	15
A 281AB	20106+3452		9.0 - 9.4	171.7	4.13	2008.696	16
STF2658AB	20136+5307		7.1 - 9.3	107.5	5.44	2008.696	17
STF2671AB	20184+5524		6.0 - 7.5	338.0	3.56	2008.696	18
BLL 49	20196+4754		7.9 - 9V	231.1	65.38	2008.704	19
HJ 1510AB	20223+4748		9.5 - 9.8	148.8	4.62	2008.704	20
D 22AB	20255+4006		8.1 - 9.4	161.6	2.79	2008.704	21
STF2687	20264+5638		6.4 - 8.3	116.5	26.35	2008.704	22
STF2693	20284+5430		8.2 - 9.2	11.9	13.63	2008.704	23
WEI 35AB	20293+3731		8.3 - 8.8	211.9	4.02	2008.704	24
STF2691	20297+3808		8.2 - 8.5	31.3	17.15	2008.704	25
HJ 1526A-BC	20307+3521		9.0 - 9.2	148.9	8.76	2008.704	26
STF2700	20347+3230		6.9 - 8.7	284.5	23.76	2008.704	27

manera correcta los darks y conseguir imágenes perfectamente calibradas.

Otro aspecto no demasiado positivo es su sensibilidad ya que necesita de un par de segundos para alcanzar magnitud 11 con suficiente señal, algo poco deseable en el trabajo en estrellas dobles ya que cuanto menor sea el tiempo de exposición, menores serán los efectos indeseables de nuestra atmósfera que todavía se ven magnificados al trabajar a estas resoluciones. Nuestra meta debe ser trabajar con los menores tiempos de exposición posibles y la máxima señal, siempre evitando la saturación.

No obstante, a pesar de estos pequeños in-

convenientes, es una cámara perfectamente válida para el trabajo en estrellas dobles como veremos a continuación.

La toma de imágenes la realicé con *QGVideo*, el propio software que trae la cámara. En mi opinión es el que mejor resultados ofrece con ella. La calibración del color no es especialmente complicada, aunque es mucho más fácil obtener tonos cálidos (rojos) que tonos azules. Un poco de práctica jugando con el balance de los tres colores básicos (rojo, verde y azul), incluido en el software de captura, nos permitirá obtener el balance de color correcto.

Básicamente trabaja igual que una webcam,

aunque la tasa de volcado de imágenes por segundo a nuestro ordenador es inferior. Esto no es nada importante, sólo deberemos tener un poco más de paciencia y de tiempo para obtener los mismos resultados. Por lo dicho anteriormente, el programa más adecuado para medir nuestras estrellas dobles será *Reduc*.

A continuación os muestro los resultados obtenidos en un par de noches trabajando en la constelación del *Cisne*. ©

Referencias




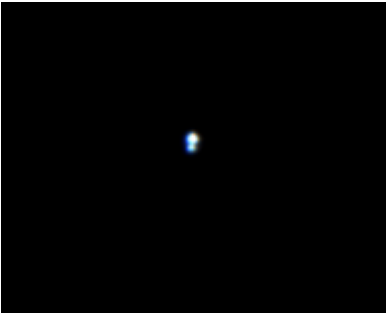


-The Washington Double Star Catalog, Brian D. Mason, Gary L. Wycoff, and William I. Hartkopf, 2007, <http://ad.usno.navy.mil/wds/>

-Project Pluto, Guide 8.o., <http://www.projectpluto.com/>

-VizieR Service, <http://webviz.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

- | | | |
|----------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | STF2578AB | Prácticamente fija. Espectros B9.5 V y A0 V |
| 2 | STF2576FG | Orbital de enanas rojas (espectros K3 V) situada a 66 años-luz |
| 3 | S 726AD | Pareja óptica. La más brillante es una gigante roja (Sp K2 III) situada a 366 años-luz. La secundaria, es la doble cerrada COU 1084 DE. |
| 4 | STF2588A-BC | Azules, ambas espectro B8 III |

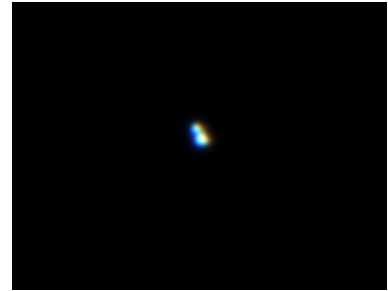


5	ES 23AD	Ambas son gigantes rojas lejanas (Sp K2 III)	
6	HJ 1448	Pareja de movimiento propio común. Las dos anaranjadas, espectros G8 V y K0 V	
7	STT 390AB	Prácticamente fija. Desigual. Espectros B6 V y A5 V	
8	STF2609	Física. Pareja azul, espectros B5 IV y B8 III.	
9	STF2611	Gemelas anaranjadas (Espectro K0)	
10	STF2610AB MAD 11AC	Fija. Azuladas, espectros B9 V y B7 V.	

11 STF2619AB Pareja de movimiento propio común situada a 195 años-luz. Anaranjadas, espectros gemelos G5.



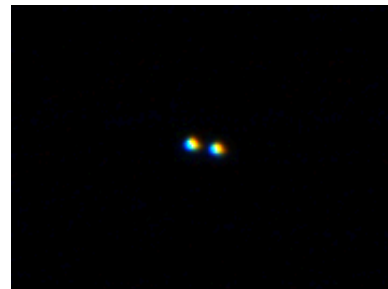
12 STF2624AB Física. Apertada pareja de estrellas muy azules (espectros O9.5II)



13 ES 132AB Prácticamente fija. Espectros idénticos F8 V. La estrella C, componente óptica, es una gigante anaranjada de espectro K1 III.
ES 132AC



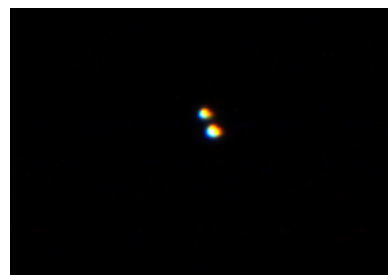
14 WFC 229 Ambas blancas, espectros F.



15 STF2648 Física. La principal es de espectro F4 V y está situada a 300 años-luz. La secundaria es amarillenta, espectro G0 V.



16 A 281AB Física. La principal es F7 V.



17 STF2658AB Pareja de movimiento propio común situada a 150 años-luz. La secundaria fuertemente anaranjada. Espectros F5 V y K2 V



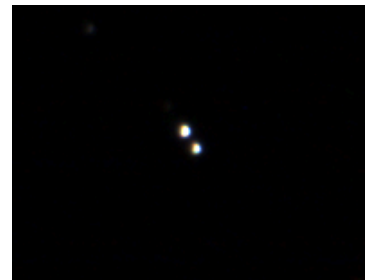
18 STF2671AB Pareja física distante 290 años-luz. Blancas, espectros A2 V y F3 V. Ambas son binarias espectroscópicas



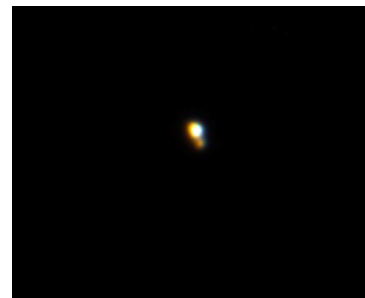
19 BLL 49 La secundaria es U Cyg, una variable tipo Mira extremadamente roja (Sp C) que en la fecha de observación se encontraba en su máximo brillo. Pareja óptica.



20 HJ 1510AB Prácticamente fija.



21 D 22AB Desigual. Pareja física. Espectros F8 V y K0 V



22 STF2687 Pareja de movimiento propio común situada a 545 años-luz. Espectros B9 V y A2 V



23 STF2693 Prácticamente fija. Blancas, espectros A0 V y F1 V.



24 WEI 35AB Parejita física. Espectacular contraste. La principal es una estrella gigante roja, espectro K0 III.



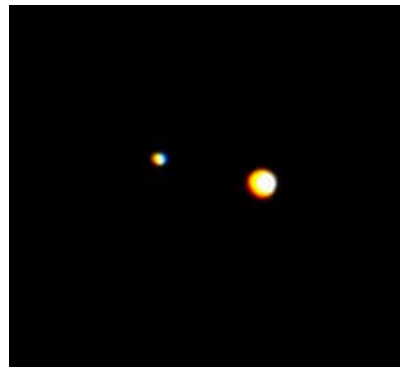
25 STF2691 Fija. Azules, espectros B6 V y B9 IV.




26 HJ 1526A-BC Prácticamente fija. Blancas, espectros A2 y A5. La secundaria es HU 760 BC, doble cerrada



27 STF2700 Fija. Anaranjada y blanquecina, espectros K1 III y F2 IV.



Medidas de estrellas dobles con CCD

por Juan-Luis González Carballo 

Agrupación Astronómica de Sabadell, España · carballo@eresmas.net



This work shows the theta / rho measurements of 48 double and multiple systems, made with a CCD camera during 2008. Six of the pairs measured are neglected.

DURANTE el último semestre del año 2008 me propuse analizar la fiabilidad de una cámara CCD recién adquirida para la obtención de imágenes de estrellas dobles, y su posterior estudio astrométrico. Para ello seleccioné pares de diferentes características, que resultaron ser los que se presentan en la tabla adjunta. Igualmente, me inicié en las técnicas de localización de pares olvidados (*neglected*). Una vez finalizada esa fase “de aprendizaje”, puedo concluir que esta cámara CCD puede ofrecer buenos resultados para este cometido, especialmente si tenemos en cuenta otros factores como las condiciones ambientales, la colimación del telescopio y la calidad del enfoque. Tras comparar mis medidas con otras realizadas con placas profesionales (2MASS, sobre todo) puedo decir que la precisión de las medidas es bastante alta. Queda para otro artículo, pues, un análisis más detallado de la precisión de las medidas.

El equipo utilizado ha sido el siguiente: un telescopio Schmidt-Cassegrain Celestron de 203 mm. a $f/10$ sobre una montura Great Polaris Deluxe (GPDx) de Vixen, motorizada en AR. Como no dispone de computerización ni de GOTO he seguido empleando la tradicional técnica de “salto entre estrellas” para localizar cada par. En este sentido, ha sido de especial ayuda la adquisición de un espejo basculante (flip mirror) de Vixen, pues me permite realizar observaciones visuales del campo estelar teniendo, al mismo tiempo, acoplada la cámara CCD. Un anillo parfocal me permite tener enfocados simultáneamente la cámara y el ocular.

La cámara CCD es una de las consideradas económicas: la Atik 16-IC. Esta cámara aloja un chip SONY ICX424AL (monocromo) de gran calidad que produce imágenes de 659x494 píxeles. El tamaño del píxel es de $7.4 \mu\text{m}$ y tiene un ruido de lectura muy bajo. Es una cámara muy sensible,

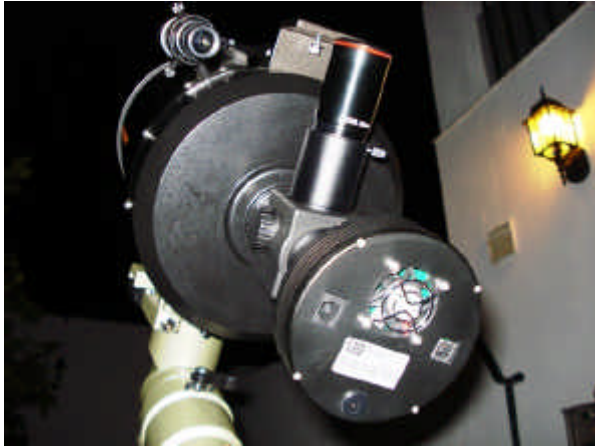
rápida en la descarga de imágenes y está refrigerada termoelectricamente. Puede realizar auto-guiado (mediante el protocolo ST4) y se conecta mediante USB 1.1 (compatible con 2.0). Recomendando esta cámara a los aficionados que desean iniciarse en la astronomía con CCD por su buena relación prestaciones/precio.



Cámara CCD Atik 16-IC

Empleando la CCD con el equipo anteriormente descrito, obtengo, a foco primario, una resolución de 0.69 segundos de arco/píxel y un campo de $7.5' \times 5.6'$. La focal obtenida es de 2236 mm. En ocasiones, para pares separados y dada la necesidad de obtener el mayor número posible de estrellas de referencia, se empleó un reductor de focal Atik 0.5x; en ese caso se obtienen los siguientes parámetros: resolución de 1.17 segundos de arco/píxel, campo de $12.9' \times 9.6'$ y una focal de 1305 mm.

Para la reducción de la información se siguió el siguiente proceso: captura de unas cuarenta imágenes de cada par y, posteriormente, apilado de éstas hasta obtener cuatro imágenes inde-



pendientes (cada una de ellas es, por tanto, la suma de 10). Para las mediciones utilicé el programa Astrometrica v4.4 junto con el catálogo UCAC2 cuando fue posible. Una vez obtenida la astrometría absoluta de cada imagen se utilizaba una tabla de Excel con los algoritmos que permitían calcular el ángulo de posición (AP, theta) y la separación (SEP, rho) de cada una de los sistemas. Posteriormente se promediaban los cuatro

resultados obtenidos para, de este modo, obtener una única medida de cada par.

En la tabla adjunta pueden observarse los resultados obtenidos. Las coordenadas son las que aparecen en la denominación de cada par en el Washington Double Star Catalog (WDS), así como las magnitudes de las componentes.

En la página 18 se adjunta una selección de imágenes de los pares objeto de estudio.

Quiero agradecer la inestimable colaboración de Rafael Benavides por haberme guiado en todos estos meses de aprendizaje, respondiendo todas las dudas que me han ido surgiendo. ☺

Referencias

- Tabla Excel facilitada por G.E.O.D.A. en <http://www.ctv.es/USERS/luisiana/Dobles.htm>
- Herbert Raab, Astrometrica: <http://www.astrometrica.at/>
- Mason, B.D. et al., The Washington Double Star Catalog 2006.5, U.S. Naval Observatory.
- <http://webviz.u-strasburg.fr/viz-bin/VizieR>

MEDIDAS DE ESTRELLAS DOBLES CON CCD							
NOMBRE	RA	DEC	MAGS	PA	SEP	ÉPOCA	MOTAS
BRT1919	18390	+4113	11.1—11.3	326.1	3.5	2008.332	
ES2571	18362	+3858	10.5—10.7	68.1	6.8	2008.332	
STF2381	18455	+2815	8.27—10.36	122.1	8.5	2008.332	
HJ1928AB	00033	+6053	10.67—11.35	183.1	13.1	2008.332	
STI1487	00574	+5628	9.79—13.4	55.3	14.2	2008.538	
ES2584	01326	+5445	9.65—10.02	196.3	15.7	2008.540	
HJ2003	00584	+5426	10.64—10.85	333	16.7	2008.540	
ALI873	18366	+3859	12.8—13	102.6	9.2	2008.540	
ES2571	18362	+3858	10.5—10.7	68.1	6.8	2008.540	
MLB36	00082	+5913	9.8—12.1	359.1	6.7	2008.505	
MLB94	22047	+5649	9.51—12.06	306.2	5.6	2008.505	
STI2618	22057	+5708	7.58—13	82.1	9.8	2008.505	
STI1325	00195	+5907	9.1—13.7	196.2	8.6	2008.505	
ES1801	21591	+5656	8.84—13.8	99.1	5.8	2008.505	
HO290AC	22109	+5757	7.42—13.5	99.2	14.6	2008.516	
BU436AB	22109	+5757	7.42—12	327.2	19.3	2008.516	
BU436AD	22109	+5757	7.42—16	189.1	28.1	2008.516	1
ES2701	20459	+4448	8.76—9.24	80.9	51.1	2008.798	
ES668AC	20434	+4501	8.9—13.1	269.1	23.5	2008.798	
ES2699	20433	+4456	8.64—9.51	297.2	40.2	2008.798	
HJ1010	00161	+6006	10.26—11.34	117.8	20.4	2008.817	
BU254AB	00116	+5945	8.0—12	237	7.1	2008.817	
BU254AC	00116	+5945	8.0—12.7	240.3	37.0	2008.817	

MEDIDAS DE ESTRELLAS DOBLES CON CCD (cont.)							
NOMBRE	RA	DEC	MAGS	PA	SEP	ÉPOCA	MOTAS
ARG1AB	00091	+5938	9.68—9.82	328.6	25.9	2008.817	
POU5644	22084	+2525	11.5—13.8	324.1	16.2	2008.817	2
POU5648	22092	+2510	12.3—13.9	210.3	9.3	2008.817	3
STT411AB	20423	+4549	7.66—10.58	348.2	30.7	2008.871	
WAL132AC	20423	+4549	7.66—10.23	357.1	70.2	2008.871	
BKO158AF	20423	+4549	7.66—12.2	144.6	41.7	2008.871	
WAL132BC	20423	+4549	10.58—10.25	3.9	40.1	2008.871	
CTT15BD	20423	+4549	10.58—10.4	178.1	86.7	2008.871	
CTT15BE	20423	+4549	10.58—10.3	141.5	87.9	2008.871	
BKO158EF	20423	+4549	10.3—12.2	280.9	24.8	2008.871	
BKO158EG	20423	+4549	10.3—14	220.9	28.7	2008.871	
BKO158EH	20423	+4549	10.3—12.6	340.1	51.7	2008.871	
BKO158EI	20423	+4549	10.3—13.6	236.2	39.2	2008.871	
HO140	20437	+4619	7.2—13.3	311.7	8.0	2008.871	
HO280	20473	+4535	6.4—12.4	74.5	11.9	2008.871	4
SEI1550	22019	+3919	10.39—11.09	221.7	23.0	2008.817	
MLB36	00082	+5913	9.8—12.1	358.8	7.4	2008.817	
ARY8AB	00108	+5846	8.13—8.63	100.4	39.3	2008.871	
ARY8AC	00108	+5846	8.13—8.29	42.8	103.5	2008.871	
STI1287	00101	+5847	9.64—12.1	309.9	14.4	2008.817	
STI501	04116	+6408	10.98—11.7	281.0	7.4	2008.893	5
STI1999	03365	+5828	12.49—13	49.9	10.3	2008.893	6
STI480	03547	+6017	11.63—13.1	137.0	11.4	2008.893	7
ES1819	03559	+6045	9.44—12.8	127.2	3.7	2008.893	8
BU250	20499	+4640	6.33—11.5	6.7	18.3	2008.871	9

Notas

1. BU436AD. Estrella abandonada (neglected). Su última medida en el WDS es de 1903 (Burnham).
2. POU5644. Sólo dos medidas en el WDS (1898 y 1997).
3. POU5648. Sólo dos medidas en el WDS (1898 y 1997).
4. HO280. Estrella abandonada (neglected). Su última medida es de 1960.
5. STI501. Estrella abandonada (neglected), sólo

medida en 1908. Las coordenadas correctas son: 041129.07 +640817.5.

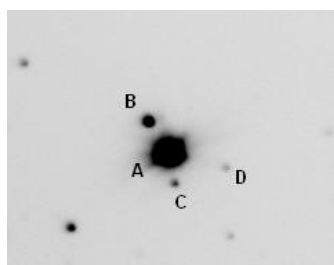
6. STI1999. Estrella abandonada (neglected), sólo dos medidas de 1911. Sus coordenadas correctas son: 033626.8 +580744.5.

7. STI480. Estrella abandonada (neglected). Sólo medida en 1911.

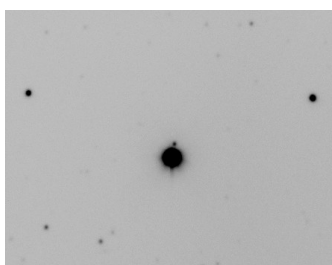
8. ES1819. Estrella abandonada (neglected). Sólo medida en 1920.

9. La componente A es una binaria eclipsante (V2136 Cyg).

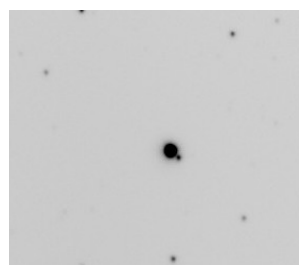
Imágenes de estrellas abandonadas (*neglected*) citadas en el artículo



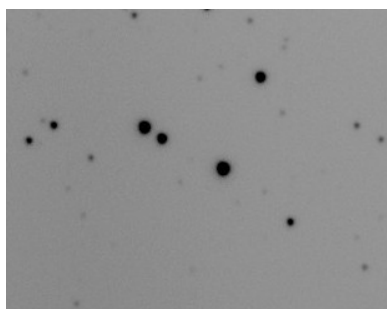
HO 290AC
(BU 436)



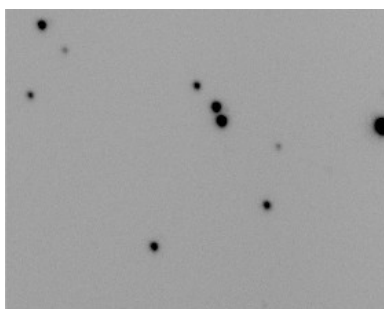
HO 280



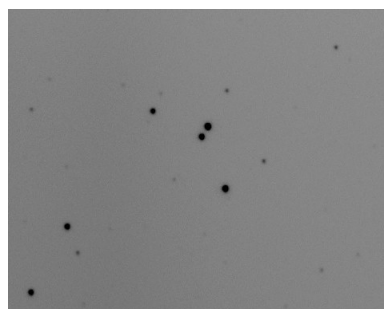
ES 1819



STI 1480

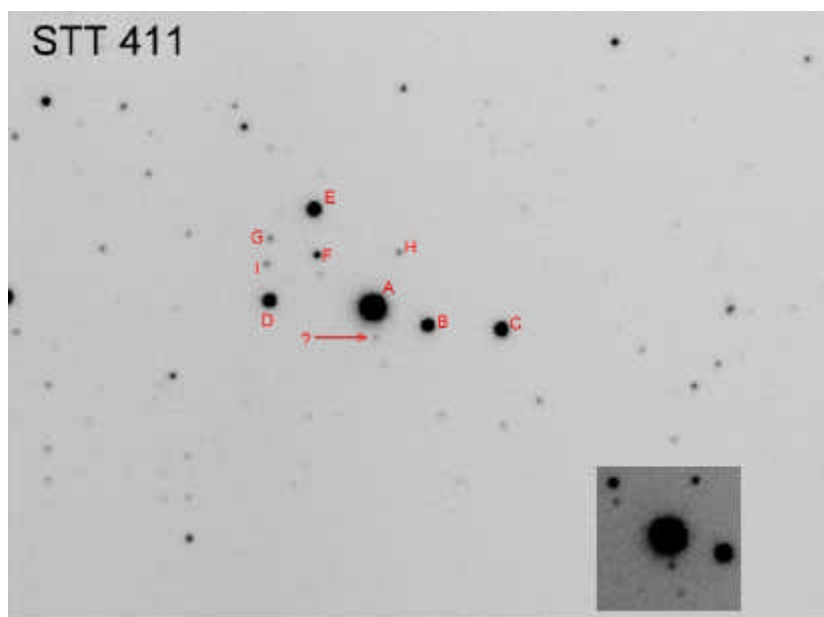


STI 1501



STI 1999

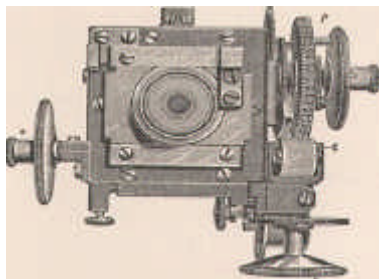
El sistema múltiple STT411



El observador de estrellas dobles

por *Edgardo Rubén Masa Martín* 

Sociedad Astronómica Syrma de Valladolid, España (coordinador de la Sección de Estrellas Dobles, MED)
Coordinador Adjunto Sección de Estrellas Dobles de la LIADA · ermasa.dsa@gmail.com



Traditionally, *Double-Star Astronomy* has been a very relevant activity for the amateur astronomers. Really, the contributions of the amateur community to this branch of astronomy can be very important. Stepwise, the reader will discover how and why he must enter in the double star observations.

Introducción

El término “astrónomo aficionado” es un término rico en matices. Habría que aclarar, antes de continuar, que entre *astrónomo aficionado* y *aficionado a la astronomía*, existe una clara diferenciación más allá de una obvia transposición de vocablos. Intentaré explicar en qué consiste. Podríamos decir que existen dos clases de astrónomos: los aficionados y los profesionales. Siempre, por supuesto, salvando las distancias y sin establecer una comparación cualitativa entre ambos. Los profesionales gozan de dedicación exclusiva, mientras que los aficionados practican otra ocupación laboral al margen de la astronómica. El profesional está preparado académicamente a todos los niveles para desempeñar su actividad. El astrónomo aficionado, generalmente, es un autodidacta que se especializa en un tema astronómico determinado. Además, el amateur, no disfruta de una disponibilidad instrumental y financiera siquiera parecida a la del profesional. Bien, entonces, ¿de qué manera podemos desempeñar una labor científica que sea válida y cuyos resultados puedan ser aprovechados por la comunidad profesional? Pues es bien sencillo. Primero, con tesón y perseverancia; y segundo, haciendo uso de una metodología de trabajo estricta, coherente y basada en pasadas experiencias, que logre una cierta estandarización en la forma de hacer las cosas. Habrá que equiparar al máximo nuestro método de trabajo con el que usa el astrónomo de profesión. Nuestras mermas instrumentales no tienen solución pero, a pesar de ello, se pueden realizar cosas importantes con medios más modestos. A parte de todo, deberemos acompañar todas nuestras observaciones con una exhaustiva documentación, rigurosa y metódica. Podría pensarse que en el campo de la astronomía amateur se nos podría conceder el ser menos diligentes, o menos rigurosos, con el método científico. Si aceptamos esta engañosa ventaja, no dejaríamos

de ser precisamente eso: meros *aficionados a la astronomía*. Con estas palabras, entiéndanme, no se intenta desmerecer de ninguna manera a los aficionados a la astronomía. Al fin y al cabo todos empezamos en esto porque sentimos las mismas inquietudes astronómicas; es un paso previo e ineludible. El simple hecho de observar el cielo, sólo para deleitarse con las maravillas de la bóveda celeste, es ya, en sí misma, una actividad relajante, placentera, enriquecedora del espíritu y tremendamente formadora. Pero, ¿por qué no dar un paso más? Con un poco de esfuerzo extra, además de disfrutar, realizaremos una labor científica útil, y haremos nuestra la máxima Herschel: “*Para ser astrónomo hay que tener el horario de un búho, la dedicación de un monje y la paciencia de una madre*”.

Las labores del (astrónomo) aficionado

Bien, supongamos, que mis palabras han surtido efecto y que ustedes, sabiamente, han decidido unirse al grupo de los astrónomos aficionados. ¿En qué área de la astronomía observacional podríamos ocupar nuestras jornadas de observación? Las posibilidades son muchas. Una vez que alguien ha tocado un poco de todo, enseguida se da cuenta de que hay alguna especialidad que le atrae más que las otras. Es simplemente cuestión de gusto personal. Se nos acaba de ofrecer una nueva ventaja: podemos elegir libremente, a nuestro antojo, a qué nos vamos a dedicar. Siempre tendremos la seguridad de hacer aquello que más nos gusta. La cuestión no es hacer lo que uno quiere, sino querer lo que uno hace. ¿Se dan cuenta de que todo son facilidades? Continuemos...

Podríamos enumerar bastantes campos astronómicos para escoger. Por ejemplo:

- Astrofotografía.
- Estudio de estrellas variables, curvas de luz.

- Astrometría de asteroides.
- Astrometría y fotometría de cometas.
- Planetaria.
- Cielo profundo: nebulosas, galaxias, cúmulos.
- Búsqueda de supernovas.
- El Sol: registro de su actividad diaria, eclipses.
- La Luna: ocultaciones, eclipses, dibujos.
- Lluvias de meteoros.
- Estrellas dobles
- Etc.

He citado en último lugar las *estrellas dobles*. Quizá muchos de ustedes se pregunten: ¿pero existen estrellas que sean dobles? La respuesta es sí. Y como habrán podido intuir, esa es precisamente la especialidad que yo elegí, allá por el año 1991, cuando decidí aliarme con la noche para robarle al cielo sus secretos.

¿Qué son las estrellas dobles?

Cuando elevamos la mirada hacia el cielo nocturno, estamos acostumbrados a ver diminutos puntos brillantes de luz. Son las estrellas. Todos sabemos que son soles lejanos que pertenecen a nuestra Galaxia, la Vía Láctea. A simple vista llegaríamos a contar unas 6.500, aproximadamente, en condiciones atmosféricas impecables. Nuestra curiosidad nos invita a adquirir un pequeño telescopio para escudriñar el cielo. A través de él, el número de estrellas que podríamos contabilizar se dispara de manera alarmante. Paseando nuestra vista por la bóveda celeste, mirando a través de la pequeña ventana del telescopio, podemos observar que ciertos de esos soles no se ven como una fuente puntual de luz como ocurriría a ojo desnudo. Efectivamente, algunas estrellas se *desdoblan* en dos puntitos brillantes muy cercanos e independientes. En ocasiones, se aprecian diferencias notables de color entre ellos y, en otras tantas, se hacen evidentes sus desiguales intensidades de luminosidad. Acabamos de contemplar nuestra primera *estrella doble*. Los más impacientes adelantarán enseguida: “*Vaya curioso efecto de perspectiva: las dos estrellas parecen estar muy juntas por un simple efecto de proyección*”. Los más calculadores y metódicos intentarán documentarse acerca de este tipo de objetos, y se sorprenderán al encontrar que las estrellas están orbitando una alrededor de la otra, en mutua interacción gravitatoria, alrededor de un punto común denominado *Centro de Masas del Sistema*. Sistema, esa es la palabra. Se trata de un **sistema estelar binario**. Una estrella tiene como satélite, no ya a un conjunto de planetas, sino a otra estrella. Estamos ante una **estrella doble física**: las dos componentes permanecen enlazadas por las leyes de la física newtoniana y describen órbitas keplerianas. Ciertamente, el primer caso de estrellas dobles de perspectiva puede darse habitualmente: a la sazón, estaremos viendo

una estrella **doble óptica** que, por otra parte, no tiene el menor interés astrofísico; si acaso, únicamente, el mero deleite visual de las componentes. Cuando, tras estudiar el comportamiento de un par físico a lo largo del tiempo, se consigan definir las características de su órbita, entonces denominaremos a la pareja como **sistema orbital**.

Muchas veces varios astros más se unen al baile, y se conforman entonces sistemas triples, cuádruples... y de manera general múltiples. Este tipo de sistemas, más complicados dinámicamente, son también relativamente abundantes.

Existen otros tipos de estrellas binarias que no pueden ser resueltas visualmente a través del telescopio ni por medios fotográficos o interferométricos. Sus separaciones angulares son tan cerradas que no somos capaces de separarlas. Sin embargo, la astronomía ha logrado detectarlas haciendo uso de otras técnicas no visuales. Podemos hablar así de las **binarias espectroscópicas**, que son detectadas mediante el análisis espectral de la luz de la “estrella visible”. En ocasiones se obtienen dos espectros diferenciados, con corrimientos Doppler, hacia el rojo y hacia el azul: mientras una estrella se aleja, la otra se acerca al observador. De esta manera se vislumbra la existencia de la otra componente. El estudio de los cambios que se producen en las velocidades radiales de los astros integrantes del sistema nos lleva a la conformación de la *curva de velocidad radial*. De este resultado se obtienen gran cantidad de datos acerca de la binaria.

Otras veces, utilizando estrategias fotométricas, se observa que el nivel de luminosidad de una estrella aumenta y decrece de una manera cíclica y con cadencia. El efecto se produce porque una compañera invisible a nuestros ojos pasa por delante de la estrella principal eclipsándola. Esta clase de sistemas se denominan **binarias eclipsantes o fotométricas**. Mediante el análisis de la *curva de luz del sistema*, obtenida con los datos observacionales acumulados a lo largo del tiempo, se consiguen extraer importantes deducciones.

Hablaríamos también de las **binarias astrométricas**, donde una de las componentes es ópticamente invisible porque su magnitud es mucho menos intensa que la de la principal; aunque la separación angular sea teóricamente resoluble por nuestro instrumento. Sencillamente, el enorme resplandor de la estrella visible engulle a la secundaria. El carácter binario se detecta en base a que la principal no presenta un movimiento propio lineal, sino que traza movimientos ondulatorios o sinusoidales al estar influenciada gravitatoriamente por la compañera invisible. Analizando este movimiento extraño se deduce cómo tiene que ser la compañera para que se produzca el comentado efecto visual.

Por último citaremos a las llamadas **binarias de ocultación**, observadas fotométricamente cuando la Luna oculta en su traslación a un sistema doble no resoluble visualmente. La fotometría demuestra que la ocultación se produce en dos fases diferenciadas: se oculta la primera estrella y se registra una caída de brillo, después de un brevísimo período de tiempo se produce la segunda ocultación. Son muy escasas, por razones obvias.

Hecha esta clasificación observacional, pueden ustedes deducir que únicamente las *binarias visuales* son accesibles (en principio) para el astrónomo aficionado. El estudio de los tipos restantes requiere una dotación de medios técnicos e instrumentales muy sofisticados y caros que, generalmente, no están a nuestro alcance.

Hemos visto cómo los sistemas binarios pertenecen a uno u otro grupo, según la forma con la que el astrónomo es capaz de detectarlos. Deducimos enseguida que el factor distancia es lo único que influye en este criterio de clasificación: los pares físicos son los mismos pero a distancias muy diferentes de nosotros. Según escribe el doctor Juan Echeverría [1], en su obra *Estrellas binarias interactivas*, “...la diferencia real entre las distintas clases no es necesariamente cierta”, y a continuación nos argumenta una explicación muy gráfica para detallar su aseveración –cita que transcribimos aquí-. No se puede expresar mejor:

“Imaginemos a un sistema doble visual cuya órbita tenga un ángulo de inclinación de 90° con respecto a nosotros, es decir que vemos su órbita de canto. Si nos alejamos de este sistema, veremos que, poco a poco, sus componentes se ven más cerca, hasta el punto en que ya no las podemos separar. Si en ese momento la binaria es ocultada por la Luna, volveríamos a separar sus componentes, al observar una ocultación doble. Si procedemos a alejarnos más aún, llegará un momento en que ya no sea posible separar sus componentes por el método anterior. Sin embargo, si observamos su luz por un tiempo suficientemente largo veremos que, cuando una componente pase por delante de la otra, se producirán eclipses. De igual manera, si tomamos un espectro, veremos sus componentes individuales, y podremos medir sus movimientos sistemáticos de velocidad radial.”

Haciendo números

La siguiente aseveración puede resultarles chocante: lo más normal es que las estrellas estén acompañadas y no evolucionen solas. Observemos que el caso de nuestro solitario Sol es una circunstancia rara. Estadísticamente, según estudios el profesor W. D. Heintz, que fue un gran especialista en el tema de las binarias, una mues-

tra de 100 estrellas se reparte de la siguiente forma:

- 30 estrellas simples (30)
- 47 estrellas dobles (94)
- 23 estrellas múltiples (81)

Del anterior prorrateo se extrae que 100 “estrellas” arrojarán un total de 205 componentes individuales. Y asimismo, que el 85% del total de estrellas están dispuestas en sistemas.

Según el tipo de sistemas, los resultados de las catalogaciones que actualmente se poseen ofrecen las siguientes cifras:

- **Binarias visuales:** Se registran alrededor de 103.000 descubrimientos de estrellas dobles (WDS 2.006,5) incluyendo también pares ópticos. Se han calculado unas 1.000 órbitas. Solo para unas 300 órbitas se poseen datos seguros y exactos.
- **Binarias espectroscópicas:** Unas 1.500 órbitas calculadas y otros 1.000 sistemas en los que se han detectado variaciones de velocidad radial.
- **Binarias fotométricas:** Alrededor de 4.000 sistemas catalogados. Casi 500 de ellos poseen detalladas curvas de luz.

Se habrán dado cuenta de que precisamente las estrellas dobles visuales, a cuyo estudio nos vamos a dedicar, es además el grupo más nutrido de todos. Por lo tanto, las candidatas disponibles para trabajar son muy numerosas: hay más de 100.000 pares catalogados a lo largo de la Historia. Por otra parte, muchos de ellos permanecen completamente en el olvido: nadie ha actualizado sus parámetros desde hace más de 150 años! ¿La causa? Los profesionales no tienen tiempo material para revisar todos los registros. Eso es todo. Si ya casi les tenía convencidos, estoy seguro que después de esta última proposición, los más indecisos ya son totalmente incondicionales a la empresa que vamos promover.

¿Por qué estudiar estrellas binarias visuales?

La razón es sencilla, clara, contundente y de gran trascendencia científica: el estudio de los sistemas binarios proporciona el único modo directo que poseen los astrónomos para calcular las masas de las estrellas. Efectivamente, la masa de una estrella solo se puede inferir directamente a través de su interacción gravitacional con otra masa.

Este dato, la masa, junto con el radio y la luminosidad, es la piedra angular para los astrofísicos que trabajan en el campo de la evolución estelar. Sirve para refinar las teorías de la formación y la evolución de las estrellas en general; también se obtiene información sobre la estructu-

ra interna de las estrellas y de los procesos que se dan en su interior. Conociendo la masa inicial de una estrella y su composición se podrá predecir la evolución de todo su ciclo vital. Calculando las órbitas de sistemas binarios visuales se obtiene directamente la suma de sus masas gracias a la tercera ley de Kepler. En combinación con otros métodos de observación pueden deducirse, en ocasiones, también las masas individuales.

Un poco de historia

Convendría antes de continuar, dar un pequeño paseo a través de los procesos históricos que han culminado en todos los conocimientos que en hoy en día se poseen sobre el área de las estrellas binarias visuales. Es un aspecto fascinante de la Historia de la astronomía. Muy por encima, ya que el tema es tremendamente extenso, podríamos dar una serie de notas interesantes que posibilitaron llegar hasta donde hoy nos encontramos. Por cierto, conviene remarcar que muchos de los hitos históricos que vamos a enumerar, fueron llevados a cabo por astrónomos aficionados.

-En el siglo segundo A.C. Ptolomeo asigna el término *diplous* (estrella doble) cuando menciona la observación de las estrellas n_1 y n_2 Sgr, hoy día considerada como una doble óptica.

-Se descubre telescópicamente la primera doble visual: Mizar en 1616. El autor, Benedetto Castelli, amigo de Galileo. Sin embargo la atribución más oficializada, aunque no cierta, es para Giovanni Battista Riccioli, en 1650.

-Para toda la comunidad científica de la época las nuevas estrellas dobles son alineamientos accidentales frutos del azar y de la perspectiva. Galileo propone usar estas asociaciones estelares para intentar medir la paralaje estelar: se corroboraría que la Tierra giraba alrededor del Sol como proponía el nuevo modelo copernicano y, por tanto, se podría medir también la distancia a las estrellas. Únicamente por esta razón se comenzó la búsqueda de estrellas dobles.

-En los comienzos podemos hablar de Kirsch, Huygens, Hooke, Bradley, Pigott, Maskelyne, etc, que poco a poco aportaron descubrimientos de nuevos pares.

-Mayer, publica en 1778 el primer catálogo de estrellas dobles (80 pares).

-William Herschel, con la idea de Galileo en mente, recopila cuantos pares puede encontrar durante muchos años y publica dos catálogos. Al comprobar las posiciones de los pares medidos por él 20 años atrás, evidencia que las estrellas dotadas de mayor movimiento propio se han movido describiendo arcos de elipses. En 1802, publica un famoso artículo, donde anuncia el descubrimiento de las *estrellas binarias*, verdaderos sistemas estelares gobernados por las leyes de la Gravitación Universal. Se comprueba por primera vez que las leyes de Newton también son válidas fuera del

ámbito *doméstico* de nuestro Sistema Solar. Se generó una verdadera revolución aunque no consiguiera medir la paralaje.

-A partir de aquí comienza una rápida carrera para descubrir, ahora sí, estrellas binarias visuales. Struve, retoma la catalogación de pares, realizando medidas muy precisas de sus posiciones relativas. Publica *Mensurae micrometricae*.

-Nombres destacables como John Herschel, Argelander, Dembowski, Mädler, Dawes, Secchi, Almirante Smyth (aficionado), y un larguísimo etcétera, colaboraron con descubrimientos de nuevos pares.

-Burnham, precursor de la era moderna, comenzó como aficionado y descubrió unos 1.500 pares. Publicó *A general catalogue of double stars*, con 13.665 entradas, en 1906.

-Aitken, hace una búsqueda sistemática en el cielo norte y publica en 1932 el famoso ADS con más de 17.000 pares.

-Innes realiza la misma empresa desde el Hemisferio Sur y publica su *Southern Double Stars* (SDS).

-Jeffers continúa la labor de Aitken y Van den Bos la de Innes. Entre los dos deciden publicar un nuevo catálogo englobando a las estrellas dobles de todo el cielo. Así nace el IDS: *Index Catalogue of Visual Double Stars*, en 1961, que marcó un hito en aquella época. Incluía 64.247 pares.

-Worley, en 1984 publica el WDS con 73.160 pares, una nueva base de datos informatizada a nivel mundial. Nuevas versiones posteriores en 1996, 2001 y 2006,5 agrandan el número hasta un total que sobrepasa los 103.000 pares. A partir de la versión de 1996, Brian D. Mason, toma las riendas de su gestión. Las últimas versiones están disponibles *on-line* [2].

La inicial etapa de rodaje

Imagino que estarán ustedes deseando iniciar sus propias observaciones de estrellas dobles visuales. Manos a la obra. Es recomendable que al principio se dediquen a *desdoblar o resolver* todos los pares que les sea posible, abarcando tanto los más difíciles o *cerrados* (hasta llegar al límite de sus instrumentos ópticos). Pero, cómo no, deleitarse con los pares *abiertos*, mucho más fáciles y cómodos. Son cinco los factores que influirán en el hecho de poder resolver un par: la separación entre las componentes, la abertura del telescopio, las magnitudes aparentes de las dos estrellas, las condiciones atmosféricas (el llamado *seeing*, que cuantifica el grado de turbulencia) y el nivel de pericia del observador. Según el peso de cada uno de estos elementos, ustedes podrán ver claramente en el campo visual dos estrellas separadas, otras veces parecerán tocarse (mostrando una familiar forma de *ocho*), algunos pares mostrarán una cierta elongación o forma oval y, otros, simplemente se verán como una estrella simple. En este transcurrir encontrarán, sin duda, pares extraordinariamente bellos, otros poco sugerentes

(incluso sosos), otros con contrastes cromáticos muy delicados, otros con marcadas diferencias de magnitud entre las componentes, otros... En fin, llegarán a la conclusión de que no existe ninguna binaria igual a otra. Cada una posee un cariz con una personalidad propia.

Una buena manera de autoestimularse en la observación de dobles, es completar la lista de pares que se propone en la *Astronomical League Double Star Club* [3]. Se compone de 100 estrellas dobles visuales de las más famosas y resolubles por pequeños telescopios. Cuando ustedes hayan desdoblado cada una de ellas, recibirán un certificado expedido a su nombre que lo acreditará y una insignia identificativa. Pasada esta etapa, entrarán a formar parte del distinguido grupo de los *doblistas*; con su esfuerzo han logrado hacerse con un apelativo dentro de la astronomía amateur. Vamos consiguiendo logros.

Cada vez con más ahínco intentarán documentarse sobre su área de trabajo. Lecturas sustanciosas, adquisición de catálogos impresos y guías de observación. Usarán las modernas posibilidades de Internet para obtener listados de binarias para observar... Ni que decir tiene que anotarán a diario sus observaciones en un flamante *cuaderno de campo* enormemente estructurado, donde aportarán todos los datos técnicos que crean importantes, además de sus impresiones personales. A estas alturas esta labor ya no resulta nada tediosa, muy al contrario es gratificante, ¿verdad? No en balde se grabó en su mente (como a cincel) la idea de que una estricta metodología de trabajo es el pilar fundamental que sustenta sus actividades astronómicas. Qué cosas, la planificación de su trabajo será ahora la tónica habitual. Ya no observarán por observar: por ejemplo, harán sondeos sistemáticos de porciones de cielo determinadas para no perder el tiempo realizando saltos inútiles de acá para allá. En otras palabras, están ustedes empezando a *profesionalizarse*. ¿No sienten como una especie de cosquilleo en el estómago?

Bien, llegó la hora. Ya están preparados para dar el siguiente paso. Aún hay más: las estrellas dobles se pueden medir. Es más, se deben medir. De otra manera sus labores quedarían incompletas.

Medir, medir... pero ¿qué y cómo?

La "medición" de una estrella doble consistirá en determinar la posición relativa de la estrella secundaria con respecto a la principal, o lo que es lo mismo, en obtener su *astrometría relativa*. Para ello se establece un par de coordenadas polares (Figura 1) denominadas *Ángulo de posición* (*AP* o *Theta*) y *Separación angular* (*D* o *Rho*). La obtención de estos dos parámetros fundamentales (junto con la fecha de observación y, si es posi-

ble, la magnitud de las componentes) será, a partir de ahora, la meta de sus actividades. Vamos a definirlos de una manera más formal.

-Ángulo de posición. El campo del ocular deberá estar orientado con los puntos cardinales celestes. AP se medirá siempre en sentido Norte-Este-Sur-Oeste (Figura 1). Por convenio, la estrella o componente principal (o primaria) del par será la más brillante de la pareja y se designará con la letra A. La secundaria será la B y, en un sistema múltiple, la tercera componente se designará con la letra C, siguiéndose secuencialmente el orden alfabético para los demás miembros si los hubiere. Si se diera el caso de que la principal y secundaria fueran gemelas en cuanto a brillo, se tomará como principal a la estrella situada más al Norte de la dos. Según este criterio un ángulo de posición de 90° significa que la secundaria está justo al Este de la principal y, sucesivamente, si es de 180° estará al Sur; y si mide 270° al Oeste. Será lo mismo un ángulo de 0° que uno de 360° y en este caso la estrella más débil se hallará exactamente al Norte de la principal. El ángulo de posición puede ser directo o retrógrado, según crezca o disminuya a lo largo del tiempo en un determinado sistema binario. El ángulo de posición se mide en grados y decimal de grado.

-Separación angular (o distancia angular). Representa el ángulo con el cual vemos separadas a las dos estrellas al ser observadas desde la Tierra. Lógicamente, son distancias angulares muy estrechas y se miden en segundos de arco con dos o tres decimales.

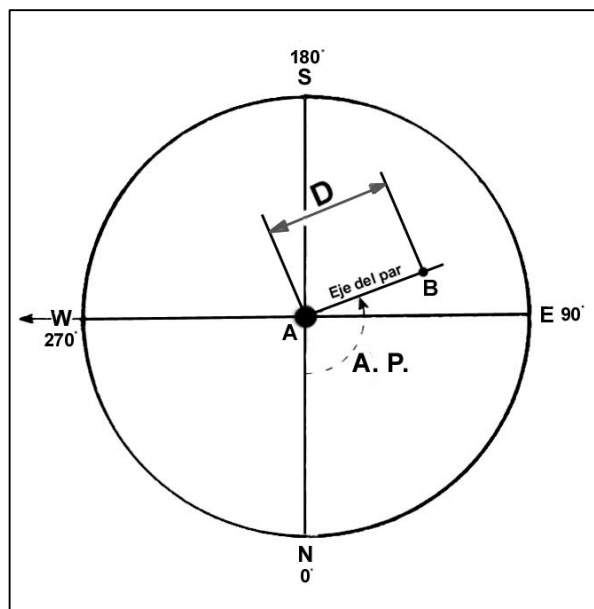


Figura 1. Definición gráfica del ángulo de posición y de la separación angular.

Además de estos dos términos, sería conveniente que ustedes registraran también las magnitudes visuales de las componentes y sus colores. Las magnitudes visuales se estiman por

comparación con estrellas vecinas de brillo conocido. Puede utilizarse, por ejemplo, el método de Argelander, muy utilizado por los variabilistas. Como en todo, este procedimiento, requiere práctica continuada para que sea preciso. Ensayo y error, así se avanza. Con el tiempo conseguiremos precisiones de una décima de magnitud sin mucho esfuerzo.

En este punto ya conocen ustedes *qué* es lo que hay que medir. Ahora se estarán preguntando, seguramente, *cómo medir* esos parámetros y *con qué medios*. Existen varios métodos para realizar la *micrometría* del ángulo de posición y de la separación angular, desde los más sencillos y fáciles de implementar al telescopio, hasta los más modernos y sofisticados. No es el objetivo de este escrito explicar todos los pormenores de las técnicas de medición con cada uno de los instrumentos. Sin duda, serán tratados con detalle en futuros números de *El Observador de Estrellas Dobles*. Sin embargo, una somera idea acerca de su naturaleza saciará, estoy seguro, sus evidentes ansias de conocimiento.

Tradicionalmente, el instrumento más emblemático usado en la *Astronomía de Estrellas Dobles* ha sido el *Micrómetro Filar* (o *Micrómetro de Posición*) en cualquiera de sus variantes (Figura 2). La gran mayoría de las mediciones acumuladas fueron realizadas con él y constituye un valioso legado histórico respaldado por la alta precisión de las medidas. Su uso efectivo requiere destreza y dedicación y constituye la más pura esencia de la micrometría visual. En síntesis, el instrumento consta de un círculo graduado exterior de 0° a 360° con la escala en sentido antihorario sobre el que se medirá el ángulo de posición. En el interior del cuerpo del aparato va montado un retículo formado por dos hilos fijos perpendiculares situados en el plano focal. Otro hilo móvil y paralelo a uno de los fijos puede desplazarse por el campo al accionar sobre un tornillo micrométrico, en cuyo tambor graduado es posible leer el número de divisiones que separan a las dos componentes. De acuerdo a la *constante del micró-*



Figura 2. Micrómetro filar construido por Warner & Swasey alrededor de 1900.

metro, que vendrá dada en función de la distancia focal del telescopio, se obtendrá el valor final de la separación en segundos de arco. Para conocer la constante del micrómetro, será necesaria una calibración previa que permitirá establecer la equivalencia en segundos de arco correspondiente a una división del tambor del instrumento. El ocular, acoplado detrás del micrómetro, permite ver simultáneamente el campo estelar y los hilos, los cuales son iluminados mediante una débil luz roja que incide lateralmente sobre ellos.

Los micrómetros filares antiguos son, en sí mismos, verdaderas obras de arte y se guardan con celo en los museos astronómicos de los grandes observatorios. Actualmente son difíciles de conseguir y generalmente se fabrican por encargo. Se trata de un instrumento de precisión y, como tal, su precio es elevado, aunque si se dispone de maquinaria especializada el propio doblista puede acometer la tarea de su fabricación. Sí, también el *astrobricolaje* puede ser una actividad más que el astrónomo aficionado puede acometer. Generalmente las tareas de ingeniería vienen de la mano de patentes carencias económicas para la adquisición de instrumental. La escasez de fondos, es suplida en muchas ocasiones con un poco de ingenio, maña y empeño. Se pueden construir accesorios destinados a la instrumentación por poco dinero. Y suelen funcionar y ser eficaces. La satisfacción personal es enorme. Para ilustrar mis palabras permítanme mostrarles uno de los micrómetros filares que construí hace unos años. (Figura 3).

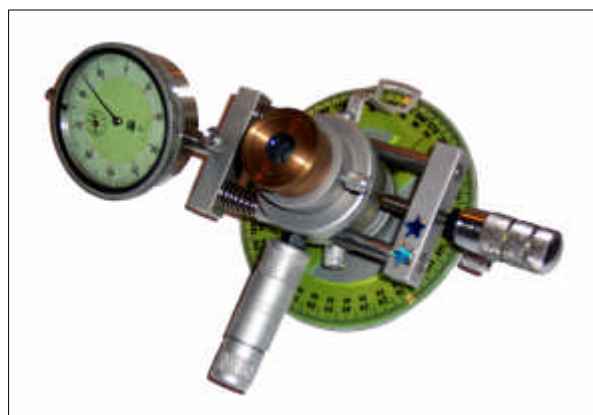


Figura 3. Micrómetro filar construido por el autor. El tambor del tornillo micrométrico ha sido sustituido por un reloj comparador centesimal. La separación, medida en micras sobre el plano focal, se convierte a segundos de arco en base a la escala de imagen determinada por la focal del telescopio.

Existen otros instrumentos menos sofisticados con los que es posible realizar medidas válidas y publicables y por un desembolso económico prácticamente nulo. Quizá, uno de los más utilizados hace unos años en el ámbito amateur (en su origen fue desarrollado y usado por profesionales) es el *Micrómetro Cronométrico* (o *Método de los tránsitos*) [4]. Básicamente, consta de un ocular reticulado al que se le adosa una aguja o

índice que servirá para marcar el ángulo de posición sobre un disco graduado solidario al portaocular. La separación angular se obtiene cronometrando –con el motor de seguimiento parado– los segundos que tardan las estrellas del par en cruzar por uno de los hilos de retículo cuyo arbitrario ángulo de inclinación con respecto al par es conocido. El tiempo de tránsito (como promedio de varias medidas) se introduce en una sencilla ecuación que involucra al ángulo de posición previamente medido y a la declinación media del par. El resultado será la separación o distancia angular en segundos de arco. Sin entrar en más detalles sobre la metodología, con este procedimiento ustedes podrán medir estrellas dobles relativamente abiertas y brillantes con unas precisiones aceptables, aparte de constituir un excelente entrenamiento en las tareas micrométricas. Este instrumento es muy fácil de construir por uno mismo. A lo largo de estos años he visto infinidad de diseños, a cual más original, pues cada doblista siempre aporta su toque personal. Les mostraré el

esquema general y el que yo fabriqué dotado de iluminador de campo (Figura 4).

Un método muy asequible es el llamado *Micrómetro Angular* [5], inventado en 1991 por el astrónomo aficionado argentino Alejandro Eduardo Russo. Si bien el ángulo de posición se obtiene de la misma manera que en el método de los tránsitos, la ingeniosa novedad es que, en la obtención de la separación, ahora no influye la declinación del sistema ni la rotación de la Tierra, lo que supone una gran ventaja. Tampoco es necesario realizar ningún tipo de cronometraje de tiempos y basta con medir otro ángulo auxiliar que –junto al valor del radio del campo ocular– nos servirá para calcular la separación trigonométricamente.

Otra opción, relativamente económica, que ustedes podrían evaluar sería la adquisición de uno de los *oculares micrométricos* [6] que actualmente están disponibles en el mercado (Micro Guide, Meade Astrometric MA). Son oculares reti-

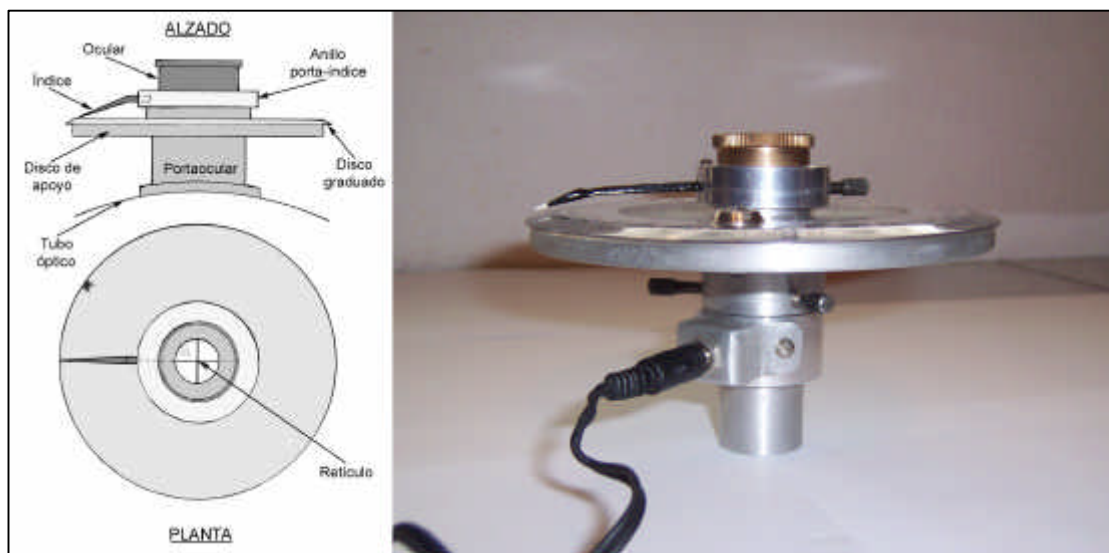


Figura 4. Micrómetro cronométrico construido por el autor. Izquierda: esquema de montaje. Derecha: el instrumento fabricado íntegramente en aluminio. Puede apreciarse el conector que provee la alimentación eléctrica para el iluminador de campo a LED.

culados e iluminados especialmente concebidos para realizar mediciones angulares en el telescopio gracias a sus múltiples escalas distribuidas por todo el campo visual (Figura 5, página siguiente). Para las estrellas dobles se utiliza la escala circular más externa, que medirá el ángulo de posición y la escala lineal, que servirá para medir la separación. Antes de poder utilizar la escala lineal como una verdadera “regla de medir” será necesario calibrarla, es decir, establecer a cuántos segundos de arco equivale una división de la misma. Con esta operación previa se obtendrá la llamada *constante de escala*, que vendrá dada en función de la longitud focal del telescopio usado. Es un método sencillo con el que se podrán medir estrellas dobles relativamente abiertas y su uso ha

sido muy habitual en los últimos años. Como aval en su favor el catálogo WDS incluye un volumen importante de medidas realizadas con estos instrumentos.

Estos métodos de micrometría visual que les he comentado someramente son quizá los más populares. Habrán podido intuir que, con todos ellos, los resultados de las mediciones se obtienen en el transcurso de la jornada de observación. Digamos que medimos las estrellas dobles *in live*, si hacemos válido el símil. En contraposición, si ustedes se decantaran por utilizar las más modernas técnicas CCD, la situación no sería la misma. Me explicaré. Hoy en día y desde hace unos años, la astronomía profesional no pone “el ojo en ocu-

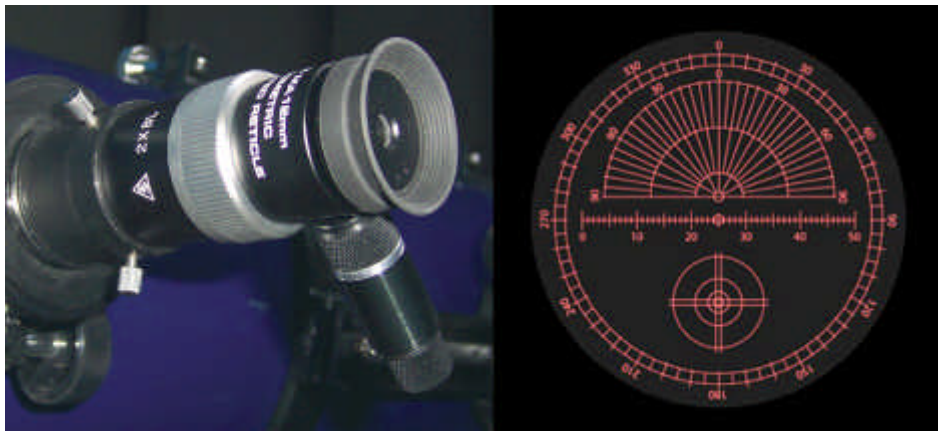


Figura 5. Ocular micrométrico Meade Astrometric MA12. A la derecha se muestran las escalas de medición visibles en el campo.

lar”, más bien, solo hace fotos. Toda la información contenida en una imagen digital tomada a través del telescopio, mediante un dispositivo de carga acoplada o CCD, será extraída *a posteriori*, después del hecho físico de la propia observación. Es el momento de la *reducción* de las imágenes. Este proceso se lleva a cabo frente al ordenador y usa herramientas software específicas desarrolladas para extraer la información requerida, del tipo que sea. Frecuentemente ocurre que las reducciones consumen más tiempo que las observaciones. Estas técnicas tienen la ventaja de que se elimina por completo el factor personal o humano ya que no son los astrónomos los que miden, sino algoritmos matemáticos caracterizados por ofrecer una más que probada linealidad. En definitiva, nuestros ojos son sustituidos por el sensor CCD y nuestras manipulaciones en los instrumentos por el proceso de reducción. Las cámaras CCD, pues, han supuesto una verdadera revolución para la astronomía. En el arranque de su desarrollo eran instrumentos muy caros solo al alcance de la comunidad profesional. En aquellos primeros tiempos los astrónomos llegamos a la conclusión de que las estrellas eran en realidad “cuadradas”, debido a la poca resolución de los sensores. Aún así, supusieron un gran avance para la investigación astronómica. Lentamente, y en la medida en que las tecnologías se fueron perfeccionando, los sensores CCD fueron cada vez más potentes y, muy importante, también más baratos. En nuestros días existe en el mercado una extensísima gama de cámaras digitales de las más variadas prestaciones destinadas específicamente para la astronomía y cuyos precios son cada vez más asequibles. Es de destacar que la comunidad amateur ha sabido estar al día en estas innovaciones y está sacando un excelente partido de ellas. La prueba es que la mayoría de los trabajos serios que se están realizando desde nuestra perspectiva utilizan observaciones CCD.

Como estarán imaginando, es posible medir los parámetros de las estrellas dobles usando CCD y, hoy por hoy, es la técnica más precisa a la que podemos acceder. Con un telescopio de 200 mm de apertura en combinación con una lente de

Barlow de 2 ó 3 aumentos y una CCD no muy sofisticada es posible captar pares débiles en torno a la magnitud 14 ó 14,5 y en condiciones de cielo con un alto grado de contaminación lumínica (Figura 6). El truco está en que las CCD pueden sumar cientos de fotogramas de cortos tiempos de exposición hasta obtener una imagen con una idónea relación señal/ruido. Algo impensable de alcanzar con la observación visual tradicional. Pero, además, una simple webcam adaptada convenientemente al portaocular registrará estrellas dobles rozando la magnitud 9 sin mayor problema. Para la reducción de las imágenes contamos con un software especial llamado *Reduc* [7] (Figura 7) desarrollado específicamente para medir estrellas dobles. Nuestras imágenes de estrellas dobles son cargadas en *Reduc* y sus algoritmos nos devuelven directamente el ángulo de posición y la separación angular, previo conocimiento de la escala de imagen y la eventual rotación de la toma CCD con respecto al cielo. Florent Losse, su creador, distribuye *Reduc* de forma totalmente gratuita a cualquier doblista que se lo solicite vía e-mail. Una prueba más del total altruismo que caracteriza a los astrónomos aficionados, siempre dispuestos a compartir. *Reduc* es sencillo de utilizar, preciso, potente y está extendido internacio-

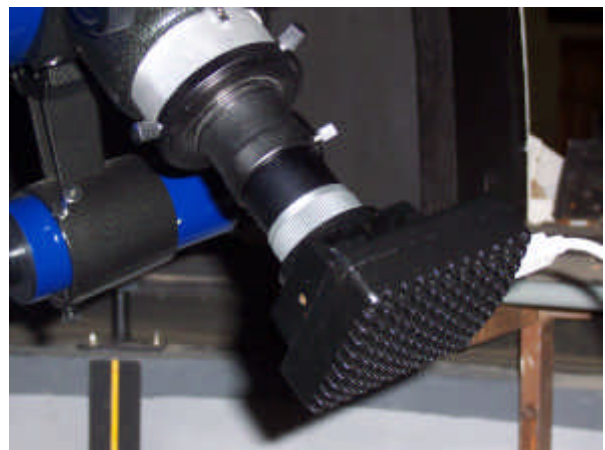


Figura 6. Cámara CCD Meade DSI Pro utilizada por el autor.

nalmente.

Otra opción (también usando sus propias imágenes CCD) que les llevaría a obtener el mismo resultado sería determinar las coordenadas ecuatoriales (Ascensión Recta y Declinación) de las dos componentes del par y, en un paso posterior, derivar las coordenadas polares (ángulo de posición y distancia) usando dos sencillas ecuaciones de conversión. Esta forma de trabajar conlleva también su propio apelativo: se convertirían ustedes en *astrometristas* de estrellas dobles visuales. La reducción astrométrica de las placas de estrellas dobles se realiza mediante una herramienta software denominada *Astrometrica* [8] (entre otras). *Astrometrica* (Figura 8) selecciona sobre la imagen CCD un número determinado de *estrellas de referencia* cuyas precisas coordenadas ecuatoriales son extraídas del catálogo astrométrico UCAC2. En base a ellas, el programa es capaz de calcular las posiciones de las componentes de la pareja que se esté midiendo. El procedimiento es tanto más preciso cuantas más estrellas de referencia sean encontradas, por lo que habrá que usar una configuración óptica que procure un

campo visual lo suficiente grande. La conversión de las coordenadas ecuatoriales en las polares podrá automatizarse con un útil programa llamado *Dobles* [9] que interacciona con *Astrometrica* leyendo los datos de la astrometría realizada y genera un fichero de texto con los resultados.

Pero aún podrían ustedes completar más su *currículum vitae*. Ya vimos que la estimación visual de las magnitudes de las componentes era un dato importante digno de ser aportado. Por otra parte y frecuentemente, las magnitudes listadas por el catálogo WDS son imprecisas y en el peor de los casos ni siquiera están presentes. Hallarán aquí una buena oportunidad para actualizar, corregir o proporcionar la fotometría. Bien, esta información puede extraerse también de sus imágenes CCD y existen herramientas que facilitan su cálculo. De nuevo, *Astrometrica*, ahora en conjunción con el catálogo USNOA2.0, más una aplicación específica llamada *FocAsII* (Fotometría con *Astrometrica*) [10], desarrollada por el astrónomo aficionado Julio Castellano, posibilitará derivar las magnitudes en cuestión. No serán magnitudes visuales (V) sino más bien muy cerca-

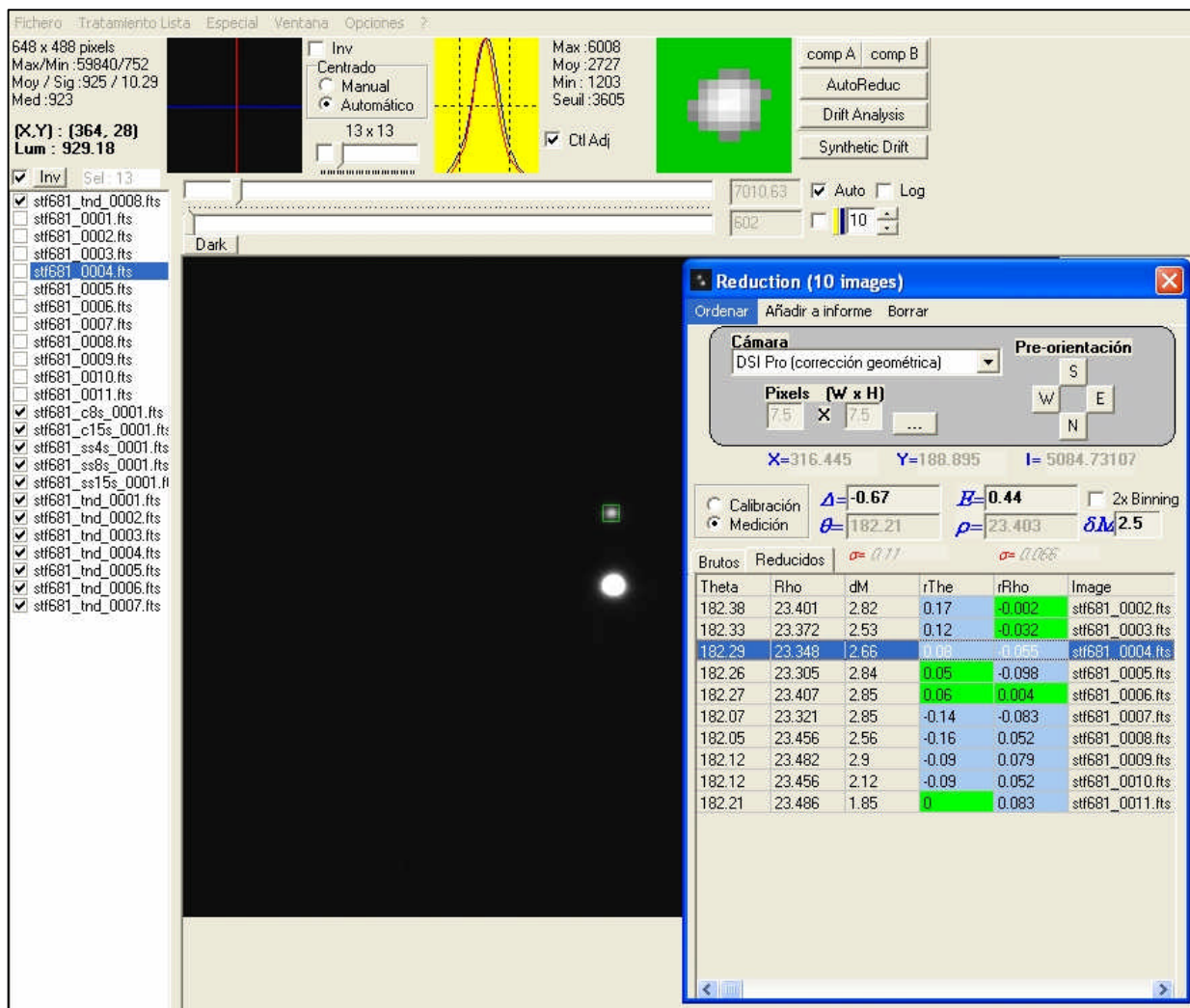


Figura 7. El software Reduc de Florent Losse en pleno proceso de medición.

nas a la banda R, ya que ésta es la más parecida a la respuesta de las cámaras CCD sin filtro fotométrico, pero constituirán una excelente referencia fotométrica no contaminada por las imprecisiones de la estimación visual. Por otro lado, suele ser habitual –pues es un dato muy demandado– no deducir los valores de las magnitudes, sino la diferencia entre ellas: el conocido Dm . En este sentido, *Reduc* realiza automáticamente el cálculo cuando mide. De esta forma, se habrán convertido ustedes en *fotometristas* de estrellas dobles visuales.

Pueden encontrar una completa y pormenorizada exposición de todo el proceso de cálculo astrométrico y fotométrico con CCD en el trabajo publicado por Lahuerta *et al.* [11].

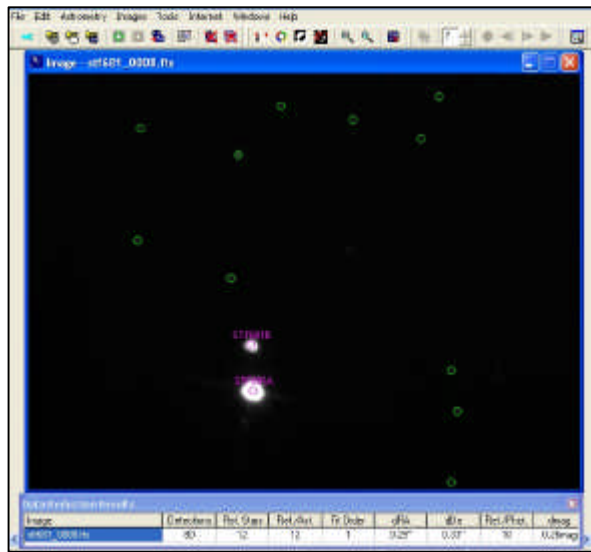


Figura 8. Astrometría realizada con el software Astrometrica de Herbert Raab. Los círculos verdes señalan las estrellas de referencia en el catálogo UCAC2.

Nótese que todas las aplicaciones informáticas referidas en las líneas precedentes han sido desarrolladas exclusivamente por astrónomos aficionados.

¿Un poco abrumados? No es para tanto. Con un poco de práctica la tarea no resulta muy complicada, se lo puedo asegurar. Es recomendable que, primeramente, se midan estrellas dobles reconocidas como *fijas* para evaluarse a sí mismos en lo tocante a sus tendencias micrométricas personales e instrumentales. Este tipo de parejas se denominan *pares de calibración*. Una lista con 32 pares estables muy recomendada puede descargarse de la Comisión de Estrellas Dobles de la Sociedad Astronómica de Francia (SAF) [12]. Una vez que ustedes hayan medido su primer par y comprueben que los resultados obtenidos están en excelente acuerdo con los valores de las efemérides (posiciones previstas de una estrella doble para la fecha de observación), habrán escalado un peldaño más en el escalafón: serán *micrometristas de sistemas binarios visuales*. Quién se lo iba a decir, tan solo unas cuantas páginas más arriba,

¿verdad? A partir de este momento gozan de una categoría superior. Disfrútenla. Se la han ganado.

Las órbitas

Es posible que, a algunos de ustedes, les esté rondando por la cabeza una pregunta del estilo: ¿para que se utilizan posteriormente las mediciones micrométricas de estrellas binarias visuales que han ido acumulándose a lo largo del tiempo, y que proceden de distintos observadores? Buena pregunta. La respuesta es sencilla: con todos esos datos los astrónomos profesionales que se dedican al cálculo de órbitas irán componiendo, punto a punto, trozos de la curva elíptica que define la órbita aparente del sistema binario estudiado. Cuanto mayor sea el número de observaciones, mayor será la exactitud conseguida. Los movimientos orbitales con frecuencia son sumamente lentos, necesiándose el transcurso de muchos años para que la secundaria describa una revolución completa de la órbita. Queda claro que sus contribuciones individuales en este campo entrarán a formar parte –en última instancia– de un trabajo conjunto realizado por muchos observadores que, habitualmente, engloba a varias generaciones de astrónomos. Al final se obtendrán los *elementos orbitales* de nuestra binaria; con ellos sabremos cómo es su movimiento orbital y dónde se halla la estrella secundaria en cualquier instante de la escala temporal.

A continuación les mostraré cuales son esos famosos siete elementos orbitales (Figura 9).

- **P**: El periodo orbital. El número de años que emplea la compañera en dar una revolución completa. Se mide en años y fracción, y está expresado en años Solares medios.
- **T**: La época del periastro. Fecha en la que la secundaria pasa por el periastro. Se expresa en años y fracciones de éste.
- **e**: La excentricidad de la órbita relativa. Nos dice cómo es de achatada según estos intervalos: Si $e = 0$ la órbita es circular; si $0 < e < 1$ es elíptica; si $e = 1$ es parabólica, y si $e > 1$ la órbita será hiperbólica.
- **a**: El semieje mayor de la órbita en segundos de arco.
- **i**: La inclinación de la órbita. Ángulo que media entre la órbita relativa y el plano del cielo. Puede variar entre 0° y 180° . Cuando la órbita tiene una inclinación de 90° , significa que la vemos de canto. Si $i < 90^\circ$ el sentido del movimiento orbital es directo, es decir, con ángulos de posición crecientes. Por último, si la inclinación es mayor de 90° , el movimiento es retrógrado y presentará ángulos de posición decrecientes.
- ω : Argumento o longitud del periastro. Se define en el plano de la órbita relativa como el ángulo formado por la línea de los nodos (partiendo del nodo ascendente) y el periastro. Se mide en la dirección del movimiento de la compañera y osci-

la entre 0° y 360° .

- Ω : El ángulo de posición del nodo ascendente. Es el ángulo comprendido entre la línea Norte-Sur (de Norte a Este) y la línea de nodos. Varía entre 0° y 180° .

Los tres primeros elementos se denominan *elementos dinámicos* pues definen el movimiento en la órbita y son totalmente independientes de la localización en el espacio del sistema. Los cuatro restantes, llamados *elementos geométricos*, informan sobre el tamaño y la orientación de la órbita verdadera.

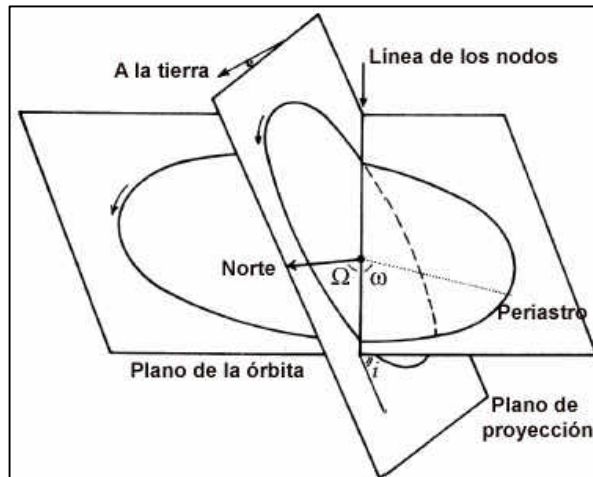


Figura 9. Esquema de la órbita relativa y de la órbita aparente. La órbita kepleriana que describe la estrella secundaria con respecto a la principal se denomina *órbita relativa* y su proyección sobre el plano tangente a la bóveda celeste es la *órbita aparente*. Si los datos observacionales estuvieran exentos de errores se podría trazar directamente la órbita aparente.

Cuando ustedes necesiten información sobre un determinado sistema orbital o examinar las efemérides para una fecha de observación concreta, será de obligada consulta el *Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars* [13], mantenido también por el U. S. Naval Observatory. Otra excelente fuente de información es el *Catálogo de Órbitas y Efemérides de Estrellas Dobles Visuales* [14], compilado en el Observatorio Astronómico Ramón María Aller de Santiago de Compostela, cuna y escuela de varias generaciones de destacados doblistas profesionales españoles.

Aunque el cálculo de órbitas, está prácticamente relegado a los profesionales, como en todo, siempre hay excepciones. Tal es el caso del astrónomo aficionado emeritense Francisco Rica Romero, quien regularmente publica órbitas de excelente calidad utilizando métodos analíticos. Una recomendable manera de iniciarse en el cálculo orbital consiste en atacar el problema utilizando, a la antigua usanza, exclusivamente métodos gráficos que resultan mucho más sencillos e intuitivos (aunque también menos precisos). De cualquier manera, no se desalienten: sus medidas de Theta y Rho son ya un trabajo serio y de utilidad científica.

¿Qué hacer con el archivo de medidas?

Han acumulado ustedes cierta cantidad de mediciones de pares olvidados, con la idea de actualizar sus parámetros. De acuerdo. ¿Qué se puede hacer con estos datos? ¿Seguir acumulándolos para su satisfacción personal? La respuesta es no. Hay que ponerlos en manos de los profesionales para que hagan uso de ellos. Existen varias alternativas para hacerlo. En general, como paso previo a la inclusión de medidas en el WDS, será necesario redactar y publicar un artículo conteniendo las medidas en sí y donde además (y muy importante) se incluyan todos los pormenores relativos a las mediciones, tanto instrumentales como metodológicos: la abertura del telescopio usado, el método de medición empleado (micrómetro, CCD, etc.), estimación de los errores de sus medidas, tanto internos como externos, etc. Existen algunos grupos o asociaciones, a nivel internacional, que recogen especialmente trabajos de estrellas dobles realizados por astrónomos amateurs. El vehículo para dar a conocer los trabajos, consiste en la edición periódica de revistas o circulares, tanto en formato papel como electrónico. Los trabajos publicados son enviados a Washington (Observatorio Naval de los Estados Unidos, USNO), sede del WDS. Una vez aquí, si las medidas son de la calidad exigida, pasan a incluirse en el catálogo. La primera vez que sus medidas se incluyan en el WDS, le será asignado un *código de observador/descubridor* específico que le acompañará durante toda su trayectoria como doblista. Normalmente, su designación oficial será un código de tres letras, que suelen formar parte de su primer apellido. A continuación les indico algunos sitios donde se pueden publicar esos valiosos datos:

Estrellas Dobles - LIADA

(Liga Iberoamericana de Astronomía)

Coordinador: Francisco Manuel Rica Romero
Edición de circulares tanto en castellano como en inglés. Formato electrónico.

<http://teletel.terra.es/personal/fco.rica/home.htm>

Observations et Travaux.

Revista cuatrimestral de las comisiones científicas de la Sociedad Astronómica de Francia (SAF).

Para enviar trabajos contactar con la Comisión de Estrellas Dobles. En Francés.

<http://saf.etoiledoubles.free.fr/>

The Webb Society

Sección de estrellas dobles

Circulares periódicas. En inglés.

<http://www.webbdeepsky.com/notes/doublesto1.html>

Journal of Double Star Observations (JDSO)

Revista electrónica editada por la Universidad de

Alabama del Sur en Estados Unidos. Cuatro números anuales. Como ventaja, el propio Brian Mason, encargado del mantenimiento del WDS, es asesor y editor consultivo de la revista. En inglés.
<http://www.jdso.org/>

El Observador de estrellas dobles

La revista que usted tiene en sus manos. Publicación cuatrimestral. A partir de este primer número serán aceptados trabajos que incluyan listas de medidas. Nosotros nos encargaremos de hacerlas llegar al WDS. En castellano.

Envío directo al WDS

También es posible acelerar el proceso de inclusión, enviando las medidas en un formato tabular específico que le indicarán tras contactar con wds@usno.navy.mil

Este método puede resultar muy útil si, por ejemplo, usted publica sus trabajos en el característico boletín interno de su asociación astronómica cuya difusión, generalmente, suele estar limitada a los socios de la agrupación. Es una manera de garantizar que cualquier modesta publicación, pero no por ello menos efectiva, tenga las mismas opciones de hacer valer cualquier trabajo serio.

¿Se puede pedir más? Siempre se puede pedir más.

Otras tareas adicionales

Como ya les he comentado anteriormente, su principal referencia para la planificación de los programas de observación será el catálogo WDS. Éste, es un catálogo general de estrellas dobles visuales en el más amplio sentido del término; es decir, *no es un catálogo específico de estrellas binarias visuales*. Como consecuencia, este hecho peculiar conlleva colateralmente que los listados del WDS estén muy poblados de meros y clarísimos pares ópticos sin interés. Sin embargo, otro buen montante de pares habrán demostrado su carácter físico a lo largo del tiempo, aunque sea prematuro aún calcular sus órbitas. Otros serán pares orbitales y, finalmente, el resto permanecerán en un estado indefinido sobre los que poco o nada se conoce acerca de su naturaleza. A estas alturas, ustedes ya han asimilado que trabajar en la medición de pares ópticos supone un gasto inútil de tiempo y recursos. Así pues, ante la eventual amenaza de realizar un trabajo que no tenga utilidad científica, sus mentes despiertas se preguntarán: ¿es factible evaluar de alguna manera y con un cierto grado de fiabilidad la posible *binariedad* de una estrella doble? Pues sí, es posible hacerlo y por varios caminos independientes que se complementarán. Hagamos un repaso.

En una primera instancia, es muy recomendable estudiar la tendencia de las mediciones

históricas de ángulo de posición y distancia que, gracias a otros observadores, se han acumulado a lo largo del tiempo. Ustedes podrán acceder a estos datos, solicitando al USNO -vía Internet- el archivo de observaciones de un par en concreto. Si el número de medidas es suficientemente grande y están muy distanciadas en el tiempo, es fácil comprobar cómo se ha ido moviendo la estrella secundaria con respecto a la principal. Se verá claramente si se acercan, se alejan o la distancia ha permanecido estable y a qué ritmo se han producido los cambios de posición relativa en distancia. El ángulo de posición también puede mantenerse invariable, o por el contrario aumentar o disminuir siendo directo o retrógrado. En definitiva, en una verdadera estrella binaria el ángulo de posición variará progresivamente y la distancia entre ambas estrellas oscilará entre un mínimo y un máximo. En una primera aproximación, un claro movimiento rectilíneo de la secundaria sería un buen indicativo de *opticidad*, aunque este tipo de cinemática también puede resultar engañoso: podría darse el caso de que la doble fuera física pero con un periodo orbital de miles de años y cuya órbita fuera extremadamente excéntrica. Según esta geometría, las observaciones disponibles simplemente nos estarían enseñando un trozo de arco orbital muy "plano", casi asumible a una recta. Cómo verán, el tomar partido no es una cuestión tan sencilla a priori.

Aquí convendría hacer algún comentario acerca de los movimientos propios de las componentes. Los movimientos propios de las componentes de un sistema binario, es decir, de un sistema físico, deben ser muy similares en un porcentaje bastante alto (de un 90% o más). Debemos tener en cuenta que ambas estrellas viajan juntas en el espacio a la misma velocidad, en la misma dirección y se sitúan a la misma distancia de nosotros; por lo tanto, los movimientos espaciales de ambas componentes deben ser iguales. Sin embargo, al describir el sistema un movimiento orbital kepleriano los "movimientos propios" de las componentes que vemos desde la Tierra son, en realidad, una combinación del verdadero movimiento propio de cada componente más el movimiento orbital sobre el centro común de gravedad del sistema. Por esta razón, los movimientos propios pueden ser ligeramente diferentes. Esta diferencia en los movimientos propios, llamada *movimiento propio relativo del sistema*, es de suma importancia pues nos está informando del movimiento orbital relativo del sistema.

Así pues, si las dos estrellas poseen movimientos propios similares y se sitúan a la misma distancia de nosotros, existen muchas probabilidades de que realmente estén enlazadas físicamente. En este caso particular la doble será bautizada como *par de movimiento propio común*. El movimiento propio común es una condición necesaria para que haya binariedad, aunque no sufi-

ciente. Puede ocurrir que las estrellas hayan nacido juntas en la misma nube de gas progenitora y que compartan movimiento propio pero que jamás lleguen a orbitar. En este caso hablaríamos de un *par de origen común*.

Es una actividad más que recomendable que ustedes recaben toda la información que puedan conseguir sobre las componentes de un par en estudio mediante una exhaustiva consulta a la literatura astronómica disponible. Datos astrométricos, fotométricos, cinemáticos, tipos espectrales y clases de luminosidad, paralajes, distancias, masas, etc., pueden ser extraídos mediante la llamada *minería de datos* gracias al enorme potencial que Internet ha puesto en nuestras manos. Les aconsejo que para estas tareas visiten el *Centro de Datos Astronómicos de Estrasburgo (CDS)* [15] que ofrece tres fundamentales herramientas de investigación: *SIMBAD* (base de datos astronómicos), *VizieR* (servidor de catálogos) y *Aladin* (atlas celeste interactivo). Igualmente, resulta imprescindible acceder a *The SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS)* [16], una inmensa librería digital, donde podrán consultar trabajos profesionales de todo tipo.

Tras este inciso y utilizando las herramientas comentadas, los movimientos propios más precisos serán encontrados en los catálogos Tycho2 y UCAC2 y vendrán expresados en milisegundos de arco por año (mas/año). Frecuentemente, solo es posible disponer del movimiento propio para la componente principal. Ustedes podrán estimar el valor correspondiente para la secundaria si previamente se ha calculado el movimiento propio relativo en base a las mediciones históricas del WDS, suponiendo que haya un número suficientemente nutrido de ellas. En el peor de los casos, ante la falta total de datos en la literatura, los movimientos propios podrán estimarse utilizando las astrometrías (AR y Dec) medidas sobre placas fotográficas antiguas y modernas separadas en el tiempo lo más posible: será suficiente realizar un ajuste lineal de las posiciones de cada coordenada frente al tiempo para obtener (mediante la pendiente de la línea de ajuste) una buena aproximación del movimiento propio en ascensión recta y declinación.

Como ustedes habrán observado, tras el análisis de los argumentos expuestos, no resulta fácil decantarse acerca de la naturaleza física u óptica de un sistema, por lo que serían necesarios más elementos de juicio. En este sentido, podrían avanzar más en sus investigaciones usando diversos *criterios de caracterización* auxiliares y desarrollados por astrónomos profesionales. Estos criterios relacionan elementos empíricos, estadísticos, probabilísticos, cinemáticos, fotométricos, espectroscópicos, etc. En la actualidad son muy escasos los astrónomos amateurs que usan esta clase de criterios; la Sección de Estrellas Do-

bles de la LIADA es pionera en este tipo de estudios astrofísicos, gracias al impulso de su coordinador, Francisco Manuel Rica Romero. Por ello, les animo a profundizar en estos temas tan atractivos y hago formal mi invitación a que se unan al foro de Internet Estrellas Dobles de la LIADA [17], donde además de encontrar la información y las herramientas necesarias, también podrán participar en los programas observacionales de estrellas dobles olvidadas que se proponen con carácter trimestral. En mi condición de *Coordinador Adjunto* de esta entidad les aseguro que progresarán rápidamente en su nivel teórico y técnico.

Ni que decir tiene que si ustedes se encuentran con una nueva estrella doble no catalogada, deberán asegurarse de que las dos estrellas tengan las suficientes garantías de constituir un par físico, por lo que las tareas que les he comentado ligeramente serán imprescindibles. Con ello aseguramos que si el nuevo descubrimiento es incluido en el WDS, lo haga con todo el derecho, minimizándose el riesgo de incluir un par óptico sin ninguna relevancia.

Asimismo, además de una buena partida de cálculos astrofísicos, sería factible estimar el tipo espectral y la clase de luminosidad de cada una de las componentes con un alto grado de fiabilidad y isin necesitar de un espectroscopio! Utilizando la fotometría disponible en la literatura y/o aquella deducida por ustedes, principalmente en bandas óptico-infrarrojas (BVIJHK), podrán calcular los espectros sintéticamente en base a la distribución espectral de energías (en esencia, consiste en transformar las magnitudes en unidades de energía absoluta, obteniéndose la curva espectral observada, la cual será comparada con otras curvas teóricas patrón perfectamente definidas por la observación espectroscópica profesional, con lo que el tipo espectral podrá ser inducido). Esta es una herramienta empleada habitualmente en la astronomía profesional y, si ustedes se deciden a utilizarla, estarán haciendo *espectrofotometría estelar o espectroscopia fotométrica*.

¿Recuerdan mis palabras al comienzo de este texto?: “*Habrà que equiparar al máximo nuestro método de trabajo con el que usa el astrónomo de profesión.*” Pues aquí tienen la prueba más evidente e irrefutable de su aplicación.

¿A que no se habían imaginado que los trabajos de los astrónomos aficionados podían llegar a ser tan serios y formales?

A modo de despedida

Y bien, señores, hemos llegado al final. ¿Al final? En absoluto. Nunca se llega al final. Tras cada obstáculo que vayan salvando siempre se abrirán nuevos proyectos interesantes en los que ocuparse. Siempre quedan cosas por hacer. Quizá

algunos de ustedes me lo corroboren dentro de unos años. Si después de esta exposición, he conseguido -al menos- sembrar en ustedes la semilla de la *Astronomía de Estrellas Dobles*, estaría completamente satisfecho. La *astrofilia* es una enfermedad que cala hondo y que acompaña para siempre al afectado. Así pues, espero y deseo haberles inoculado una pequeña dosis del potente veneno astronómico.

Me permitirán que, finalmente, les proporcione unas cuantas razones de peso por las que ustedes podrían abrazar esta rama de la astronomía. Observen ustedes estrellas dobles porque no se requieren grandes medios instrumentales para hacerlo. Observen ustedes estrellas dobles porque no se precisan cielos oscuros y perfectos, la polución lumínica no estorba demasiado y la luz de la Luna a veces, incluso, beneficia. Observen ustedes estrellas dobles porque la cantidad de objetos estudiados es muy extensa y se reparte por todo el cielo. Observen ustedes estrellas dobles porque no se precisan fechas concretas para observar: todas las noches son nuestras. Observen ustedes estrellas dobles porque, como ya habrán comprobado, las contribuciones científicas derivadas de esta actividad son muy importantes. Para que se hagan una idea, según palabras del propio Brian Mason, la aportación de medidas al WDS provenientes del ámbito “amateur” en el periodo 2000-2004 fue del 33% y, desde 2005 hasta mediados de 2006, la cifra ascendió al 49%. Vean que, en ese último año y medio, la mitad de las medidas incorporadas fueron realizadas por astrónomos aficionados. A tenor de esta progresión es de esperar que los porcentajes hayan seguido aumentando. En verdad, tras un parón de bastantes años, la dedicación a las estrellas dobles está teniendo una explosiva eclosión en los últimos tiempos. Brian Mason, que aprecia en su justa valía nuestros trabajos, cuida al astrónomo aficionado (él prefiere denominarnos “astrónomos de estrellas dobles sin compensación económica”) y potencia, apoya y estimula en lo que puede nuestra participación.

En definitiva, si ustedes tienen arraigadas las inquietudes, disponen de los medios técnicos y cuentan con el apoyo del sector profesional, ¿a qué están esperando? ¡Salgan y *desdoblen* el firmamento!

Una última (y profunda) reflexión: alguien escribió alguna vez que “*la mayoría de los humanos pasamos nuestra vida chapoteando en las cloacas,...., pero algunos lo hacemos mirando a las estrellas*”. Dobles, en nuestro caso. ☺

Referencias

- [1] Echeverría, J., 1987, *Estrellas binarias interactivas*, México: Fondo de Cultura Económica, ISBN 9681627121, 9789681627126
- [2] The Washington Double Star Catalog (WDS): <http://ad.usno.navy.mil/wds/>
- [3] Astronomical League Double Star Club: <http://www.astroleague.org/al/obsclubs/dblstar/dblstar1.html>
- [4] Alejandro Eduardo Russo, *Micrómetro Cronométrico*: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Runway/8879/spanishcronometrico.html>
- [5] Alejandro Eduardo Russo, *Micrómetro Angular*: <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Runway/8879/spanishangular.html>
- [6] Edgardo Rubén Masa Martín, *Oculares micrométricos*: Circular nº 1 de Syrma-MED, <http://www.syrma.net/home.avx>
- [7] Florent Losse, *Reduc*: <http://www.astrosurf.com/hfosaf/>
- [8] Herbert Raab, *Astrometrica*: <http://www.astrometrica.at/>
- [9] Julio Castellano, *Dobles*: <http://astrosurf.com/cometas-obs/ArtSoftUtil/Software.html>
- [10] Julio Castellano, *FocAs II*: <http://www.astrosurf.com/cometas-obs/Articulos/Focas/Focas.htm>
- [11] Lahuerta, L.; Lahuerta, S.; Patiño, J.; Villares, F., 2006, *Astrometría y Fotometría de Estrellas Dobles con CCD*, Astronomía, 82
- [12] Lista de pares de calibración: <http://saf.etoiledoubles.free.fr/>
- [13] Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars: <http://ad.usno.navy.mil/wds/orb6.html>
- [14] Catálogo de Órbitas y Efemérides de Estrellas Dobles Visuales: <http://www.usc.es/astro/catalogo.htm>
- [15] CDS, Centro de Datos Astronómicos de Estrasburgo: <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>
- [16] The SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS): <http://adswww.harvard.edu/>
- [17] Foro de la Sección de Estrellas Dobles de la LIADA: <http://ar.groups.yahoo.com/group/estrellas-dobles-liada/>

Lecturas recomendadas

a) Libros y Revistas:

- Aitken, R. G., 1964, *The Binary Stars*, New York: Dover Publications
 - Argyle, Bob (Editor), 2004, *Observing and Measuring Visual Double Stars*, ISBN: 978-1-85233-558-8
 - Benavides, R., *Estrellas Dobles*, Revista Astronomía (sección fija mensual), Madrid: Equipo Sirius
 - Comellas, J. L., 1988, *Catálogo de estrellas dobles visuales*, Madrid: Equipo Sirius, ISBN: 8486639107, 9788486639105
 - Couteau, P., 1978, *L'observation des étoiles doubles visuelles*, Flammarion, versión en pdf disponible en <http://saf.etoiledoubles.free.fr/>
- con autorización de los editores
- Docobo, J. A., 1992, *Estrellas Dobles*, Madrid: Equipo Sirius, ISBN: 8486639611, 9788486639617
 - Lipunov, V. M., 2003, *El mundo de las estrellas dobles*, Editorial URSS, ISBN: 9785354005185
 - Sección de Estrellas Dobles- LIADA, Circulares periódicas en pdf:

<http://www.terra.es/personal/fco.rica/liada.htm>

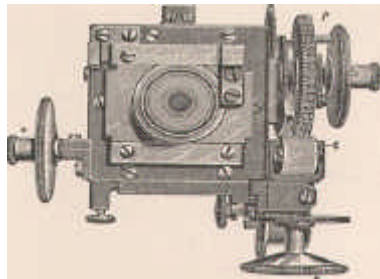
b) Blogs:

- Cuaderno de observación*, Rafael Benavides Palencia: <http://algieba.blogalia.com/>
- La décima esfera*, Juan-Luis González Carballo: <http://ladedecimaesfera.blogspot.com/>

Mejorar la calidad de las medidas de estrellas dobles realizadas sobre imágenes digitales

por Florent Losse 

Sociedad Astronómica de Francia · florent_losse@yahoo.fr



In this article the author exposes a series of basic rules to improve the quality of the measures of double stars carried out by CCD imaging.

Along the text, the environmental and instrumental aspects and those relative to the calibration and the preprocessing of the CCD images they are explained.

A menudo se me pregunta acerca de cuáles son las precauciones que hay que tomar para obtener buenas medidas de estrellas dobles. Desgraciadamente, no existe una respuesta universal a esta cuestión, ya que ésta es una actividad muy particular. En efecto, hace uso de numerosas técnicas y, probablemente, es una de las disciplinas más completas. Tras efectuar nuestras primeras medidas, nos daremos cuenta rápidamente de que hay que combinar tanto los métodos tradicionales empleados en la toma de imágenes de cielo profundo, como aquellos otros que permiten acceder a la alta resolución (tal es el caso, por ejemplo, de la imagen planetaria). Observaremos, igualmente, que los objetivos a conseguir son muy diferentes de los que persigue la astrofotografía practicada corrientemente en la astronomía amateur; no tratamos de obtener bellas imágenes que podrán lucir espléndidamente como fondo de pantalla en el ordenador, sino, más bien, realizar medidas. En este sentido, por tanto, habrá que dotar a las técnicas de medición de un conjunto de métodos específicos con el fin de llegar a un resultado aprovechable. Enseguida se pone de manifiesto que cada estrella doble es, prácticamente, un caso único, y que una técnica empleada para medir una pareja necesariamente no será apropiada para otra.

Este artículo tiene como objetivo repasar algunas reglas ineludibles que hay que tener siempre presentes, y de interesarse por algunos casos particulares que se presentarán, inevitablemente, durante el transcurso de sus propios programas de observación. Únicamente se tratará la captura de imágenes "clásica" realizada con instrumental amateur y no se abordarán otras técnicas específicas tales como *Lucky Imaging* o *interferometría Speckle* que son también accesibles para el astrónomo aficionado bajo ciertas condiciones.

Fotografía de gran campo

Varios capítulos de este artículo conciernen exclusivamente a la medida de imágenes adquiridas con una larga distancia focal. Con el fin de simplificar la lectura, en este primer capítulo trataremos el caso específico de las imágenes de gran campo. Las imágenes de gran campo se obtienen generalmente con una distancia focal corta y a menudo muy inferior a la distancia focal que ofrece la mejor resolución. Así pues, la precisión de la medida se verá limitada por una escala de placa (tamaño de píxel, muestreo) infravalorada. Esta técnica, emparentada con la astrometría de asteroides es, no obstante, muy interesante para las estrellas dobles abiertas o para la identificación de pares olvidados.

Las imágenes de gran campo proporcionan directamente los elementos de calibración si contienen bastantes estrellas de referencia. Su reducción es una reducción astrométrica clásica y las precauciones que hay que tomar para mejorar la precisión de la medida de una pareja son idénticas a las de la astrometría de posición:

- Pretratamiento esmerado de las imágenes (*bias*, *dark* y *flat-field*)
- Las estrellas de referencia son muy puntuales y no están saturadas con el fin de determinar su posición de manera precisa.
- Se reparten de modo homogéneo alrededor de la pareja que hay que medir.
- Los residuos individuales son verificados y la reducción se calcula de nuevo después de eliminar las estrellas con residuos altos si los hubiere.

Elección del lugar de observación

La turbulencia generada por las capas

altas de la atmósfera, evidentemente, no es un factor controlable y pocos de nosotros tenemos la suerte de vivir bajo un cielo que ofrezca, permanentemente, una buena calidad. No insistiré sobre las reglas -harto conocidas- para la búsqueda de un lugar de observación poco afectado por la turbulencia; en general, las recomendaciones no son aplicables para la mayoría de los observadores y cada uno sabe que hay que evitar observar por encima de la chimenea de una fábrica. ¡La mejor elección es, evidentemente, la de la comodidad y el mejor sitio es el que permite la utilización de su instrumento lo más frecuentemente posible!

Para la medida de las estrellas dobles, es superfluo buscar un horizonte despejado en los 360°, ya que resulta inútil intentar la hazaña de medir pares a poca altura sobre el horizonte o lejos del meridiano. Los efectos de la turbulencia son menores cuando la pareja que hay que medir se encuentra próxima de la culminación. Un sitio que ofrezca una *ventana* bastante ancha alrededor del meridiano es suficiente. Resulta ideal una franja que comprenda desde las -1 a +1 horas antes y después de la culminación y, si una pareja del programa se encuentra lejos de esta posición, es preferible esperar a otra noche para medirla, sin empeñarse en hacer una medida cargada incertidumbres.

Equilibrio térmico

Un instrumento mal equilibrado térmicamente es un mal instrumento. No es raro constatar una mejora de las imágenes durante la observación; los observadores menos entrenados piensan, por lo común, que son las condiciones atmosféricas las que han mejorado súbitamente; sin embargo, la mayoría de las veces lo que ha ocurrido, simplemente, es que el instrumento ha alcanzado, por fin, su equilibrio térmico. En los casos extremos podremos verificar una aberración de esféricidad provocada por el enfriamiento más rápido de la cara anterior del espejo, así como una variación continua de la distancia focal. Las medidas realizadas en estas condiciones tienen todas las posibilidades de ser de mala calidad. La regla de oro es, por tanto, sacar el instrumento al exterior o abrir el observatorio antes de la observación y lo antes posible.

Puesta en estación

Su influencia es inmediata sobre la medida del ángulo de posición. Es absolutamente necesario que sea precisa: la alineación con el polo celeste debe ser realizada con una precisión de unos pocos minutos. Los que practican la fotografía del cielo profundo conocen bien el problema de la rotación de campo debida a una puesta en estación imprecisa. En nuestro caso, el fenómeno es idéntico pero no se advertirá sobre una serie aislada de imágenes de una pareja y podrá ser

difícil de detectar. La orientación de la imagen será diferente según el campo aludido y, a menos que trabajamos en una zona muy próxima a la zona de calibración, los errores sobre el ángulo de posición se volverán rápidamente inadmisibles. Salvo para los afortunados que poseen una instalación fija, una puesta en estación precisa es algo tedioso que hay que realizar y puede revelarse a la larga como una penosa limitación. Para facilitar las cosas es interesante realizar ciertas marcas o señales en el suelo que simplificarán las maniobras posteriores. Para una montura sobre trípode la técnica del *trou/trait/plan*¹ es muy eficaz y permite recuperar fácilmente, de una noche a otra, una precisa puesta en estación.

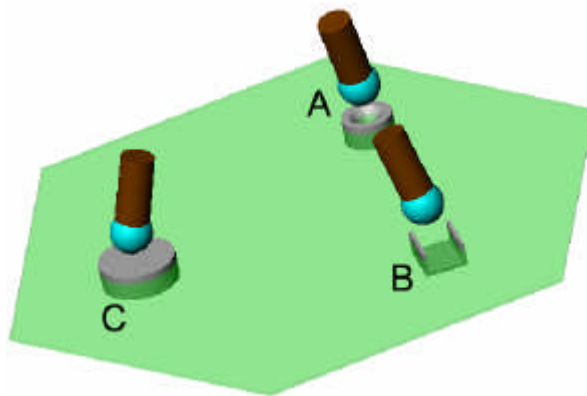


Fig.1: Sistema de puesta en estación de gran fiabilidad: el hoyo A es cónico. B puede ser construido con un perfil metálico en U o V; debe ser orientado hacia A. C es una superficie plana. La puntas de los pies A y B deben ser redondeados para acoplarse perfectamente en los contactos correspondientes. El pie C puede ser redondeado o plano.

Con una instalación fija, es necesario verificar de cuando en cuando la estación y medir la misma pareja a diferentes ángulos horarios con el fin de controlar que las flexiones no perturben las medidas.

Colimación

En todas las actividades astronómicas una buena colimación es un requisito previo indispensable. Desgraciadamente, es un punto a menudo descuidado por los observadores. En los casos de pares cerrados, una mala colimación conduce irremediablemente al fracaso. Podríamos imaginar que sobre las parejas separadas, una colimación aproximada no perturba la medida relativa ya que las deformaciones son idénticas sobre ambas estrellas. Sin embargo, esto no es completamente cierto; en particular, en el caso de una pareja con gran diferencia de magnitud, así como en imágenes sobreexpuestas. Así, el primer anillo de difracción se confunde a menudo con el falso disco estelar. Si la estrella secundaria está casi al límite del nivel de detección, el primer anillo no será registrado mientras que sí lo será para la es-

¹ **Nota del traductor:** El sistema "hoyo/ranura/plano" permite situar un trípode siempre en la misma posición de manera fácil y rápida. Uno de los pies se introduce en un agujero, el otro en una ranura longitudinal y el tercero sobre una superficie plana (el suelo). Mientras que el agujero bloquea el trípode, la ranura le impide girar.

trella principal. Ambas imágenes serán entonces disimétricas y la medida relativa vendrá acompañada inevitablemente de un error.



Fig 2: Efecto de una mala colimación: a la izquierda la imagen es perfecta. En medio vemos los efectos de una colimación incorrecta, el primer anillo de la estrella principal es muy visible. A la derecha, con un tiempo de exposición un poco más largo, la imagen de la componente principal está saturada y su fotocentro aparece descentrado. El efecto no se hace sentir sobre la compañera. ¡La diferencia en *theta* entre la primera y la última imagen es de 2°!

Lo ideal es que la colimación se efectúe sobre el eje donde será situado el sensor. Si se va a utilizar una lente de Barlow durante la captura de las imágenes, es preferible efectuar la colimación con la Barlow colocada en su lugar para así tener en cuenta las eventuales desviaciones del eje óptico. Sobre un instrumento estable en el que los tornillos de colimación sean accesibles fácilmente, es posible finalizar la colimación controlándola sobre la pantalla con exposiciones cortas. Todos los esfuerzos invertidos en la colimación se verán recompensados inmediatamente con una mejor resolución y una mejor calidad de las medidas.

Fijación de la cámara

Es un punto que no hay que descuidar. La fijación debe ser perfectamente rígida y la cámara no debe sufrir movimiento alguno cuando el tubo cambia de orientación. Con las cámaras CCD de un cierto tamaño utilizaremos naturalmente acoplamientos sólidos a rosca. Con las webcams o con cámaras ligeras será suficiente en general con la presión ejercida por el tornillo del portaocular. La simple tracción del cable que conecta el or-

denador a la cámara, a menudo, es suficiente para provocar una rotación de ésta y su propio peso puede tener los mismos efectos. ¡Insisto en este punto porque esto ocurre más frecuentemente de lo que pensamos! Hay que verificar rigurosamente que la cámara está perfectamente fija y que no puede ni girar sobre el portaocular ni sobre la rosca del anillo de acoplamiento. Además, es una excelente idea fijar el cable de la cámara al tubo.

Orientación de la cámara

Aunque la disposición de la cámara no tenga influencia directa sobre la medida, es preferible conservar la misma orientación de los cuadrantes de una observación a otra. Una solución sencilla consiste en orientar, sistemáticamente, el eje x paralelamente al ecuador celeste. Los programas de captura permiten girar la imagen en el momento de la adquisición; personalmente yo oriento la imagen para tener el Este a la izquierda y el Norte arriba como cuando se mira una carta. Esta posición facilita las tareas de identificación, evita las dudas a la hora de la reducción y nos da tranquilidad durante las observaciones. Una simple marca sobre el tubo del telescopio y otra sobre la cámara permiten reencontrar rápidamente la misma orientación. Se trata, por supuesto, de una orientación aproximada, que hay que refinar después para obtener la orientación exacta de la cámara.

Elección de la focal

La distancia focal va a depender del tipo de trabajo que se desea efectuar. Una focal corta puede bastar para las identificaciones de pares olvidadas y la medida de parejas muy abiertas. Sin embargo, las estrellas más interesantes son generalmente cerradas y deberá ser utilizada una focal larga para separar las componentes y obtener una medida precisa. En todos los casos la distancia focal es determinante para la precisión de la medida porque define la escala de imagen, es decir la superficie de cielo cubierta por cada píxel (“/



Fig. 3 : Ejemplos de fijación de una cámara.

píxel). La expresamos en valor angular utilizando esta fórmula:

$$e = \frac{206,265 \times p}{F}$$

donde F es la distancia focal en milímetros, p es el tamaño de un píxel en micras, y el resultado, e , viene expresado en segundos de arco.

Los algoritmos de cálculo de los centroides se dividen en dos grandes familias: los que miden directamente la imagen (utilizando funciones geométricas y/o estadísticas) y los que ajustan un modelo matemático a la imagen. Las imágenes obtenidas sobre el cielo raramente se asemejan a los modelos teóricos y en ambos casos los algoritmos son tanto más fiables cuanto más grande sea la cantidad de datos a entrada. Es evidente, entonces, que cuanto más fina sea la escala de imagen, mejor será la precisión de la medida.

Podríamos deducir de ello que basta con agrandar mucho la imagen para obtener sistemáticamente buenas medidas, sin embargo y por desgracia, no es una cuestión tan simple y existe un límite, que raramente podremos superar. Este límite está directamente ligado a la capacidad de resolución espacial del instrumento y se constata que ésta responde aproximadamente al teorema de Nyquist. Adaptado al registro de imágenes y en pocas palabras, este teorema nos señala que si queremos explotar plenamente nuestro instrumento, la escala de imagen debe ser como máximo la mitad del poder de resolución. Su expresión matemática en segundos de arco por píxel es:

$$En \leq \frac{206,265 \times \lambda}{2D}$$

que en la práctica se puede simplificar por

$$En'' \leq \frac{60}{D(mm)}$$

La distancia focal correspondiente en función de la cámara utilizada será, por tanto:

$$F = \frac{206,265 \times p}{En}$$

Más allá de estos valores nos encontramos enfrentados con otros problemas –falta de luz, puesta a punto difícil o incluso imposible, calidad del seguimiento horario, etc.- que no permiten mejorar más la precisión de la medida y que eventualmente pueden degradarla. Todo lo dicho es puramente teórico y solo la experimentación permite encontrar el verdadero límite donde un buen instrumento pueda sostener la mejor

escala de imagen. Los sensores en color que equipan a ciertas cámaras provocan una pérdida de resolución y será generalmente interesante utilizar un muestreo más idóneo que estos valores teóricos:

$$En = \frac{40}{D(mm)}$$

La regla que hay que retener es: ¡utilice la distancia focal más larga que usted pueda dominar! La elección juiciosa de la distancia focal es uno de los mejores medios y, seguramente el más sencillo, de aumentar la precisión de sus medidas. La precisión se verá limitada simplemente a causa de una sub-escala de placa.

Podemos modificar la distancia focal de un instrumento utilizando una lente de Barlow, un ocular o un reductor de focal. ¡Como acabamos de ver, el reductor de focal es un accesorio que usted puede poner a la venta si se dedica solamente a medir estrellas dobles! La lente de Barlow amplía la distancia focal del instrumento, y está optimizada para procurar un factor de aumento dado (2x, 3x,...). Este aumento está ligado directamente a la distancia que separa la Barlow del sensor. Si esta distancia cambia, el aumento también cambia:

$$a = \frac{1+d}{f_b}$$

Una Barlow diseñada para producir un factor de aumento de 2x puede ser utilizada hasta 3x, pero raramente más allá de este límite. Si se requiere un aumento más grande, podemos montar dos Barlows en serie. Aunque se trata de un montaje embarazoso y no siempre fácil para ajustar, sí es ópticamente correcto. En este caso los aumentos de las dos Barlows van a multiplicarse. La proyección por ocular es también una buena solución para obtener muy altos aumentos:

$$a = \frac{d}{f_0 - 1}$$

Por razones de concepción (curvatura de campo), el ocular debe ser utilizado en proyección únicamente para aumentos a 6x. Cualquiera que sea la opción elegida siempre hay que verificar meticulosamente que el montaje no engendre aberraciones. Una comprobación elemental consiste en hacer series de imágenes de la misma pareja colocándola en diferentes lugares sobre el sensor reduciendo por separado cada una de las tandas de imágenes. El proceso puede repetirse de nuevo cambiando la orientación de la cámara 90°.

Si los valores son idénticos el montaje puede ser considerado como viable. Esta operación es sencilla y muy recomendable.

El enfoque

A menos que el enfoque sea totalmente anárquico, no tiene influencia inmediata sobre la medida relativa. El enfoque influirá, sobre todo, en la resolución, por lo que los pares cerrados no serán medibles. En dobles separadas será necesario aumentar el tiempo de exposición. En cualquier caso, debe realizarse correctamente.

Los telescopios catadióptricos poseen habitualmente un sistema de enfoque por desplazamiento del espejo primario. El espejo secundario de estos telescopios actúa como un amplificador y el desplazamiento del primario induce un cambio en la separación entre ambos espejos que conlleva una modificación de la distancia focal. No hay ninguna razón para preocuparse por este fenómeno; en efecto, el cambio de distancia focal también se traduce en un cambio de posición del enfocador por fuera del tubo. Entonces, si la cámara está fijada a una posición dada, basta con enfocar y no desplazar más la cámara durante la toma de imágenes y conservaremos una distancia focal fija.

Calibración

La reducción es la operación que consiste en transformar los valores encontrados en el momento de la medida de las imágenes en un sistema común a todos los observadores. Para efectuar esta operación necesitamos conocer por lo menos dos coeficientes: la escala de la imagen sobre el sensor y la orientación de la imagen con relación al cielo. La obtención de estos parámetros es el fin de la calibración y su calidad es fundamental. Si la calibración es mala, las reducciones serán malas, cualesquiera que sean las calidades intrínsecas de las imágenes y la precisión de la medida de estas imágenes. No hablamos aquí de precisión sino de exactitud. La diferencia entre estos dos conceptos se ilustra en la siguiente figura:

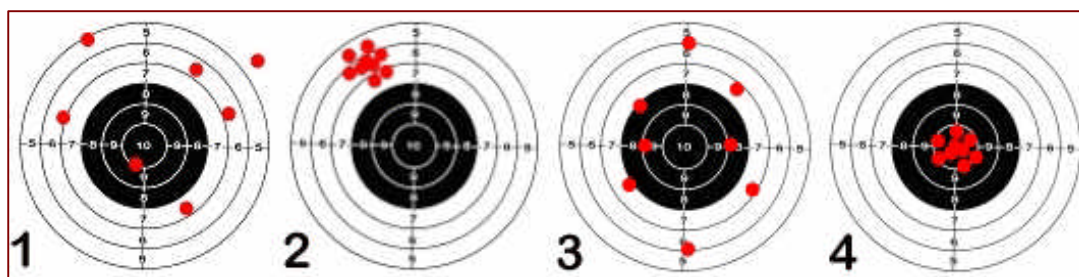
En las imágenes obtenidas con varios metros de distancia focal, tan sólo se registra, habitualmente, la pareja que hay que medir. La imagen no contiene información que permita calibrarla directamente. La instrumentación, entonces, debe ser calibrada antes o después de la toma de imágenes. ¡Como lo que se pretende es mejorar la exactitud, el sistema deberá ser calibrado antes y después!

Ya hemos definido los factores que actúan sobre la escala de la imagen y sobre su orientación con relación al cielo: se trata de la distancia focal, de la orientación de la cámara con relación al telescopio y de la puesta en estación. Ninguno de estos elementos debe variar entre la toma de imágenes y la calibración. El único modo de asegurarlo es calibrar antes y después de la toma de imágenes y luego comparar los dos resultados. Si existe la menor ambigüedad, es inútil reducir las imágenes y vale más desechar el material que correr el riesgo de publicar medidas dudosas.

La turbulencia hace que dos calibraciones consecutivas nunca sean perfectamente idénticas. Efectuar varias calibraciones es, a la sazón, un medio excelente de mejorar la precisión de las medidas. El valor final de la calibración que se usará en la reducción, será pues, el promedio de todas las calibraciones parciales.

No existe ningún método cómodo para que el aficionado pueda realizar la calibración de modo independiente. Por lo tanto, utilizamos generalmente pares de calibración cuyas medidas están caracterizadas por su buena calidad. He aquí unas listas reconocidas:

- Lista de estrellas dobles de calibración utilizadas por la Sociedad Astronómica de Francia: en el sitio <http://saf.etoiledoubles.free.fr/>, elegir el menú *Observaciones*. Encontrarán dos listas de pares de calibración para las declinaciones positivas y para las declinaciones entre -20° y $+20^{\circ}$. Los ficheros pdf son muy completos y contienen un artículo detallando los criterios de selección así



La diana representa el sistema de referencia común y el centro es la posición relativa real de las estrellas. Los puntos simbolizan las medidas de la misma pareja. **Fig. 1:** las medidas son muy dispersas y no enmarcan la posición real de la pareja, el sistema no es ni exacto, ni preciso. **Fig. 2:** las medidas son precisas pero el sistema está mal calibrado. **Fig. 3:** las medidas son muy dispersas, el sistema es impreciso; por ejemplo, la escala de imagen está infravalorada. Sin embargo, las medidas enmarcan perfectamente la posición real: está bien calibrado. **Fig. 4:** el sistema está bien calibrado y es preciso, esto es lo que se debe buscar.

como el archivo histórico de medidas de cada doble.

- Sixth Catalog of Orbits of Visual Binary Stars. Candidatas para calibración: <http://ad.usno.navy.mil/wds/orb6/orb6c.html>, suministra una lista de 80 pares orbitales con sus efemérides. Muchos son solo accesibles a los grandes telescopios o a los interferómetros pero el USNO ha incluido, igualmente, sistemas abiertos resolubles por instrumentos más modestos.

- Catalog of Rectilinear Elements: <http://ad.usno.navy.mil/wds/lin1.html>, aquí encontramos ciertos sistemas cuyo movimiento está definido de manera muy precisa. Su utilización es, sin embargo, delicada porque hay que calcular las efemérides para la fecha de observación.

Captura de imágenes

El modo de utilizar el software de adquisición puede tener una influencia muy grande sobre las medidas. Es necesario conocer perfectamente el funcionamiento del software y de la cámara. Entre los puntos más importantes que hay que tener en cuenta, tenemos:

- El formato de grabación: jamás utilizar los formatos comprimidos (como *JPEG*) que destruyen irremediabilmente la información y arruinan todos los esfuerzos realizados para conseguir la precisión. Cuando el software lo permite, es preferible utilizar el formato *fit*, clásico en astronomía.

- Resolución de la imagen: no utilizar los formatos interpolados propuestos por ciertos constructores y seleccionar el formato que más se aproxime a las características físicas del sensor.

- Elección de la velocidad de transferencia: es un problema bien conocido de los que hacen astrofotografía planetaria con webcams: la capacidad de transferencia del puerto USB es limitada. Para obtener un flujo de vídeo continuo, las imágenes son comprimidas cuando la cadencia solicitada es muy elevada. Esta compresión es irremediabilmente destructiva. Hay pues que utilizar la velocidad de transferencia que ofrezca la compresión más débil (en general, es la velocidad más lenta). No encontramos este problema en las cámaras CCD astronómicas.

- La utilización del modo en color: no presenta ningún interés. Es preferible utilizar la cámara en modo monocromático siempre que sea posible.

Toma de imágenes

La estrategia puede ser diferente según el tipo de estrellas que se quiera medir. Cuando una de las componentes de una pareja abierta es dé-

bil, hay que ajustar el tiempo de exposición de manera que la compañera débil sea visible pero sin saturar a la estrella principal. Resulta inútil utilizar tiempos de exposición cortos: el efecto de la turbulencia extiende el patrón de difracción y la influencia sobre la posición relativa es despreciable. La media de algunas decenas de imágenes proporcionará una estimación muy buena de los parámetros relativos.

El problema es diferente con los pares cerrados, donde debemos buscar la mejor resolución para que ambas componentes no aparezcan fusionadas. Aquí hay que trabajar con el tiempo de exposición más corto posible y siempre compatible con la magnitud de la componente más débil. Como la turbulencia es imprevisible, hay que capturar un gran número de imágenes. La selección de las mejores tomas será efectuada en el momento de la reducción.

Pretatamiento

Se piensa –sin razón– que el pretratamiento de las imágenes es inútil cuando se utilizan tiempos de exposición cortos. Hasta en la oscuridad y con un tiempo de exposición nulo, la matriz CCD y la electrónica asociada producen siempre una señal no nula y variable de un píxel a otro. Esta señal, denominada *offset electrónico* o *bias* actúa de modo aditivo y modifica sistemáticamente el mapa de intensidad de la imagen. Puede ser caracterizado muy fácilmente y debe ser eliminado de todas las imágenes antes de la medida.

Tan pronto como el tiempo de exposición sobrepasa algunas décimas de segundo, el propio sensor CCD genera lo que llamaremos *ruido térmico* liberando cargas que no están asociadas a la recepción de un fotón. Este ruido térmico, que depende del tiempo de exposición y es intrínseco a cada píxel, actúa también de modo aditivo sobre el mapa de intensidad de la imagen. Como el *bias*, puede ser cuantificado muy fácilmente y debe ser eliminado de la imagen antes de su medida. Para corregir estas dos perturbaciones en una sola operación, basta con tomar una decena de imágenes en la oscuridad con un tiempo de exposición igual al de la imagen que hay que medir. En el momento de la reducción calcularemos la mediana y la sustraeremos de las imágenes que hay que medir. El resultado es espectacular sobre la medida de estrellas débiles.

Un pretratamiento completo también comprende la división por una imagen *flat-field*. Esta operación corrige los efectos del viñeteo, la presencia de polvo sobre el camino óptico, así como las variaciones de rendimiento cuántico de la matriz CCD. Si ponemos celo en conservar un camino óptico limpio, la práctica demuestra que la utilidad del *flat-field* es discutible sobre imágenes de campo estrecho obtenidas cerca del eje óptico y con tiempo de exposición que no deje incrementar

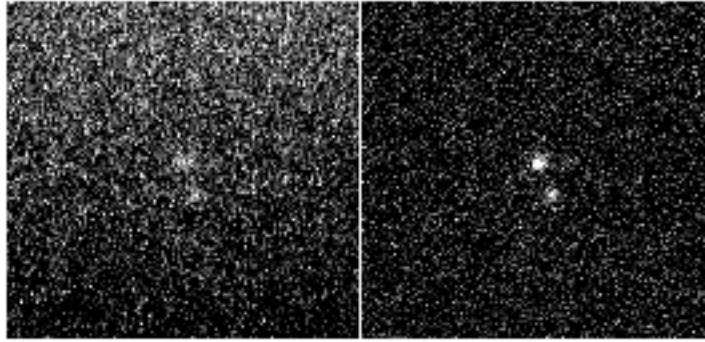


Fig. 4: Efectos del pretratamiento: a la izquierda la pareja es casi invisible. A la derecha, la misma imagen después de la sustracción del *bias* y del *dark*.

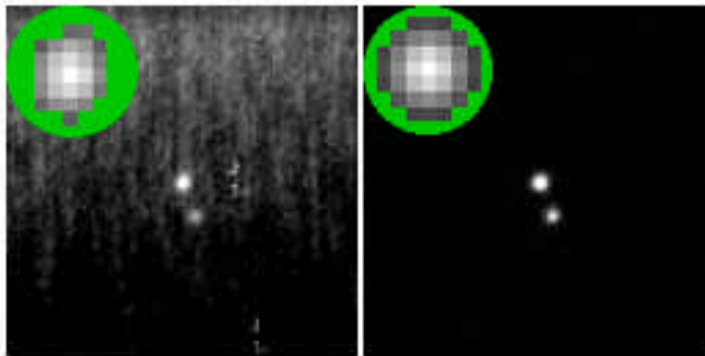


Fig. 5: Efectos del pretratamiento: después de alinear y sumar 40 imágenes (software Reduc). A la izquierda sin pretratamiento, la imagen es siempre muy ruidosa y el perfil de la estrella principal que sirvió para el alineado está deformado. La compañera es imprecisa. A la derecha con pretratamiento, el ruido ha desaparecido. El perfil de las estrellas es casi perfecto. Sobre esta serie, la incertidumbre sobre la medida se divide por 4 después del pretratamiento.

el fondo de cielo. El hecho de que un par generalmente se desplaza de una imagen a otra compensa las pequeñas variaciones de rendimiento cuántico.

La inmensa mayoría de los doblistas no efectúan esta operación y, personalmente, yo tampoco recomiendo su uso porque puede revelarse más nefasta que útil cuando la imagen de *flat-field* no es de buena calidad.

En la media está la virtud

¿Existen otras maneras de mejorar aún más las medidas? La respuesta es sí y este último punto servirá de conclusión a este artículo. Como no podemos, en absoluto, estar seguros de controlar cada noche todos los parámetros y como las condiciones atmosféricas cambian sin interrup-

ción, jamás podremos decir que una medida es definitiva. Queda, sin embargo, un modo de disminuir las incertidumbres: multiplicar las medidas. Primero, tomando muchas imágenes de cada pareja en el momento de la observación y luego, observando la pareja por lo menos en dos o tres noches. La media de todas las noches dará, la mayoría de las veces, un resultado excelente. Usted, entonces, estará seguro de haber puesto todo de su parte, usted podrá estar orgulloso de su trabajo y los futuros usuarios de sus resultados le estarán muy agradecidos por haberles abastecido de esmeradas medidas. ☺

El presente artículo ha sido traducido del francés por Edgardo Rubén Masa Martín.

Entradas duplicadas en el Washington Double Star Catalog

por Rafael Caballero 

Agrupación Astronómica Complutense, España · rafa.caballero.roldan@gmail.com



The Washington Double Stars Catalog (WDS) is, undoubtedly, the *Bible* of the double stars. It is based on other many catalogues and on observations of many different astronomers. It is not of surprising, therefore, that some of the stars listed in it are duplicated.

HAY diferentes caminos por los que un aficionado a las estrellas dobles puede lograr que su labor sea de utilidad a la comunidad científica. El más común, y de provecho innegable, consiste en la adquisición de nuevas medidas de dobles, ya sea mediante el propio equipo o mediante las placas fotográficas disponibles de forma pública. En este artículo en cambio vamos a mostrar otra posibilidad que, aunque de forma modesta, también puede aportar información de interés. En particular se trata de detectar entradas repetidas en el catálogo de referencia para los doblistas, el *Washington Double Star Catalog* (WDS).

Se dice que hay una entrada duplicada cuando el catálogo incluye dos o más identificadores distintos para un mismo par. Los efectos negativos de las entradas duplicadas son evidentes:

- Aumento del volumen del catálogo con información innecesaria.
- A menudo todas las observaciones se asignan a una de las entradas duplicadas, quedando la otra (quizás por tener unas coordenadas ligeramente inexactas) como una doble perdida o abandonada. Muchos doblistas emplean su tiempo tratando de medir o localizar estas dobles perdidas o abandonadas, lo que representa un esfuerzo y dedicación innecesarios.
- En otras ocasiones las medidas se reparten entre las entradas. En este caso la dispersión de la información puede impedir, por ejemplo, determinar la naturaleza de la doble por no disponerse de datos suficientes, aunque sí se tendrían si se reunieran todas las observaciones dispersas entre las entradas redundantes.

Método

El objetivo ha sido buscar entradas con valores suficientemente próximos. Por supuesto

el concepto de “suficientemente próximos” es relativo; en este estudio se decidió buscar entradas correspondientes a dobles con coordenadas, ángulos de posición y separación similares, tomando como dobles “candidatas” aquellas que verifican las 5 condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} \text{abs}(Ar_1 - Ar_2) &= 0.016^\circ \\ \text{abs}(Dec_1 - Dec_2) &= 0.016^\circ \\ \text{Sep}_1 &= 5'' , \text{Sep}_2 = 5'' \\ \text{abs}(\text{Sep}_1 - \text{Sep}_2) &= 5'' \\ \text{abs}(Pa_1 - Pa_2) \bmod 180 &= 15^\circ \end{aligned}$$

donde *abs* representa el valor absoluto, *mod* la operación módulo (resto de la división) y:

Ar_i: ascensión recta en segundos sexagesimales de la primera entrada
Dec_i: declinación en segundos sexagesimales de la primera entrada en el WDS
Pa_i: ángulo de posición correspondiente a la primera medida de la primera entrada
Sep_i: separación correspondiente a la primera medida para la primera entrada y análogamente para *Ar₂*, *Dec₂*, *Pa₂*, y *Sep₂* pero para la segunda entrada.

Examinemos cada una de las 5 condiciones:

- Las condiciones 1 y 2 piden una diferencia entre las coordenadas representadas como grados sexagesimales menor o igual a 0.016° . Esto es lo mismo que decir que una de las parejas debe estar en el cuadrado de algo menos de un minuto (0.016° son $57.3''$) de lado que tiene a la otra en el centro. Aunque parece más lógico utilizar círculos en lugar de cuadrados, la comprobación de los cuadrados es más rápida, y suficiente para nuestros propósitos.
- La condición 3 trata de eliminar dobles demasiado apretadas para las que sea complicado distinguir sus componentes tanto en las placas como

Id. WDS 1	Id. WDS duplicado	Comentarios
STI 271 AC	MLR 106 AC	Ambas con observaciones recientes
D 7 AB	TOB 35	Ambas con observaciones recientes
JRN 29 AC	SLE 756	SLE 756 sólo tenía una medida, de 1983
JRN 35 AB	SLE 827 AB	SLE 827 AB sólo tenía una medida, de 1983
JRN 35 AC	SLE 827 AC	SLE 827 AC sólo tenía una medida, de 1983
STF 2542 AB	HLM 35	Ambas con observaciones recientes
SHJ 315 AD	TOB 166	Ambas con observaciones recientes
SEI 1380	HLM 38 AB	Ambas con observaciones recientes
STI 441	SMA 36	Ambas abandonadas desde 1922
J 1532	ARA 1061	Ambas con observaciones recientes
FEN 25	ARA 718	Ambas con observaciones recientes
BRT 37	J 3300	J 3300 abandonada desde 1954
BRT 2224	ALI 618	BRT 2224 abandonada desde 1931, ALI 618 abandonada desde 1929
SEI 1218	ALI 423	Ambas con observaciones recientes
STI 2778	SMA 164	Ambas con observaciones recientes
GAL 297	SLE 251	Ambas con observaciones recientes
HJ 2008	SMA 11	SMA 11 abandonada desde 1921
HJ 1090 CD	FOX 119 CD	Ambas abandonadas desde 1912

por sus coordenadas en los catálogos. En concreto pide separaciones mayores o iguales a 5".

- La condición 4 pide que la diferencia entre ambas separaciones sea menor a 5". Esto podría (y quizás debería) mejorarse pidiendo que la diferencia representara por ejemplo un 10% de la separación de la mayor, pero se ha hecho así para acelerar la detección de candidatas.

- Finalmente la condición 5 se pide que la diferencia de ángulo de posición sea menor de 15°. La condición de *módulo 180* sirve para detectar aquellas parejas en las que distintos observadores han considerado como primaria a una componente distinta, un error que sucede en unos cuantas entradas del WDS.

Las constantes que aparecen en las condiciones son totalmente arbitrarias y han sido escogidas de forma que se obtenga un número de posibles duplicadas suficiente pero manejable. En particular en la versión del WDS sobre la que se aplicó este método se obtuvo un total de 287 candidatas.

En las condiciones sólo se ha tenido en cuenta los datos astrométricos de la primera medición. Esto es porque se ha visto que la mayor parte de las duplicadas son dobles antiguas, anteriores a 1930 en muchos casos, en las que una de las entradas ha sido abandonada mientras que de la otra se han seguido acumulando observaciones.

Si comparáramos los datos de la última astrometría en lugar de la primera podríamos estar comparando, por ejemplo, un dato de 1890 (para la abandonada) con otro del año 2000 (para la actualizada), de forma que los movimientos del par dificultarían su comparación astrométrica y por tanto su detección como duplicados. Por supuesto el criterio para elegir candidatas puede ser mejorado en este (y en otros) aspectos, por ejemplo teniendo en cuenta la última medida si en ambos casos se trata de una medida "moderna".

Como se puede ver tampoco se ha utilizado la información de las magnitudes. La razón es que este es uno de los puntos débiles del catálogo. En ocasiones se ha encontrado entradas claramente duplicadas pero donde las magnitudes de las mismas estrellas en una u otra entrada tenían diferencias de tres o más unidades.

El proceso seguido para llevar a la práctica estas ideas se puede resumir de esta forma:

1. Primero se importó la versión en formato texto del catálogo WDS desde el sistema gestor de bases de datos Access, generando una tabla de base datos.

2. Se hicieron algunas conversiones (AR y DEC a grados sexagesimales, por ejemplo) y se eliminaron las filas en las que faltaran los valores que

forman parte del criterio, como las coordenadas precisas de la pareja.

3. Se escribieron consultas en SQL para obtener las dobles candidatas. A pesar de tratar de optimizar estas consultas en total requirieron algo más de 12 horas de cómputo para buscar por todo el catálogo.

4. La tarea más ardua: comprobar una a una si las candidatas eran en realidad dobles duplicadas. Para ello se usaron las placas fotográficas disponibles a través del *Aladin* Interactive Sky Atlas y de la base de datos de catálogos astronómicos VizieR (ambos disponibles gracias al Centre de Données astronomiques de Estrasburgo). La mayor parte de las candidatas corresponden a pares de parejas próximas en el espacio y más o menos “parelas”. En otros casos se trataba de 3 estrellas alineadas, de forma que las dos parejas tenían una estrella común (la estrella central, secundaria en una pareja, primaria en la otra), pero sin tratarse de entradas duplicadas sino de una (en ocasiones muy bella) estrella triple. Sin embargo tras la revisión descartando los casos incorrectos o dudosos quedaron aún pares que parecían corresponder a entradas duplicadas.

5. Finalmente estos pares fueron sometidos a la consideración de los astrónomos del USNO que se encargan del mantenimiento del catálogo WDS, en particular por B. D. Mason y W.I. Hartkopf. Los pares considerados duplicados fueron finalmente eliminados del catálogo, quedan como única referencia un comentario en el fichero de notas adjunto al WDS.


Resultados obtenidos

De 287 las candidatas iniciales se escogieron 21 dobles como las que más probablemente constituían entradas duplicadas del catálogo. De éstas, 18 fueron aceptadas como entradas duplicadas reales por los astrónomos del USNO, y como resultado 18 entradas fueron eliminadas del catálogo. La tabla de la página anterior incluye los identificadores WDS de los pares repetidos. La segunda columna corresponde a los identificadores que han sido eliminados como resultado de este proceso.

Conclusiones

En ocasiones los aficionados tenemos ideas que nos parecen que podrían aportar algo a nuestro campo, pero a menudo las deseamos pensando “si se me ha ocurrido a mí, seguro que se le ha ocurrido a otro antes y ya está hecho”. Este pensamiento es tan equivocado como pernicioso, y hace que se pierdan excelentes aportaciones. En este artículo hemos visto como una idea tan sencilla como buscar pares con valores de coordenadas y astrometría muy similares puede ayudar a corregir errores de entradas duplicadas en el catálogo WDS, mejorando así la calidad de la información contenida en el catálogo. Parece razonable sospechar que aún quedan otras muchas entradas duplicadas en el WDS, y que nuevas ideas y criterios deben permitir en el futuro reducir aún en mayor medida el número de errores en el catálogo más utilizado por los aficionados a las estrellas dobles. ©

Detección del movimiento estelar con CCD

por *Francisco Violat Bordonau* 

Asesores Astronómicos Cacereños y Asociación Astronómica de Cádiz, España · fviolat@yahoo.es



It is possible to detect the stellar proper motion using amateur equipments with CCD cameras and something of patience. Due to the fact that these annual displacements are reduced, lower than $10.3''/\text{year}$, it is necessary to work with focal sufficiently long as to offer a superior scale to $1''/\text{pixel}$, which is obtained by the telescopes habitually used in planetary astrophotography.

Introducción

Las estrellas distan tanto de la Tierra que aunque éstas se mueven las unas con respecto a las otras (debido a la lenta rotación de la Galaxia e incluso a movimientos propios o *corrientes estelares*), desde nuestro planeta es imposible detectar, a simple vista, el desplazamiento de las mismas con respecto a otros astros situado mucho más lejos. Para llegar a apreciar estos levísimos movimientos se precisa el uso de telescopios, dotados de cámaras fotográficas o CCD, los cuales son capaces de registrar sobre el cielo ángulos iguales o superiores a $1''$ de arco.

En este sencillo trabajo pretendo mostrar cómo podemos capturar y medir este desplazamiento estelar con nuestros telescopios, indicando una serie de estrellas lo suficientemente próximas a la Tierra como para ofrecer este movimiento incluso al cabo de algunos meses.

Distancias estelares

A mediados del siglo XIX, con la mejora de los telescopios refractores de la época, comenzaron a medirse las distancias estelares a cargo de tres astrónomos de distintos países: Henderson en Inglaterra, Struve en Rusia y Bessel en Alemania. Gracias a su delicado trabajo se pudo medir la distancia a la estrella más cercana, el sistema estelar triple Alfa Centauri, cuyo paralaje resultó ser igual a $0.768''$: pasado este pequeño ángulo a distancia resultó que este sistema múltiple estaba a más de 4.3 años luz.

Al mejorarse las técnicas astronómicas, especialmente la medición de paralajes estelares, resultó que las estrellas más brillantes observa-

bles en el cielo no eran siempre las más cercanas sino que muchas de ellas, casi todas, presentaban paralajes muy reducidos debido a su gran lejanía: de este modo el de Sirio era igual a $0.379''$, el de Procyon bajaba a $0.286''$, el de Altair era $0.194''$, el de Vega $0.128''$ y en el caso de Arcturo se reducía a sólo $0.089''$. Paralajes más reducidos eran difíciles de medir con precisión ya que el error cometido era similar al valor medido.

Por el contrario las estrellas cuyos paralajes estelares eran mayores resultaron ser, para sorpresa general, estrellas rojas o naranjas bastante débiles y poco evidentes: Próxima Centauri, la estrella de Barnard, Wolf 359, Lalande 21185 o Ross 154 entre otras. Las estrellas más cercanas a la Tierra, curiosamente, eran astros enanos fríos, rojos y poco luminosos pero cuyo movimiento propio anual, producido por esta gran proximidad, eran bastante grande y mensurable.

Movimientos propios anuales

Una vez que los astrónomos comenzaron a elaborar sus catálogos estelares más detallados y completos notaron que las estrellas cambiaban de posición debido a su movimiento propio: este efecto es tanto más notorio cuanto más próximo esté el astro, pero también cuando más dilatado sea el período de tiempo que diste entre dos mediciones de posición. Si un astro se mueve muy rápido, por encima de los $5''$ anuales, bastará esperar unos pocos meses (por ejemplo cinco o seis) para capturar la diferencia de posición con respecto a las estrellas de fondo; si, por el contrario, la estrella se desplaza anualmente en torno a $1''$ con seis meses será insuficiente: dos años será un período apropiado y tres o cuatro todavía mejor, ya que de este modo el error en la medición es más reducido. Para astros con movimientos pro-

pios inferiores a $0.5''$ anuales se requieren períodos superiores a cinco o diez años, evidentemente, siendo incluso más dilatados si este desplazamiento se reduce por debajo de $0.1''$ anuales.

Anteriormente los movimientos propios se facilitaban en segundos de arco por año¹, sin especificar el cambio en Ascensión Recta y Declina-

ción: sin embargo desde que la sonda *Hipparcos*² midió con alta precisión los movimientos estelares³ estos datos se facilitan en ambas coordenadas; de este modo el de la estrella de Barnard, el más elevado, es igual a $10.347''$ en DEC y $-7.98''$ en AR en donde el signo negativo indica decremento en la coordenada. En la Figura 1 podemos ver el desplazamiento al cabo de algunos años.



Figura 1. Desplazamiento del sistema binario 61 Cygni entre 1916 y 1951.

Entre los mayores movimientos propios anuales tenemos el de la estrella de Barnard con $10.337''$ al año en DEC, la estrella de Kapteyn con $6.50''$ en AR, Groombridge 1830 con $-5.81''$ en DEC, Lacaille 9352 con $6.76''$ en AR, CD -37 15492 con $5.63''$ en AR, HIP 67593 con $5.37''$ en DEC, 61 Cygni con $4.13''$ en AR, Lalande 21185 con $-4.77''$ en DEC y épsilon Indi con $3.96''$ en AR.

Equipamiento

En la captura de movimientos estelares es preciso disponer de una buena resolución capaz de proporcionarnos una escala de $1''/\text{píxel}$ al menos o inferior, si es posible. Esto puede conseguirse empleando focales superiores a 1 metro con chips de píxeles pequeños (10 micras o incluso inferiores), bien sea trabajando a foco primario o con duplicadores de focal.

Es importante disponer de aberturas superiores a los 150 mm para que el poder resolutivo del instrumento descienda por debajo del segundo de arco; si empleamos instrumentos de 200 ó 250 mm de apertura este poder resolutivo

teórico desciende ya por debajo de $0.6''$. (La turbulencia local puede estropear este poder resolutivo teórico, reduciéndolo en la práctica a $1''$ o incluso $2''$ según la noche, pero en principio cuando mayor sea la abertura tanto más finamente trabajaremos.)

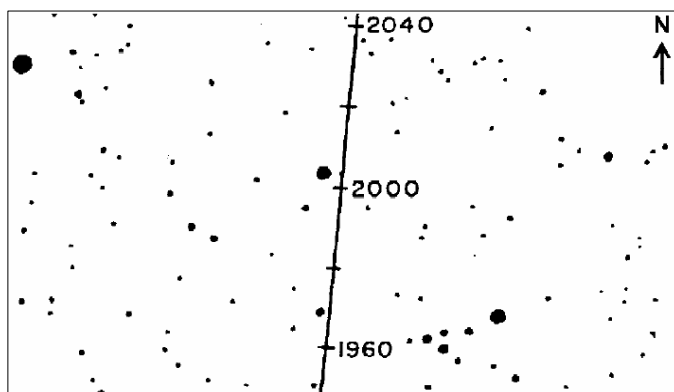


Figura 2. Carta celeste que muestra el desplazamiento de la estrella de Barnard entre los años 1960 y 2040.

El autor emplea un telescopio catadióptrico Meade de 203 mm de apertura y 2000 mm de focal, habitualmente a foco primario, aunque en ocasiones es posible trabajar incluso con 4000

mm debido a la bondad del cielo. La CCD empleada es Starlight Xpress modelo SXVF-M7 de 752 x 580 píxeles, electrónica de 16 bits en blanco, grises y negro, con píxeles de 8.6 micras.

Para la captura de las imágenes debemos emplear cámaras CCDs con píxeles pequeños: por ejemplo de 10 ó 9 micras, si nos es posible, lo que permite aumentar la resolución en la imagen final y mejora la capacidad resolutive del equipo. No es necesario trabajar con filtros de color, ya que no precisamos limitarnos a una longitud de onda en particular, salvo que deseemos hacer trabajos colorimétricos (determinación del índice de color B -- V) o queramos resaltar el color propio de la estrella con respecto a otros astros de campo (astros rojos o azules).

A la hora de medir el movimiento propio hemos de recurrir a la astrometría, empleando para ello programas especiales tales como *Astrométrica* o *AstroArt*: para ello se recurre bien a catálogos estelares, bien a la calibración de las imágenes obtenidas, recurriendo siempre a estrellas de posición bien conocida y medida.

Desde el año 1996 el autor está intentando capturar y medir el movimiento propio de una estrella del tipo *enana roja*, Kuiper 90 (también denominada Gliese 747 AB ya que es un par físico irresoluble [0.35"] con un período de 2110 días), una de las componentes del sistema múltiple óptico 17 Lyrae. Este astro, situado a unos 27 años luz de la Tierra, está lo suficientemente próximo a nosotros como para poder registrar su movimiento propio en apenas un lustro: el desplazamiento es de sólo 1.63" anuales con un ángulo de posición de 48.9 grados.

El movimiento es lo suficientemente reducido para que en las fotografías normales del cielo, con focales inferiores a un metro, el astro aparezca año tras año aparentemente en la misma posición; sólo cuando ampliamos la focal a los 2 metros o más, si la turbulencia local lo permite, podemos medir de año en año el desplazamiento de la estrella en dirección NE. Como ya expliqué con anterioridad si disponemos de fotografías de la zona separadas por algunos años, una década o más, podemos comprobar con un simple vistazo este cambio de posición siendo en este caso muy notorio.

La Figura 3 está compuesta por dos imágenes: la de la izquierda, del POSS, fue tomada en 1950 mientras que la de la izquierda es del autor y fue tomada en diciembre de 2008. Con la letra "K" se ha marcado la posición de la binaria Kuiper 90 en ambas imágenes. Pese a la diferencia de escala y a la magnitud límite de cada una es fácil percibir el cambio de posición de la estrella, la cual se ha alejado de la estrella principal (17 Lyrae A). En este caso pese a reducido desplazamiento de la estrella es posible apreciar el movimiento debido al más de medio siglo transcurrido entre las dos imágenes.

Estos sencillos ejemplos demuestran que, aunque incluso las estrellas cercanas están muy alejadas de la Tierra, podemos ver y medir sus desplazamientos a través del cielo con nuestros equipos de aficionado a lo largo de los meses (en los casos de las más próximas) o incluso de uno o dos años, según el movimiento de cada astro. Perseverancia, paciencia y cielos limpios es todo lo que se necesita para estos sencillos experimentos de astrometría. ©

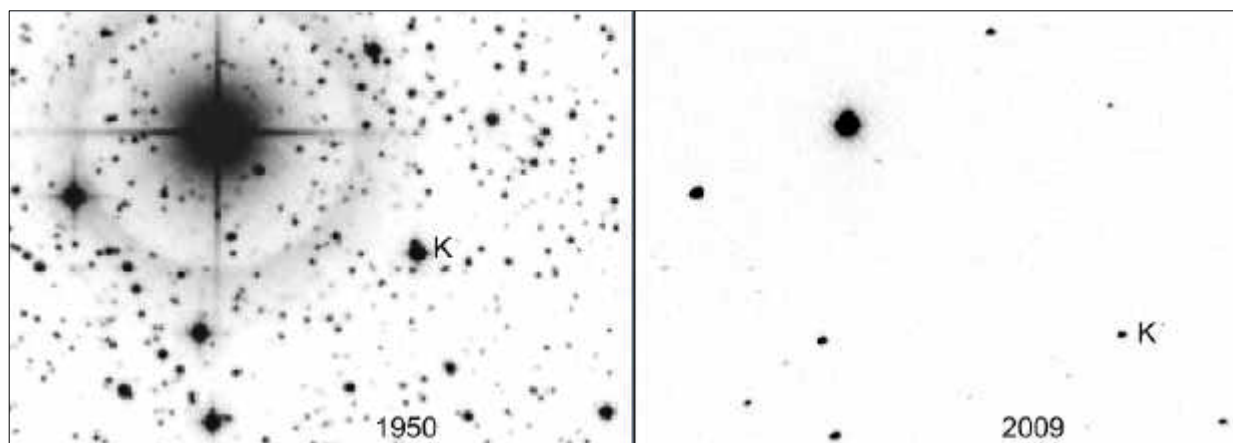


Figura 3. Movimiento propio de la estrella enana roja Kuiper 90 (marcada con "K") entre los años 1950 (izquierda) y 2008 (derecha). El desplazamiento ocurre en dirección nordeste.

Notas

¹Como la tabla disponible en: <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/motion/table.html>

²Podemos encontrar información en: <http://>

www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=high_p

³Algunos de ellos se pueden consultar en: http://en.wikipedia.org/wiki/Proper_motion

Observación de dobles en Orión

por el Grupo de dobles del Foro de la Agrupación Astronómica Hubble 

<http://www.asociacionhubble.org>



We present a tour around of some of the most beautiful double stars of Orión's constellation.

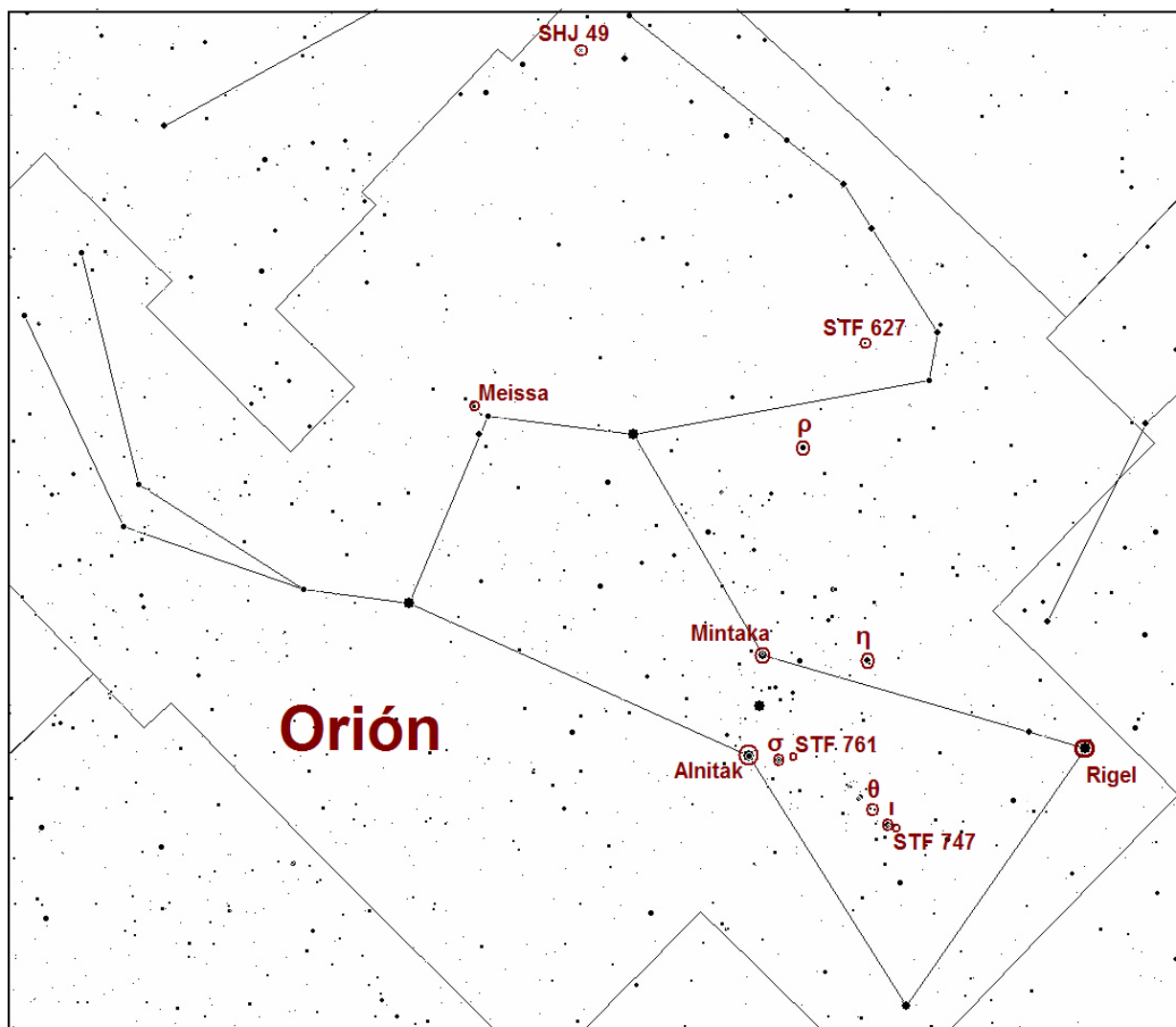
Introducción

La constelación de Orión, el cazador, domina los cielos invernales del hemisferio norte y se puede decir que es la constelación más llamativa

y conocida para el aficionado de todas las que adornan el firmamento. Objetos como La Nebulosa de Orión (M42), agrupaciones de estrellas como las del cinturón, también conocidas popularmente como “las 3 Marías”, que parecen apuntar

ESTRELLAS DOBLES PROPUESTAS EN LA CONSTELACIÓN DE ORIÓN

A.R.	Dec.	WDS Id.	Otros Id.	Á.P.	Sep.	Mags.
04h58m59.41s	+14°32'35.7"	SHJ 49 AB		305°	39.2"	6.06/7.43
		SHJ 49 AC		89°	53.3"	6.06/9.60
05h00m33.93s	+03°36'56.8"	STF 627 AB		260°	21.1"	6.59/6.95
05h14m32.27s	-08°12'05.9"	STF 668 A-BC	Rigel, beta Ori	204°	9.0"	0.3/6.8
05h13m17.50s	+02°51'17.5"	STF 654 AB	rho Ori	64°	6.9"	4.62/8.5
05h24m28.62s	-02°23'49.7"	DA 5 AB	eta Ori	78°	1.8"	3.56/4.87
05h32m00.40s	-00°17'56.7"	STFA 14 AC	Mintaka, delta Ori	1°	53.3"	2.41/6.83
05h35m02.60s	-06°00'07.0"	STF 747 AB		224°	36.1"	4.70/5.51
05h35m08.28s	+09°56'03.0"	STF 738 AB	Meissa, lambda Ori	44°	4.4"	3.51/5.45
		STF 748 AB	Trapezio, theta ₁ Ori	31°	8.9"	6.55/7.49
		STF 748 AC	Trapezio, theta ₁ Ori	131°	13.1"	6.55/5.06
05h35m15.82s	-05°23'14.3"	STF 748 AD	Trapezio, theta ₁ Ori	96°	21.5"	6.55/6.38
		STF 752 AB	iota Ori	141°	11.3"	2.9/7.0
05h35m25.98s	-05°54'35.6"	STF 752 BC	iota Ori	103°	49.4"	2.9/9.7
		STF 761 AB		209°	71.5"	7.86/8.39
05h38m36.54s	-02°33'12.7"	STF 761 AC		209°	72.2"	7.86/8.55
		STF 761 AD		309°	32.6"	7.86/.
		STF 762 AB,C	sigma Ori	238°	10.9"	3.73/8.79
05h38m44.77s	-02°36'00.2"	STF 762 AB,D	sigma Ori	84°	12.5"	3.73/6.56
		STF 762 AB,E	sigma Ori	61°	41.2"	3.73/6.34
05h40m45.52s	-01°56'33.3"	STF 774 AB	Alnitak, dseta Ori	173°	2.3"	1.88/3.70
		STF 774 AC	Alnitak, dseta Ori	10°	58"	1.88/9.55



a Sirio, la estrella más brillante del firmamento, o la magnificencia de Rigel y Betelgeuse, hacen de esta constelación una joya inigualable.

En este artículo hacemos un recorrido por algunas de sus estrellas dobles más destacadas, mostrando que también en este terreno se trata de una constelación admirable. El propósito de nuestro paseo no tiene inquietudes científicas, sólo ganas de disfrutar y admirar la belleza de las dobles de esta constelación, que es una excelente forma de introducirse en el apasionante mundo de las estrellas dobles.

Estrellas Dobles Observadas

La siguiente tabla incluye los datos más relevantes de cada par observado: ascensión recta, declinación, identificador en el catálogo WDS, otros identificadores de la estrella primaria, ángulo de posición, separación y magnitudes de las componentes.

El mapa de arriba puede servir para encontrar cada una de estos sistemas, muchos de ellos múltiples.

Observaciones

Vamos a ir comentando cada pareja por separado. En cada caso se trata de un resumen de las observaciones que han realizado los miembros del foro de la Asociación Astronómica Hubble en los dos últimos años. El número de observadores de cada pareja varió entre dos y diez, utilizándose equipos de tipo y diámetro muy variados.

SHJ 49 AB, AC

Una de las parejas catalogadas por James South (1785-1867), aunque el par AB había sido medido con anterioridad por William Herschel. Se encuentra en una zona bastante pobre, al noroeste de Orión, muy separada de la figura principal de la constelación y casi en el límite con Tauro, tanto que merece la pena buscarla desde Aldebarán. Triple fácil de ver incluso a los menores aumentos (se aprecian las 3 componentes a 28x con un refractor de 100mm), aunque la C se ve demasiado débil, siendo recomendable algo más de aumento (entre 50x y 75x) para observarla en toda su belleza. La primaria, claramente más brillante, se ve blanca, quizá con cierta tonalidad amarillenta.

Mientras que la B es de color azul cielo y la C, la más débil de las tres, tiene un tono azul más pronunciado. Vale la pena estar un buen rato observándola, disfrutando del delicado contraste de colores y tonalidades de este trío. El catálogo WDS indica que la pareja AB podría representar una verdadera binaria al haberse observado una paralaje similar para las dos componentes.

STF 627

Un par relativamente fácil de localizar y accesible a cualquier equipo, pues la separación de las dos componente y el equilibrio de sus magnitudes, la hacen destacar en un campo en que no hay demasiada aglomeración. Azules parecen, aunque a otros observadores se les revelan como blancas. En todo caso muy recomendable.



STF 668 A-BC, Rigel, beta Ori

Ejemplo paradigmático de doble en la que el brillo de la primaria dificulta la visión de una secundaria relativamente brillante. Lo primero que llama la atención es el color blanco de la estrella principal, blanco muy puro en el que se no se aprecian matices de ningún color. En el mismo campo, a apenas 15 minutos al noroeste se distingue otra estrella brillante (magnitud 6.3). Entre las 10 observaciones que tenemos registradas para este par en diferentes días y con diferentes instrumentos se aprecia una disparidad muy notable en el número de aumentos mínimo que se precisa para resolver la pareja, sin duda también por influencia del seeing: desde 37.5x en un reflector de 150mm o un refractor de 120mm, pasando por 45x en un refractor de 102mm, 117x en un SC de 200mm, o 130x en un Maksutov de 102mm. El color apreciado para la secundaria es variado según el observador, sin duda por el deslumbramiento de la compañera: blanco, verdosa, pardo...

La primaria es una supergigante azul a 775 años-luz de nosotros que brilla con la intensidad de 40.000 soles. Hay que señalar que la que aquí llamamos componente secundaria es en realidad el par BC, una doble espectroscópica y también puede que visual, aunque esto último permanece

sin confirmar según las notas del WDS. El sistema incluye una cuarta componente D de magnitud 15.4 a 43.9" de la primaria que lleva sin ser medida desde 1921.



STF 654 AB, rho Ori

Debajo de Bellatrix (gamma Ori), a unos cuatro grados y siguiendo la línea que parece unir a las "tres Marías" con Tauro, nos encontramos con esta bella pareja en la que destaca una componente principal amarillo-anaranjada acompañada de otra, diminuta en comparación, de un precioso azul violeta. El desdoblamiento no es fácil por la diferencia de brillo y la proximidad de ambas, pero una vez conseguido, reconforta comprobar el delicado contraste de colores. Afirma el maestro Comellas que sus movimientos relativos son tan lentos que aún no se ha podido determinar si forman un sistema físico y que ello apunta a que se trate de una pareja óptica (por efecto de la perspectiva).



DA 5 AB, eta Ori

A primera vista llama la atención que la estrella forma parte de un triángulo casi rectángulo con otras dos estrellas situadas a unos diez minutos. Nuestro objetivo es la más brillante de las 3, un par ciertamente difícil que requiere al menos 200x en la mayor parte de los telescopios medianos para distinguir que es doble y 300x para ver las dos componentes con claridad. A altos aumentos y si la noche lo permite se muestra como un par espectacular formado por dos estrellas muy

brillantes, con los discos de Airy bien señalados y tocándose. Ambas parecen de un preciso color azul, la secundaria quizá algo más intenso. Burham habla de un "toque púrpura". Fue descubierta en 1845 por Dawes con un refractor de 4.5". Las dos estrellas que vemos forman parte en realidad de un sistema quíntuple: la estrella A es un sistema de tres estrellas, mientras que además de la B, hay otra acompañante C que se supone parte del sistema, a casi 2 minutos de distancia y magnitud 9.4 (identificador H 6 67AC en el catálogo WDS).

STFA 14 AC, Mintaka, delta Ori

La más occidental del cinturón de Orión. Si se compara su color blanco con el de Rigel, se verá que Mintaka no desmerece en absoluto. Desde luego, no es tan brillante como Rigel y la secundaria se encuentra mucho más separada. Pero en este caso esto es una virtud, primero porque brilla, pero no deslumbra; y segundo, porque se aprecia perfectamente el contraste entre la primaria blanca y la secundaria que tiene una tonalidad azulada. Es adecuada para telescopios pequeños y pocos aumentos, incluso con unos prismáticos 15x70 y un trípode ya se llega a desdoblarse, ofreciendo una visión memorable. La secundaria sirve para señalar el norte con mucha precisión, todas las medidas hablan entre 0° y 1° para el ángulo de posición.



STF 747

El propósito inicial se ceñía a observar la pareja STF 747, fácil de localizar al sur de M42. Pero para nuestra sorpresa, nos encontramos con un precioso conjunto de doble-doble (sin que deba sentirse destronada aquella que oficialmente ostenta semejante título casi nobiliario: épsilon Lyrae). El caso es que en el mismo campo aparece otro par más débil, la STF 745 de magnitudes 8.36 y 8.7, con 28.6" de separación y ángulo de 347°, que forman un asterismo trapezoidal muy llamativo y agradable de observar a bajos aumentos. Todas ellas se nos antojan blancas, quizá con

cierto matiz azulado. STF 745 es aún triple, con una componente mucho más débil (magnitud 10.43) formando un triángulo con las otras dos. Para realzar aún más el conjunto, las dos componentes de STF 747 parecen apuntar a iota Orionis, que se encuentra a tan sólo 8 minutos de la pareja. Una zona para recorrer y disfrutar detenidamente.

STF 738 AB, Meissa, lambda Ori

Se ve a simple vista como una nubecilla en la que cuesta distinguir estrellas individuales. Según cuenta Comellas en su "Guía del Firmamento", en la antigüedad fue considerada una nebulosa, siendo Al-Sufi quien en el siglo X escribió "esta nebulosa está constituida por 3 estrellas en forma de triángulo", refiriéndose a lambda, phi₁ y phi₂. En el ocular, a pocos aumentos, llama la atención rico del campo en el que se encuentra esta doble. Curiosas alineaciones norte-sur y este-oeste forman figuras diferentes para diferentes observadores.

Aunque cuenta con dos componentes destacadas, lambda es un sistema quíntuple, del que se llegan a ver cuatro: las dos principales y la D y la E más débiles (D de magnitud 9.63, y E de magnitud 9.22) y alejadas (78" y 151", respectivamente). La quinta resulta ya demasiado débil (la C, magnitud 10.72, a 28.8" y ángulo 185°). Para resolver el par AB se precisan entre 75 y algo más de 100 aumentos con un telescopio pequeño. Comellas menciona que las 2 principales son de color "azul-aguamarina" y los espectros O y B así lo confirman, aunque algunas de nuestras observaciones indican que la secundaria tiene un tono amarillento o incluso un tono rosado, quizá por contraste.

Al parecer el par principal forma un sistema físico, situado a 1300 años-luz de nosotros. La principal tiene una masa de 25 masas solares, radio 65000 veces más luz que nuestro sol y tiene todas las papeletas para ser una supernova algún día. La secundaria, más pequeña, "sólo" radia 5500 veces más energía que el Sol. La pareja está rodeada de un anillo de gas de 150 años-luz de diámetro llamado Sh2-264 o "anillo de Meissa".

STF 748 AB, Trapecio, theta₂ Ori

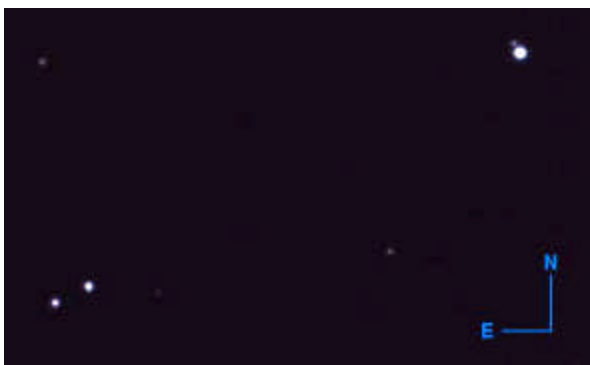
Más fácil de localizar imposible: dentro de la nebulosa de Orión. En la tabla incluimos las cuatro componentes que dan nombre a este curioso sistema múltiple, aunque según el equipo y la oscuridad del cielo se pueden llegar a distinguir 5, 6 o incluso más componentes. Merece la pena prestar atención a cada componente: la C al sur, la más brillante de las 4 por mucho, es una estrella enorme de 40 masas solares. Al este y al oeste se encuentran respectivamente D y A, ambas de la misma magnitud, salvo las ocasiones en las que A, variable, disminuye su brillo en casi una magnitud.

tud. Finalmente la B, al norte, es la más débil de las tres. Unos tres minutos al sureste, prolongando los lados del trapecio en esa dirección, encontramos la triple muy abierta STFA 16 (theta₂ Ori), que completa un cuadro de belleza muy diferente a la que estamos acostumbrados en la observación de dobles: las estrellas parecen hallarse en el seno de la nebulosa, dando casi una sensación de tres dimensiones, como si una tenue gasa las envolviera. Y la realidad se ajusta a lo que vemos, dado que en efecto las estrellas del trapecio han sido originadas dentro de la nebulosa a la que iluminan. En la imagen el trapecio se distingue arriba a la derecha, mientras que STFA 16 (en realidad dos de sus componentes, la tercera resulta difícil de distinguir) se sitúa en el centro y hacia la izquierda.



STF 752 AB, iota Ori

Situada en un campo espectacular, que merece la pena en cualquier caso, acompañada por STF 747 y STF 745 al suroeste, y formando parte de un grupo que recuerda a Auriga con nuestra doble haciendo el “papel” de Capella. Como doble se trata de un par desigual, requiriendo un mínimo de 50x para telescopios pequeños y medianos. A menos aumentos se llega a distinguir la débil acompañante C, quedando la B oculta en el brillo de la primaria. En cuanto a los colores parece haber acuerdo en que la primaria es blanca, pero como sucede casi siempre con las parejas desiguales, el color de la secundaria varía de observa-



dor en observador, desde azul-verdosa hasta de color pardo. En la imagen iota ocupa la esquina superior derecha, mientras que abajo a la izquierda se distingue STF 747.

STF 761

Próxima a sigma encontramos este delicado sistema que consta en el WDS como cuádruple. A primera vista se ven sólo tres, formando un triángulo isósceles muy puntiagudo. Después apreciamos que junto a la punta hay una estrella débil, la cuarta, de forma que el conjunto forma un cuadrilátero irregular, alargado de Norte a Sur y llamativo a pesar de la escasa magnitud de sus componentes. Los colores son difícilmente discernibles. Dos de ellas, las más brillantes, son claramente blanco azuladas, como corresponde a una región mayoritariamente poblada por estrellas jóvenes y en periodo de formación. De las más débiles, parece que una presenta un azul más oscuro y la otra tiende al rojo.

STF 762, sigma Ori

Muy fácil de localizar: situar en el buscador Alnitak, la estrella más al este del cinturón de Orión (por cierto, doble con sep. 2.6”), y en el mismo campo del buscador, algo menos de un grado al sureste se encuentra una estrella brillante. Esa es sigma, nuestro objetivo, uno de los sistemas múltiples más llamativos de todo el firmamento. Se trata de un sistema cuádruple en el que sobresale por su magnitud la primaria, pareciendo las otras tres satélites que giraran a su alrededor. Aunque a bajos aumentos ya es posible distinguir la primaria y dos acompañantes, hace falta algo más de esfuerzo para ver la cuarta, alrededor de 80 aumentos o más. Hay incluso una quinta, pero está a 0.3”, demasiado cercana para telescopios de aficionado. La primaria es blanca, y entre el resto predomina el color azul, aunque hay quien ve alguna con un tono más amarillento. Para realzar aún más el conjunto en el mismo campo se ve la cuádruple STF 761 (en la imagen se ve como triple, arriba a la derecha).

Al parecer, las 5 componentes de sigma forman un sistema físico formado por estrellas jóvenes que a su vez pertenece, junto con otras muchas estrellas -como las 3 del cinturón-, al grupo llamado "Orion OB1". En el "Burham's Celestial Handbook" se estima una distancia de 1400 años-luz, pero parece ser que datos más recientes rebajan esta cifra a alrededor de 1150 años-luz. El sistema incluye muchas particularidades: por ejemplo el par cerrado AB suma entre las 2 componentes ¡32 masas solares!, siendo la doble visual más masiva conocida. Además, la componente E es una estrella muy rica en helio, algo poco común. Más aún, recientemente se han encontrado muchos cuerpos con alrededor del tamaño de Júpiter orbitando en el sistema, que ocupa nada



menos que casi un cuarto de año-luz. Estos cuerpos se moverían por el sistema pero sin estar directamente ligados a ninguna estrella; se les llama "exoplanetas gigantes aislados". Dada la variedad de cuerpos que forman el sistema, es comprensible que se refieran a él en algunos lugares como el "cluster de sigma Orionis".

STF 774. Alnitak, dseta Ori

La estrella más oriental del cinturón de Orión. La pareja AC recuerda ligeramente al aspecto de Mintaka: estrella brillante con una más débil (en este caso mucho más débil) situada alejada y al norte. Sin embargo con más aumentos veremos que también la primaria es doble, aunque la diferencia de magnitud exige muchos aumentos (160x en un SC de 11", 250x en un reflector de 6"), de modo que pasó inadvertida nada menos que a William Herschel. En cuanto a colores parece blanca la primaria y azul la C (gris según otros), pero es difícil determinar el color de la B. Struve, todo un artista en la creación de nombres de colores, decía que era de color *olivaceasubrubicunda*. La primaria, situada a 800 años-luz, es la estrella de tipo O más brillante de todo el cielo, resultando ser 10.000 veces más luminosa que el Sol. ☾

En estos tiempos en los que el SIDA y otras lacras sociales están a la orden del día, la sociedad parece haber olvidado a los astrofílicos, un reducido grupo de enfermos que sufren casi marginados su mal.

La astrofilia es en realidad un síndrome, cada vez más raro y poco conocido por la ciencia médica.

Su característica fundamental consiste en un desmedido interés de los pacientes afectos, por conocer y sobre todo observar los astros con sus propios ojos.

Aunque su sintomatología semeja una enfermedad mental, en realidad sus manifestaciones son claramente orgánicas. Por ejemplo: estudios oftalmológicos del umbral de sensibilidad luminosa, evidencian en los pacientes con larga evolución de la enfermedad un considerable aumento de su capacidad visual. Ello les permite detectar visualmente hasta lejanas galaxias con pequeños telescopios instalados en polucionadas ciudades. Más asombroso es el incremento en la agudeza visual en los afectos de la forma planetaria del síndrome: son capaces de registrar detalles en las superficies de lejanos planetas y satélites. Hay célebres nombres de la astronomía clásica con esta variante que hicieron famosos los canales del planeta Marte y en su delirante actividad creían ver signos de civilización en su superficie.

Las formas de presentarse el síndrome son variadas. Es muy frecuente la aparición en las primeras décadas de la vida de un súbito interés por mirar al cielo y de construir telescopios con cualquier elemento a su alcance. Los individuos con mayor afectación llegan a entregarse a interminables ritos de tallar piezas ópticas de gran tamaño con las que construyen telescopios, ya que encuentran más gratificante la observación cuando el instrumento es de construcción casera, aunque su aspecto sea lamentable. Ello no impide que haya un creciente número de empresas que se aprovechan del ansia frenética del enfermo por mejorar su instrumental y lo suministran a unos precios desmesurados.

También los avances técnicos favorecen la aparición de variantes muy sofisticadas de la enfermedad. Se incrementa el número de enfermos que se dedican desesperadamente a fotografiar una y otra vez regiones del cielo que están perfectamente estudiadas por la ciencia. En ello empeñan gastos muy considerables en equipo e incluso utilizando modernas cámaras electrónicas. A pesar de los torpes resultados obtenidos, no cesan nunca en su empeño desenfrenado.

No debemos confundir la verdadera astrofilia con locuras colectivas temporales como la "fiebre del cometa" (última plaga aparecida en 1986) ó fenómenos propagandísticos como el "eclipse del siglo". El auténtico astrofílico seguirá padeciendo su mal una vez terminados estos eventos. También es muy extraño que los astrofílicos no tengan interés por los OVNIS y otros fenómenos extraterrestres mucho más espectaculares para la mayoría de la

Astrofilia

por

Jesús R. Sánchez

población, lo cual agrava su aislamiento.

La etiología del proceso es totalmente desconocida. Si bien es cierto que se han hecho pocas investigaciones serias para conocer el mecanismo causante.

Está prácticamente descartado que se trate de una enfermedad hereditaria, aunque a veces se presenten varios miembros de una familia afectados. Tampoco parece probable una causa infecciosa ya que muy raras veces enferman personas que conviven habitualmente con el paciente.

La hipótesis más plausible que actualmente se baraja es una alteración del metabolismo del hierro. Se ha detectado que la hemoglobina de los enfermos, en lugar de tener el hierro como elemento predominante está formada además por otros metales pesados. Varios investigadores han concluido que se trata de los mismos componentes que se encuentran en los meteoritos que caen desde el cielo. Esta aventurada conclusión, por supuesto, no ha sido confirmada oficialmente.

Para el tratamiento de esta terrible enfermedad no existen medidas de gran efectividad. Afortunadamente el desarrollo de la sociedad industrial parece paliar notablemente los síntomas. Por una parte los altos niveles de población lumínica hacen desistir de practicar la observación a muchos pacientes. Por otro lado la televisión y otras distracciones modernas parecen ejercer un efecto beneficioso al comienzo de los brotes, haciendo que se olviden del firmamento cuando su "afición" es incipiente.

El matrimonio y la dedicación a la familia originan en el enfermo una notable atenuación del mal, pero muchas veces es solamente un periodo de incubación más o menos largo en el que la patología permanece larvada, rebrotando al final nuevamente.

A pesar de que se trata de una enfermedad social, las únicas asociaciones que existen son las creadas por los propios afectos con el fin de intercambiar experiencias sobre su extraño proceder. Afortunadamente dado el carácter individualista de los pacientes, son muy pocas las agrupaciones de este tipo que logran sobrevivir un cierto tiempo. De todas formas dado el carácter noctámbulo de su actividad es evidente un trasfondo macabro y despreciable para el resto de la humanidad.

Esa sensación de aislamiento, por su gran rareza, confiere un gran dramatismo al padecimiento del mal, ya que ante la total incomprensión de la mayor parte de la sociedad, el enfermo de astrofilia se siente orgulloso de ser uno de los pocos elegidos que intentan comprender el Universo en que viven. ©

(*) El autor de este informe, a pesar de ser médico de profesión, se considera un astrofílico incurable porque no tiene ningún interés en dejar de estudiar y observar el Universo exterior a este insignificante planeta en que vivimos.

