

## Estrellas dobles y múltiples con CCD

Francisco A. Violat Bordonau - [fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)

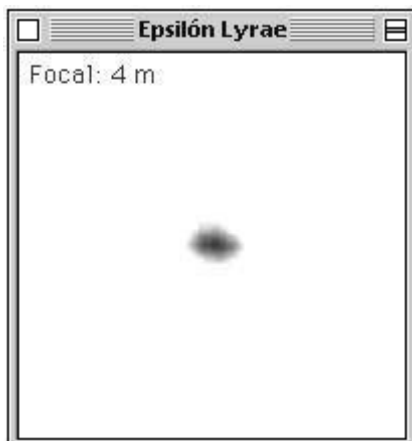
*Uno de los trabajos que actualmente el aficionado tiene más abandonado (aunque en el pasado no fue así) es el seguimiento, estudio y búsqueda de estrellas dobles y múltiples. Con la misión de buscar el poder resolutivo práctico de mi SBIG ST-4, acoplada a un catadióptrico SC-203 mm de abertura con 2 metros de focal, además de para estudiar objetivamente estos sistemas estelares, he realizado una larga serie de observaciones de estrellas múltiples que expongo aquí brevemente. Cosa curiosa: si de mi ponencia en estas Jornadas, en 1996, nació mi obra "Astronomía Planetaria con CCD", de este artículo verá la luz próximamente mi libro "Estrellas dobles y múltiples con CCD".*

Desde 1993 dispongo de una CCD de la casa SBIG, modelo ST-4, quizá una de la primeras que funcionó en Cáceres para el estudio de planetas primero, y estrellas dobles o múltiples posteriormente; con ella he realizado un montón de estudios planetarios, campo en el cual me he especializado desde 1979, aunque sin descuidar otras parcelas interesantes de la Astronomía como objetos de cielo profundo (estrellas dobles o múltiples, nebulosas, cúmulos, galaxias o cuasares).

Nada más adquirir el instrumento busqué los límites del conjunto telescopio-cámara, observando para ello estrellas múltiples: en el verano de 1996 y 1997, aprovechando noches de muy buena estabilidad atmosférica, repetí una gran parte de aquellas imágenes con la intención de observar algunos pequeños cambios en los sistemas estudiados; algunos son estrellas binarias ópticas (sistema de mera perspectiva, sin relación física entre ellas), en las cuales no se ha detectado en los últimos decenios (e incluso siglos) cambio alguno, otras son parejas de período largo o muy largo, por lo cual no es fácil apreciar de manera significativa una variación en sus parámetros.

Desde que Herschel, en 1779, iniciase de modo serio la observación de estrellas múltiples, se vienen realizando numerosos trabajos en este campo, interesante desde el punto de vista de la Mecánica Celeste porque permite medir, de modo bastante preciso, las masas estelares.

Cuando observamos con un buen telescopio una estrella múltiple (mal llamadas dobles, porque esto nos excluye todas las estrellas con tres o más componentes, como el Trapecio en el seno de M 42) reparamos en la presencia de un astro brillante (estrella primaria), otro de brillo similar o más reducido (estrella secundaria) e incluso otras estrellas (terciaria, cuaternaria...) de brillo menor; vemos que entre la primaria y la secundaria existe una separación, distancia que se mide en segundos de arco (") y, partiendo del Norte en sentido Este-Sur-Oeste, podemos determinar qué ángulo existe entre la principal y la secundaria: el ángulo de posición (AP) medido en grados. Estos dos parámetros nos definen una buena parte de la información del sistema múltiple; interesante es medir también el color de los componentes, algo siempre más subjetivo y que está sujeto a la agudeza visual cromática del observador o al empleo de métodos objetivos (fotografía clásica o con una CCD y filtros fotométricos).



**(epsilon) Lyrae.**

Una cámara SBIG modelo ST-4 acoplada a un SC-203 mm, con una focal de 2 metros, es capaz de resolver a foco primario estrellas múltiples de 3" en condiciones favorables: esto quiere decir que las componentes no han de tener un brillo tan elevado que cualquier integración sature el chip o que la diferencia de brillo entre ellas no ha de ser exagerada; si las componentes del sistema múltiple tienen una magnitud inferior a la 6ª una integración de 1 segundo satura ya la capacidad del chip, necesitando exposiciones más reducidas o el empleo de un filtro de color; si la estrella primaria tiene magnitud 8ª y la secundaria magnitud 12ª la diferencia de 4 magnitudes entre ellas obliga a prolongar el tiempo de integración: la estrella principal saldrá sobreexpuesta y la secundaria correctamente expuesta.

Un buen ejemplo de lo dicho lo encontramos en gamma Bootis: la primaria es de magnitud 3ª y la secundaria, situada a 33", es de magnitud 12ª: la diferencia entre ellas es de 9 magnitudes y la captura muy difícil; en tau Bootis pasa lo mismo: una primaria de magnitud 4,5ª y una secundaria de magnitud 11,5ª a 5,4" con AP 7° (1958). En las binarias más abiertas una focal de 2 metros basta mientras que en las más cerradas, incluso con 4 metros, tenemos dificultades si la noche es algo turbulenta: en estos ejemplos se aprecia lo dicho para epsilon Lyrae a la derecha (2,3") y Cor Caroli (alfa Canes Venatici), de 20", a la izquierda. Se puede ver claramente que la resolución no es idéntica entre ellas.

Para sistemas múltiples con separaciones inferiores a 3" la resolución ya no es total, no se aprecia el hueco entre astros, salvo que se incremente la distancia focal a 4 ó más metros, se disponga de cielos poco turbulentos, se trabaje con tiempos de integración cortos y se empleen filtros. La diferencia de color (temperatura superficial estelar) es también un problema que puede solventarse de modo parcial: si tenemos un sistema múltiple en el cual la primaria es azul y la secundaria roja, intercalando un filtro rojo en el camino óptico conseguimos que la primaria aparezca con un brillo menor que la secundaria reduciéndose la diferencia de magnitud entre ellas; una primaria gigante roja y una secundaria azul pueden igualar sus brillos con el empleo de un filtro azul o violeta. Como es natural estos filtros no deben dejar pasar la parte infrarroja del espectro, algo muy frecuente en los filtros usuales del mercado; el empleo del filtro NR-400F con los anteriores resuelve el problema.

En la denominación de los sistemas estelares se emplearon frecuencia la letra griega Sigma, pues corresponde al descubrimiento de W. Struve, OS si la descubrió Otto Struve, su hijo o bien el número que posee dentro del ADS (Catálogo de Aitken, 1932).

Algunos ejemplos pueden dar una idea más clara de todo lo comentado; la precisión conseguida en mis mediciones es de  $\pm 0,2''$  como media, aunque la turbulencia de la noche puede hacer oscilar este valor arriba o abajo.

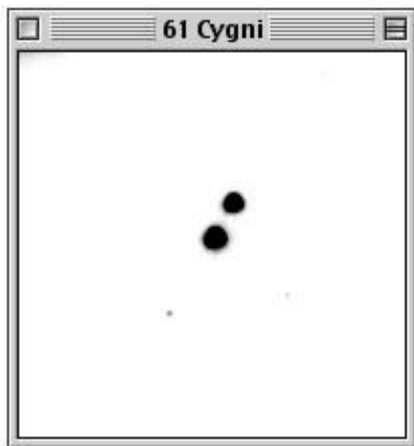
## **Sistemas dobles.**

Son los más habituales y más conocidos: formados por dos astros, a veces de brillo similar y a veces exageradamente desiguales en brillo, no es fácil apreciar cambios en sus parámetros salvo en los sistemas más rápidos, que son habitualmente los más cerrados para nuestros instrumentos. En ocasiones son cuerpos bastante cercanos o incluso muy próximos (alfa Centauri, Sirio) dándose el caso de apreciar, en pocos años, el movimiento de traslación de sus astros alrededor del baricentro común del sistema (Proción, Sirio, 70 Ophiuchi) y, a veces, también el desplazamiento real del sistema a través del cielo, como en el caso de 61 Cygni, 70 Ophiuchi o 17 Lyrae.

Entre los sistemas dobles más comunes, amplios, fáciles de capturar, resolver y medir con toda comodidad, puedo mencionar los siguientes:

- 61 Cygni (ADS 14636) situada en la posición AR: 21h 06 m y Dec.: 38° 45' (2000): este sistema binario, distante sólo 11,1 años-luz, es muy famoso por haber sido uno de los primeros cuya distancia a la Tierra fue conocida (Bessel, 1838). Formado por dos estrellas enanas rojas (espectros K5V y K7V), la componente B gira en torno a la A en un período de 653 años. Se da la circunstancia de que su movimiento aparente de desplazamiento, descubierto por G. Piazzi en 1782, es elevado (5,22" al año), con lo cual una CCD como la mía puede poner de manifiesto este movimiento en sólo 6 meses o menos, tomando como referencia las estrellas vecinas (mostradas en esta imagen), situadas mucho más distantes y que podemos tomar como marco de referencia: se nos aproxima a 38 millas por segundo.

- Struve 1850 (ADS 9277) situada en la posición AR: 14h 28 m y Dec.: 28° 17' (2000), fue medida por primera vez en 1832 por Struve; se encuentra formada por un astro primario blanco (espectro A0) de magnitud 7,0<sup>a</sup> y otro secundario del mismo espectro y color con magnitud 7,4<sup>a</sup> separados por una distancia cómoda de 25,6" con un AP de 262° (1958); la distancia entre ellas y las magnitudes tan similares favorece la captura y resolución en cortas integraciones. No se han registrado cambios en estos elementos desde su descubrimiento; pese a todo con mi CCD yo mido 25,5" en 1996. Quizá sea un par de perspectiva y no un sistema binario orbital, pero para esto sería preciso efectuar mediciones más a menudo durante un período de varios años más...
- delta Bootis (Struve I 27), situada en la posición AR: 15h 15m y Dec.: 33° 19' (2000): fue medida por primera vez en 1835 por Struve (aparece con el número 27 en su Primer Suplemento de su célebre catálogo) también llamada ADS 9559 en el Catálogo de Aitken; está formada por una estrella primaria amarilla (espectro G8III) de magnitud 3,47<sup>a</sup> y una secundaria amarillenta (espectro K0) de magnitud 8,7<sup>a</sup> separadas por una distancia de 105" con un ángulo de 79°: yo mido 106" en 1996. Es bastante fácil capturar y resolver dada su separación, aunque no debería serlo tanto por sus magnitudes tan dispares; se aproxima a nosotros a 12 km/s y dista unos 140 años-luz; ambos astros se desplazan juntos por el cielo a nada menos que 0,15" por año. Una fácil e interesante pareja incluso para un ocular mediano en un telescopio pequeño.
- mu Bootis (Struve I 28), situada en la posición 15h 24m, 37° 23' (2000): fue descubierta en 1826 y medida por primera vez en 1834 por Struve (es la número 28 del Primer Suplemento) llamada también ADS 9626; formada por una primaria A de magnitud 4,3<sup>a</sup> (tipo F0) y una doble muy cerrada (S 1938) de magnitud conjunta 6,5<sup>a</sup> formada por una estrella B de magnitud 6,98<sup>a</sup> y una estrella C de magnitud 7,63<sup>a</sup> separadas por 2,3" con AP 9° (1996), que no llegó a desdoblarse del todo. La distancia A-BC era de 108" con AP 171° (1956); yo mido 107" en 1996. B y C son estrellas similares al Sol con un período orbital de casi 260 años; se aproxima a unos 9 km/s.



**61 Cygni.**

### **Sistemas dobles cerrados.**

Dentro de los sistemas dobles encontramos algunos que, por su separación reducida y diferencia de magnitudes notorias, son ya difíciles de capturar y estudiar o incluso del todo imposible para este instrumento; algunos de ellos son sistemas cerrados de órbita rápida (eta

Coronae Borealis con 42 años, o tau Cygni con 50 años), aunque otros poseen períodos de varios siglos (epsilon Lyrae, con 1,165 y 585 años respectivamente). Ejemplos pueden ser:

- zeta Corona Borealis (Struve 1965), situada en la posición 15h 39m, 36° 38' (2000): denominada también ADS 9337 la primera medición data de 1829; está formada por un astro principal blanco (espectro B6) de magnitud 5,1<sup>a</sup> y otro también blanco (espectro B7) de magnitud 6,0<sup>a</sup> separados por 6,3" con AP 305° (1973); en 1996 yo mido 6,33". El movimiento aparente del sistema es tan lento, que desde su descubrimiento apenas si se han separado 0,3" y girado +4°. No es difícil para mi CCD dado el brillo tan similar y la buena separación entre los componentes, aunque el estudio no puede efectuarse con la comodidad de sistemas anteriores.
- epsilon Bootis (Struve 1877), situada en la posición 14h 45m, 27° 04' (2000), fue descubierta por Struve en 1829. Está formada por un astro amarillento (espectro K0 II) de magnitud 2,5<sup>a</sup> y otro de magnitud azul-verdoso de 5<sup>a</sup> (espectro A2) separado sólo por 2,8" con AP de 339° (1971), yo mido 2,68" en 1996: muy difícil para mi equipo dado el brillo de la primaria y la corta separación entre ambas. Ambas componentes se aproximan hacia nosotros a unos 16 km/s y forman un par orbital real. No es fácil de ningún modo para la CCD ya que la separación es muy reducida: incluso con 4 metros no es fácil tomar buenas exposiciones, debido a la turbulencia atmosférica.

### Sistemas múltiples.

Cuando en un sistema estelar (sea orbital o de mera perspectiva) nos encontramos con más de dos astros, tendemos a denominarlos genéricamente estrella doble, pese a que el nombre correcto sería sistema múltiple: hay ejemplos de tres estrellas (pi Bootis o sigma Coronae Borealis, de cuatro estrellas (el Trapecio o epsilon Lyrae) o incluso de cinco componentes (17 Lyrae una ellas); dependiendo del brillo de cada estrella y de la distancia a la primaria, serán sistemas resoluble total o parcialmente.

Veamos algunos ejemplos de sistemas triples, cuádruples o quintuples.

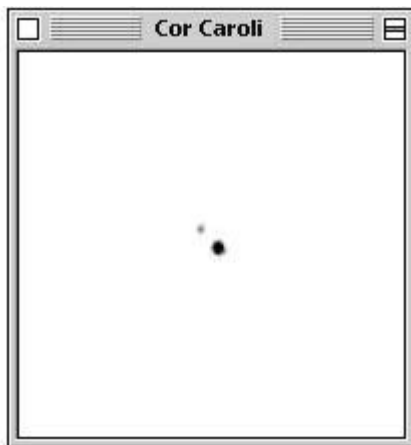
- pi Bootis (Struve 1864), sistema triple situada en la posición AR: 14h 40m y Dec.: 16° 25' (2000), fue descubierta por Struve en 1830; en aquella época los separación medida fue de 5,8" con un AP de 99°, estos datos referidos a 1982 eran 5,6" y 111°: se trata de un sistema orbital con periodo muy largo formado por una primaria azulada (espectro A0) de magnitud 4,9<sup>a</sup> y una secundaria naranja de magnitud 5,8<sup>a</sup>. Una tercera componente, de magnitud 10<sup>a</sup>, puede observarse a 127" con AP 162°: yo mido unos 126" en 1996.

La diferencia de brillos entre ellas (casi 5 magnitudes) impide que, en una única toma, aparezcan claramente las tres componentes: con exposición reducida separamos A-B pero no aparece C, con una exposición más larga aparece C pero A-B se funden en un borrón. El sistema dista unos 1,630 años-luz de nosotros y sus componentes principales se nos acercan a 1 y 7 km/s respectivamente.

- sigma Corona Borealis (Struve 2032), situada en la posición 16h 14m, 33° 52' (2000): descubierta por Struve en 1827 se encuentra formada por dos astros amarillos (espectros G0V y G1V), distantes unos 70 años-luz, de magnitudes 5,58<sup>a</sup> y 6,59<sup>a</sup> separados por una distancia de 7" con un AP de 235° (1996); yo mido 6,81". Es fácil para la CCD dada la pequeña diferencia entre ellas y la cómoda distancia; no lejos de la primaria (unos 71" con AP 85° en 1933) aparece un tercer astro (en realidad es una cuarta componente D: la tercera estrella C --llamada LTT 14836-- es una enana roja de magnitud 13,1<sup>a</sup> a 8,7") de magnitud 10,6<sup>a</sup> que se captura con bastante facilidad a costa de sobreexponer el par principal. La distancia según mis imágenes actuales ha subido a los 79", un incremento de 8" en 63 años; el AP había rotado de 1836 a 1933 en -4°.

Como suele ser habitual en componentes de brillo muy desigual (7 magnitudes), la tercera componente *C* sólo aparece cuando se sobreexpone la imagen, con lo cual el par *A-B* queda fundido en un único borrón. El período *A-B* se calcula en 1.000 años!

- 17 Lyrae (Struve 2461), situada en la posición 19h 07m, 32° 30' (2000): este curioso sistema fue medido por primera vez en 1830 y es prácticamente desconocido por el aficionado, pese a ser muy interesante; lo conocí por casualidad en 1996 al cubrir, de modo rutinario, mi cuota de estrellas múltiples en la constelación Lyra. Formado por una estrella principal (*F0V*) y varias estrellas menores (denominadas *B* a *H*), al hacer las comparaciones de rigor con mediciones de otras fuentes (Sky Catalogue 2000) noté que una de ellas (la componente *C*) aparecía en mis tomas más brillante que las demás estrellas, excepto la *A*, por lo cual algo no concordaba: además este astro parecía mostrar un exceso de luz roja a infrarroja, comparando tomas con filtros rojo y azul; la distancia y el AP tampoco era el medido en 1935; al indagar en el Centro de Datos Estelares, de Estrasburgo, me informaron que se trata de una enana roja (llamada Kuiper 90A) de espectro M5, situada a 26,95 años-luz, cuyo rápido desplazamiento (1,225" al año) estaba próximo al que yo había determinado con mi rudimentario equipamiento (1,097") comparando la posición medida con datos antiguos. Aunque no es fácil apreciar cambios en su posición, por la reducida velocidad de desplazamiento, es posible al comparar tomas separadas por dos o tres años, o medir muy cuidadosamente la distancias a otros astros del campo.
- theta 1 Orionis o Trapecio (Struve 748): situado en pleno corazón de la Nebulosa de Orión, en A.R.: 05h 35m, -05° 23' (2000), este conjunto de astros jóvenes (tipos espectrales B2 a B5) puede ser resuelto en sus 4 componentes principales con facilidad: la CCD tiene algunas dificultades en captar correctamente sus brillos ( $A=6,7^a$ ,  $B=7,9^a$ ,  $C=5,1^a$  y  $D=6,7^a$ ), dado que se encuentra inmerso en una nebulosa brillante rojiza. Una cuarta componente (*E*), de magnitud 11,1<sup>a</sup>, es ya muy difícil para mi cámara, al no sobresalir casi nada sobre el brillante fondo nebuloso y encontrarse a sólo 4,1" de la componente *A*; la sexta componente *F* brilla con magnitud 11,5<sup>a</sup> y está a 4" de *C*. Una séptima componente (*G*), de magnitud 16<sup>a</sup> (fuera ya del alcance de mi equipo), puede verse a 7,4" de *C* en el seno del hipotético cuerpo del "trapecio". En esta imagen se aprecia, además del Trapecio, la brillante estrella doble  $q_2$  Orionis (Struve I 46) resuelta en sus dos componentes: 5,2 y 6,5 mag. a 52,5" así como la parte más densa de la nebulosidad, que envuelve completamente el sistema múltiple.



**Cor Caroli.**

## **Conclusión**

Estos pocos ejemplos, escogidos entre varios cientos más, demuestran claramente que una sencilla cámara CCD y un telescopio modesto pueden lograr buenos resultados, tanto estéticos como observacionales, a poco que se emplee cuidado en las tomas. Una cámara de mayor calidad, filtros fotométricos, un duplicador de focal y el programa de tratamiento de imagen adecuado pueden obtener todavía más frutos.

El lector interesado en estos trabajos puede encontrar más información práctica en el *Burnham's Celestial Handbook*, el *Sky Catalogue 2000.0* (tomo II), la "Guía del Firmamento" (J. L. Comellas) o la sección que, mensualmente, escribe mi compañero Francisco Manuel Rica en "Tribuna de Astronomía".

**Francisco A. Violat Bordonau**

Asesores Astronómicos Cacereños

[violat@olanet.net](mailto:violat@olanet.net)

[fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)