



Observación de estrellas dobles

La observación coordinada de estrellas dobles es otro de los trabajos de investigación más asequibles al aficionado, y un campo en el cual siempre es posible aportar datos de interés. Los grandes catálogos elaborados por los observatorios profesionales, pese a su perfección, adolecen de numerosas «lagunas» que pueden ser satisfactoriamente cubiertas mediante las observaciones procedentes de los astrónomos amateurs.

La observación de estrellas dobles resulta apropiada para aquellos aficionados que encuentran dificultades en otros tipos de observaciones, ya sea por razones de espacio (observatorio en pleno casco urbano, limitación de campo útil), o por razones de tiempo (escasa o desigual disponibilidad de horario). Pueden localizarse una buena cantidad de estrellas dobles cualquier noche despejada, a cualquier hora y en cualquier dirección, circunstancia que no se da en otros objetos celestes. Por otra parte, no es preciso seguir un calendario o un horario rígidos, como para otras observaciones. Se obtiene el mismo rendimiento trabajando en estrellas dobles una noche completa, durante doce horas, que haciéndolo en doce noches distintas, durante una hora cada vez, espaciadas a lo largo del año.

El número de estrellas dobles que pueden observarse es muy grande. Actualmente se encuentran registradas más de cien mil, y se estima que este número es susceptible de nuevos incrementos, sobre todo en lo que respecta al hemisferio sur, el menos explorado sistemáticamente. Tan gran número de estrellas dobles (aunque, por supuesto, sólo una pequeña proporción es asequible a instrumentos de baja potencia) hace que sea relativamente fácil encontrar una binaria al azar. Aproximadamente una de cada cincuenta estrellas es una doble al alcance de un telescopio refractor de 75 mm de abertura de buena calidad o de un reflector Newton algo mayor. Tal abundancia no se registra con ningún otro tipo de objetos celestes dignos de atención. A continuación se ofrecen una serie de consideraciones previas a las instrucciones para la observación:

a) Puesto que la capacidad de desdoblamiento depende de la abertura del objetivo del telescopio, sea refractor, reflector o catadióptrico, es importante que el observador disponga de un telescopio con la mayor abertura posible. De todas formas hay dobles muy «fáciles», asequibles a cualquier telescopio, cuya observación nunca es despreciable. Si se quiere un mínimo de utilidad en la homologación de los datos, es indispensable que el instrumento esté montado en ecuatorial y que disponga de un medio para medir las distancias angulares (uno, o mejor varios oculares provistos de retículo, micrómetro, CCD, etc.).

b) Es igualmente imprescindible un catálogo para conocer los objetos a observar y programar previamente las observaciones. El debutante puede comenzar con estrellas dobles que se relacionan en catálogos estelares de tipo general o en manuales de observación, si bien para trabajos más exhaustivos requerirá un catálogo especializado como, p.e., el de José Luis Cornelias, («Catálogo de estrellas dobles visuales», editorial Equipo Sirius, Madrid). Para quien se especialice en el estudio de estrellas dobles existen catálogos profesionales muy completos que incluyen astros en su mayor parte inobservables con instrumentos modestos (p.e., «The Washington Double Star Catalog» en: <http://ad.usno.navy.mil/wds/>). Si se dispone de instrumentos de cierta envergadura (refractores de 150 mm o mayores, reflectores de 200, 300 mm o más), y quieren

observarse pares situados al límite de sus posibilidades, es lógica la consulta en esos catálogos más completos.

c) Los observadores que no estén avezados en la especialidad de las estrellas dobles necesitan comenzar por las más sencillas y conocidas. Luego, una vez adquirida cierta experiencia, pasarán a las que se encuentran en el límite de posibilidades de su instrumento.

Quienes deseen llevar a cabo un trabajo útil, deben procurar programar sus observaciones con antelación en vistas a obtener información de aquellos sistemas dobles que sean «dudosos» o «abandonados».

El primer caso suele indicarse en los catálogos o puede inferirse de ver parámetros no coincidentes en fuentes de información distintas. Un solo dato «nuevo» puede muchas veces permitir la reconstrucción de una órbita, resolver la naturaleza de un sistema o responder a una pregunta que dura siglos. Estos descubrimientos están casi siempre reservados a los profesionales, pero a veces los realizan aficionados. Es también cuestión de suerte y de constancia.

Las estrellas dobles «abandonadas» suelen ser pares que han sido dados de baja en la programación de los especialistas por suponerse que son ópticos o fijos y no experimentan cambios. En ocasiones al cabo de unos años resulta que han sufrido variaciones sorprendentes y reservan a veces grandes sorpresas. En este sentido es interesante repasar estrellas que se daban como fijas en relaciones antiguas.

En ocasiones hay estrellas dobles que hace más de cien años que no han sido observadas. Una razón puede ser que su descubridor no diera correctamente las coordenadas de la estrella y ésta se haya perdido.

Pares ópticos y pares físicos

Pares ópticos

Desde el punto de vista puramente óptico, el único criterio que existe para considerar a un par de estrellas como doble es el hecho de que se encuentran «llamativamente próximas», esto es, a una distancia angular muy inferior a la normal entre dos estrellas de la correspondiente magnitud, sin que medie entre ellas ninguna relación física, o sea que por efecto de perspectiva pueden parecer próximas dos estrellas que, en realidad, se hallan muy distantes entre sí. La costumbre concede incluso la categoría de «dobles» a algunos pares que pueden separarse a simple vista, como Mizar y Alcor (ζ Ursa Majoris), ω Scorpii, ϵ^1 y ϵ^2 Lyrae, etc., aunque la resolución normalmente sólo se consigue mediante instrumentos. En este sentido suele admitirse como doble aquella estrella que no puede desdoblarse a simple vista y sí con medios ópticos.

Sin embargo, la distancia no es la única variable a tener en cuenta: también lo es la magnitud de las componentes. Dos estrellas de 1ª magnitud que disten angularmente 5', se encontrarían «llamativamente próximas»; por el contrario, una distancia de sólo 30", sensacional para dos astros de 1ª magnitud, podría considerarse casi normal para otros dos de la 12ª magnitud, de suerte que tal conjunto no merecería en absoluto la consideración de «estrella doble».

No siempre las estrellas múltiples están compuestas por parejas. Es perfectamente sabido que hay estrellas triples, cuádruples y hasta séxtuples. Teniendo en cuenta que existen algunos cúmulos estelares cuyo número de componentes es del orden de la decena, hay que reconocer que no existe un límite claro entre una



estrella múltiple y un cúmulo pobre. De todas formas, no suele hablarse de un orden de multiplicidad superior al séxtuple. El número de estrellas triples es unas cincuenta veces menor que el de dobles; los órdenes sucesivos (cuádruples, quintuples, etc.) son progresivamente menos abundantes.

Teniendo en cuenta la relación entre brillo aparente y magnitud de una estrella, así como la abundancia relativa de estrellas para cada magnitud, puede considerarse que el límite de distancia entre dos estrellas, a fin de que el conjunto pueda considerarse como doble, es inversamente proporcional al producto de las magnitudes. En este caso, sólo queda fijar el valor límite, que ha de ser necesariamente convencional, pero, una vez establecido, es constante.

Llamando DM a la distancia máxima que ha de separar a dos estrellas para que puedan considerarse dobles, y K a un valor constante, tenemos

$$DM = \frac{K}{m_A \cdot m_B} \quad [1]$$

siendo m_A y m_B las magnitudes de las estrellas en cuestión.

De acuerdo con esta fórmula, y concediendo a K el valor 1.000 (que parece bastante razonable para una DM expresada en segundos de arco) tendremos los límites de separación para los pares de estrellas de componentes A y B, cuyas magnitudes, a modo de ejemplo, pueden ser las que se indican en la tabla I. Estas distancias máximas coinciden sensiblemente con las admitidas por la costumbre para pares de astros de las magnitudes que en cada caso se indican.

Naturaleza física

Hasta ahora hemos tratado de estrellas dobles en el sentido puramente visual. En principio, este es el único aspecto que define una «estrella doble» y su belleza o espectacularidad son independientes de su naturaleza física. Sin embargo, al astrónomo o al aficionado le interesa inmediatamente conocer esa naturaleza. En efecto, tal como se ha dicho antes, muchas estrellas aparentemente dobles lo son tan sólo por un efecto de perspectiva. En realidad, la componente B puede distar de la componente A más que ésta de nuestro Sistema Solar: todo consiste en que las direcciones visuales de ambas estrellas sean sensiblemente paralelas. Las dobles puramente visuales se distinguen por el movimiento propio rectilíneo e independiente una de otra componente. Aunque pueden ofrecer pares relativamente espectaculares, no tienen el menor interés para el astrofísico. Cumplen, sí, una misión en astrometría permitiendo medidas muy precisas del desplazamiento

relativo de sus miembros sobre la esfera celeste.

Un interés incuestionablemente mayor reúnen los pares físicos o «sistemas». Ambas componentes están ligadas entre sí por la fuerza de sus respectivas atracciones, y se mueven en torno a su centro común de gravedad, describiendo órbitas elípticas, parabólicas o hiperbólicas (estas dos últimas formas son mucho menos conocidas, pero se calcula que deben existir en un número nada despreciable). Los sistemas físicos ofrecen casi siempre las parejas más espectaculares, y no son en el firmamento tan escasos como muchos aficionados piensan. Aproximadamente, la mitad de los pares limitados por las distancias máximas que se precisan en la fórmula [1] son sistemas físicos u ofrecen posibilidades razonables de serlo.

Sin embargo, la naturaleza orbital sólo ha sido comprobada en un número limitado de casos, que no llega al millar. En otros miles de casos hay la certeza de que se trata de sistemas físicos, pero no ha sido posible calcular su órbita ni, dada la lentitud de su revolución, se podrá completar tal cálculo en el plazo de muchísimos años.

Son, pues, muchos los pares de estrellas que mantienen la misma posición relativa que cuando fueron descubiertos hace siglos (por ejemplo, las componentes A y B de γ Andromedae) y, sin embargo, ambas estrellas se desplazan en el firmamento a idéntica velocidad, como si marcharan paralelas. Este aparente paralelismo no es más que la consecuencia del predominio del movimiento propio del sistema sobre el orbital, que ha de ser de muy largo periodo. Hay pares cuya revolución completa se estima que debe operarse en periodos del orden de los cien mil años. Dentro de los sistemas físicos tenemos, pues, los «orbitales» y los «fijos» o «relativamente fijos», es decir, de desplazamiento paralelo. Entre ambos tipos no existe, en realidad, otra diferencia que la duración del periodo de revolución.

Como ya es sabido, los sistemas dobles han permitido un avance considerable a la astrofísica. Desde el momento en que la distancia que nos separa de ambas componentes es sensiblemente la misma, la relación entre sus magnitudes visuales es proporcional a sus magnitudes absolutas. Al mismo tiempo, el cálculo de las órbitas permite hallar la relación entre las masas de una y otra componente.

Tipos de sistemas dobles

Los pares físicos se clasifican, según el método que hace posible su observación, en visuales, eclipsantes y espectroscópicos. Los primeros son aquellos cuyas componentes pueden separarse mediante la observación directa, que es el caso que tratamos aquí. Los eclipsantes son los que se hacen perceptibles por la ocultación, total o parcial, de una de sus componentes por la otra: tal es el conocido caso de Algol (β Persei), o de β Lyrae; su estudio se realiza por métodos fotométricos y, por lo tanto, entra dentro de la especialidad de las estrellas variables. El número de dobles eclipsantes debe ser muy pequeño con respecto al número total de dobles en el firmamento, ya que para que el eclipse se produzca, es preciso que el plano de la órbita del sistema sea exacta o casi exactamente paralelo a nuestra visual; y, sin embargo, el número de dobles eclipsantes es relativamente elevado (se conocen cerca de 4.000), lo que induce a suponer que las estrellas dobles son mucho más abundantes en el Universo de lo que nos hace suponer la observación visual. Como es fácil imaginar, los eclipses se producen con mayor frecuencia en estrellas gigantes.

Tabla I Separaciones máximas para considerar par óptico a dos estrellas en relación a sus magnitudes

Magnitudes		Distancia aparente DM
Estrella A	Estrella B	
1	1	1000"
2	3	166"
2	4	25"
5	5	40"
5	8	25"
10	10	10"

Las dobles espectroscópicas son las que se descubren como tales mediante el análisis espectral. En la mayoría de los casos la duplicidad de componentes se revela en el movimiento alternativo de aproximación-alejamiento, pero también son frecuentes los casos de espectros compuestos que denuncian el carácter doble de la estrella en cuestión. Actualmente la interferometría es otro medio muy eficaz para la determinación de pares de componentes muy próximas entre sí.

Realización de las observaciones

La observación de una estrella doble proporciona una serie de valores —aparte de su posición exacta en el cielo— que sirven para identificarla. Algunos de estos valores varían, sin embargo, con el tiempo, y el estudio de ese proceso es justamente el motivo de mayor interés de la observación.

Los parámetros que se miden en toda observación de estrellas dobles son, básicamente, tres: la magnitud de las estrellas componentes, la distancia angular entre ellas y el ángulo de posición del eje que las une. A estos elementos suele añadirse el índice de color, puesto que al tratarse de estrellas próximas entre sí resulta fácil determinar sus diferencias cromáticas.

En primer lugar, es preciso localizar la estrella doble en la esfera celeste. En algunos casos fáciles, puede encontrarse «a ojo», por tratarse de un astro visible a simple vista, o de posición inequívoca. Sin embargo, el gran número de estrellas dobles hace que deban extremarse las determinaciones de la posición cuando se buscan astros más débiles, dado que podrían producirse confusiones. El aficionado debe estar acostumbrado a buscar objetos en el firmamento y, por tanto, no necesita aquí instrucciones sobre el particular.

Mediciones visuales

Magnitudes de las componentes (m_A , m_B)

Una vez hallado el par en cuestión, es preciso ante todo la determinación de sus magnitudes. Los valores suelen permanecer invariables, pero no siempre, y este aspecto puede ser de importancia. Tampoco es preciso insistir aquí sobre los métodos de determinación de magnitudes estelares puesto que ya se especifica en las instrucciones de estrellas variables y, además, los aficionados suelen utilizar los sistemas que mejor se adaptan a sus propios medios instrumentales.

Hay que tener en cuenta que en una estrella doble, más importante que la magnitud real de ambas componentes, es la determinación de la diferencia de magnitudes entre ellas, dato relativamente fácil de obtener con cualquiera de los diversos métodos.

Es importante determinar la magnitud de las componentes cuando se sospecha que una de las dos

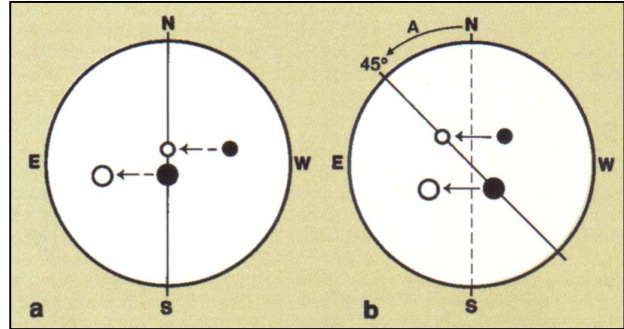


Figura 2 - a) Movimiento aparente de las estrellas para calcular la distancia mediante el retículo. b) Orientación del retículo en el caso de que las estrellas estén en la línea N-S o próximas a ella. El ángulo A (45° en la figura) es arbitrario y se escogerá según la posición de las estrellas.

estrellas es variable o cuando difieren en distintos catálogos. Puede ser un medio para descubrir nuevas variables, sobre todo de corta amplitud o bien de muy largo plazo.

Existe una propensión física a que las componentes de un sistema doble sean de magnitudes parecidas (estadísticamente se demuestra que son más abundantes las de magnitudes próximas entre sí que las muy dispares), aunque lo normal es que una de las estrellas *aparezca* más brillante que la otra. La más luminosa se considera siempre la principal, denominada A, y la menos, la secundaria, o B (fig. 1). Si el grupo es triple, tendremos principal, secundaria y terciaria, según el orden de sus magnitudes, o bien A, B y C, y así sucesivamente. En ocasiones se anotan componentes de segundo orden, designadas por letras minúsculas, (a, b, c) para estrellas de magnitud muy inferior, o cercanas al grupo, que pueden servir de puntos de referencia. Cuando las dos componentes de un par son exactamente iguales en magnitud, se toma generalmente como A, o principal, la más oriental.

Distancia angular (D)

Es la separación entre las dos componentes y, junto con el ángulo de posición, son los datos más relevantes de la observación puesto que son los elementos que se precisan para la determinación de las órbitas reales. Son también los datos más complejos de obtener puesto que no valen las estimas aproximadas; cualquier error hace perder a la observación todo su valor científico y, aunque la experiencia permite también sorprendentes aproximaciones por estima, es necesario proceder a mediciones muy exactas.

La distancia angular o, simplemente, la «distancia», se mide generalmente en segundos de arco, incluso

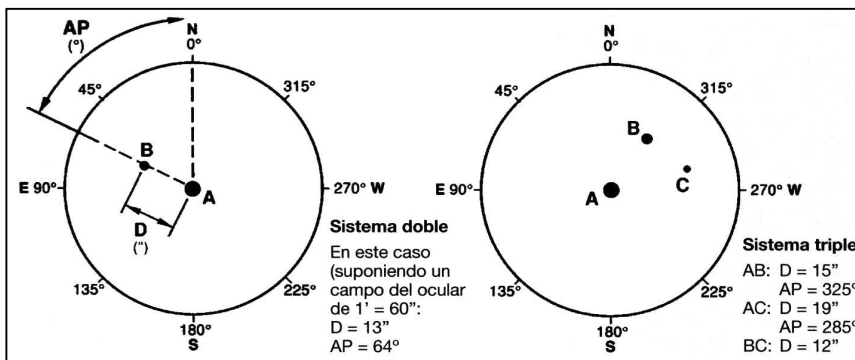


Figura 1 - Ejemplo de sistemas doble y triple, con la determinación del AP (ángulo a partir del polo norte y hacia el este) y de la distancia aparente entre las estrellas componentes (D).

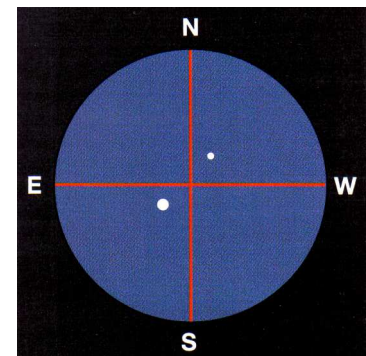


Figura 3 - Retículo iluminado simple. Una vez colocado en el ocular debe orientarse de acuerdo con los puntos cardinales.



cuando las componentes distan entre sí más de un minuto. La separación de dos estrellas muy próximas es uno de los «test» de definición de imagen más utilizados por los observadores que deseen comprobar la eficacia de un telescopio. Sin embargo, existe un límite, hacia el orden de la décima de segundo (0"1), que difícilmente puede rebasarse, por poderoso que sea el instrumento, debido al «límite» que ofrece la atmósfera terrestre.

En estrellas dobles, no hay otra distancia que la AB; en las triples, lo normal es enunciar AB y AC; también BC cuando esta distancia es menor que las otras dos (fig. 1).

Ángulo de posición (AP)

Este ángulo se mide de acuerdo con la diferencia que existe entre la dirección AB (principal-secundaria) y la dirección de la meridiana, o norte-sur. No es preciso insistir que para efectuar esta medición, el telescopio debe poseer montura ecuatorial. Supuesto que la imagen de un par o de un grupo de estrellas aparece invertida en el ocular, conviene tener muy en cuenta la orientación que debe darse al círculo graduado a través del cual se determinará el ángulo. Según sea la disposición óptica del telescopio la imagen se invertirá de arriba a abajo, pero también es posible que de derecha a izquierda (efecto espejo).

Para conocer la orientación se mira a través del telescopio una estrella y se mueve ligeramente el instrumento hacia el norte; la dirección que tomará la estrella señalará el sur dentro del campo del ocular. Moviendo el telescopio al este se verá la dirección contraria.

La dirección del AP la marca siempre la secundaria, en tanto que la principal se supone ocupando el origen. AP es de 0° cuando la secundaria está exactamente al N de la principal; 90° cuando está al E; 180° cuando está al S, y 270° cuando está al W. Suele ser suficiente la determinación en grados, aunque sería insuficiente una menor precisión.

Determinación de la distancia angular y del ángulo de posición

Los telescopios de los aficionados suelen carecer de accesorios adecuados para medir distancias angulares y ángulos de posición de las imágenes, por lo que vamos a dar aquí una breve descripción de los sistemas más idóneos para estrellas dobles.

El instrumento tradicional para la medición visual de la distancia aparente y del ángulo de posición en estrellas dobles era el micrómetro, aunque hoy día la tecnología CCD lo ha suplido con ventajas.

El micrómetro consiste en una caja rectangular dentro de la cual se desplaza un pequeño carro que mueve un retículo iluminado (hilos delgadísimos) situado en el foco del ocular. Otro retículo fijo sirve de punto de referencia. El movimiento del carro se regula y mide mediante un tambor graduado, con lo cual se obtienen valores muy precisos de las separaciones entre estrellas. Todo el conjunto gira para determinar la orientación del retículo y, con ello para medir el ángulo de posición.

Ocular con retículo

El procedimiento más sencillo y, por ello, el más generalizado entre los aficionados, es el uso de un simple ocular provisto de un retículo fijo que puede adquirirse en el mercado de accesorios de telescopios. Va provisto de una pequeña lámpara que se ilumina mediante una diminuta pila eléctrica; suelen tener un regulador de la intensidad luminosa. Son los más convenientes (figura 3).

Luego es preciso graduar el ángulo de giro (para ello es indispensable que la montura del telescopio sea ecuatorial). Puede colocarse un círculo graduado de metal, o incluso cartulina, solidario al tubo del telescopio, en torno al orificio del portaocular, o bien en el propio ocular, trazando una muesca en el elemento no graduado (el ocular o el tubo, según los casos) para que sirva de punto de referencia. Así se podrá medir el ángulo que se describe al rotar el ocular a partir de un punto cero. Téngase en cuenta que cuando el portaoculares es de enfoque helicoidal (mediante el giro de todo el cuerpo) en vez de cremallera, el procedimiento no es útil hasta que se haya enfocado la imagen; a partir de este momento podrá procederse a colocar el punto cero del círculo graduado.

Para fijar el punto cero se hace girar el ocular de modo que el hilo quede exactamente en la posición E-W: se encontrará dicha posición en el momento en que una estrella ocultada por el hilo parece deslizarse por él, al seguir su movimiento de este a oeste en el campo (con montura ecuatorial y el motor de seguimiento parado). Entonces se tendrá determinada exactamente la dirección de los ángulos de posición 90/270°. Haciendo girar el ocular exactamente un cuarto de vuelta (que se contará por el círculo graduado), el hilo será paralelo a los ángulos de posición 0/180°. Los valores intermedios pueden hallarse fácilmente. Para trazar los valores del círculo graduado, téngase en cuenta el esquema de la figura 1, aunque completándolo con subdivisiones de hasta un grado.

Para la determinación de la distancia aparente entre las componentes, si se dispone sólo del sistema del ocular con un solo hilo se hace que sean las estrellas, con su movimiento aparente, las que midan su propia distancia. Para ello es preciso colocar el hilo en dirección N-S (o sea AP = 0/180°) y cronometrar en segundos el tiempo que media entre el eclipse de una y otra estrella por el hilo (figura 2-a).

La distancia entre las dos componentes de una estrella doble viene dada por la fórmula:

$$D = \frac{15 \cdot t \cdot \cos \delta}{\text{sen} AP} \quad [2]$$

en la que D es la distancia, t el tiempo transcurrido entre los eclipses de una y otra estrella por el hilo, δ la declinación de la estrella, y AP el ángulo de posición, previamente medido. Si se cuenta el tiempo en segundos, la distancia vendrá expresada en segundos de arco.

Como puede comprobarse fácilmente, la fórmula no es aplicable cuando AP vale 0/180°, o valores parecidos. En tal caso, el eclipse de ambas componentes sería simultáneo o casi simultáneo. Es necesario entonces utilizar otra fórmula, algo más compleja, pero extraordinariamente precisa, siempre que lo permitan las condiciones del campo:

Se hace girar el ocular —y con él el hilo— en el sentido en que se mide el AP, es decir, en dirección N-E, tanto como lo permita la posibilidad de eclipse de las dos componentes dentro del campo, sin mover el telescopio (fig. 2-b). Se mide el ángulo en que se ha hecho girar el ocular, como si se tratara de determinar el ángulo de posición, ángulo arbitrario al que llamaremos A. Se cronometra el tiempo entre eclipses y se aplica la fórmula:

$$D = \frac{15 \cdot t \cdot \cos \delta}{\text{sen}(A - AP) \cdot \text{tg} A} \quad [3]$$



Como es lógico, el ángulo arbitrario no puede ser nunca igual a 90° / 270°; en tal caso, tg A tendría un valor infinito y el eclipse no se produciría jamás.

Conviene repetir las mediciones varias veces para compensar estadísticamente los errores. Si hay diferencias, deben promediarse los resultados.

Índice de color

Uno de los rasgos más bellos de las estrellas dobles es el contraste cromático entre las componentes. Los colores celestes son de una suavidad y delicadeza sin igual, pero difícilmente pueden comprobarse sin la presencia de otro objeto luminoso que sirva de término de comparación. Por eso las estrellas dobles constituyen un caso excepcional de probabilidades de contraste de colores. Pocas veces los colores de ambas componentes son idénticos; tan sólo ocurre cuando se trata de componentes gemelas. Si las magnitudes son iguales, siempre, por supuesto, que el par sea físico— hay un noventa y nueve por ciento de probabilidades de que los colores sean iguales también. Dentro de los pares observables con instrumentos de aficionado, es mayor el número de casos en que la estrella principal está más cerca del rojo (o, lo que es lo mismo, que la secundaria está más cerca del azul), que el caso inverso.

Para la determinación del índice de color se recomienda la utilización de filtros suaves de seis colores, aunque también resultan especialmente prácticas las bandas (de cristal o de plástico) coloreadas con los tonos del espectro que se utilizan para la exacta medida de los colores en fotografía. En este caso, corriendo la banda sobre el ocular puede precisarse el punto en que el brillo de la estrella alcanza su máximo.

El sistema de filtros, aunque no es utilizable para estrellas muy débiles, permite una precisión mucho mayor que la apreciación visual. En ésta el astrónomo tropieza con dos grandes dificultades de tipo subjetivo: **1)**, el ojo humano tiende a ver un punto luminoso tanto más azul cuanto más débil sea su magnitud. **2)**, es normal la tendencia a ver los colores complementarios: la estrella secundaria blanca de un sistema en el que la principal sea anaranjada parecerá invariablemente verde. Algunos observadores recomiendan, para evitar estos efectos ópticos, ocultar una de las componentes por medio de un hilo del retículo. Sin embargo el sistema, aparte de no ser posible en muchos casos, por ocultación incompleta o sólo momentánea, no ofrece garantías, ya que la «memoria visual» retiene la anterior imagen y sigue proporcionando un efecto de contraste. El sistema de filtros, supuesta la imposibilidad para el aficionado de un amplio y preciso uso del espectroscopio, es el más seguro y aplicable a un mayor número de situaciones.

En cualquier caso, puede operarse por simple estima visual, siempre que se esté en guardia contra la tendencia psicológica al «azul» de las estrellas secundarias

débiles, y contra la supuesta complementariedad entre principal y secundaria. Se puede «educar la vista» hasta el punto de que un observador avezado raras veces se equivoca.

Para indicar el índice de color puede emplearse la escala arbitraria

-3 a +3, según las equivalencias que se dan en la tabla II.

Pueden establecerse valoraciones intermedias, determinadas estadísticamente de la reiteración de observaciones (Ejemplos: -0,5 = crema; -1,2 = amarillo fuerte, etc.).

Resultados de las observaciones

Toda observación debe ir acompañada de una información complementaria e imprescindible sobre las características del instrumento utilizado, condiciones del cielo y datos personales del autor. En todo comunicado de observación deben haber, pues, los siguientes datos:

• **Denominación de la estrella:** Designación del sistema doble o múltiple según la nomenclatura de alguno de los catálogos más usuales, o bien, si es brillante, con su letra o número de la correspondiente constelación. Si la estrella es débil o desconocida puede indicarse mediante sus coordenadas.

• **Coordenadas:** Posición de la estrella, indicando la época. Preferiblemente 2000.0.

• **Fecha de la observación.**

• **Observador:** Nombre y apellidos del observador, dirección y localidad.

• **Instrumento:** Características del telescopio empleado, amplificación y sistema utilizado para las mediciones angulares.

• **Mediciones efectuadas:** Anotación de los resultados tal como se expresa en el ejemplo de la tabla III.

Mediciones de imágenes

Gracias a la tecnología digital, la medición de los parámetros de estrellas dobles se ha convertido en una tarea sumamente fácil. Imágenes obtenidas con cámaras CCD, fotográficas o webcam pueden permitir, si se han tomado con la distancia focal adecuada, una precisión impensable de obtener visualmente.

Pero antes de empezar deben conocerse las características técnicas del equipo del que se dispone, como es el tamaño del píxel de la cámara y la distancia focal efectiva del telescopio, lo que dará la resolución máxima que se puede esperar. El cálculo puede realizarse mediante la fórmula:

$$resolución = \frac{206.264,81}{f} \cdot p \quad [4]$$

donde *f* es la distancia focal efectiva del telescopio y *p* el tamaño del píxel de la cámara, ambos expresados en las mismas unidades, milímetros por ejemplo. Pero para conocer la distancia mínima a la que debe encontrarse un par también debe tenerse en cuenta el *seeing*, que se puede definir como la anchura a media altura de intensidad de la imagen de la estrella, esto es lo que habitualmente se denomina FWHM (del inglés *full width half maximum*).

Escala	Equivalencia espectral	Color
-3	M, N	Rojo
-2	G5, K	Anaranjado
-1	F, G5	Amarillo
0	A	Blanco
+1	B5, B9	Azulado, verde-azul
+2	B0, B5	Azul
+3	O (W)	Muy azul, apariencia índigo

Magnitud m	Magnitud m'	Distancia D	Ángulo AP	Color I	Notas
A-B	4,9	5,8	5"4	113°	0+1,2



Así, por ejemplo, para un telescopio de 2 m de focal y una cámara CCD SBIG ST8 cuyo píxel es de 9 micras de lado se tendrá una resolución por píxel de 0,93 segundos de arco, pero la separación entre las componentes debe ser de 4 ó 5 segundos de arco como mínimo.

Modo de operar

Es imprescindible emplear un telescopio con una buena montura ecuatorial y que la cámara se encuentre robustamente fijada al telescopio y correctamente orientada en la dirección este-oeste.

Aunque no es absolutamente necesario, sería conveniente emplear un filtro V fotométrico, dado que la sensibilidad espectral que muestran los distintos detectores puede incluso llegar a cambiar la estrella primaria por la secundaria, con lo que habría una inversión en el ángulo de posición (añadir o restar 180°).

Deben realizarse varias tomas, tres como mínimo, a fin de poder promediar los valores obtenidos en cada imagen.

Con el fin de verificar la correcta orientación de la cámara (siempre persisten pequeños errores) es imprescindible la toma de la traza, esto es, una imagen de 60 segundos de exposición a telescopio parado, lo que definirá exactamente la dirección este-oeste. Si el telescopio se detiene unos segundos después de haber empezado la exposición quedará un extremo mayor que indicará sin ningún tipo de duda donde se encuentra el este.

Medición de las imágenes

Es extremadamente recomendable orientar las imágenes antes de hacer las mediciones de forma que el norte se encuentre en la parte superior y el este a la izquierda. Esta orientación inicial simplifica y resuelve muchos problemas que luego pueden surgir en el momento de analizar las imágenes.

Una vez orientadas las imágenes, la primera tarea a realizar es determinar la desviación de la posición de la cámara con respecto a la dirección este-oeste, para ello se pueden emplear programas como **AVIS** (<http://www.sira.it/msb/avis.htm>, gratuito) o **AstroArt** (<http://www.msb-astroart.com/>, comercial) que en su función de *perfil* da el valor del ángulo (figura 4). Otra opción es determinar los píxeles del principio (x_i, y_i) del trazo y del final (x_f, y_f) y calcular el ángulo de la cámara mediante la ecuación:

$$AP_0 = \arctg\left(\frac{y_f - y_i}{x_f - x_i}\right) \quad [5]$$

Con los mismos programas indicados o con otros que permitan determinar centroides debe obtenerse el centro de las estrellas (figura 5). No sirve buscar el píxel más brillante, pues introduce errores en las medidas. Otros programas útiles pueden ser: **IRIS** (<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>, gratuito), **CCDSOFT** (<http://www.bisque.com/Products/CCDSOFT/>, comercial) y otros.

Si los centroides de las estrellas son (x_1, y_1) para la primaria y (x_2, y_2) para la secundaria, la distancia entre ambas componentes se podrá calcular mediante la expresión:

$$d = \left(r_x^2 \cdot (x_2 - x_1)^2 + r_y^2 \cdot (y_2 - y_1)^2\right)^{1/2} \quad [6]$$

r_x y r_y representan los valores de la resolución para cada eje, suponiendo que los píxeles no son cuadrados. Si lo son, ambos valores son iguales y puede obtenerse de la raíz cuadrada.

$$d = r \cdot \left((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2\right)^{1/2} \quad [7]$$

Para calcular el ángulo de posición debe emplearse la fórmula:

$$AP = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) - AP_0 \quad [8]$$

En el cálculo de los ángulos de posición AP y AP_0 debe procederse con sumo cuidado, dado que la función arcotangente es multivaluada en el rango de 0 a 360°, por lo que debe situarse en el cuadrante correcto. Por otra parte, también debe tenerse en cuenta que el origen del ángulo de posición es el norte y que se mide hacia el este.

Para simplificar la tarea del observador, la Agrupación ha confeccionado una hoja de cálculo Excel que permite realizar todos estos cálculos de forma automática. Este formulario se puede encontrar en la parte de la web de la Agrupación a la que sólo pueden acceder los socios.

También existen otros programas que realizan esta tarea, como, por ejemplo, **Reduc** (<http://astrosurf.com/hfosaf/>).

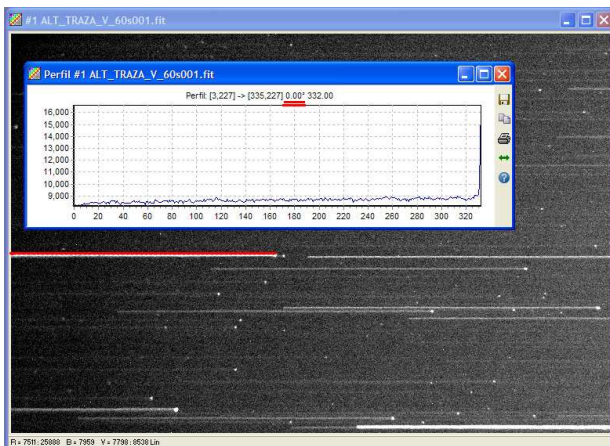


Figura 4 - Imagen de la traza dejada por las estrellas al detener el telescopio. Con la opción *perfil* de AstroArt se puede determinar el ángulo de la traza (valor subrayado en rojo).

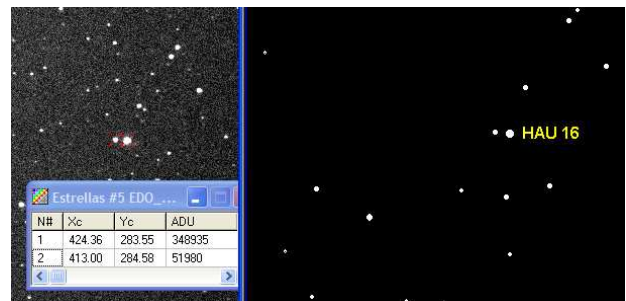


Figura 5 - Imagen de la doble y coordenadas de los centroides estelares obtenidos con AstroArt (izquierda) y carta de comparación obtenida con Megastar (derecha).



ESTRELLAS DOBLES							
CON CCD							
(Los valores en rojo y azul no es necesario entrarlos, se calculan automáticamente)							
Observador:	AAS						
Estrella:	HAU 16						
Fecha:	13/03/08						
DATOS DEL TELESCOPIO							
Diámetro (cm):	50.0						
Focal (mm):	2010	Escala ("/mm):	102.62				
DATOS DE LA CCD							
Marca:	SBIG						
Modelo:	ST8						
Número pixeles:	765x510						
Tamaño pixel:							
x (micras):	18	Resolución ("/pixel):	1.85				
y (micras):	18	Resolución ("/pixel):	1.85				
DATOS DE LA TRAZA							
Ángulo (grados):	-180.00	(medido desde el oeste hacia el sur)					
OBSERVACIONES							
Hora (UT)	t _{exp} (s)	Estrella primaria		Estrella secundaria		Valores calculados	
		x (pixeles)	y (pixeles)	x (pixeles)	y (pixeles)	Separación (")	AP (grados)
19:25:29	30.00	422.48	284.04	411.01	285.10	21.3	84.7
19:26:02	30.00	424.36	283.55	413.00	284.58	21.1	84.8
19:26:35	30.00	425.56	283.07	414.27	284.12	20.9	84.7
19:26:17				Valores medios:		21.1	84.7
				Errores:		0.2	0.1

Figura 6 - Parte para el cálculo de los parámetros de estrellas dobles que puede encontrarse en las páginas exclusivas para los socios de la web de la Agrupación. Datos són reales.