



Observación de asteroides

Hay un considerable número de asteroides cuya luminosidad los hace asequibles a los telescopios de aficionado, desde los más brillantes, que durante su oposición alcanzan la 6ª magnitud, hasta los muchos que hay hasta la 12ª ó 14ª magnitud. Todos se distinguen fácilmente de las estrellas con sólo prestar atención a su movimiento, que puede llegar a ser muy rápido en el caso de los asteroides cercanos, o estacionario en el momento de invertir el sentido del desplazamiento aparente (retrogradación)

La mayor parte de los asteroides se mueven por las zonas próximas a la eclíptica. En todo momento el 75% de los asteroides están dentro de una franja de 15° de anchura centrada en la eclíptica, y los restantes lo hacen a menos de 18°. Sin embargo hay algunas excepciones, como el caso de 2 Pallas que llega a separarse cerca de 40°. Cuando se busca un asteroide la primera referencia es, pues, la eclíptica.

Como sea que los asteroides tienen órbitas bastante más excéntricas que los planetas, la diferencia de luminosidad entre la oposición y las cuadraturas, por ejemplo, es considerable. Interesa, siempre que sea posible, observar un asteroide próximo a la oposición, que es cuando es más brillante, teniendo en cuenta que hay diferencias notables de luminosidad entre las oposiciones perihélicas y las afélicas. Por lo tanto para captar el mayor número posible de estos astros con un telescopio determinado es recomendable concentrar las observaciones en las zonas próximas a la eclíptica y al punto antisolar (punto teórico de la oposición).

Dentro de un cuadrado de 10° x 10° centrado en el punto antisolar en cualquier momento hay una media de 4 asteroides catalogados más brillantes que la magnitud 12ª, 8 más brillantes que la magnitud 13ª, o 15 más brillantes que la magnitud 14ª, todos ellos asequibles con un telescopio de 200 mm de apertura.

Para la localización de un asteroide es preciso disponer de sus coordenadas o de efemérides que permitan conocer su situación como, por ejemplo, el día y la hora en que pasará junto a una determinada estrella. Para distinguirlo de las estrellas es asimismo imprescindible disponer de un detallado atlas, sea impreso o, mucho más adecuado, uno de informático; sin embargo, si no se dispone de esta información y sí de una orientación somera sobre la posición del asteroide, puede identificarse perfectamente observando su movimiento en el transcurso de unas horas o de un día.

En la actualidad la mayor parte de los asteroides que se

decubren son de magnitudes débiles y lo son por observatorios profesionales que trabajan en programas de búsqueda.

La aportación que puede hacer un aficionado en el campo de estos astros se ciñe a las mediciones fotométricas, astrométricas y a las observaciones de ocultaciones o aproximaciones a estrellas. No obstante, es gratificante también la fotografía de campos con la presencia de asteroides y, especialmente, las series de fotografías en las que quedan registrados sus movimientos.

Fotografía de asteroides

La fotografía de asteroides puede considerarse equivalente a la fotografía de campos estelares o cúmulos abiertos. No se trata tanto de cubrir amplias áreas como de centrar la cámara en una zona donde se sabe o se presume la presencia de un asteroide interesante. En este caso, el tratamiento que debe darse a la fotografía es equivalente al de un cúmulo abierto: conseguir la máxima luminosidad para registrar las estrellas más débiles, y el suficiente poder resolutivo como para que los astros queden perfectamente diferenciados.

En la fotografía de asteroides deben, como mínimo, realizarse dos exposiciones. Un asteroide, conocido o desconocido, deja un pequeño trazo en la imagen en vez de un punto si el tiempo de exposición es relativamente largo y el movimiento del asteroide es rápido. Un trazo es precisamente lo que mejor permite identificar a los asteroides pero, sin embargo, es también fácilmente confundible con un defecto, una galaxia de perfil o estrellas muy juntas. El medio de evitar este posible problema es repetir la exposición con un intervalo de media hora o una hora, p.e., con lo cual se obtendrán dos fotografías que se comprobarán mutuamente.

Como en todo lo relacionado con observaciones de asteroides, es preciso anotar con precisión las horas de comienzo y final de las exposiciones fotográficas.

Fotometría de asteroides

Todos los asteroides sufren variaciones periódicas de luminosidad debidas a sus estructuras irregulares y a sus movimientos de rotación, aunque un buen porcentaje de ellos no ofrecen variaciones suficientemente amplias como para ser percibidas con medios amateurs. Sin embargo, hay un buen número de ellos que tienen oscilaciones del orden de alguna magnitud o de décimas, perfectamente observables si el aficionado cuenta con una cámara CCD. Realizando amplias secuencias de observaciones pueden obtenerse curvas de luminosidad precisas que servirán para determinar el periodo de rotación, e incluso, con observaciones a más largo plazo, determinar la inclinación del eje de rotación y también la forma del objeto.

Los periodos de rotación son breves: generalmente están entre unas pocas horas y varias decenas de horas, por lo que su observación no resulta muy difícil. Se trata únicamente de registrar la luminosidad del asteroide repetidamente por el mismo procedimiento que se emplearía si se tratara de una estrella variable utilizando una cámara CCD para medir las intensidades.

Como ejemplo de las posibilidades que ofrece este campo, en la tabla I publicamos una relación de los asteroides más destacados que muestran variaciones luminosas de amplitud superior a 0,5 magnitud.

Astrometría de asteroides

La astrometría es el proceso de medición de la posición de los astros respecto a las coordenadas celestes. Durante muchos años, los aficionados sólo han podido realizar este tipo de medición de manera burda, mediante oculares micrométricos y cronómetros, consiguiendo precisiones del orden de un minuto de arco. La posibilidad de realizar astrometría sobre placas fotográficas quedaba fuera de sus posibilidades debido a la exigencia de un gran tamaño para las placas y a la necesidad de caros micrómetros. Sin embargo la aparición de las cámaras CCD y la informática doméstica ha puesto al alcance de todos

Tabla I. Principales asteroide con variaciones luminosas superiores a 0,5 magnitud

Denominación	Variación (magnitud)	Periodo (horas)	Mag. en la oposición	
			perihélica	afélica
216 Kieopatra	1,4	5,39	9,2	12,0
626 Hektor	1,1	8,53	14,3	14,5
63 Ausonia	0,95	9,30	9,7	11,2
753 Tifis	0,8	9,84	11,5	14,3
201 Penelope	>0,75	3,75	10,5	12,6
434 Hungaria	0,70	26,5	12,1	13,8
182 Elsa	0,7	80	10,8	12,9
317 Roxane	0,67	8,17	11,4	12,5
43 Ariadne	0,66	5,75	9,1	11,3
792 Metcaiffa	0,62	9,18	12,9	14,4
250 Bettina	>0,60	5,11	11,3	12,6
82 Alkmene	0,55	13	10,4	12,9
39 Laetitia	0,54	5,14	9,3	10,6
15 Eunomia	0,53	6,08	7,9	9,8
11 Hysa	0,52	6,42	9,0	10,7
1245 Calvina	0,52	4,8	13,4	14,3
152 Atala	0,50	5,28	12,5	13,3
694 Ekard	0,50	5,93	10,9	14,4
186 Celuta	>0,5	>12	11,0	12,8
675 Ludmilla	0,5	7,75	10,7	13,0
116 Sirona	0,5	13,7	10,7	12,2
344 Desiderata	0,5	10,7	9,6	13,2

Fuente: Patrick Martinez, *Astronomie. Le guide de l'amateur.*



Fig. 1. Localización de una estrella con el programa AstroArt mediante la función zoom.

esta técnica, permitiendo al aficionado aportar datos de precisión e interés a la altura de muchos observatorios profesionales. Las precisiones conseguidas son del orden de 0,2 segundos de arco, más de dos órdenes de magnitud que las conseguidas visualmente hace tan sólo unos años.

El procedimiento para la obtención de posiciones astrométricas consta de tres pasos: captura y digitalización de las imágenes, cálculo de las «constantes de placa» y medición de la posición del objeto.

Captura y digitalización de las imágenes

Antes de obtener una imagen del objeto cuya posición quiera medirse debe tenerse claro que el proceso de medición se *realizará* respecto a estrellas catalogadas de coordenadas conocidas; es preciso, pues, que se incluyan algunas de estas estrellas dentro del campo que no deberán estar ni saturadas ni ser demasiado débiles. Como mínimo se deberán incluir 4 estrellas aptas, pero es recomendable que haya 6 ó 7; si hay más, mejor. También debe procurarse que las estrellas estén repartidas por todo el campo y no amontonadas a un lado.

No importa la orientación de la cámara ya que en el siguiente paso se corregirán todos los posibles desplazamientos y rotaciones que pudiera haber; sin embargo resulta mucho más práctico y cómodo situar el norte (o el sur) aproximadamente arriba de la imagen, ya que así es más sencillo identificar las estrellas en el catálogo. Este punto se verá con mayor claridad en el siguiente apartado.

Normalmente se recomienda que la resolución de la imagen esté entre 1 y 2 segundos de arco por píxel, ya que si fuera menor podría comprometer la precisión y si fuera mayor no aportaría nada a no ser que la calidad del cielo fuera muy buena. Sin embargo también se pueden obtener buenos resultados con resoluciones ligeramente fuera de este rango «ideal».

En el caso de la fotografía química debe digitalizarse la imagen mediante un escáner. Durante este proceso puede escogerse, dentro de unos límites, la resolución final de la imagen, lo cual proporciona una mayor flexibilidad para escoger la distancia focal. Sin embargo con CCD el tamaño del píxel nos viene determinado y como mucho se podrá reducir la resolución mediante la combinación de píxeles (*binning*)

Para el cálculo aproximado de la focal adecuada a la CCD de que se disponga, puede usarse la siguiente fórmula: $F = 206.265 \times T / 2.000$

donde T es el tamaño del píxel en mieras. Esta fórmula proporciona la focal en milímetros con la que conseguir una resolución de 2 segundos de arco por píxel. Dado que generalmente los píxeles de las CCD varían entre 9 y 24 mieras, las focales adecuadas están entre 1.000 y 2.500 milímetros aproximadamente.

En el caso de la fotografía, el factor de la focal va combinado con la resolución de escaneado. Es recomendable escanear

directamente los negativos o diapositivas y no las reproducciones en papel ya que de este modo se evita un paso más en el proceso que puede introducir errores. Así los cálculos aquí expresados se referirán al escaneado directo de la película fotográfica y no a las copias que tienen una ampliación adicional. La siguiente fórmula indica a que resolución mínima aproximada hay que escanear una fotografía, dependiendo de la distancia focal con que se ha realizado la toma.

$$R = 2.620.000/F$$

donde F es la distancia focal en mm y R es la resolución en puntos por pulgada (dpi).

Cabe notar que muchos escáneres del mercado se atribuyen resoluciones más elevadas que las que tienen realmente, ya que las obtienen por interpolación, es decir, inventándose los píxeles intermedios. Las resoluciones normales para escáneres de sobremesa van de las 600 dpi a las 2.400 dpi y los escáneres especializados en fotografía pueden llegar a 4.800 dpi. Consultar bien las especificaciones del escáner para determinar su resolución máxima. Así para una focal de 4.000 mm le sería suficiente una resolución de 600 dpi y para una focal de 500 mm se precisarían 4.800 dpi.

Si por el contrario se trabaja con una copia ampliada, no es necesaria tanta resolución de escáner, pero pueden introducirse errores adicionales. Alentamos aquí al lector a experimentar con sus fotografías para ver la precisión que puede llegar a obtener.

Cálculo de las «constantes de placa»

Con este curioso nombre se conoce el proceso de calcular las coordenadas celestes que le corresponden a cada píxel de la imagen. Este nombre proviene del hecho que antiguamente se aplicaba a las placas fotográficas de cristal. Este cálculo matemático, que es complicado y tedioso, se realiza actualmente con software especializado sobre imágenes digitalizadas, facilitando y agilizándolo enormemente el trabajo. Pueden probarse con los programas Astrometrica, Astroart o PinPoint. Se incluyen al final de este capítulo las páginas web de estos y otros programas que permiten hacer astrometría. Cada programa tiene, lógicamente, su propia manera de trabajar, pero todos realizan el mismo procedimiento. Se trata de obtener sobre la imagen la posición de unas cuantas estrellas, las denominadas de referencia, y relacionarlas con sus coordenadas reales obtenidas de un catálogo. Después, mediante unas fórmulas matemáticas, calcular como está orientada la imagen respecto al cielo y qué deformaciones ha podido sufrir en el proceso de captación y digitalización. Para ver en detalle las fórmulas y el procedimiento matemático recomendamos el libro «Astronomy on the personal computer» de O. Montenbruck y T. Pfleger, editado en inglés por Springer.

Para situar las estrellas en la imagen no es suficiente indicar los píxeles en los que se hallan. Esto sólo proporcionaría una precisión de medio píxel, o alrededor de 1" de arco. Se puede precisar mejor la posición si se emplea el brillo de todos los píxeles de la estrella para determinar su verdadero centro o centroide. Puede hacerse de diversas maneras, como el promedio ponderado o el ajuste a una gaussiana, pero en todo caso es el programa el que se encarga de ello. Generalmente el software pide que se localice de forma burda la estrella enmarcándola en una área de tamaño configurable donde sólo debe haber tal estrella (fig. 23).

Algunos programas incluyen la posibilidad de realizar una búsqueda automática de las estrellas. En este caso sólo hay que indicar algunos parámetros que deben tener las estrellas, como el tamaño mínimo, la relación señal-ruido, etc. para que pueda diferenciarlas del ruido de fondo, rayos cósmicos u otros defectos que pueden aparecer en una imagen. Con este proceso se consigue situar la estrella con una precisión de 0,1 píxeles. El lector puede encontrar más detalles técnicos de como localizar el centroide de una estrella en «Manual práctico de astronomía CCD» de D. Galadí-Enríquez e I. Ribas Canudas, editado por Omega.

Una vez identificadas las estrellas se indica a que número del catálogo corresponden cada una. Este paso es manual excepto en los programas más sofisticados, como PinPoint, que con sólo dar la posición aproximada del centro de la imagen identifica y escoge las estrellas. El catálogo más usado para estos

propósitos suele ser el GSC 1.1. Tiene más de 15 millones de estrellas hasta la magnitud 15; proporciona una densidad suficiente como para encontrar varias en cualquier imagen CCD. Sin embargo su precisión no es muy alta, y si se quieren resultados especialmente finos deben utilizarse catálogos como el Hipparcos que incluye datos de los movimientos propios de las estrellas. Otros catálogos usados son Tycho, ACT y USNO-A2.0. Este último tiene estrellas hasta la magnitud 19 totalizando más de 500 millones. Dada su gran cantidad de información — ocupa 6 gigabytes ó 11 CD-ROMs— suele utilizarse su versión reducida, el USNO-SA2.0 (en un solo CD-ROM). Esta versión incluye un mismo número de estrellas en todas las regiones del firmamento de forma que siempre hay estrellas suficientes para realizar astrometría ya que llega a magnitudes más débiles en aquellas zonas donde hay pocas estrellas brillantes.

Una vez asociadas unas coordenadas del catálogo a varias estrellas de la imagen ya se puede realizar el cálculo. De hecho para este proceso serían suficientes 3 estrellas, pero añadiendo más se reducen los errores de medida y se mejora la precisión. Se recomienda usar siempre 6 ó 7 estrellas, siendo 10 un número ideal. Según se ha dicho, cuanto más repartidas estén las estrellas en la imagen mejor será el ajuste, ya que en caso contrario unos pequeños errores en la medición inducirían a errores mucho mayores en el extremo opuesto de la imagen.

Este cálculo es capaz de corregir «deformaciones» de la imagen debidas a ligeros cambios de focal, inclinaciones del plano focal, píxeles no cuadrados, e incluso aberraciones ópticas. Sin embargo no todo puede ser corregido, y siempre queda un error residual que depende en parte de como se hayan centrado las estrellas de referencia, del catálogo utilizado y de la calidad dimensional de la imagen. Al final del cálculo los programas serios muestran una estimación de este error. Si se quieren obtener resultados de precisión, este error debería estar en torno a 0,2 segundos de arco.

Medición de la posición del objeto

Una vez calculadas las «constantes de placa» es posible saber las coordenadas reales de cualquier punto de la imagen. Pero, evidentemente, uno no debería conformarse en determinar la posición del objeto con la precisión de un píxel.

Tanto en el caso de que el objeto cuyas coordenadas se desean conocer sea una estrella como un asteroide u otro astro puntual, el procedimiento a realizar es siempre el mismo que se ha usado para situar las estrellas de referencia. Primero se localiza el astro de manera burda y luego el software se encarga de calcular el centroide con una precisión de 0,1 píxeles.

En el caso de que se trate de un objeto difuso, como los cometas, deben tomarse más precauciones, ya que la posición a medir corresponde al núcleo y la nebulosidad que lo rodea podría afectar al cálculo del centroide. En este caso debe procurarse que la zona de imagen que el programa usa para calcular el centroide sea sólo la parte central.

Software para astrometría

AstroArt (<http://www.msb-astroart.com/>). Programa comercial que permite hacer otros tratamientos.

Astrometrica (<http://www.astrometrica.at/>). Programa para Windows. Actualmente se puede bajar gratuitamente ya que está en desarrollo.

CCD Astrometry (<http://www.camarilloobservatory.com/caavini.htm>). Programa comercial (190 \$)

Charon (<http://www.projectpluto.com/charon.htm>). Programa gratuito; sin embargo para que funcione es preciso disponer del programa comercial Guide 5.0.

PinPoint (<http://pinpoint.dc3.com/>). Programa comercial (129 \$). Permite la identificación automática de los campos estelares así como de asteroides o supernovas.

Canopus (<http://www.minorplanetobserver.com/htmls/mpocanopus.htm>) Programa comercial (50 \$). Permite astrometría semi-automática y puede ser conectado a programas del mismo autor que permiten controlar la cámara CCD y el telescopio.

Prism (http://www.astroccd.com/prism/index/index_us.htm). Programa comercial (75 \$). De hecho es un completo programa de tratamiento y análisis de imagen, así como de control de CCD y telescopios, todo incluido.

The Sky + CCDSOft (<http://www.bisque.com/Products/CCDSO>

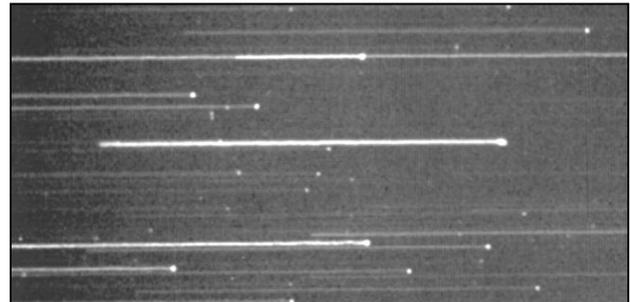


Fig 2. Trazos dejados por las estrellas con el telescopio parado a fin de determinar la orientación de la imagen. El este queda a la derecha y el norte abajo.

[ft/VersionS/default.asp](http://www.versionS/default.asp)). Programa comercial. Estos dos programas conjuntamente permiten, además de realizar astrometría, controlar la CCD y el telescopio.

Circe (<http://www.ulisse.bs.it/osservatorio>). Programa gratuito.

Aproximaciones de asteroides a estrellas (con CCD)

Dado que en la mayor parte de los casos no es posible observar la ocultación de una estrella por un asteroide, se pueden obtener buenos resultados si se determina con precisión la distancia angular entre ambos. Con medios convencionales este trabajo se realizaría mediante un micrómetro; sin embargo, la cámara CCD lo sustituye con ventaja porque reduce al mínimo la participación humana y porque es mucho más sensible.

La instrumentación necesaria es:

- Telescopio de 2 m de distancia focal como mínimo. Lógicamente, el telescopio debe disponer de una excelente montura ecuatorial y de motor de seguimiento.
- Cámara CCD con su programa de control.
- Receptor de radio o GPS para tener la hora con gran precisión.

Método:

Todo debe estar dispuesto unas 2 horas antes de la conjunción teórica. El reloj del ordenador se habrá puesto en concordancia con la fuente horaria.

- Se toma una imagen de la siguiente forma:

Se coloca en el centro del chip de la CCD la estrella objeto del fenómeno, u otra más brillante si aquella es demasiado débil. Se inicia una exposición de 60 segundos, por ejemplo, y al cabo de unos cinco segundos se detiene el motor de seguimiento. Debe calcularse la exposición de forma que la estrella salga del campo dejando un trazo. Esto proporciona la dirección este-oeste (fig. 24).

En lo sucesivo no debe moverse la cámara, pues variaría la orientación.

- Desde unas 2 horas antes del momento de la conjunción teórica, tomar una imagen cada 2 minutos o menos, hasta 1 ó 2 horas después. Si se dispone de un telescopio-guía suficientemente potente, al mismo tiempo puede seguirse la posible ocultación con el método tradicional.

Reducción previa:

- Cargar la imagen que muestra el trazo de la estrella al parar el motor y determinar el ángulo de posición desde el origen del trazo hasta el extremo opuesto. La medida debe realizarse en grados siguiendo el criterio empleado en la observación de estrellas dobles: 0° al N, 90° E, 180° S,...
- Cargar sucesivamente las imágenes que se han obtenido y hacer:
- Determinar el centroide de la estrella y del asteroide.
- Tomar nota de la hora en UT (con precisión de segundos), del momento medio de la exposición (tiempo de inicio de la exposición más la mitad del tiempo de exposición), de la distancia entre la estrella y el asteroide y del ángulo de



posición, o bien de las coordenadas cartesianas tomando como origen la estrella.

Datos a remitir a la Agrupación:

Los mismos datos respecto al observador, posición geográfica y telescopio que en las observaciones visuales, añadiendo los de la *cámara* CCD utilizada. Seguidamente los resultados de la observación: valores de los ángulos de posición del trazo de orientación y los tiempos, las distancias y los ángulos de posición entre la estrella y el asteroide, o sus coordenadas cartesianas.

Las efemérides de ocultaciones de estrellas por asteroides las facilita la Agrupación a aquellos observadores interesados en el tema y que han expresado el deseo de recibirlas.