

# OBSERVACIÓN DE OCULTACIONES DE ESTRELLAS

## Ocultaciones normales por la Luna

La observación de ocultaciones de estrellas por la Luna es una de las actividades astronómicas preferidas por los amateurs porque, entre otros fines, dan al observador la oportunidad de participar en campañas de recogida de datos: para la determinación de la posición de estrellas, para determinar el Tiempo Terrestre, para calcular con precisión los movimientos orbitales de la Luna y de la Tierra y para determinar la silueta de la Luna y situar su centro de masas, entre otras cosas.

Una ocultación es, en términos generales, el paso de un cuerpo (en el caso que nos afecta, la Luna) entre la Tierra y las estrellas del fondo estelar, visto por un observador situado en la superficie terrestre. Como la Luna no tiene atmósfera, las ocultaciones son instantáneas, es decir, sin una pérdida paulatina de luz. Se dice que se produce la **desaparición o inmersión** al comenzar la ocultación; por el contrario, cuando la estrella emerge o aparece por el borde opuesto de la Luna, se dice que se ha producido una **reaparición o emersión** (fig. 1).

En las efemérides de ocultaciones, con frecuencia, aparecen datos de fenómenos que sólo hacen referencia a reapariciones de estrellas y no a sus previas desapariciones, al igual que hay estrellas para las que figura su desaparición, pero no su reaparición. La explicación a este hecho es la siguiente:

1) Entre la Luna nueva y la Luna llena (Luna nueva, cuarto creciente y hasta Luna llena), las estrellas se ocultan por el borde sin iluminar de la Luna y después reaparecen por el borde iluminado. Las reapariciones, en este caso, son prácticamente imposibles de cronometrar a excepción de cuando las estrellas son muy brillantes. Esta invisibilidad es debida a que no hay suficiente contraste para medir la reaparición instantánea de la imagen puntual de una estrella en un fondo mucho más iluminado que el brillo del objeto en cuestión, en este caso el limbo lunar iluminado.

2) Entre la Luna llena y la Luna nueva (Luna llena, cuarto menguante y Luna nueva), el borde lunar por donde desaparecen es el iluminado y por ello sólo figuran las predicciones, como en el primer caso, de estrellas con magnitud elevada, necesaria para contrastarlas contra el limbo iluminado. No ocurre así en el limbo por donde reaparecen –el limbo sin iluminar– y, de esta manera, se dan las predicciones de los tiempos de reaparición y no los de desaparición, salvo excepciones muy contadas.

Aparte, existen otras dos excepciones, como son la altura de la Luna sobre el horizonte este u oeste y la intensidad de la luz del crepúsculo matutino o vespertino.

La observación de estrellas con brillo igual o superior a magnitud 7,5 se puede *realizar* con unos prismáticos de mediana potencia, equipados con trípode (necesario para que la inestabilidad de los prismáticos no afecte al cronometraje del fenómeno). Con un telescopio, aunque sólo sea de 60 mm de abertura, por ejemplo (no importa que la montura sea acimutal o ecuatorial, aunque se recomienda que sea del último tipo citado), la medición del tiempo se puede hacer de una manera más correcta, mientras el brillo de la estrella puede ser más débil. Naturalmente, a medida que la abertura del telescopio aumenta, las condiciones de observación mejoran. No es recomendable usar fuertes potencias para medir estos eventos ya que al aumentar el poder del telescopio aumenta a su vez la turbulencia atmosférica. En la observación de reapariciones o emersiones, debido a que la estrella no puede ser observada con anterioridad, es aconsejable que en el campo del ocular aparezca la parte del limbo lunar donde está prevista la aparición. Ayudándose de una buena carta lunar es posible determinar este punto a partir del **ángulo de posición**, que corresponde al ángulo sobre el limbo lunar contado a partir del norte y hacia el este.

Con telescopios acimutales, es decir, sin seguimiento ecuatorial, es aconsejable que aproximadamente un minuto antes del evento se coloque el borde o limbo lunar por donde vaya a tener lugar el suceso al este del campo del ocular, para que así la medición del tiempo no resulte fallida y no deban hacerse correcciones de última hora. Téngase en cuenta que estas observaciones no tienen una segunda oportunidad de ser vistas y debe asegurarse el éxito; por este motivo los telescopios acimutales son desaconsejables. En los telescopios ecuatoriales puede seguirse la estrella con el motor o bien con los movimientos lentos. En este último caso debe aplicarse la misma regla que para los acimutales. Es recomendable una montura ecuatorial motorizada, aunque no es imprescindible que la alineación con el polo norte celeste sea perfecta. La montura ecuatorial movida manualmente no deja tanta libertad en las manos para asir el cronómetro o cualquier otro aparato. Además los movimientos irregulares pueden provocar más de un fallo en la apreciación de los contactos, sobre todo en los casos en que la estrella es de visión difícil.

Los métodos más usuales para la determinación del tiempo en el cual tiene lugar un fenómeno (desaparición o reaparición) son los que se indican en el apartado «Cronometrajes horarios» al final de este capítulo.

El observador deberá escoger aquel método que mejor pueda adaptarse al equipo que posee o el que le permita alcanzar una mayor precisión. En este tipo de fenómenos la precisión es un factor determinante, con lo cual siempre debe intentarse la mejora de cualquier experiencia anterior.

## Datos que deben comunicarse

Para la comunicación de los resultados, y a fin de unificar criterios, deben utilizarse las plantillas adaptadas a las necesidades marcadas por el ILOC (*International Lunar Occultation Center*), organismo que recoge las observaciones realizadas en todo el mundo. Se pueden solicitar a la secretaria de la Agrupación o en su página web.

El programa gratuito OCCULT también permite entrar los datos y almacenarlos en el formato adecuado.

De todas formas, como es normal en cualquier observación de una ocultación, aparte de los datos como son la fecha, la estrella ocultada, el observador y el telescopio, son imprescindibles las coordenadas geográficas con una precisión de un segundo de arco, y la altura sobre el nivel del mar en metros. Para cada cronometraje hay que adjuntar datos sobre la ecuación personal, la precisión y el método utilizado.

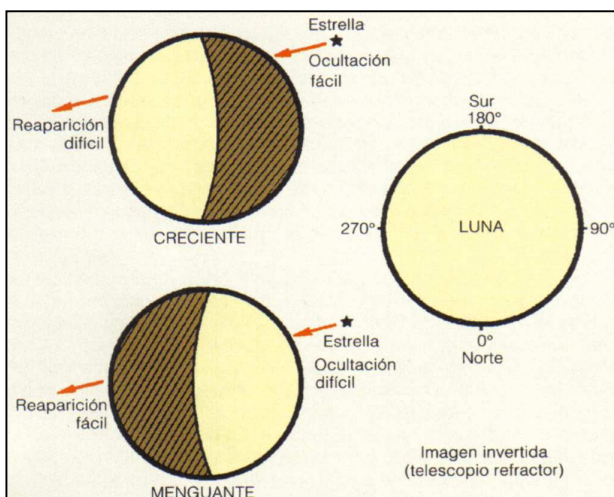


Figura 1. Inmersiones o reapariciones de las estrellas por el limbo lunar.

## Efemérides

La Agrupación Astronómica de Sabadell publica las efemérides de las más importantes ocultaciones de estrellas por la Luna en las páginas de ASTRUM dedicadas a efemérides. Se dan referidas a Barcelona, Madrid y Santa Cruz de Tenerife a fin de cubrir toda España. Las diferencias horarias entre estos puntos y cualquier otra localidad pueden llegar a ser, a lo sumo, de unos pocos minutos. Por otra parte, los observadores interesados pueden solicitar a la secretaría efemérides calculadas especialmente para su emplazamiento, o bien emplear el programa OCCULT indicado anteriormente.

## Ocultaciones rasantes por la Luna

Cualquier aficionado a la astronomía dotado con poco más que un telescopio, un cronómetro y sin conocimientos especiales, puede iniciarse en la observación de las ocultaciones rasantes de estrellas por el borde lunar. Los estudios de las ocultaciones rasantes son importantes dado que proporcionan datos de elevada precisión acerca de la órbita de la Luna y del perfil de las regiones polares lunares. Indirectamente, estos datos (cruzados con las observaciones de eclipses solares) se utilizan para la determinación del diámetro solar y en la teoría de mecánica celeste para dar finas estimas de la constante de gravitación universal. Todas las observaciones recibidas en la Agrupación son remitidas a la *International Occultation Timing Association* (IOTA), en los Estados Unidos, y al *International Lunar Occultation Center* (ILOC), en Japón.

Si la Luna fuera un cuerpo esférico perfecto y liso, una ocultación rasante sería observable solamente desde una línea finísima colocada sobre la superficie terrestre. Desde otras partes de la Tierra, la estrella, o bien sería ocultada de manera total durante un intervalo más o menos largo, o bien no sería ocultada. Para simplificar, supondremos que la estrella se mueve con respecto a la Luna (en realidad ocurre justamente lo contrario). En una ocultación normal, la trayectoria de la estrella es una secante con respecto a la apariencia circular de la Luna. En cambio, en una ocultación rasante, el camino de la estrella es una tangente a la Luna. Es decir, la estrella sólo «toca» en una ocasión el limbo lunar (fig. 2). Como sea que la Luna no tiene la superficie lisa, en el transcurso de una ocultación rasante se podrá ver como la estrella se oculta repetidamente tras las montañas que se recortan sobre el borde lunar. Por un efecto de perspectiva la estrella no coincide con el mismo punto de la Luna vista desde distintos lugares de la Tierra; ello implica que mientras una ocultación es rasante para una zona geográfica determinada (una franja de pocos kilómetros de anchura), en la zona periférica será una ocultación normal y en el resto no se producirá ninguna ocultación. Este es el motivo por el que raras veces una ocultación rasante puede verse desde un observatorio fijo; hay que situar telescopios portátiles en las zonas idóneas, es decir, dentro de la franja de visibilidad.

## Tipos de ocultaciones rasantes

Las ocultaciones por el limbo norte lunar se diferencian claramente de las del limbo sur.

En las primeras, el perfil acostumbra a ser poco accidentado y además deprimido con respecto al borde de la Luna conside-

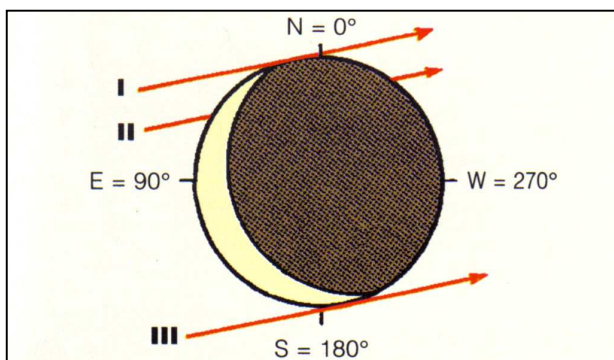


Figura 2 - I y III son ocultaciones rasantes y II es una ocultación normal.

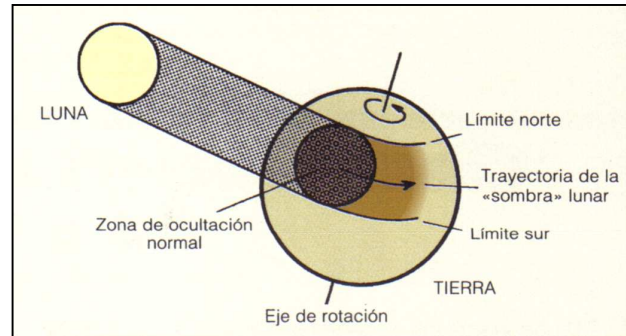


Figura 3 - Proyección de la sombra de la estrella sobre la Tierra.

rada como esfera ideal. Es frecuente, por tanto, que se trate de ocultaciones poco espectaculares. La franja sobre la superficie terrestre, desde donde es visible la ocultación de manera rasante, constituye también el límite norte de la ocultación de la estrella. Al norte de esta línea, la estrella no se oculta y al sur, se produce una ocultación normal.

Las ocultaciones por el limbo sur son, por regla general, mucho más espectaculares debido a la existencia de importantes montañas en aquella zona de la Luna. La franja de la ocultación rasante sobre la superficie terrestre constituye el límite sur de la ocultación normal de la estrella. Es decir, hacia el norte se produce una ocultación ordinaria y hacia el sur no la hay. En principio, pues, toda ocultación comporta dos franjas de rasantes sobre la Tierra, de manera semejante a como ocurre con los eclipses de Sol. Hay un límite norte y un límite sur separados por varios miles de kilómetros (fig. 3). Por otro lado, las ocultaciones rasantes pueden producirse tanto en las zonas iluminadas como en las oscuras de las regiones polares lunares. Los eventos por el lado iluminado acostumbran a ser difíciles, y precisan, para ser observados, de aberturas medias e imágenes inmejorables. Por el hecho de mostrar la estrella corriendo a alta velocidad entre las montañas lunares, pueden llegar a ser uno de los fenómenos más espectaculares al alcance de los aficionados.

En cambio, las ocultaciones por el limbo oscuro son más fáciles que las anteriores. Eso sí, siempre y cuando la estrella sea suficientemente brillante como para permitir su visualización cómoda, ya que de todas formas queda cerca la brillante superficie lunar iluminada. En las ocasiones en las que una ocultación rasante se da cerca del cuerno de la fase, existe un intervalo del fenómeno durante el cual los contactos acontecen por el lado iluminado y otro en el que se producen por la parte oscura. En la mayoría de las ocasiones sólo podrá ser observada la «fase oscura», del fenómeno, lo que ya tiene suficiente valor para el posterior análisis.

## El telescopio

Se trata de ver una estrella, a veces bastante débil, a una muy corta distancia del limbo iluminado. Por consiguiente, la calima, la turbulencia atmosférica, un centrado óptico defectuoso del telescopio o, simplemente, la suciedad en las superficies ópticas pueden dar al traste con el seguimiento del fenómeno. Debe intentarse, pues, que la imagen de la estrella no quede distorsionada en lo más mínimo, evitando, por ejemplo, las ocultaciones a baja altura sobre el horizonte o la observación desde terrazas o asfalto, en el caso de carreteras, muy caldeado. Debe procurarse, también, mantener un elevado contraste entre la estrella y el fondo del cielo cercano a la Luna. Para ello se recomienda un especial esmero en la limpieza de los elementos ópticos del instrumento y evitar los reflejos.

Los mejores telescopios para una ocultación rasante han de ser transportables, tener el tubo cerrado o casi cerrado, relación focal ( $f$ ) moderada o elevada (de  $f/6$  en adelante) y, en el caso de los reflectores, tener una obstrucción central que sea pequeña. En los telescopios tipo Schmidt-Cassegrain la lámina correctora situada en la boca del tubo suele empañarse con facilidad al contacto con una atmósfera cargada de humedad.

**Tabla I - Aberturas mínimas recomendadas**

% de Luna iluminada	Magnitud estelar									
	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	
10	70	80	80	90	90	90	100	100	150	
20	70	80	90	90	100	100	100	100	150	
30	80	90	90	100	100	100	100	150	150	
40	80	90	100	100	100	150	150	150	200	
50	90	90	100	150	150	150	150	200	200	
60	90	100	150	150	150	200	200	200	250	
70	100	150	150	200	200	200	200	250	300	
80	150	150	200	200	200	200	250	300	300	
90	200	200	200	250	250	250	(300)	(300)	(400)	
100	200	200	250	250	250	(300)	(400)	(400)	(400)	

En este caso es bueno colocar una pantalla alrededor de la lente correctora a manera de parasol o un sistema antirrocío. En este tipo de trabajos es preferible un telescopio refractor a uno reflector de la misma abertura, pero la transportabilidad de aquél es generalmente muy limitada.

### Abertura

La abertura mínima recomendada se da en función de la magnitud de la estrella y del porcentaje de Luna iluminada: 0% en fase nueva, 50% en los cuartos y 100% en plenilunio. En la tabla I se lee el diámetro del objetivo en mm para cada par de valores: magnitud de la estrella y porcentaje de Luna iluminada. Este cuadro es válido con cierta aproximación para telescopios reflectores de relación focal 6, tubo cerrado, imágenes medias y ocultaciones por el limbo oscuro. Para los demás casos pueden realizarse los siguientes ajustes:

1. Limbo iluminado: aumentar de un 10 a un 50% la abertura (depende mucho de la turbulencia).

2. Telescopio refractor **restar** un 20% a la abertura leída.

Entre paréntesis se dan diámetros mínimos con la condición de que las imágenes sean muy buenas, pues la observación de rasantes de características tan extremas necesita de elevadas potencias. Este cuadro no está basado en ninguna función matemática; se ha realizado gracias a la experiencia acumulada tras años de observaciones.

### Potencia

En este tipo de fenómenos debe buscarse un compromiso entre una potencia muy alta, que aumente el contraste de la imagen estelar con respecto a la Luna, y una potencia moderada para evitar los estragos de la turbulencia atmosférica. Así, un telescopio de 200 mm de diámetro necesitaría de 120 a 200 aumentos, aunque esto también depende mucho de la fase de la Luna. En las cercanías del plenilunio se adoptará o sobrepasará **el extremo superior**, y lo contrario cerca del novilunio.

### Montura

Es recomendable una montura ecuatorial automática, aunque

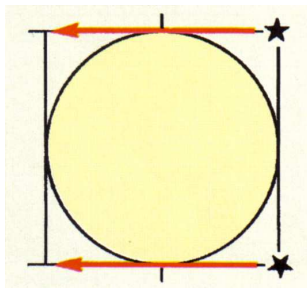


Figura 4 - En el cuadrilátero se inscribe la Luna. En los dos vértices de la derecha se señalan las posiciones de dos estrellas media hora antes de la ocultación rasante. El movimiento aparente de las estrellas se señala mediante flechas rojas.

no es necesaria una alineación perfecta con el polo norte celeste. Como en el caso de las ocultaciones normales, aquí hemos de señalar que es conveniente que el telescopio tenga el movimiento motorizado para que puedan quedar libres las manos a fin de manipular el cronómetro u otro aparato. El movimiento debe también ser regular para evitar fallos en la apreciación de los contactos, en particular cuando la estrella es de difícil visión.

### Localización de la estrella

El primer problema importante consiste en localizar la

estrella y distinguirla de entre las demás cercanas a ella. Si el campo es rico o la que se busca es algo débil, puede hacerse la identificación exacta a partir de la posición y de la trayectoria del astro respecto a la Luna una media hora antes de la ocultación. Sabiendo que el recorrido ha de ser tangente al limbo del casquete polar lunar, se verá la estrella en uno de los dos vértices indicados en el cuadrado de la figura 4 según sea la ocultación por el limbo norte o por el sur. No se debe olvidar que las imágenes dadas por los telescopios astronómicos están invertidas y que si se usa un prisma cenital se produce una inversión lateral. Para la orientación del campo de visión, cuando se mide en ángulos de posición (AP), el norte es el AP igual a cero grados; el este AP = 90°; el sur AP = 180° y el oeste AP = 270°. Si se considera la Luna fija con respecto a la estrella, ésta se moverá de este a oeste (de 90° a 270° en AP).

### Cronometraje de los contactos

El trabajo consiste en cronometrar con precisión las sucesivas inmersiones y emersiones de la estrella por detrás de los accidentes selenográficos. Téngase en cuenta la rapidez con que se producen estos contactos: muchas veces en intervalos de pocos segundos. Por tanto para tomar el tiempo exacto es menester un método de observación que permita almacenar datos horarios uno tras otro para posteriormente, una vez finalizado el fenómeno, poder leerlos y ser recogidos en el parte de observación. Existen diferentes métodos, más o menos exactos, que se explican en el apartado «Cronometrajes horarios».

En todas las circunstancias es aconsejable la presencia de un ayudante, aunque no es indispensable. Se dedicaría a vigilar la marcha de la cinta magnetofónica o del vídeo, la recepción del tiempo y a anotar el segundo aproximado de cada contacto. Es muy recomendable mantener en funcionamiento un reloj o un cronómetro de alta precisión que pueda servir de referencia en cualquier momento.

Siempre es recomendable que antes de la observación se practique a fondo el método que se vaya a utilizar. La observación de ocultaciones normales puede servir como entrenamiento o, en todo caso, siempre se pueden simular situaciones en casa a fin de saber como funciona el método a la hora de cronometrar un suceso cualquiera.

### Los resultados

Una vez finalizada la observación es necesario comprobar si los contactos han quedado bien registrados. Ello es especialmente recomendable en el caso de haber utilizado un sistema grabador. Así, un eventual fallo en la grabación podría sustituirse a tiempo por los datos recogidos por el ayudante y las apreciaciones del observador todavía frescas en la memoria. Los resultados deben ser comunicados cuanto antes a la Agrupación, utilizando el parte que se puede solicitar a secretaria a que se halla en la página web de la Agrupación.

### Predicción de las ocultaciones rasantes

El cálculo de los elementos de una ocultación rasante es laborioso y exige conocer con alto grado de precisión la posición y movimientos de la Luna, así como de la estrella protagonista. Sin la ayuda de un ordenador, la predicción de una ocultación rasante con un moderado nivel de exactitud se vería totalmente desbordada. Hoy en día existen programas informáticos al alcance del aficionado que permiten el cálculo preciso de cualquier tipo de ocultación. A través de la página de Internet de la IOTA (<http://lunar-occultations.com/iota/iotandx.htm>) pueden conseguirse algunos de estos programas. El más popular es OCCULT.

De todas formas, la Agrupación pone a disposición de sus asociados aquellas efemérides que precisen. Por una parte, la Agrupación utiliza estos programas estándares, pero, por otra, dispone de las predicciones que son elaboradas por el centro de cálculo de la IOTA/ES en Hannover, y que son más fiables por su alto grado de precisión.

Por tanto, una vez el asociado haya encontrado en las páginas de efemérides de ASTRUM una ocultación rasante que



PREDICTION FOR AGRUPACION D SABADELL , SABADELL, SPAIN ,TRAVEL RADIUS 644 KM  
DISTANCE TO CLOSEST POINT ON OCT. 27 AT U.T.= 6 HR 55 MIN 33 SEC IS 462 KM

EVENT: OCT. 27, 2002 STAR: 27 epsilon Gem(Mebstuta) MOON: 71% SUNLIT, WANING  
SOUTHERN LIMIT GRAZE HIP 32246, MAG. 3.1 PHASE-ANGLE: 245.9  
DELTA T: 64.98 SEC. USNO ZC 1030 SAO 78682 SPEC. A3 POS-AN.CUSP: 183.3  
POSITION AND PROPER MOTION SOURCE: HIP  
MAGNITUDE SOURCE: HIP, DECL.ERROR: 0.01 SEC. OF ARC

EAST LONG. DEG. MIN.	NORTH LAT. DEG. MIN.	UNIVERS. TIME HR MIN SEC	MOON ALT.	MOON AZI.	TANZ	SUN POS.ANGLE ALT. OF GRAZE	CUSP T ANGLE
-6 10.0	45 0.23	6 47 15.8	58.7	240.8	0.61	-2.3	185.48 2.10A
-6 0.0	44 57.80	6 47 35.7	58.5	241.2	0.61	-2.1	185.52 2.20A
-5 50.0	44 55.34	6 47 55.5	58.4	241.5	0.62	-1.9	185.56 2.20A
-5 40.0	44 52.86	6 48 15.3	58.3	241.9	0.62	-1.8	185.60 2.30A
-5 30.0	44 50.37	6 48 35.1	58.1	242.3	0.62	-1.6	185.64 2.30A
-5 20.0	44 47.85	6 48 54.8	58.0	242.6	0.63	-1.4	185.69 2.30A
-5 10.0	44 45.31	6 49 14.5	57.9	243.0	0.63	-1.2	185.73 2.40A
-5 0.0	44 42.75	6 49 34.2	57.7	243.4	0.63	-1.0	185.77 2.40A
-4 50.0	44 40.17	6 49 54.0	57.6	243.7	0.64	-0.8	185.81 2.50A
-4 40.0	44 37.57	6 50 13.6	57.4	244.1	0.64	-0.7	185.85 2.50A
-4 30.0	44 34.95	6 50 33.2	57.3	244.4	0.64	-0.5	185.89 2.50A
-4 20.0	44 32.30	6 50 53.0	57.2	244.8	0.65	-0.3	185.93 2.60A

PREDICCIÓN PARA AGRUPACIÓN D SABADELL, SABADELL, ESPAÑA, RADIO DE ACCIÓN 644 KM  
DISTANCIA AL PUNTO MÁS CERCAÑO EL 27 DE OCT A 6H 55M 33S ES 462 KM

FENÓMENO: 27 OCT 2002 ESTRELLA: 27 epsilon Gem (Mebstuta) LUNA: 71% ILUMINADA, MENGUANTE  
LÍMITE SUR HIP 32246, MAG. 3,1 ÁNGULO DE FASE: 245,9  
DELTA T: 64,98 s USNO ZC 1030, SAO 78682, ESPECTRO A3 ÁNG. POS. CUERNO: 183,3  
FUENTE DE LA POSICIÓN Y MOVIMIENTO: HIP  
FUENTE DE LA MAGNITUD: HIP, ERROR DECLINACIÓN: 0,01 "

LONG. ESTE GRAD. MIN.	LAT. NORTE GRAD. MIN.	TIEMPO UNIVERSAL HORA MIN. SEG.	ALTURA LUNA	AZIMUT LUNA	TANZ LUNA	ALT. SOL	ANG. POS. CONTACTO	ÁNGULO T CUERNO
-6 10.0	45 0.23	6 47 15.8	58.7	240.8	0.61	-2.3	185.48	2.10A
-6 0.0	44 57.80	6 47 35.7	58.5	241.2	0.61	-2.1	185.52	2.20A
-5 50.0	44 55.34	6 47 55.5	58.4	241.5	0.62	-1.9	185.56	2.20A
-5 40.0	44 52.86	6 48 15.3	58.3	241.9	0.62	-1.8	185.60	2.30A
-5 30.0	44 50.37	6 48 35.1	58.1	242.3	0.62	-1.6	185.64	2.30A
-5 20.0	44 47.85	6 48 54.8	58.0	242.6	0.63	-1.4	185.69	2.30A
-5 10.0	44 45.31	6 49 14.5	57.9	243.0	0.63	-1.2	185.73	2.40A
-5 0.0	44 42.75	6 49 34.2	57.7	243.4	0.63	-1.0	185.77	2.40A
-4 50.0	44 40.17	6 49 54.0	57.6	243.7	0.64	-0.8	185.81	2.50A
-4 40.0	44 37.57	6 50 13.6	57.4	244.1	0.64	-0.7	185.85	2.50A
-4 30.0	44 34.95	6 50 33.2	57.3	244.4	0.64	-0.5	185.89	2.50A
-4 20.0	44 32.30	6 50 53.0	57.2	244.8	0.65	-0.3	185.93	2.60A

Para longitudes al oeste de Greenwich el signo es -  
Si el Ángulo del Cuerno va seguido de D quiere decir limbo oscuro, si va seguido de B quiere decir limbo brillante  
En la columna T se indica telescopio necesario: A - menos de 10 cm, B - entre 10 y 15 cm, C - más de 15 cm

Figura 5 - Reproducción de las efemérides de una ocultación rasante de estrella por la Luna, con su correspondiente traducción.

4. Ángulo de Watts (WA) del contacto: (aparece en el perfil previsto); no es más que el AP del extremo norte del eje de la Luna.

Todos estos conceptos se esquematan en la figura 6 para un caso en que la ocultación se da por el limbo iluminado sur, con la Luna en fase creciente.

### Perfil previsto de la Luna

Si la Luna fuera un cuerpo liso perfecto, podríamos representar su limbo por una línea curva continua. Por el contrario, nuestro satélite dibuja sobre el fondo del cielo una silueta muy recortada. De esta forma, sobre una línea curva continua que represente aquel «limbo teórico» puede dibujarse una línea, más o menos quebrada, representativa de la silueta de las montañas lunares, lo cual constituirá el «perfil previsto» (fig. 7).

Este dibujo se realiza a una escala de conveniencia. Así en ordenadas (eje vertical del dibujo) se utiliza una escala de segundos de arco y en abscisas (eje horizontal) se utilizan ángulos Watts (WA).

Esta misma imagen de la Luna se obtendría si en el momento de la ocultación pudiera realizarse una fotografía de la zona por donde transcurriera el fenómeno y, al ampliarla, se distorsionara la imagen de modo que se produjera una expansión en sentido vertical. Si se considera la estrella móvil respecto a la Luna, se podrá tomar como cero de la ordenada la trayectoria tangente de la estrella al limbo teórico de la Luna. El ángulo de Watts del contacto central (donde la estrella toca en un solo

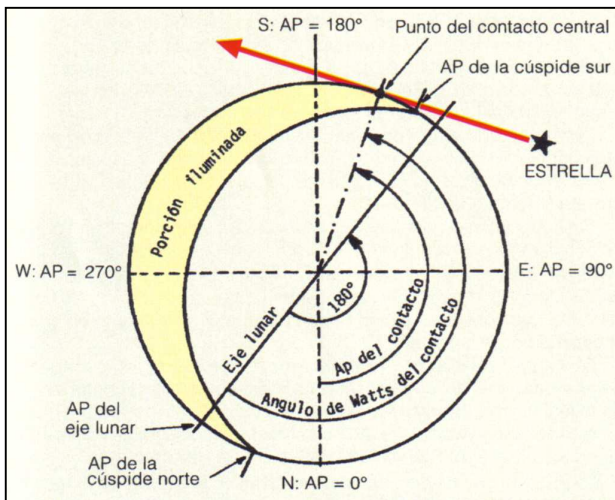


Figura 6 - Determinación del punto de contacto (imagen rotada 180°).

le parezca interesante, debe ponerse en contacto con la secretaria, desde donde se le enviará la predicción detallada.

Reproducimos en la figura 5 el original y la traducción de una predicción, aclarando los términos que podrían quedar confusos:

1. Ángulo de posición del cuerno: indica el punto del limbo lunar donde empieza o termina la región iluminada.
2. AP del contacto: ángulo donde tiene lugar el contacto central de la estrella con el limbo lunar.
3. Ángulo del cuerno: es la diferencia entre el ángulo de posición del contacto y el del cuerno. Va precedido de un signo negativo (-) si se refiere al limbo iluminado.

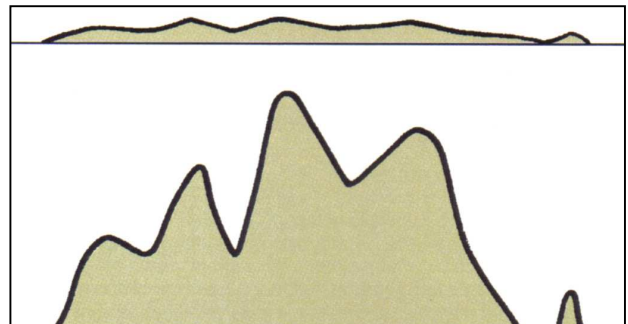


Figura 7 - La parte superior muestra lo que podría ser un perfil previsto representado por una fotografía del limbo lunar. El encuadre es de 160 x 6 segundos de arco. Abajo, el perfil previsto después de expandir la escala vertical 16 veces.

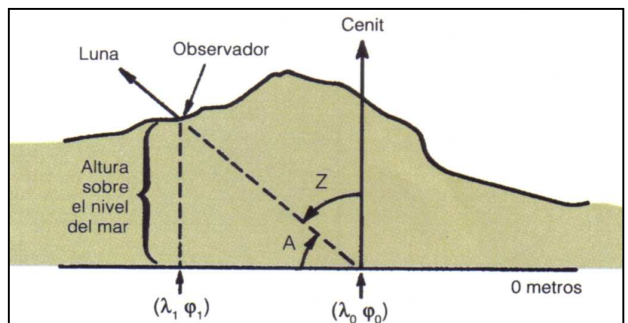


Figura 8 - Confección de la situación de la línea límite de la ocultación ocasionada por la diferencia de nivel entre el punto de observación y el mar. El esquema representa la silueta de una montaña terrestre sobre cuya ladera se ha situado un observador. A es la altura en grados de la Luna sobre el horizonte; Z es la distancia cenital en grados.

momento el limbo teórico) se sitúa en el centro del dibujo.

Los perfiles previstos se elaboran a partir de las llamadas cartas de Watts, que indican las diferencias entre la superficie lunar media y la superficie observada en una campaña fotográfica realizada a mediados del siglo pasado para múltiples situaciones de libración. Los programas informáticos como OCCULT elaboran los perfiles automáticamente.

### Situación de los equipos de observación

En primer lugar es imprescindible disponer de un mapa detallado de la zona donde se vaya a situar un observador o un equipo, y sobre el cual puedan localizarse puntos con una precisión de al menos un segundo de arco, tanto en latitud como en longitud. Es recomendable el uso de las cartas del Instituto Geográfico Nacional a la escala 1:50.000. Pueden encontrarse en librerías especializadas.

Para escoger el lugar debe representarse la predicción sobre el mapa. Como primer paso se señalan los puntos definidos por las dos columnas de la predicción encabezadas por «Longitud oeste» y «Latitud norte». La extensión geográfica de las mencionadas cartas de escala 1:50.000 no permite representar más de unos pocos puntos en cada una de ellas, los cuales han de quedar prácticamente alineados. Acto seguido se dibuja una línea que una los puntos, con lo cual se obtiene así el límite (norte o sur, según el caso) de la ocultación desde la superficie terrestre situada a nivel del mar. Para lugares situados a una cierta altitud se necesita realizar una corrección sobre la línea representada en el mapa. Ha de quedar claro que si la Luna no está en el cenit la observación diferirá entre un lugar ubicado a 1.000 metros de altura y otro a sólo 20 metros. Según el esquema de la figura 8, si un observador se sitúa en las coordenadas  $(\lambda_1, \phi_1)$  y a una altura de 1.000 metros, verá el fenómeno como si se hallara en las coordenadas  $(\lambda_0, \phi_0)$  y al nivel del mar, a cero de metros.

Este desplazamiento depende no sólo de la altura de la Luna sobre el horizonte, expresada en grados en la columna «MOON ALTITUDE» de las efemérides (figura 5 y A en la figura 8), sino también de la dirección hacia la cual se halle la Luna con respecto a los puntos cardinales del horizonte. Este parámetro es el acimut (AZIMUTH), es decir, la medida en grados de

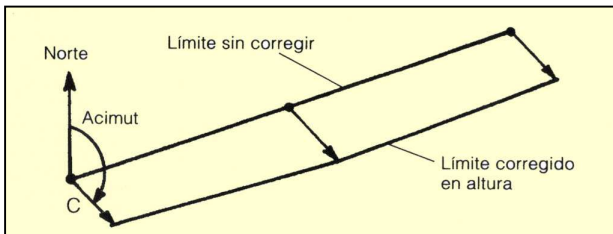


Figura 9 - Corrección de la línea debida a la altitud sobre el nivel del mar en la carta geográfica.

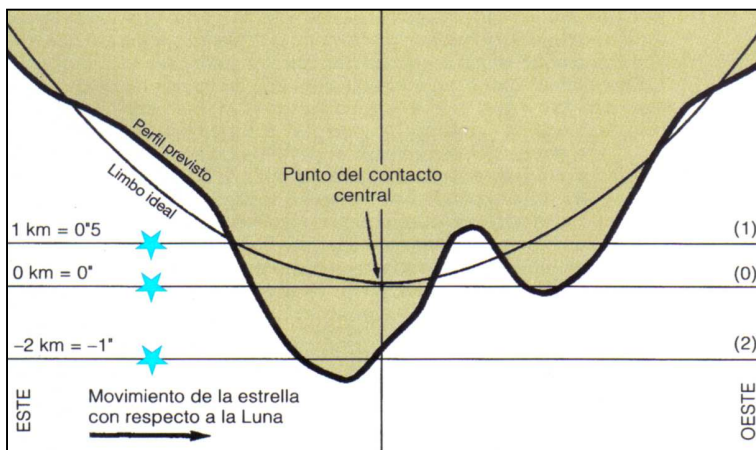


Figura 10 - Perfil lunar para una ocultación rasante.

dichos puntos cardinales. Así el norte son  $0^\circ$ , el este  $90^\circ$ , el sur  $180^\circ$  y el oeste  $270^\circ$ .

Denominando C a la magnitud de la corrección a aplicar, ésta se obtendrá multiplicando la altura en metros sobre el nivel del mar por la tangente trigonométrica de la distancia cenital Z de la Luna, que se da en la columna «TANZ» (figura 5). Resumiendo:  $C = h \times \text{TANZ}$ .

C vendrá expresado en metros al igual que la altitud sobre el mar h. Esta corrección se realiza en dirección al acimut de la Luna. Todo ello se refleja sobre el mapa geográfico de la manera expresada en la figura 9. La línea representada en el mapa une todos los puntos de la superficie terrestre desde los cuales debería verse trazar a la estrella una trayectoria tangente al limbo teórico de la Luna.

Para saber exactamente desde que puntos hay más probabilidades de ver la ocultación rasante, se necesita el perfil previsto ya descrito con anterioridad. La línea tangente al limbo teórico de la Luna corresponde a la trayectoria de la estrella vista desde cualquier punto de la línea predicha y corregida para una cierta altitud. Desplazándose perpendicularmente hacia arriba de la línea predicha, el camino de la estrella sobre el perfil previsto también se desplazará hacia arriba, manteniendo el paralelismo con la línea tangente. Lo contrario ocurre desplazándose hacia abajo. Arriba y abajo se corresponden más o menos con el norte y el sur.

Por tanto, según sea el perfil previsto, pueden verse diferentes secuencias de contactos, de acuerdo con la ubicación hacia arriba o abajo a partir del límite previsto. Es más, con mucha frecuencia, se dan ocultaciones rasantes por el limbo norte, en las cuales el limbo real o perfil previsto está muy deprimido con respecto al limbo teórico. Con ello, un observador situado sobre la línea predicha no registra ninguna ocultación, pero sí uno situado a una cierta distancia hacia el sur.

En el gráfico del perfil previsto (figura 10) las distancias, respecto a la trayectoria central indicada con  $0''$ , se miden en segundos de arco ( $''$ ), mientras que sobre la superficie terrestre las distancias, respecto al límite predicho, se miden en kilómetros. La relación entre ambas medidas es el HPS y generalmente no difiere mucho de  $0''5 / \text{km}$ . Lo cual es lo mismo que decir que un segundo de arco corresponde a dos kilómetros sobre la Tierra. Véase como ejemplo el perfil que se muestra en la figura 10. En el punto de observación situado a  $0 \text{ km} = 0''$ , se observarán dos inmersiones y dos emersiones. A  $1 \text{ km} = 0''5$  también se registrarán dos inmersiones y dos emersiones, pero con cadencias diferentes. En  $-2 \text{ km} = -1''$  acecerán una inmersión y una emersión.

Para elegir el lugar de observación es importante tener en cuenta la ligera imprecisión derivada de las efemérides traducidas en líneas sobre el mapa. Nunca se ve exactamente la secuencia de contactos predicha para un cierto punto del mapa, sino que se observan desviaciones más o menos importantes con respecto a lo esperado.

Si hay varios puestos de observación se procurará escoger un terreno poco accidentado a fin de que todos queden a una altitud semejante sobre el nivel del mar. Con ello, la corrección por altitud será constante en toda la línea; además se facilitará la comunicación entre los diferentes observadores. En la práctica conviene situarse a los lados de una carretera poco transitada, ya que, aparte de hacer fácilmente accesibles los puntos de observación, los mojones kilométricos dan inmejorables referencias para leer las coordenadas geográficas sobre el mapa. Recordemos que es imprescindible conocer con precisión las coordenadas geográficas.

Los GPS son muy útiles para situar con precisión las estaciones sobre el terreno. No sólo sirven para saber las coordenadas geográficas con gran exactitud, sino también, utilizando determinadas funciones, establecer la distancia a la línea 0.

Siempre que sea posible, con unos días de antelación debe hacerse una inspección «sobre el terreno», mapa y brújula en mano, a fin de comprobar si el lugar elegido es tan bueno como parecía



sobre el papel, ya que, a veces, la vegetación o las montañas pueden proporcionar desagradables sorpresas. Por otra parte, deben tenerse en cuenta los efectos de la climatología local: de noche, una carretera hundida con respecto al terreno circundante suele llenarse de niebla y, por contra, un lugar elevado y despejado, puede estar afectado por un viento muy molesto. ¡Atención también a las farolas!

Cuando haya varios equipos, los mejores telescopios deben instalarse en los puntos más críticos de la ocultación, es decir, donde se prevea una secuencia de contactos muy seguidos. Estos puntos críticos se dan cuando la estrella sigue una trayectoria rasante a la cresta o ladera de una montaña lunar; en el intervalo de pocos segundos pueden darse decenas de contactos. En este caso, el fenómeno se hace verdaderamente emocionante y espectacular.

Se recomiendan equipos de dos personas como mínimo. El observador se dedicará a no despegar ni por un momento el ojo del ocular y a señalar de una forma convenida los contactos, referidos a una buena base de tiempo. El ayudante cuidará de la buena marcha de los aparatos registradores (magnetófono, cronómetros, cámaras, etc.) y de las fuentes de señales horarias. Asimismo deberá anotar, de la forma más fidedigna posible, el minuto y el segundo en que se produzcan los contactos indicados por el observador.

## Ocultaciones de estrellas por asteroides

Posiblemente la aportación más efectiva que puede hacer la astronomía amateur en el campo de los asteroides sea el cronometraje de los instantes (contactos) de la ocultación, habitualmente inmersión y emersión, de una estrella tras un asteroide, o la medición de la distancia angular entre un asteroide y una estrella cuando se produce un acercamiento entre ambos astros.

En el primer caso, los datos que obtienen los aficionados, una vez comunicados al EAON (*European Asteroidal Occultations Network*) y a la IOTA (*International Occultation Timing Association*), permiten corregir con gran precisión los elementos orbitales de los asteroides, determinar sus formas y dimensiones, y detectar la eventual presencia de un satélite. En el segundo caso permiten, asimismo, efectuar correcciones en los elementos orbitales.

Las ocultaciones de estrellas por asteroides sólo son visibles desde zonas de la Tierra que, como en los eclipses totales de Sol, son franjas de una anchura que puede oscilar entre unos pocos y algunos centenares de kilómetros. El observador debe estar situado dentro de esta franja si quiere ver la ocultación. Si está situado en la periferia verá al asteroide acercarse a la estrella, pasando a una distancia aparente de ella que será mayor o menor en función de la distancia que lo separe del centro de la franja de visibilidad de la ocultación.

## Observación visual

Para el registro de los contactos, el equipo mínimo necesario se compone de un telescopio, preferiblemente con montura ecuatorial, y de apertura suficiente para visualizar o grabar cómodamente la estrella, y de un equipo de cronometraje que permita tomar los contactos con una precisión mínima de unas décimas de segundo; esto es, un buen cronómetro de 0,1 segundos de precisión o sensibilidad, y una muy buena fuente de tiempo: ya sea de señales horarias, bien de Radio Nacional de España 1, o bien de emisoras especializadas, como de relojes controlados remotamente desde relojes atómicos.

Al preparar la observación debe escogerse con cuidado el ocular apropiado. Hay que tener en cuenta que se estará observando con atención un mismo punto durante un tiempo prolongado, por lo que debe darse preferencia a la comodidad visual. No es recomendable una gran potencia que fuerce la visión ni una mínima potencia que pudiera llevar a una confusión entre la estrella a ocultar y las vecinas; también depende mucho de las condiciones atmosféricas. Lo mejor es probar distintos oculares hasta decidir cual es el que ofrece una visión más cómoda.

El observador debe prestar atención a la estrella para percibir el instante de la desaparición y, al cabo de unos segundos, el de

la reaparición ya que, en la mayoría de las ocasiones, el asteroide es mucho más débil que la estrella y no se ve. Por consiguiente, sólo es necesario localizar la estrella por coordenadas o mediante una carta de la zona. Toda vez que las efemérides de este tipo de fenómenos nunca son exactas (de ahí la necesidad de *realizar* su observación), el observador debe fijar permanentemente su atención en la estrella durante el intervalo de tiempo indicado en la predicción, y que normalmente viene a *ser* de unos 20 minutos. La atención requerida es notable, por lo que se recomienda un entrenamiento previo y la adopción de una postura cómoda.

Antes se habrá preparado el equipo de cronometraje horario, que puede consistir en un cronómetro con varias memorias, en dos cronómetros convencionales, o bien en una grabadora más una radio, o una cámara de vídeo enfocada a un reloj. También puede grabarse la ocultación con una webcam o con una cámara de TV sensible. La elección de uno u otro procedimiento depende de las posibilidades del usuario. En el apartado «Cronometrajes horarios» se explica cómo deben prepararse los instrumentos de medida del tiempo y los distintos métodos de trabajo.

Si el asteroide es suficientemente brillante y es visible, será muy interesante seguir el proceso de aproximación y alejamiento. Si en el momento teórico de la ocultación ésta no llega a producirse, debería determinarse la separación mínima entre ambos astros, lo cual exige una instrumentación más compleja: el telescopio debe ser de considerable apertura y debe estar dotado de un micrómetro si la observación se efectúa visualmente.

## Observación mediante videocámara

En los últimos años la sensibilidad de las cámaras de vídeo comerciales ha aumentado muy considerablemente. Existen cámaras domésticas digitales que se pueden utilizar para ocultaciones de astros moderadamente brillantes; planetas y estrellas de hasta magnitud 6 ó 7 a través de telescopios de 20 cm de apertura.

Pero si se quieren registrar ocultaciones de estrellas más débiles, hay que pensar en cámaras mucho más sensibles, como pueden ser las utilizadas normalmente para vigilancia. Hay modelos tan sensibles, que llegan a superar la capacidad del ojo humano. Además, son relativamente económicas (de poco más de 300 euros), pequeñas y ligeras. La grabación sólo requiere un magnetoscopio de vídeo, pero durante la toma es imprescindible la introducción de una muy buena referencia de tiempo, ya sea mediante impulsos sonoros o, mejor aún, como caracteres en la imagen.

Las «webcam», diseñadas para la comunicación a través de Internet, son una alternativa digital barata a las cámaras que acabamos de describir. En este momento todavía no llegan a ser tan sensibles como aquéllas, pero graban directamente al disco duro del ordenador. Generalmente puede regularse el tiempo de exposición para poder variar la magnitud límite.

## Observación mediante cámara CCD

Para las ocultaciones no son tan apropiadas como podría parecer. Esto es porque generalmente los tiempos de lectura de las imágenes son demasiado largos. Generalmente no bajan del segundo y se necesita una décima, como mínimo. De todas formas, hay modelos avanzados o especialmente preparados que permiten acceder al rango de tiempos de integración deseado.

Un ejemplo de tales modelos es la cámara IOC (IOTA Occultation Camera), desarrollada por miembros de la IOTA/ES hace unos años. Como cualquier otra cámara CCD, permite regular los tiempos de integración ajustando la ventana de manera conveniente. Esta es una cámara especialmente diseñada para las ocultaciones. Los otros modelos del mercado amateur no permiten ir por debajo del segundo de integración.

Queda la solución de realizar tomas de la traza de una estrella con el telescopio parado o a una velocidad diferente, aunque conocida, a la del seguimiento. Es lo que se conoce como técnica «drift scanning». En este caso, mediante una sola exposición, se consigue que la estrella quede en forma de trazo



interrumpido al producirse la ocultación. El tiempo queda identificado en el mismo trazo al saber donde empieza y donde acaba. En el caso de fenómenos con una elevada incertidumbre debe operarse con cuidado, procurando que el tiempo durante el cual la estrella deje su trazo supere el intervalo de confianza.

Todos los sistemas descritos mediante vídeo y CCD están sujetos a continuas mejoras. Por tanto, recomendamos mantenerse informados a través del grupo coordinador de la Agrupación.

## Cronometrajes horarios

Muchos fenómenos en los que debe determinarse la hora, como eclipses u ocultaciones, exigen precisiones superiores a unas décimas de segundo. Para conseguir estos resultados debe prepararse un equipo que reduzca al mínimo la participación humana.

### Métodos

#### a) Método «vista y oído»

Para este método, el más sencillo de todos, son necesarias dos personas: el observador y un ayudante. Tanto este método como los dos que siguen son apropiados para fenómenos de más de una lectura, como, por ejemplo, en las ocultaciones rasantes de estrellas por la Luna o en ocultaciones por asteroides. Los elementos necesarios son un cronómetro o un buen reloj, un receptor de radio y, opcionalmente, un grabador de audio.

Con este método también ha de ponerse en funcionamiento el cronómetro, por lo que remitimos al lector a los párrafos posteriores. Sin embargo, en este caso no se detiene el cronómetro, sino que el ayudante debe ir cantando, con la máxima fidelidad posible, la lectura del cronómetro. Cuando el observador ve el fenómeno ha de recordar la última lectura cantada por el ayudante. Otra modalidad consiste en grabar simultáneamente la voz del ayudante, que va cantando con expresiones muy breves la lectura del cronómetro (1 segundo de cada cinco, por ejemplo), y la del observador que responde con una frase o palabra corta al ver la ocultación. La precisión que se obtiene así es de 1 segundo en el primer caso y de unas pocas décimas si se utiliza el grabador.

#### b) Método «cronómetro»

Este es el método más fácil y cómodo para las observaciones que no requieran más de un registro horario. Los elementos necesarios son un cronómetro y un receptor de radio.

Simplemente hay que poner en funcionamiento el cronómetro de acuerdo con las señales horarias transmitidas por radio (véase más adelante) y determinar la hora exacta del evento. Para conseguir la máxima precisión debe considerarse el retraso o adelanto que pueda tener el cronómetro y la cadencia con que mide el tiempo. Ambos factores pueden determinarse al mismo tiempo midiendo el adelanto o el retraso que lleve el cronómetro según las señales horarias radiofónicas. Luego hay que interpolar los datos obtenidos al momento en que se ha producido la ocultación o reaparición. El valor obtenido ha de sumarse o restarse — según proceda— al tiempo obtenido en la ocultación. La precisión que puede obtenerse con este método es de 0,1 segundos después de corregir la «ecuación personal» (que se describe más adelante).

Si el cronómetro es de una sola lectura, la dificultad se presenta cuando el fenómeno requiere más de una medición. En este caso es preciso utilizar un cronómetro con memoria para grabar las distintas lecturas, o dos cronómetros convencionales (uno para cada contacto, si son dos), perfectamente sincronizados, que se *pararán* en los contactos respectivos.

#### c) Método «cronómetro digital con memoria»

Se trata de almacenar en la memoria de un cronómetro electrónico los tiempos de todos los contactos observados, evitando, de esta manera, la lectura inmediata de cada toma. Pueden encontrarse calculadoras en las cuales se dispone de una función de este tipo, pero sus memorias suelen ser relativamente restringidas en número y, por otra parte, existe la

dificultad que supone el reducido tamaño de las teclas. Esto último hace aumentar la ecuación personal. Si se tiene un ordenador al lado del telescopio, también puede ser utilizado como cronómetro siempre y cuando se disponga de un programa de toma de tiempo y el reloj interno esté coordinado con una señal fiable. Los relojes de los ordenadores habitualmente se atrasan o se adelantan algunos segundos durante el periodo en los que se tienen en marcha.

Existen en el mercado relojes digitales regulados mediante señales horarias emitidas en onda larga. Algunos modelos pueden ser modificados para dar señales acústicas cada segundo. Si esto no es posible, al menos pueden ser utilizados como una buena base de tiempo, incluso para el método de «grabador con ayudante que lee el tiempo o vídeo». De todas formas es conveniente comprobar antes de cada observación si este reloj concuerda con el Tiempo Universal Coordinado (UTC).

#### d) Método «señales horarias más magnetófono o vídeo»

Son necesarias una fuente de señales horarias sonoras y un grabador. La fuente de señales puede ser un receptor de radio sintonizado a una emisora de señales horarias continuas, los tonos acústicos de un reloj ajustado al UTC, o la voz del ayudante leyendo este tipo de reloj. Es un método muy recomendable para tomar registros seguidos. Es posible proceder de maneras muy diversas:

Trabajando con un equipo compacto —radiocassette— o bien con el receptor de radio conectado mediante un cable al magnetófono, las señales horarias quedan registradas directamente. La señal correspondiente a cada contacto, proveniente de nuestra voz (vía micrófono) o de un pulsador, debe mezclarse para que quede grabada simultáneamente con las señales horarias.

Si la fuente de señales y la grabadora no están conectadas directamente, tanto las señales horarias como la voz del observador o el sonido de un pulsador, deben registrarse **simultáneamente** a través de un micrófono. De esta manera, además, se puede dejar constancia de cualquier comentario o incidencia que se produzca durante el periodo de observación.

Sea como fuera, es sumamente importante que los registros del observador se graben simultáneamente con las marcas de tiempo. Es totalmente inválido grabar los tonos horarios de RNE1 a las 21 h, por ejemplo, y continuar grabando hasta las 21 h 30 m, cuando se observa el fenómeno, ya que durante este intervalo la velocidad de la grabadora habrá podido sufrir irregularidades, a no ser que se disponga de una grabadora controlada mediante un mecanismo de alta precisión o digital.

En una expedición u observación simultánea de varios equipos separados entre sí, de los cuales solamente uno disponga de reloj o receptor que dé una buena base de tiempo visual o sonora, se puede poner en práctica el siguiente truco: Se trata de utilizar una emisora comercial de referencia (preferiblemente de locución y no musical) que la estación de observación equipada con un reloj de referencia grabe simultáneamente con sus señales sobre el cassette. Los otros equipos sólo tendrán que grabar simultáneamente la misma emisora comercial y los contactos y comentarios marcados por el observador.

Con cualquiera de estos procedimientos la medición queda registrada en cinta magnetofónica, por lo cual puede repetirse la escucha tantas veces como sea necesario y obtener así valores medios de 0,1 segundos de precisión.

Hay quien utiliza también con éxito una cámara de vídeo para grabar la imagen de un reloj calibrado en UTC. En el momento del contacto se genera una señal mediante un led luminoso colocado al lado de los dígitos del reloj. Reproduciendo luego el vídeo en un televisor imagen por imagen puede leerse el momento del contacto con un error de 1/25 segundos (en el sistema PAL), con lo cual la precisión final dependerá únicamente de la ecuación personal y de la calidad de la fuente de tiempo. Para que no moleste la luz que necesariamente debe iluminar el reloj durante la grabación puede cubrirse el conjunto mediante algún elemento opaco.

## e) Método «fotográfico»

El material necesario es un cronómetro o un reloj, una cámara fotográfica, flash de recarga rápida y un cable disparador largo. El cronómetro debe estar bien ajustado al UTC, tal como se ha explicado en los métodos anteriores. Luego hay que montar todo el equipo de la forma que sigue:

Fijar el cronómetro frente a la cámara con flash, enfocar correctamente la cámara y regular diafragma y velocidad de obturación según lo requerido por el flash. Cubrir todo el dispositivo a fin de que los destellos del flash no deslumhren al observador. El observador, con el disparador en la mano, lo accionará cuando aprecie un contacto. El ayudante supervisará todo el dispositivo fotográfico. La precisión que puede obtenerse mediante

este método ronda la décima de segundo. Si se producen contactos muy seguidos, el flash no tendrá tiempo de recargarse, por lo que se considera un método poco recomendable.

La precisión alcanzada es de décimas de segundo pues el dígito de las centésimas no se reproduce correctamente (fig. 11).



Figura 11 - Registro del tiempo fotografiando el cronómetro.

## f) Método de registro en vídeo e insertador de tiempo»

Actualmente existen en el mercado cámaras de videovigilancia con una alta sensibilidad y con la posibilidad de realizar integraciones, como por ejemplo las de marcas **Mintron** y **Watec**, ello permite registrar la ocultación y los diversos contactos que se puedan producir. Estas cámaras graban 25 imágenes por segundo, pero cada fotograma está formado por dos, por lo que si se tienen los medios para separarlos se puede conseguir una resolución de 0,02 segundos. El problema que aparece entonces es la base de tiempo. En la misma imagen debe superponerse la hora. Esto se consigue con un insertador de tiempo cuya fuente suele ser un receptor GPS. Un aparato de este tipo, y de precio también razonable, es el de la marca **KIWI**. La señal analógica obtenida con este montaje debe ser grabada, existiendo varias posibilidades:

### a) Magnetoscopio o grabador de DVD

En el primer caso la grabación es analógica y no puede tratarse con el ordenador a no ser que se digitalice el vídeo. En el segundo caso la grabación es digital y puede leerse directamente en el ordenador y así poder establecer los contactos.

### b) Ordenador equipado con capturadora de vídeo

Se trata de un sistema fácil y bastante económico.

### c) Videocámara doméstica con entrada analógica

Algunas cámaras de vídeo doméstico permiten la extrada de una señal analógica externa y permiten grabar digitalmente esta señal. Esta es una buena opción para expediciones, pues la autonomía de una de estas cámaras es superior a la que tienen las baterías de un ordenador portátil.

Ver la figura 12 para conocer las distintas configuraciones con una cámara de videovigilancia.

Otro método de registro es el uso de una webcam, pero el problema es saber a que tiempo corresponde cada fotograma, ya que este dato no se graba directamente en el fichero.

El análisis de los vídeos grabados en formato digital se pueden hacer con los programas **Virtualdub** que dispone de *plugins* para separar los campos de los fotogramas o **Limovie**.

## Tiempo Universal Coordinado (UTC)

El Tiempo Universal Coordinado es la escala de tiempo adoptada para su uso en las emisiones horarias. El UTC se relaciona mediante convenios previamente determinados con otras escalas de tiempo, como el Tiempo Atómico Internacional (TAI), el Tiempo Universal 1 (UT1), e indirectamente, con el Tiempo Terrestre (TT), que sustituye al anterior Tiempo de Efemérides (TE). Consiguientemente, es de vital importancia utilizar siempre el UTC para reportar cualquier observación astronómica, en especial, las de ocultaciones.

Se puede obtener de las emisiones de señales horarias, tal como se explica a continuación:

## Señales horarias

Cualquier reloj o cronómetro que se utilice para medir ocultaciones deberá ser puesto en hora mediante las señales horarias que ofrecen emisoras especializadas, o bien con las que transmite Radio Nacional de España 1 (RNE1) cada hora. No deben utilizarse señales de ningún otro medio o emisora comercial, salvo que se tenga constancia expresa de su exactitud. Normalmente las señales horarias de RNE1 constan de 5 pitidos cortos seguidos de uno más prolongado. El inicio de cada pitido corto indica el comienzo de los segundos 55, 56, 57, 58 y 59 correspondientes al minuto 59, y el inicio del último, largo, al segundo 0 del minuto 0 de la hora anunciada. Por lo tanto, al poner en marcha un cronómetro no debe esperarse a oír la última señal, ya que entonces se produciría un retraso de varias décimas de segundo. Es más recomendable adaptarse al «ritmo» de las señales y apretar el pulsador del cronómetro con el inicio de cualquiera de las varias señales horarias anteriores. Después sólo se deberá tener presente cuántos segundos exactos se llevan de adelanto con respecto a la hora real.

Las señales horarias continuas son emitidas por emisoras especializadas distribuidas por todo el mundo. La mayoría emiten en onda corta, siendo las frecuencias más importantes las siguientes: 2.500, 3.330, 5.000, 10.000 y 15.000 kilohertzios (Khz). Es aconsejable ensayar la sintonización en horas nocturnas y mucho entreno en el movimiento del selector de frecuencias. Téngase en cuenta que la banda de emisión es muy estrecha y que el dial de los aparatos de radio comunes es algo impreciso. En cambio, si el dial es digital, el trabajo se simplifica. Generalmente estas emisoras dan una señal cada segundo y los inicios de cada minuto son marcados mediante señales de tono diferente o de mayor duración que las restantes. En ocasiones se emiten señales de décimas de segundo. Puede ser fácil confundirse con otras emisoras de señales periódicas, pero no horarias. Conviene comparar, por tanto, los sonidos captados mediante un cronómetro. El Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid ofrece una lista de emisoras de señales horarias.

## Utilización de receptores GPS como base de tiempo

El sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global) es intrínsecamente muy preciso a escala temporal. Cada uno de los 24 satélites se halla equipado mediante un reloj atómico, y la estación base, en Colorado (EE.UU), también. De todas formas, los instrumentos lectores domésticos solamente están preparados para dar una buena información sobre la posición geográfica. La salida de tiempo es, generalmente, poco precisa. Por tanto, a menos que el lector GPS esté especialmente preparado, no debe utilizarse como base de tiempo.

## Receptores / insertadores de tiempo

En el mercado especializado existen instrumentos que introducen señales exactas y precisas de tiempo UTC en



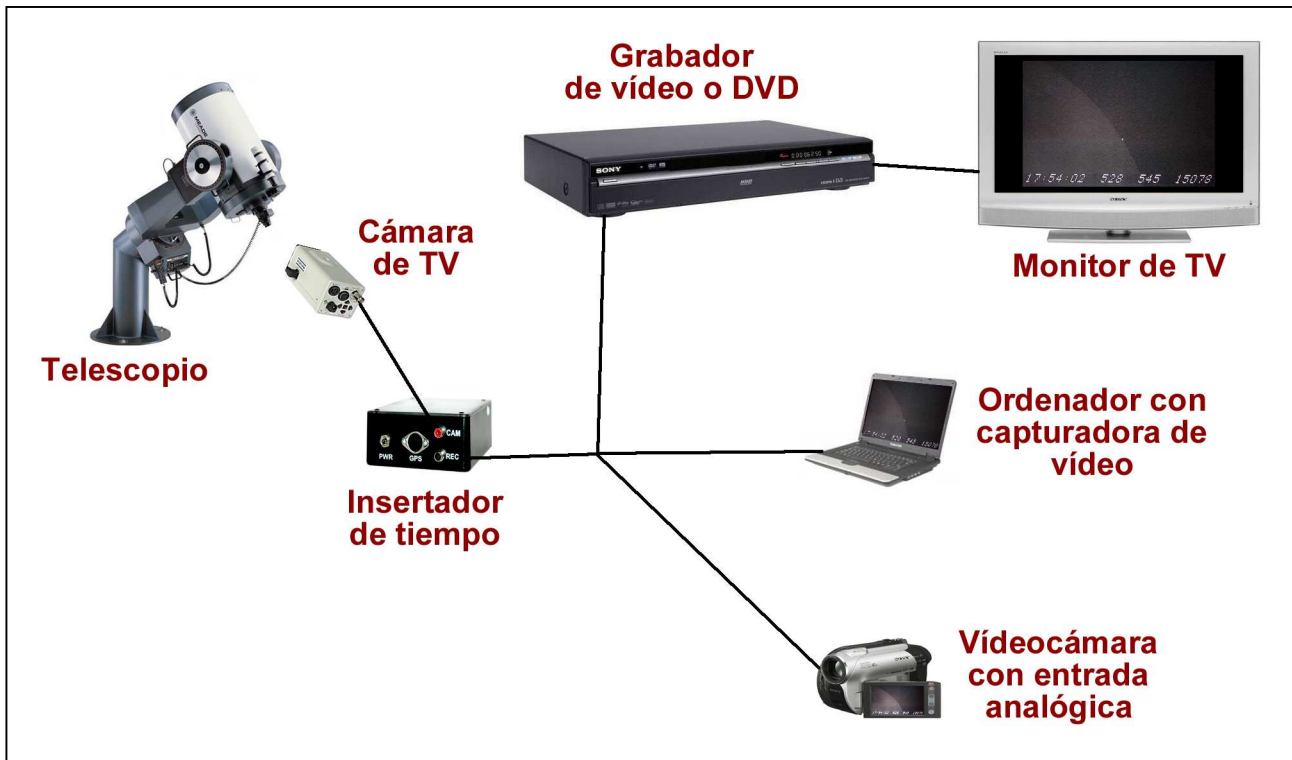


Figura 12 - Esquema de los posibles montajes en una grabación con cámara de videovigilancia e insertador de tiempo.

grabadores de video u ordenadores. Hay modelos que utilizan señales emitidas por radio, como la DCF 77 de Frankfurt, Alemania (77,5 kHz), u otros que las obtienen de los satélites GPS. Las emisoras de radio tienen una cobertura geográfica limitada (por ejemplo, en el sur de España y Canarias prácticamente no se reciben), mientras que los módulos GPS se pueden utilizar en cualquier parte del mundo. Para una información actualizada contactar con los coordinadores de ocultaciones.

### Ecuación personal

La ecuación personal es el retraso que se comete entre la visualización del fenómeno y la respuesta del observador; esto es, el accionamiento de un pulsador o la emisión de una voz. Suelen transcurrir de 0,3 a 0,6 segundos, y en ocasiones incluso más. Normalmente se subestima, por lo que es muy conveniente intentar su determinación con anterioridad a la observación. De hecho, la ecuación personal es diferente en cada medición, dependiendo de la fatiga, entrenamiento, grado de dificultad de la observación, etc. Es muy importante indicar la ecuación personal (EP) para cada contacto.

Un procedimiento simple para conocerla en una primera aproximación es el siguiente: cúbranse con un papel las cifras correspondientes a los segundos de un cronómetro. Cuando se advierta el cambio de minuto, apriétese el botón de paro. Entonces podrá leerse el tiempo que se ha necesitado para reaccionar, es decir, la ecuación personal.

### Exactitud y precisión

Son dos conceptos muy importantes que conviene diferenciar claramente. La exactitud es un concepto ligado al grado de confianza con el cual cada instrumento (reloj) marca el paso de una señal temporal a otra. Así, un reloj que marque solamente horas y minutos será muy exacto si en días sucesivos no se adelanta o se retrasa, coincidiendo siempre el cambio de minuto con la señal de referencia en UTC.

La precisión o sensibilidad es el grado de resolución temporal de un reloj. El reloj del ejemplo anterior es poco preciso porque no nos facilita información sobre los segundos. En cambio, los cronómetros digitales al uso nos ofrecen las centésimas de segundo, pero al cabo de un día se adelantan o retrasan hasta segundos enteros. En este caso, la precisión es alta y la exactitud baja. Recordemos que una observación visual es intrínsecamente precisa hasta, como máximo, 0,1 segundos, por muchos decimales que tenga el cronómetro.

Atención: la exactitud únicamente se consigue mediante una buena base de tiempo; la precisión la da la lectura del cronómetro.