

Cámaras oscuras: construcción y usos en astronomía escolar

Juan Tomé / Amonaria cosmológica

www.cosmologica.amonaria.com/ Menú / Didáctica / Astronomía



1 Introducción

Las cámaras oscuras son instrumentos ópticos cuyo funcionamiento y manejo es tan sencillo, cuya construcción requiere materiales tan comunes y cuyas aplicaciones son tan interesantes que su presencia en la enseñanza de la astronomía parece natural.

Disfrazadas de *Tubos negros* incorporan la estética clásica del telescopio, lo que unido a la fascinación de la contemplación de imágenes en pantallas las convierte en instrumentos atractivos para todos.

Por otra parte, la justificación teórica de su funcionamiento permite introducirlas en clases de Física o de Matemáticas como objeto de estudio interdisciplinar.

Las cámaras oscuras tienen todas las condiciones exigibles a los instrumentos para que su construcción sea preferida a su mera adquisición, de forma que uno de los objetivos del trabajo astronómico en la escuela (a saber, que el alumno controle todo el proceso de diseño, construcción, explicación, funcionamiento y manejo de los instrumentos) pueda ser cumplido.

Sus posibles usos reúnen la sencillez de planteamiento, la obtención de resultados valiosos y la facilidad de su interpretación. Además, en algunos casos, pueden incorporar la estética y la escenografía de los grandes montajes de observación.

En este trabajo se explican las características generales de las cámaras oscuras poniéndolas en relación con el uso que se pretenda darles en observaciones del Sol. Así se facilita su diseño según los objetivos de enseñanza pretendidos.



2 Propiedades básicas

Una cámara oscura es una caja cerrada de material opaco con, al menos, dos caras paralelas. En una de ellas se practica un orificio (estenope en adelante) que actúa como objetivo de la cámara. En la otra se coloca un papel translúcido que llamaremos pantalla, donde se forman y observan (por transparencia) las imágenes de objetos que se coloquen frente al objetivo, del Sol en nuestro caso.

El Sol, como cualquier foco luminoso (figuras 1 y 2) emite fotones en todas las direcciones desde cada uno de los puntos de la superficie emisora.

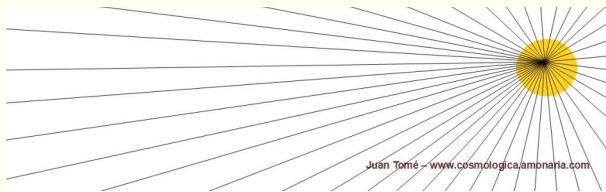


Figura 1

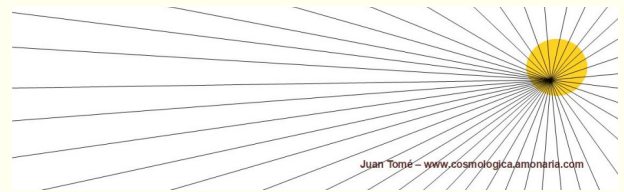


Figura 2

De cada punto emisor, solo los fotones emitidos hacia el estenope de la cámara oscura incidirán en la pantalla (figura 3). El estenope consigue así que se cumpla la condición necesaria para la formación de cualquier imagen: que exista una correspondencia biunívoca entre cada uno de los puntos del foco y los de la imagen.

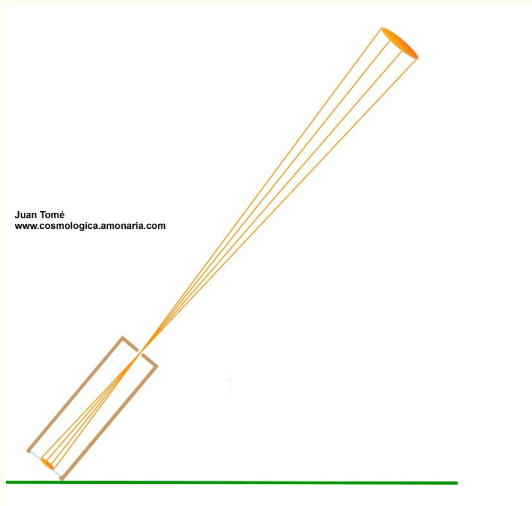


Figura 3

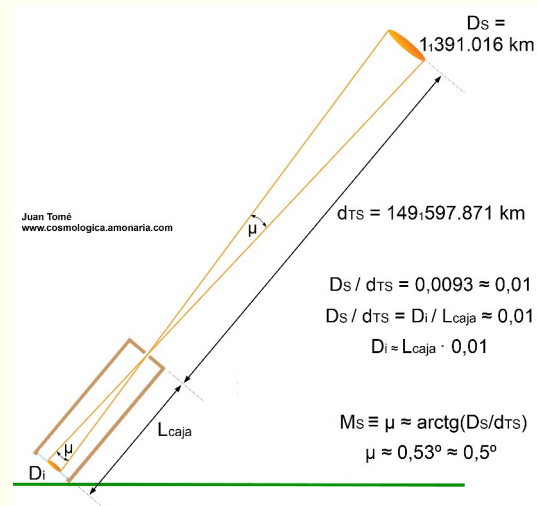


Figura 4

La semejanza de los triángulos que tienen como bases el disco solar y su imagen en la pantalla (figura 4) permite establecer que:

$$D_i / L_{tubo} = D_s / d_{TS} = 1,391.016 / 149,597.870,7 = 0,0093 \approx 0,01$$

lo que conduce a la siguiente regla práctica útil para el diseño de cámaras oscuras de observación solar:

El diámetro de la imagen será, aproximadamente, una centésima parte de la longitud del tubo. De otra manera: se tendrá 1 mm de diámetro de imagen por cada 10 cm de longitud de la cámara.

Por otra parte (también figura 4), el ángulo μ es la magnitud angular, M_s , visto desde la Tierra. Es:

$$M_s = 2 \cdot \arctg [(D_s/2)/d_{TS}] \approx \arctg D_s/d_{TS} = \arctg 0,0093 = 0,53^\circ$$

cantidad que, como se ve, no depende de las dimensiones de la cámara oscura, y que conduce a otra regla práctica útil para trabajos de observación solar:

Desde la Tierra, la magnitud aparente del Sol es, aproximadamente, medio grado.

3 Seguimiento del Sol

Posiblemente, éste sea el trabajo de observación del Sol más sencillo y más fundamental. Se trata de visualizar las trayectorias diarias aparentes del Sol varios días del año. Para ello se usa un tubo negro que se apunta (guiándose por la sombra del tubo, sin mirar al Sol) hasta conseguir que la imagen del Sol quede centrada en la pantalla. Conseguido esto, mediante varillas y círculos que representen el Sol se materializa la posición del Sol justo ante el estenope del tubo.



Figura 5

Al repetir esto a lo largo de un día, queda patente la trayectoria aparente del Sol ese día. La figura 5 es una fotografía de una maqueta que explica cómo se hizo el seguimiento del Sol un día de otoño cercano al solsticio de invierno.

Si observaciones similares se repiten distintos días del año, se podrán constatar como varían esas trayectorias aparentes según las estaciones del año.

Según las longitudes de los tubos que se usen para estos seguimientos se obtendrán representaciones de mesa (tubos de 20 cm

por ejemplo) o representaciones de exterior (tubos de 2 metros más).

Con el mismo fin, pueden construirse tubos negros con sencillas monturas altazimutales para determinar altura y azimut del Sol a lo largo de un día y en distintos días del año. En los XVI Encuentros de ApEA, en el Museo de la Ciencia de Cuenca, julio 2026, se construyó un modelo, bautizado Tunémona[®], cuyo coste total es de 8 € aproximadamente. Pueden verse detalles de la construcción de este modelo en www.cosmologica.amonaria.com (Menú → Didáctica → Didáctica de la astronomía → Tubos negros: construcción y usos).

4 Instrumento de paso

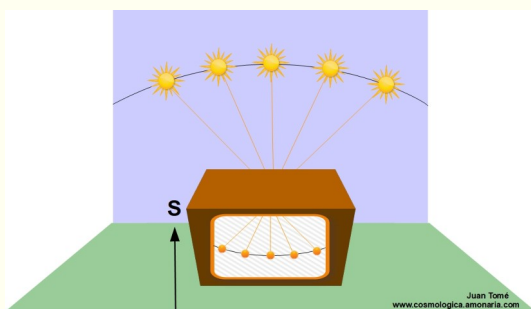


Figura 6

Una cámara oscura puede utilizarse para determinar la hora de paso del Sol por el meridiano del lugar (figura 6).

Se trataría de una caja negra fija orientada al sur e inclinada respecto de la horizontal un ángulo igual a la colatitud.

La pantalla debe tener una línea vertical centrada con el estenope. El momento de paso será cuando esa línea atraviese la imagen del Sol por su centro.

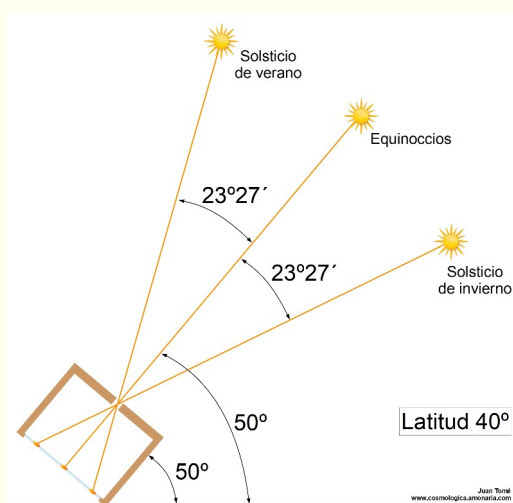


Figura 7

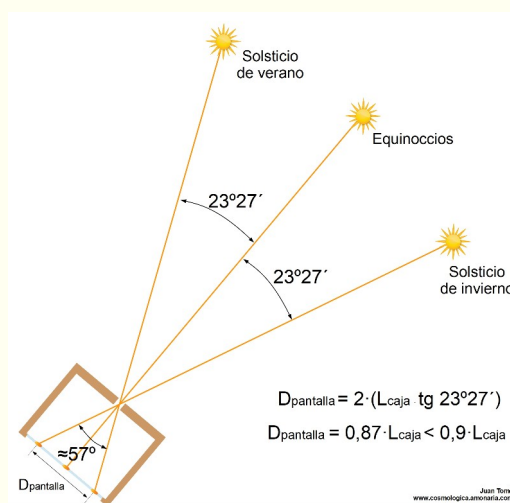


Figura 8

La figura 7 muestra una cámara oscura de paso puesta en estación para latitud 40°. Muestra también que el paso del Sol en el solsticio de verano es 23° 27' más alto que en los equinoccios, mientras que en el solsticio de invierno es 23° 27' más bajo.

Por eso (figura 8), la dimensión vertical de la pantalla de una cámara oscura de paso meridiano debe ser:

$$D_{\text{pantalla}} > 2 (L_{\text{caja}} \cdot \text{tg } 23^{\circ} 27') = 0,87 L_{\text{caja}}$$

para que recoja las imágenes del Sol en los dos solsticios. Como regla práctica:

La dimensión vertical de la pantalla de una cámara oscura de paso debe ser, como mínimo, igual a la longitud de la cámara.

El momento de paso por el meridiano es siempre, por definición, las 12 hora solar local. Sin embargo, lo que se medirá con el instrumento de paso será la hora oficial de paso local, que diferirá de las 12 solares local por varios factores:

- Por el adelanto de una hora (horario de invierno) o dos horas (horario de verano) respecto de la hora solar que tiene el horario oficial en España.
- Por la longitud del lugar: el Sol pasa por el meridiano antes/después de las 12+1 (invierno) o 12+2 (verano) oficiales en lugares situados al este/oeste del meridiano de Greenwich. El adelanto o retraso es de 4 min por grado.
- Por las variaciones del intervalo temporal entre culminaciones sucesivas del Sol debidas a la excentricidad de la órbita de la Tierra y a la inclinación de la eclíptica respecto del ecuador, variaciones recogidas en al “ecuación del tiempo”.

Los dos primeros son constantes. El tercero depende de la época del año. Si se anota la hora oficial de paso del Sol por el meridiano local y se corrige con los factores a) y b), la diferencia entre la hora obtenida y las 12 solares será el valor de la tercera corrección, es decir, el valor de la “ecuación del tiempo” para la fecha de observación.

Por otra parte, si en distintas épocas del año se señala en la pantalla del instrumento de paso la posición del Sol a la hora de paso calculada a partir de las 12 hora oficial corregida solo con los factores a) y b), se obtendrá en la pantalla el ocho estilizado que se conoce como analema.

Es posible, por tanto, a partir de observaciones con el instrumento de paso, profundizar en las relaciones entre hora solar y hora oficial, en las razones astronómicas de sus discrepancias y en las dificultades históricas para definir una hora universal a partir de las observaciones de paso del Sol, dificultades que llevaron, hacia los años 60 del siglo XX, a cambiar el patrón horario astronómico ligado al Sol por el patrón físico de los relojes atómicos.

5 Rotación de la Tierra

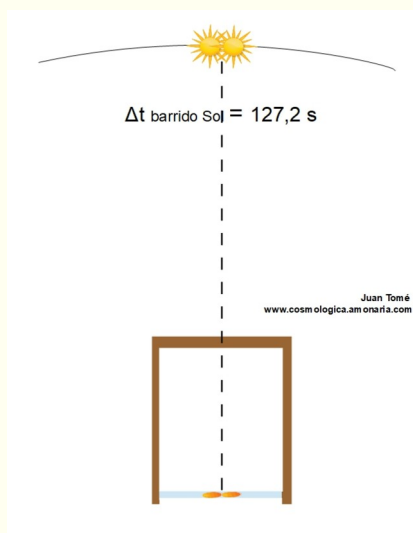


Figura 9

Con la cámara oscura de paso meridiano puede determinarse la velocidad de rotación de la Tierra.

Basta medir lo que dura el paso del Sol por el meridiano, esto es, el paso de la imagen por la línea vertical de paso dibujada en la pantalla (figura 9). El valor de exacto es 127,2 s .

Experimentalmente, se obtendrán valores cercanos a ese.

Como la magnitud angular del Sol visto desde la Tierra es $0,53^{\circ}$, será:

$$\omega_{\text{Tierra}} = 0,53^{\circ} / 127,2 \text{ s} = 0,0042 \text{ }^{\circ}/\text{s}$$

que da para el período de rotación terrestre:

$$\Delta t_{\text{vuelta Tierra}} = 360^{\circ} / 0,0042 \text{ }^{\circ}/\text{s} \approx 86400 \text{ s}$$

la conocida duración del día medio.

6 Observación de eclipses

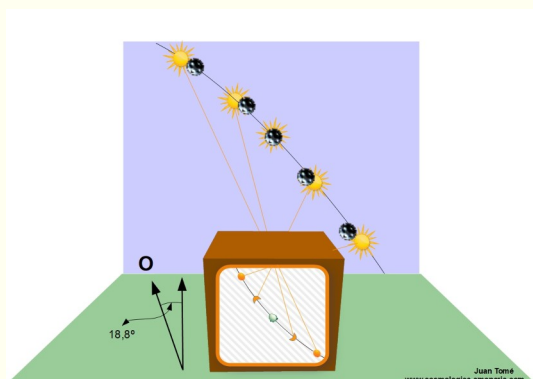


Figura 10

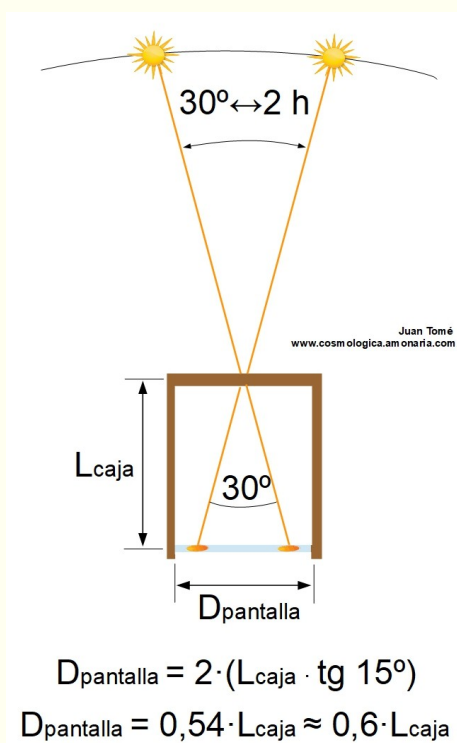


Figura 11

Las cámaras oscuras pueden servir para dejar dibujada en su pantalla la trayectoria aparente del Sol durante un eclipse. Para ello, hay que marcar en la pantalla el punto central de la imagen del Sol a intervalos temporales elegidos. Sobre esa trayectoria, invertida, pueden luego colocarse imágenes del Sol eclipsado obtenidas por los medios habituales de proyección en los mismos momentos en que se marcaban las posiciones de la imagen del Sol en la pantalla, obteniéndose así una reproducción de la sucesión de imágenes que pudieron ver quienes contemplaron el eclipse en directo.

La figura 10 ilustra las trayectorias aparentes del Sol y de la Luna en el eclipse de agosto 2026 en algún lugar de Castilla y León.

Como la duración de un eclipse de Sol es unas 2 horas, y el Sol “recorre” 15° cada hora, la dimensión de la pantalla en la dirección de la trayectoria aparente debe ser (figura 11):

$$D_{\text{pantalla}} > 2 (L_{\text{caja}} \cdot \tan 15^\circ) = 0,54 L_{\text{caja}}$$

para que recoja las imágenes del Sol a lo largo del eclipse. Como regla práctica:

Para seguir un eclipse con una cámara oscura, la dimensión de la pantalla en la dirección de la trayectoria aparente debe ser, como mínimo, 6/10 de la longitud de la cámara.

En el caso concreto del eclipse de agosto 2026, que sucede cerca de la puesta, los 6/10 de la longitud de la cámara deben medirse en la pantalla con una inclinación de unos 45° , porque la inclinación de la trayectoria aparente del Sol en el momento de la puesta es 48° para latitud 42° .

Referencias

Tomé, J., 1990, “Tubos negros: construcción y usos”, www.cosmologica.amonaria.com (Menú → Didáctica → Didáctica de la astronomía → Tubos negros: construcción y usos, donde pueden verse una versión extensa y la versión resumida publicada en las Actas de la Teaching Astronomy IV International Conference, Barcelona, 1990)