

LA CÁMARA OSCURA



Erick Barrios Barocio; Roxette Ramírez Arvidez.
Óptica v.2025

La cámara oscura es un instrumento el cual permite proyectar imágenes sin la necesidad de utilizar lentes o espejos cóncavos. Su funcionamiento se basa enteramente en las aproximaciones de fuentes puntuales y de rayos de luz. Fue una de las primeras aplicaciones prácticas de la óptica geométrica en la antigüedad.

Contenido

1	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	1
1.1	Características.....	2
2	ÓPTICA GEOMÉTRICA Y LA CÁMARA OSCURA	3

La cámara oscura (también llamada estenopeica) es un instrumento óptico simple que permite proyectar imágenes. Las primeras referencias y descripciones de este instrumento se pueden encontrar en los escritos del filósofo chino Mozi de los años 500 a.c. y en los tratados aristotélicos de alrededor del 300 a.c. Posteriormente, en los años 1000 d.c. el físico árabe Ibn-al-Haytam describió de forma geométrica su funcionamiento. En los siglos 16 y 17, se empezó a experimentar su uso en cuartos oscuros donde solo había un pequeño agujero en una pared por donde entraba la luz, y que proyectaba una imagen en la pared opuesta. Posteriormente, se implementaron distintos arreglos de cámara oscura como instrumentos de ayuda para dibujar (Figura 1).

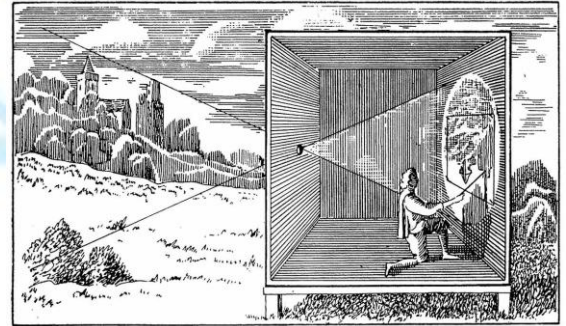


Figura 1. Uso de la cámara oscura como ayuda para dibujar.

En 1856, el inventor escocés David Brewster describió en su libro *“El estereoscopio”* cómo llevar a cabo fotografía con una cámara oscura, describiéndola como *“una cámara sin lentes”*

1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Los conceptos ópticos detrás de una cámara oscura son principalmente dos: el de la fuente puntual y el de rayo de luz.

Un rayo de luz es un concepto idealizado, el cual es representado por un vector de dirección (en el que se propaga la luz) infinitamente delgado el cual es normal a los frentes de onda. En la práctica, lo que encontramos son haces de luz que son conjuntos de rayos distribuidos en una cierta área y que tiene una cierta divergencia (Figura 2a). Un rayo de luz se puede aproximar haciendo que tanto el área transversal de un haz de luz como su divergencia sean muy pequeñas.

Una fuente puntual se puede visualizar como una fuente de luz infinitesimal que emite frentes de onda esféricos homogéneos en todas direcciones (Figura 2b). Entonces, de forma simplificada, de la fuente puntual salen rayos de luz de forma homogénea en todas direcciones.

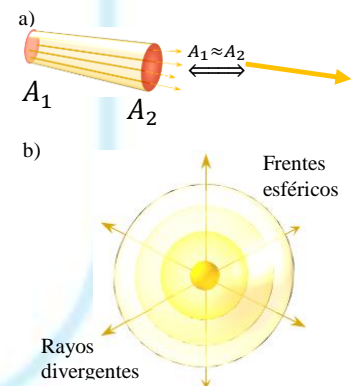


Figura 2. a) Relación conceptual de la aproximación de un haz de luz en un rayo de luz. b) Fuente puntual.

Para entender el funcionamiento de una cámara oscura, partimos del concepto de fuente puntual. Imaginemos que ponemos una pantalla opaca, la cual tiene una abertura de área A_1 , a una cierta distancia de la fuente (Figura 3a). Esta pantalla bloqueará muchos de los rayos de luz emitidos por la fuente y solo dejara pasar los que coincidan con el área de la abertura. Como se puede observar, esto generará un haz de luz cuya área transversal inicial será A_1 y se propagará con una cierta divergencia dependiendo de la distancia a la que se encuentre la fuente.

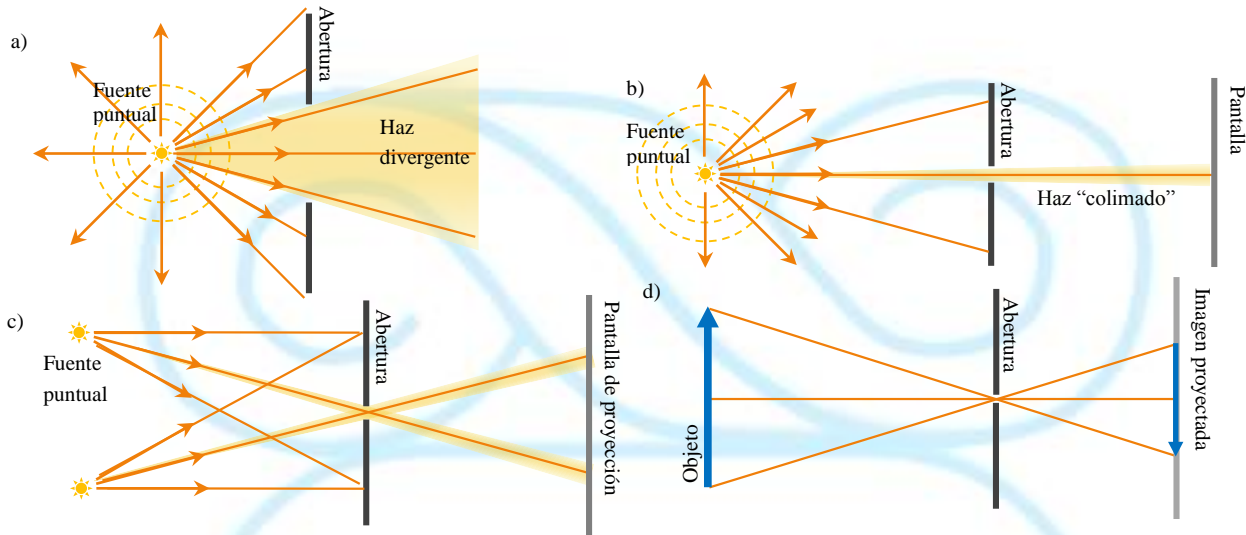


Figura 3. Principios detrás de una cámara oscura. a) Una fuente puntual y una abertura. b) Caso donde la abertura es mucho más pequeña que la distancia a la fuente. c) Dos fuentes puntuales y una abertura. d) Proyección de un objeto en una pantalla generada por la abertura.

De forma práctica, para poder aproximar el haz de luz como un rayo, podemos reducir el área de la abertura. Al hacer su diámetro mucho más pequeño que la distancia a la fuente, el haz que pasa por la abertura tendrá muy poca divergencia (Figura 3b). Además, esto ayudará a hacer que el área transversal del haz se mantenga considerablemente constante a lo largo de su trayectoria. Esto nos permite modelar el sistema como un selector de los rayos que vienen de la fuente puntual, ya que en el caso idealizado, se podría decir que si la apertura es muy pequeña, solamente un rayo pasaría por ella.

Si colocamos una pantalla de proyección del otro lado de la abertura, también a una distancia mayor a su diámetro (Figura 3b), el rayo de luz que pasa por la abertura llegará a la pantalla generando un "punto" de luz (en la práctica, lo que se observa en la pantalla es la imagen de la abertura, es decir, una región iluminada de área $\sim A_1$).

Por otro lado, si colocamos dos fuentes puntuales frente a la pantalla (Figura 3c), se puede observar que solamente un rayo proveniente de cada fuente pasará por la abertura produciendo cada uno un punto en la pantalla, es decir, en la pantalla se observarán dos imágenes, cada una proveniente de cada fuente.

Finalmente, si colocamos un objeto extendido en lugar de la fuente puntual, por ejemplo una flecha (Figura 3d), podremos asumir que la flecha está compuesta de una infinidad de fuentes puntuales, cada una emitiendo frentes de onda esféricos, y de los cuales solamente un rayo de cada fuente puntual pasa a través de la abertura generando una imagen de dicha fuente puntual. Esto implica que en la pantalla se proyectaran una infinidad de puntos, los cuales en conjunto formarán la imagen proyectada de la flecha.

1.1 CARACTERÍSTICAS

De esta forma, una cámara oscura es un instrumento que permite construir una imagen de un objeto a partir de seleccionar un solo rayo que proviene de cada punto del objeto y dejando que dicho rayo llegue a la pantalla.

De los diagramas mostrados, se pueden deducir varias particularidades de la cámara oscura:

1. Su principal desventaja es la baja intensidad (irradiancia) de la imagen proyectada. Dado que la abertura solo deja pasar un haz delgado, el flujo radiante será una fracción muy pequeña del flujo total emitido por la fuente; en consecuencia, la irradiancia en la pantalla será muy pequeña. Entre más pequeña sea la abertura más tenue será la imagen. Debido a esto, al construir una cámara oscura, es necesario que la cámara este perfectamente sellada, a excepción de la abertura, de forma que ningún otro haz opaque el haz proveniente de la abertura.
2. Inversamente al punto anterior, entre más pequeña sea la abertura, la definición de la imagen será mejor ya que

la imagen estará conformada de infinidad puntos muy pequeños que en conjunto generaran una mejor definición de la imagen. *Esto es equivalente a lo que ocurre con la resolución de un pantalla de televisión, donde entre más pequeños sean los pixeles y entre mayor sea la densidad de pixeles, mas definida se verá la imagen.* Si la abertura es grande, la imágenes producidas por dos puntos contiguos en el objeto se sobrepondrán (debido a su tamaño) haciendo que la imagen se vea borrosa.

- Debido a que los rayos pueden proceder de cualquier lugar enfrente de la abertura desde cualquier distancia, la profundidad de campo (región frente a la cámara que produce imágenes nítidas en la pantalla) es prácticamente infinita. Esto no es posible con cámaras basadas en lentes, ya que las lentes por lo general solo enfocan regiones a cierto rango de distancias de la lente.
- Existe un límite a la reducción de la abertura impuesto por la difracción. Este fenómeno produce que, al llegar a un cierto tamaño de abertura del orden de micrómetros y seguir reduciéndola, el grosor del haz deja de decrecer y comienza a incrementarse (además de presentar interferencia), reduciendo la definición de la imagen.

2 ÓPTICA GEOMÉTRICA Y LA CÁMARA OSCURA

Del diagrama de la Figura 4, podemos ver que la distancia abertura-imagen (i) junto con el tamaño de la imagen (h') forman un triángulo rectángulo. Por otro lado, afuera de la cámara, la distancia abertura-objeto (o) junto con el tamaño del objeto (h) también forman un triángulo rectángulo. Debido a que la apertura es vértice de ambos triángulos, éstos forman un par de triángulos semejantes, y presentan una proporcionalidad entre sus catetos:

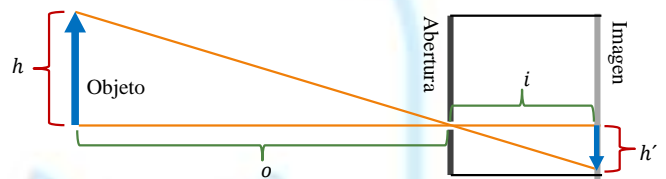


Figura 4. Geometría de la cámara oscura

$$\left| \frac{o}{i} \right| = \left| \frac{h}{h'} \right| \quad (1)$$

Esto permite realizar mediciones indirectas de tamaños. Por ejemplo, si conocemos la distancia i (el tamaño de la cámara), la distancia o y medimos el tamaño h' , podremos calcular el tamaño del objeto, lo cual sería útil para medir alturas de objetos de difícil acceso (como árboles, edificios, etc.).