

ILUSIONES ÓPTICAS



Erick Barrios Barocio.
Óptica v.2025

Actualmente, en el ámbito del entretenimiento, existen muchos dispositivos que producen ilusiones ópticas a través de la generación de imágenes reales y/o virtuales. La forma más común y antigua de generar estas ilusiones es con la ayuda de espejos, ya que son muy útiles para observar objetos de forma indirecta.

Contenido

1	OBSERVACIÓN CON ESPEJOS PLANOS	1
1.1	Ilusión del fantasma de Pepper	2
2	ILUSIONES CON ESPEJOS CÓNCAVOS.....	3

1 OBSERVACIÓN CON ESPEJOS PLANOS

La principal característica de un espejo plano es que genera una imagen virtual, detrás del espejo, de un objeto que está frente a él (Figura 1). La posición de dicha imagen está dada por la relación:

$$o = i \quad (1)$$

Además, de la geometría del diagrama, también se puede ver que:

$$h = h' \quad (2)$$

Es decir, el tamaño de la imagen es igual al tamaño del objeto.

En el caso de la Figura 1, para que el observador reciba el rayo retro-reflejado (verde), se tiene que colocar junto al objeto, lo cual implica que la normal del espejo apuntará tanto al objeto como al observador; sin embargo, la normal del espejo se puede orientar a un ángulo diferente que no apunte al objeto, permitiendo que el observador se mueva a otras posiciones y seguir observando el objeto en el espejo. Esto facilita observar objetos desde distintas direcciones de forma *indirecta* (a través de su reflexión), es decir, sin estar junto al objeto. Es de notar que para observar un objeto de forma indirecta con ayuda de un espejo es importante tener en mente la Ley de reflexión:

$$\theta_i = \theta_r \quad (3)$$

Es decir, el ángulo de incidencia θ_i (medido respecto de la normal) es igual al ángulo de reflexión θ_r . Esto implica que la normal siempre tendrá que apuntar hacia un punto medio entre el observador y el objeto (Figura 2a). Esto puede ser útil en situaciones como la de la Figura 2b, donde, para poder observar el objeto detrás del pilar sin necesidad de darle la vuelta, podemos utilizar un espejo para redirigir los rayos de luz que salen del objeto hacia el espejo hacia nosotros. Esto tiene varias aplicaciones prácticas, como por ejemplo en los periscopios (Figura 2c), donde se utilizan dos espejos planos para redirigir los rayos y observar de forma indirecta.

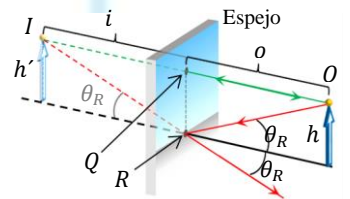


Figura 1. Geometría de un espejo plano.

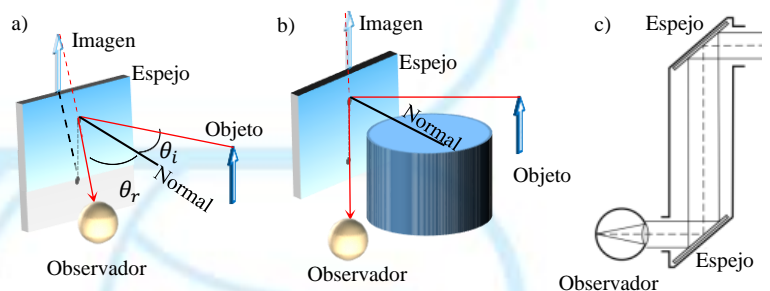


Figura 2. a) Geometría del uso de un espejo. b) Uso de un espejo para observación indirecta. c) El periscopio.

1.1 ILUSIÓN DEL FANTASMA DE PEPPER

En 1862, el científico inglés John Henry Pepper presentó una obra teatral donde hizo uso de reflexiones en placas de vidrio planas para generar ilusiones ópticas de fantasmas con imágenes virtuales (Figura 3). En dicha obra, la placa de vidrio servía para reflejar hacia la audiencia lo que se iluminaba en otro cuarto aledaño al escenario principal, del cual la audiencia no tenía conocimiento de su existencia. Esto provocaba que se observaran las dos escenas (la que ocurría en el escenario principal y la del cuarto oscuro) superpuestas, siendo una real y otra virtual, siendo la última el fantasma.

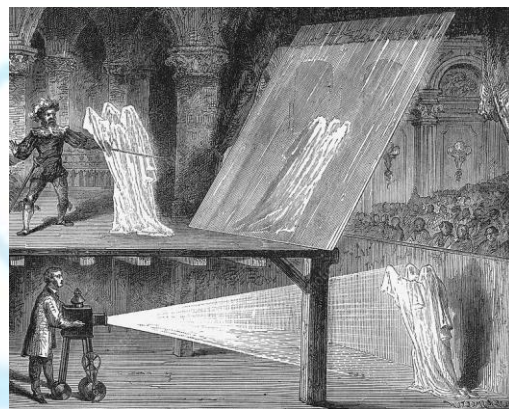


Figura 3. Ilustración del uso del sistema creado por Pepper para crear la ilusión de un fantasma en una obra de teatro.

Para tener una mejor idea de cómo funciona la ilusión, veamos la Figura 4a. Entre el escenario donde se encuentra los actores reales y la audiencia se coloca una placa de cristal (o acrílico) a un ángulo tal que refleje la luz proveniente de un cuarto localizado a un lado de la línea de visión audiencia-escenario (en el diagrama a 45°). La placa de cristal debe estar lo más limpia posible de forma que se comporte como un divisor de haz, el cual transmite 50% de la luz que llega a él y refleja el otro 50% (Figura 4b), comportándose como un espejo plano para la luz reflejada.

Si el escenario principal y actores en él están lo suficientemente iluminados, la luz dispersada por ellos se transmitirá por el cristal llegando a la audiencia como si no hubiera cristal. Por otro lado, si el cuarto adyacente al escenario es totalmente oscuro, con sus paredes perfectamente negras y de un material opaco no reflejante, no habrá luz que salga de él, llegue al cristal y sea reflejada. Sin embargo, si un objeto (por ejemplo, otro actor secundario), con un color y material que dispersen la luz, es colocado en el cuarto oscuro e iluminado con luz intensa, la luz dispersada por él llegará al cristal y será reflejada de acuerdo a la ley de reflexión y podrá ser dirigida hacia a audiencia. En consecuencia, la audiencia observará una imagen virtual (producto del reflejo) superpuesta en el escenario.

Una desventaja de este sistema de ilusión es que, para ser más realista, el cuarto oscuro debe tener las mismas dimensiones que el escenario, ya que debido a la relación del espejo plano (ecuación (1)), si el actor en el escenario quiere “interactuar” con el fantasma, el actor fantasma en el cuarto oscuro tendrá que estar a una distancia igual del cristal que el actor en escena. Una segunda desventaja es que la audiencia tiene que estar considerablemente alejada del

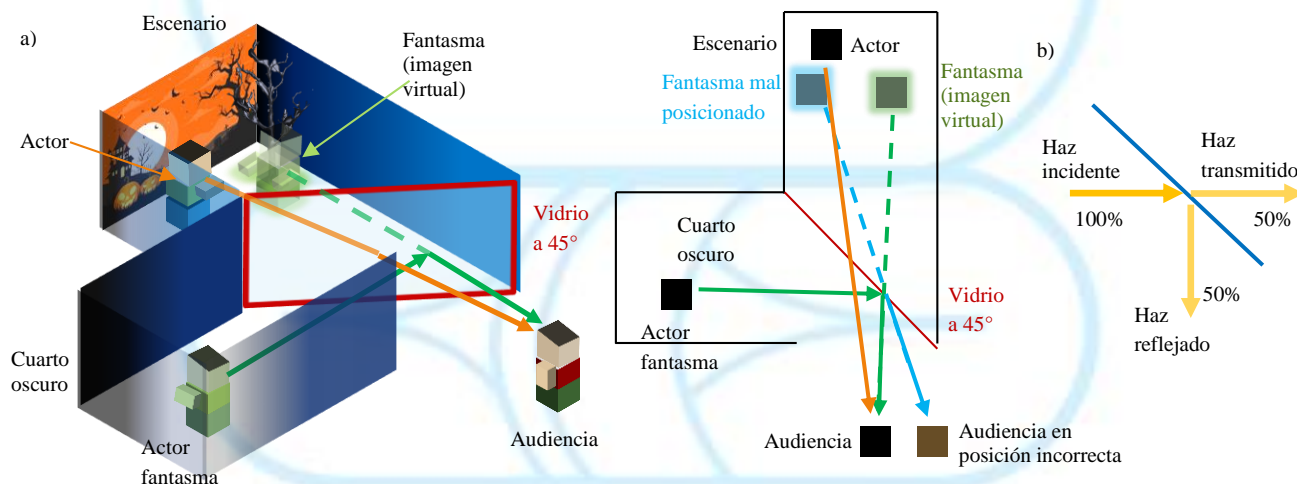


Figura 4. a) Diagrama de funcionamiento de la ilusión del fantasma de Pepper en obras de teatro. b) Una placa divisora de haces 50/50.

escenario o en una posición muy particular para que las escenas (transmitida y reflejada) coincidan, de lo contrario parte de la audiencia vera al fantasma en una posición que no es la correcta (paralaje) y posiblemente comprimido (distorsión).

A pesar de la simplicidad y antigüedad de la idea, este sistema encuentra aplicaciones actuales como en los tele-apuntadores (Figura 5a) o sistemas de visualización arriba (HUD por sus siglas en inglés) utilizados en automóviles y aviones (Figura 5b y c). De igual forma, actualmente se comercializa como juguete científico, sin embargo, con el nombre incorrecto de “proyector de holograma” (Figura 5d). Este juguete tiene la particularidad de contar con 4 placas de acrílico de forma piramidal dando la posibilidad de observar desde cuatro direcciones distintas, lo que da una apariencia 3D, sin llegar a serlo. Aun así, todos estos sistemas siguen teniendo el problema de distorsión y paralaje.

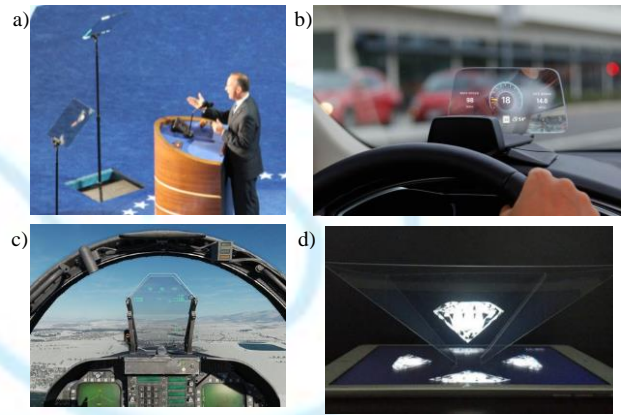


Figura 5. a) Sistema de tele-apuntador para discursos. b) HUD para automóvil, c) HUD para avión de combate. d) fantasma de Pepper con cuatro caras.

2 ILUSIONES CON ESPEJOS CÓNCAVOS

La principal característica de los espejos parabólicos cóncavos (y de los esféricos como aproximación al parabólico) es su punto focal, que es el lugar geométrico tal que, si en él se coloca una fuente de luz puntual, los rayos que salgan de ahí, al reflejarse en el espejo saldrán de forma paralela hacia el infinito (Figura 6). Inversamente, si se tienen rayos de luz que inciden de forma paralela en el espejo desde el infinito, se reflejarán de forma que todos convergerán en el punto focal, es decir, un objeto en el “infinito” producirá una imagen en el foco del espejo con un tamaño puntual ya que la ecuación de magnificación del espejo esférico es:

$$M = -\frac{i}{o}$$

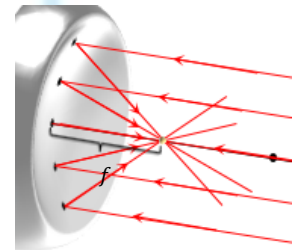


Figura 6. Geometría del espejo cóncavo.

(4)

En este último caso, si seguimos solamente los rayos reflejados, veremos que se concentran en el punto focal y luego divergen como si se tratara de una fuente puntual. Es decir, un observador frente al espejo podría pensar que los rayos de luz se generan desde el foco. Esto puede ser aprovechado para construir una ilusión que asemejaría más a una imagen 3D que el caso del espejo plano mencionado anteriormente.

Para llevar a cabo eso, imaginemos que tenemos un espejo parabólico (o esférico) con una distancia focal relativamente pequeña (Figura 7a), y en la cual colocamos un objeto de dimensiones pequeñas (es decir, todos los puntos del objeto estarán aproximadamente alrededor del foco). En dicho arreglo, todos los rayos de luz que salgan del objeto en dirección del espejo se reflejarán hacia el infinito. Si ahora colocamos otro espejo parabólico cuyo foco sea un poco más grande que el del primer espejo y lo colocamos de forma que su foco esté detrás del primer espejo (Figura 7b), lo que ocurrirá es que los rayos (paralelos) provenientes del primer espejo se reflejarán y convergerán en el segundo foco (aunque para que esto sea posible habrá que hacer un agujero en la parte central del primer espejo).

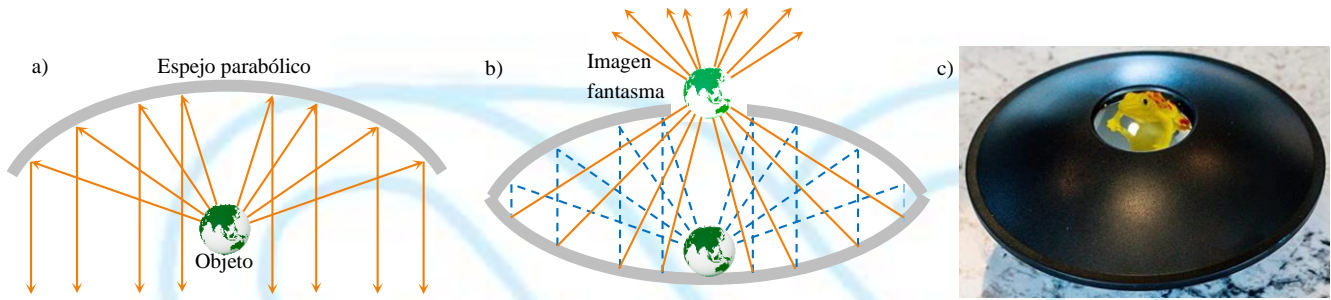


Figura 7. Ilusión con espejos cóncavos. a) Diagrama de rayos cuando un objeto se coloca en el foco del espejo. b) Segundo espejo parabólico bajo el primero, con foco atrás del primero. c) Juguete de ilusión óptica de espejos parabólicos, la rana observada es una imagen fantasma de la rana dentro de los espejos.

Esto formará una cavidad con forma de ovoide y con un agujero de salida. Para un observador fuera de la cavidad, parecerá que los rayos de luz provienen del foco del segundo espejo, dando la ilusión de que el objeto se encuentra en esa posición (Figura 7c).

La diferencia de esta ilusión respecto de la de Pepper es que tiene una apariencia volumétrica ya que la simetría cilíndrica del sistema permite que el observador se mueva alrededor del ovoide y vea el objeto desde distintos ángulos dando una apariencia 3D.