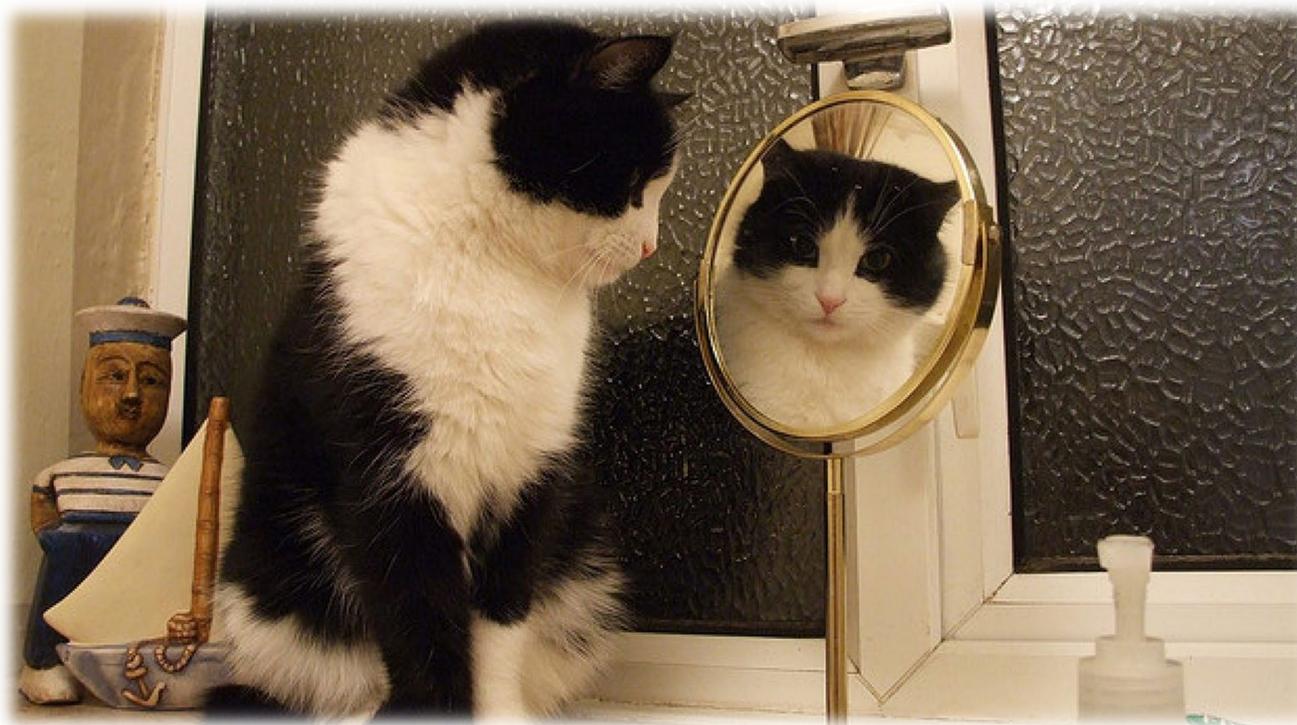


TEMA

9

Reflexión de la luz



Resultado de aprendizaje: Especifica las leyes que rigen la reflexión y la refracción de la luz mediante la descripción de sus principios y ecuaciones con el fin de comprender su aplicación en fenómenos ópticos y en el diseño de dispositivos ópticos.

Leyes de la reflexión

La reflexión de la luz es un fenómeno óptico de enorme importancia: si la luz no se reflejara en los objetos que nos rodean hacia nuestros ojos, simplemente no los veríamos.

La **reflexión** implica la absorción y la reemisión de la luz por medio de vibraciones electromagnéticas complejas en los átomos del medio reflectante.

Este fenómeno físico se explica con facilidad mediante *el modelo de rayos*. La reflexión de la luz obedece a la misma ley general de la mecánica que rige otros fenómenos de rebote.



El fenómeno de la reflexión cumple con dos leyes básicas:

1. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

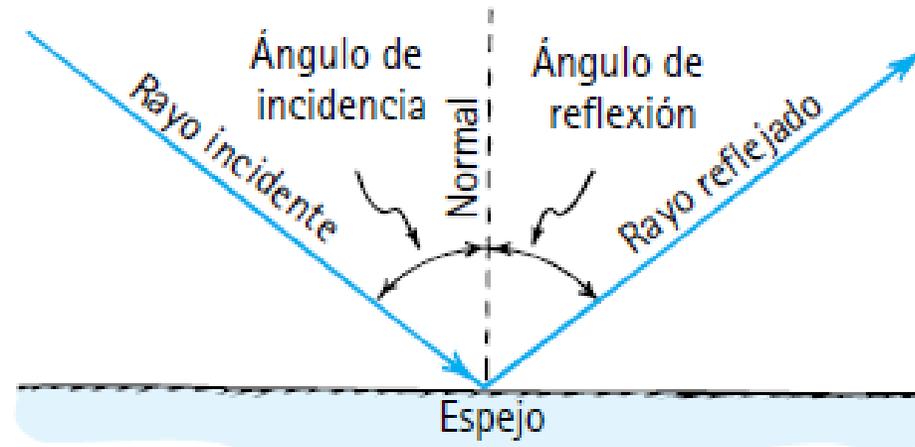
Ley de reflexión:

$$\theta_i = \theta_r$$

Ángulo de incidencia (desde la normal)

Ángulo de reflexión (desde la normal)

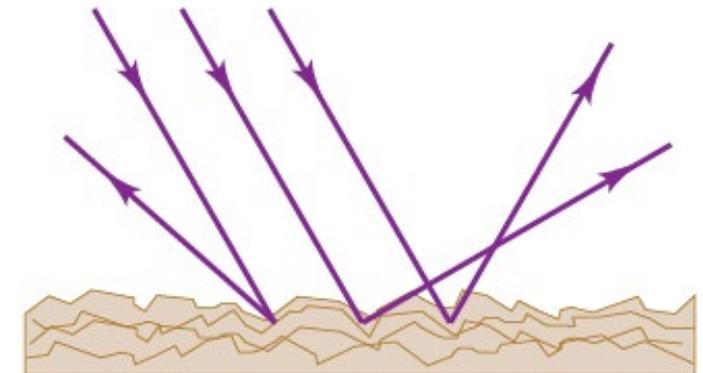
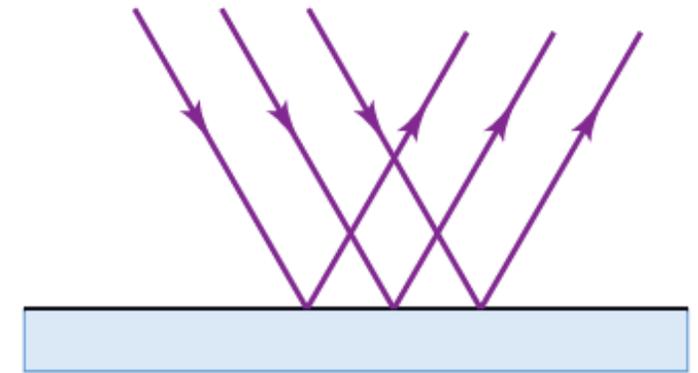
2. El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal a la superficie se encuentran en el mismo plano



La reflexión de la luz procedente de una superficie pulida se llama **reflexión regular o especular**. La luz que incide sobre la superficie de un espejo o vidrio se refleja especularmente. Si toda la luz incidente que golpea una superficie se reflejara de esta manera, no podríamos ver la superficie. Únicamente veríamos imágenes de otros objetos.

La **reflexión difusa** es la que nos permite ver una superficie. Una superficie irregular o áspera esparce y dispersa la luz incidente, lo que da por resultado que se ilumine la superficie. La luz reflejada por ladrillos, concreto o periódicos es ejemplo de la reflexión difusa.

Ambas clases de reflexión ocurren con materiales transparentes o con materiales opacos que no transmiten la luz. La gran mayoría de objetos en el ambiente son visibles porque reflejan la luz en una forma difusa desde sus superficies.



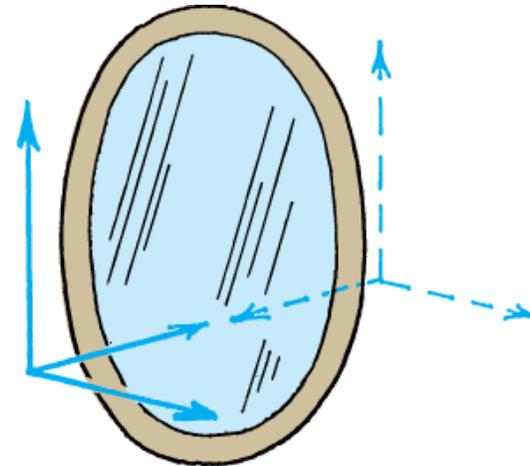
Ejemplo 9.1

El ángulo de incidencia de un rayo de luz en una superficie de espejo es de 35° . ¿Cuál es el ángulo que forman los rayos incidente y reflejado?

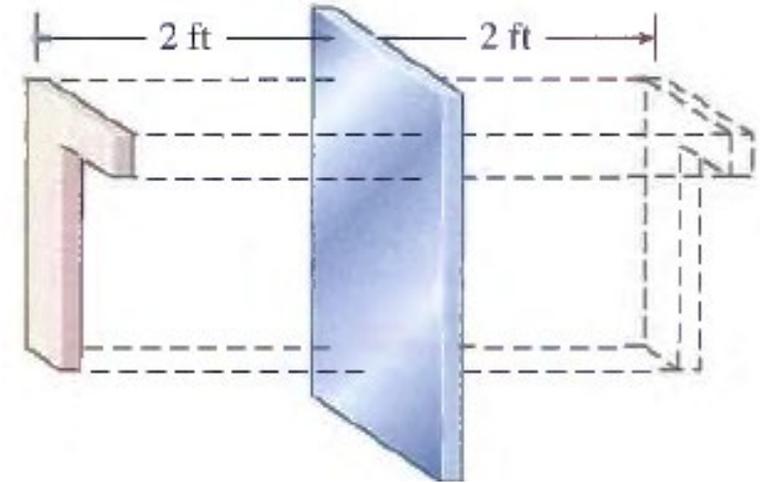
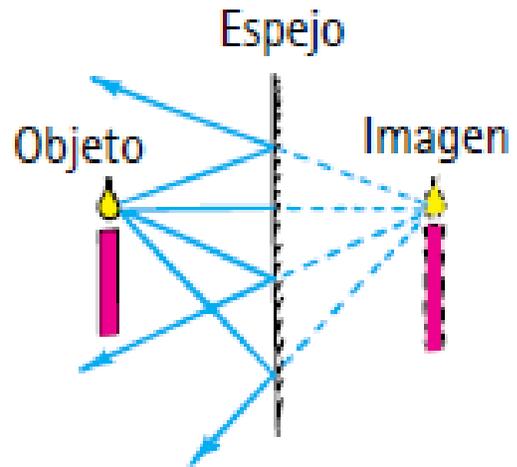
Espejos planos

Se denomina espejo a una superficie muy pulida que forma imágenes debido a la reflexión especular de la luz. Los espejos que cuelgan de las paredes de nuestras casas son en general **espejos planos**. En ellos, la imagen parece estar a la misma distancia, detrás del espejo, que la distancia a la que se halla el objeto real delante del espejo.

Como se muestra en la figura, las imágenes también aparecen invertidas en el sentido derecha-izquierda. Cualquier persona que haya aprendido a anudarse la corbata o a aplicarse maquillaje mirándose en un espejo está muy consciente de estos efectos.



La geometría simple de las figuras sirven para examinar las propiedades de las imágenes de objetos extensos formadas por espejos planos.



La figura muestra cuatro del infinito número de puntos sobre la vela. Estos rayos divergen de la llama y encuentran el espejo, donde se reflejan en ángulos iguales a sus ángulos de incidencia. Los rayos divergen del espejo y parecen emanar de un punto particular detrás del espejo (donde intersecan las líneas discontinuas).

La figura muestra un objeto frente a un espejo plano, el cual se encuentra a 2 ft (llamada **distancia objeto**). La imagen formada se encuentra a la misma distancia (llamada **distancia imagen**). La imagen está localizada a partir de un punto en el cual los rayos luminosos realmente divergen.

Puesto que la luz reflejada parece haber recorrido la misma distancia que la luz incidente, la imagen se forma a una distancia igual, detrás del espejo, cuando se observa a lo largo de la normal a la superficie de reflexión.

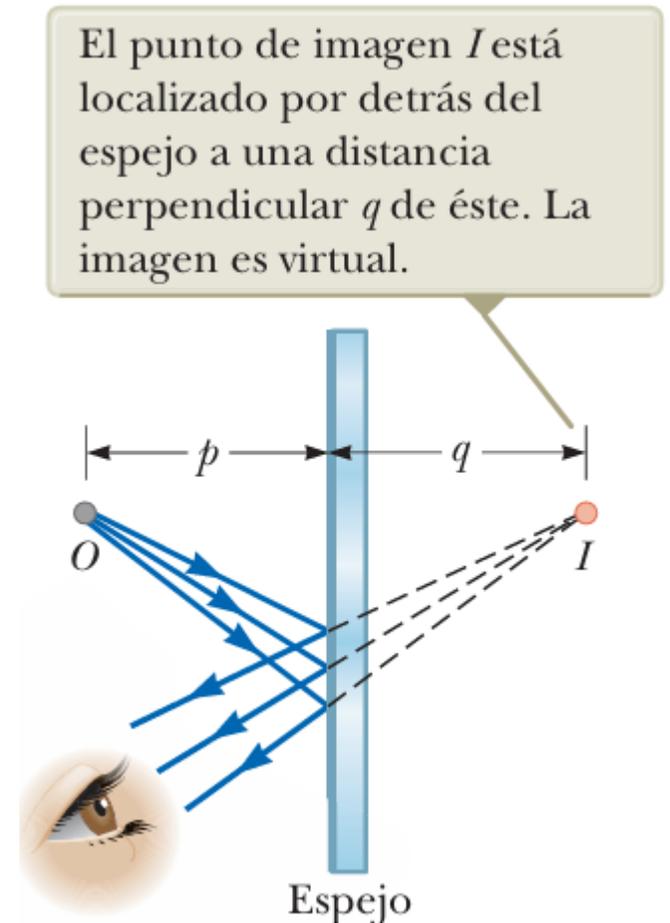
Cuando la luz reflejada se ve en el espejo desde cierto ángulo la conclusión es la misma: la distancia a la imagen q es igual a la distancia al objeto p . Es decir:

$$p = q$$

Esto es cierto porque el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión en la figura. De modo que:

Para un espejo plano, la distancia al objeto es igual en magnitud a la distancia a la imagen.

Observe que las imágenes formadas por el espejo plano son, en realidad, producto de la reflexión de objetos reales. Las imágenes en sí mismas no son reales porque la luz no pasa a través de ellas.



Se debe, entonces, distinguir dos tipos de imágenes:

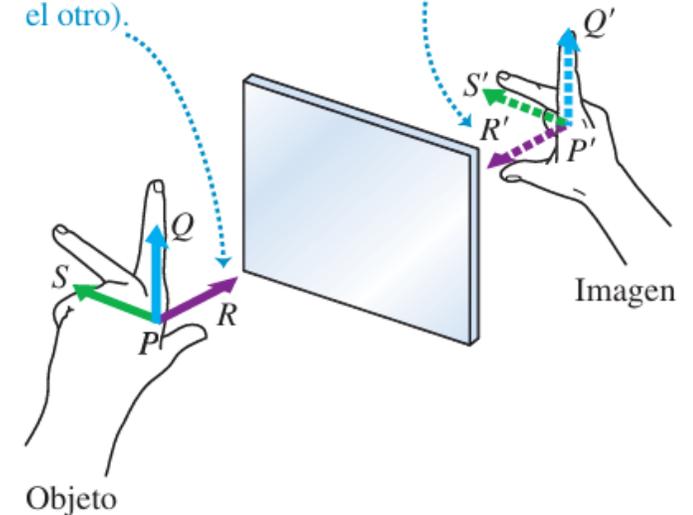
Una **imagen real** está formada por rayos de luz reales que la atraviesan. Las imágenes reales se pueden proyectar en una pantalla.

Una **imagen virtual** es la que parece estar formada por luz que proviene de la imagen, pero que en realidad no es atravesada por ningún rayo de luz.

La imagen formada por un espejo plano *siempre* es **virtual**, **derecha** e **inversa**. Por sencillez, a las imágenes de un espejo plano se les suele considerar un objeto de una sola dimensión, como una flecha delgada, orientada paralelamente a la superficie reflectante.

- Por derecha se entiende que si la flecha apunta hacia arriba, igual lo hace la imagen.
- Por inversa se entiende que si la flecha apunta a la derecha, la imagen apunta a la izquierda; en la dirección opuesta.

Una imagen formada por un espejo plano es inversa de atrás hacia delante: el pulgar imagen $P'R'$ y el pulgar objeto PR apuntan en direcciones opuestas (uno hacia el otro).



La distancia de la cabeza a la cola de una flecha orientada de este modo es su altura h .

En cualquier situación de esta índole, el **aumento lineal** o **aumento lateral**, es decir, la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto se define como la razón de la altura de la imagen h' con respecto a la altura del objeto h .

Aumento lineal $\rightarrow M = \frac{h'}{h}$

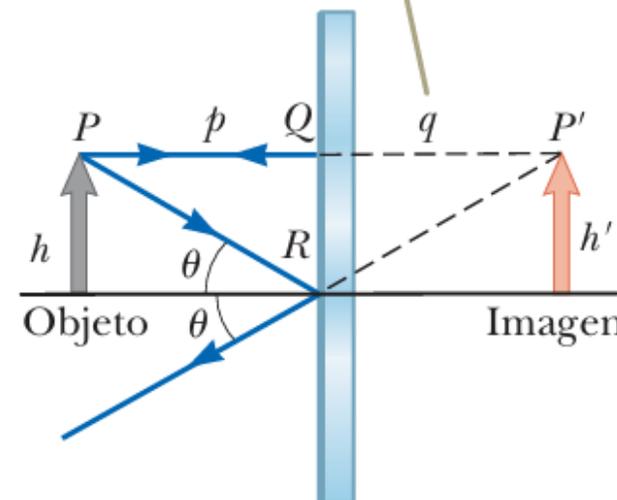
Altura de la imagen
Altura del objeto

En el caso de un espejo plano, $h = h'$, de modo que el aumento lineal es igual a 1.

PUNTO DE CONTROL:

Si quieres tomar una selfi mientras estás parado 5 m enfrente de un espejo plano, ¿a qué distancia deberás montar tu cámara para obtener el enfoque más nítido?

Debido a que los triángulos PQR y $P'QR$ son congruentes, $|p| = |q|$ y $h = h'$.

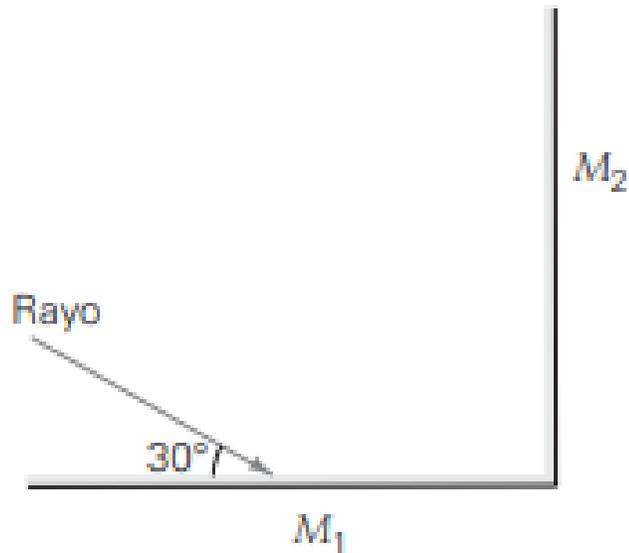


Ejemplo 9.2

Dos personas están de pie a 3 m de un espejo plano grande, y separadas entre sí por una distancia de 5 m, en un cuarto oscuro. ¿A qué ángulo de incidencia debe encender uno de ellos una linterna, dirigiéndola al espejo, para que el haz reflejado llegue directamente a la otra persona?

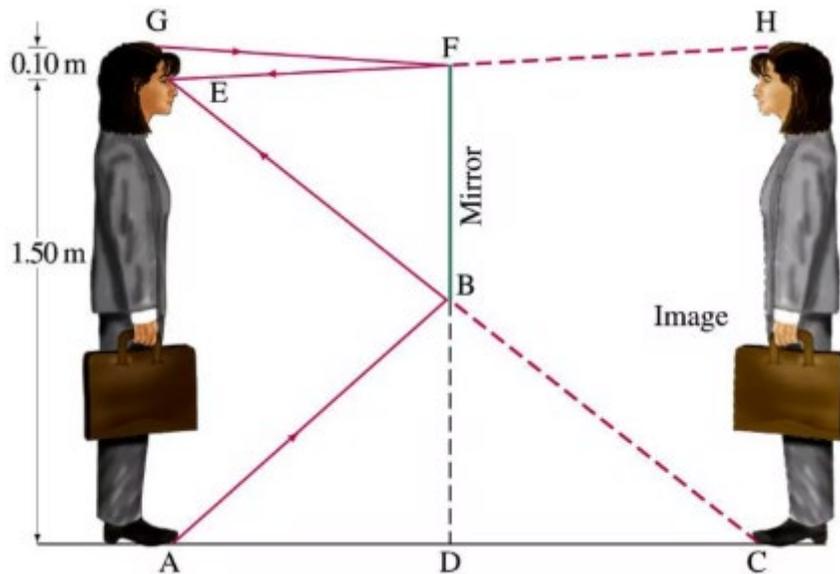
Ejemplo 9.3

Hay dos espejos, M_1 y M_2 , perpendiculares entre sí, y un rayo luminoso incide en uno de ellos, como se ve en la figura. (a) Trace un diagrama de la trayectoria del rayo de luz. (b) Determine la dirección del rayo después de reflejarse en M_2 .



Ejemplo 9.4

Una mujer de 1,60 m de estatura está de pie frente a un espejo plano vertical. ¿Cuál deberá ser la altura mínima del espejo y qué tan alto sobre el nivel del suelo deberá estar su borde inferior para que la mujer pueda verse de cuerpo entero? (Suponga que los ojos están 10 cm debajo de la parte superior de la cabeza.)



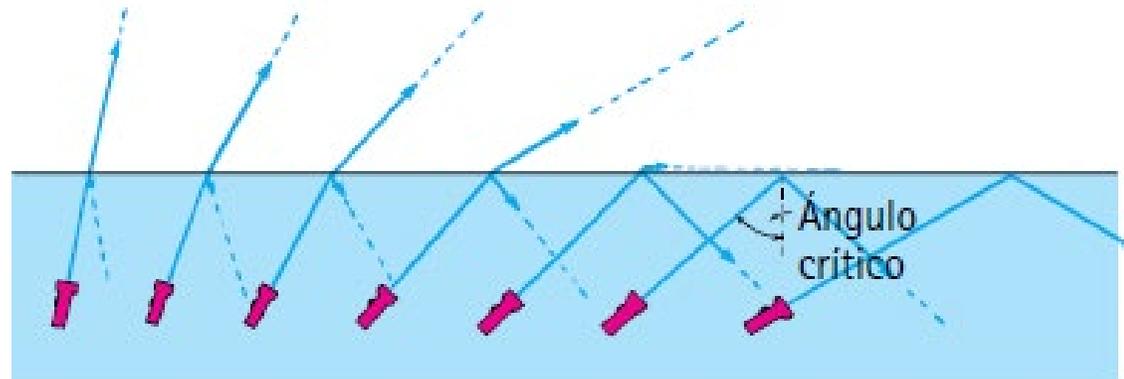
Actividades en clase



1. Un haz de luz incide en un espejo plano, formando un ángulo α con la superficie del espejo. (a) El ángulo que forman el rayo reflejado y la normal será 1) α , 2) $90^\circ - \alpha$, o 3) 2α . (b) Si $\alpha = 43^\circ$, ¿cuál es el ángulo entre el rayo reflejado y la normal? **R.: (a) 2; (b) 47°**
2. Una vela de 4,85 cm de altura está 39,2 cm a la izquierda de un espejo plano. ¿Dónde se encuentra la imagen formada por el espejo, y cuál su altura? **R.: -39,2 cm; 4,85 cm**
3. La imagen de un árbol cubre exactamente la longitud de un espejo plano de 4 cm de alto, cuando el espejo se sostiene a 35 cm del ojo. El árbol está a 28 m del espejo. ¿Cuál es su altura? **R.: 3,24 m**
4. Dos espejos planos forman un ángulo de 120° entre sí. Un rayo incide sobre uno de los espejos con un ángulo de 65° con la normal. Encuentre la dirección del rayo después que se refleja del otro espejo. **R.: 55°**

Reflexión interna total

En ciertas circunstancias, *toda* la luz puede ser reflejada en una interfase, sin que se transmita nada de ella, aun si el segundo material es transparente.



El ángulo de incidencia para el cual un rayo refractado emerge en forma tangencial a la superficie se llama **ángulo crítico**.

El ángulo crítico es el ángulo mínimo de incidencia en el interior de un medio en el que un rayo de luz se refleja en su totalidad.

Más allá del ángulo crítico, el rayo de luz *no puede* pasar hacia otro medio material: queda atrapado en el mismo medio material y se refleja por completo en la frontera de la superficie.

Esta situación es llamada **reflexión interna total**, y ocurre cuando un rayo en un material a incide sobre un material b cuyo índice de refracción es *menor* que el del material a (cuando $n_b < n_a$, donde n se le conoce como **índice de refracción**).

El ángulo crítico para dos materiales dados a y b se puede hallar mediante la ecuación:

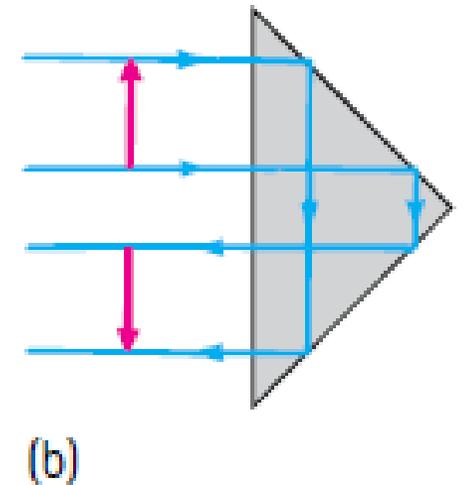
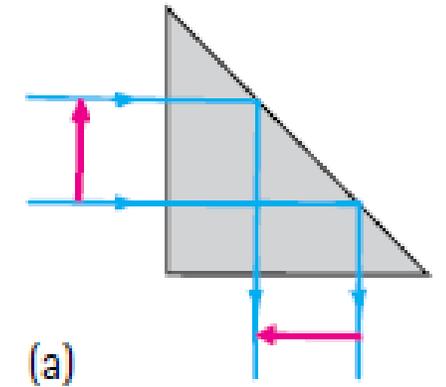
Ángulo crítico
para la **reflexión
interna total**

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_b}{n_a}$$

Índice de refracción
del segundo material

Índice de refracción
del primer material

La reflexión interna total ocurre siempre que el ángulo de incidencia θ_i sea mayor o igual que θ_c .



A continuación se indican los valores de índices de refracción de algunos materiales comunes para una longitud de onda particular de luz amarilla:

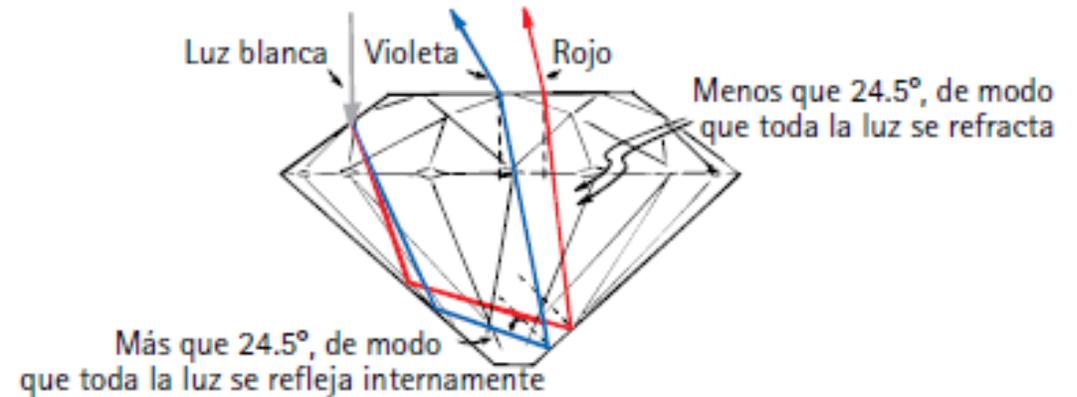
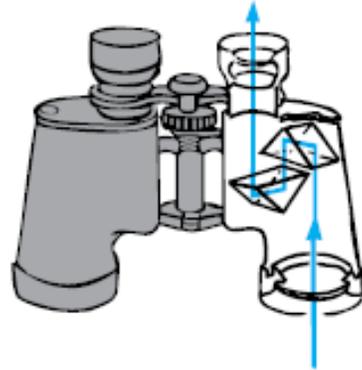
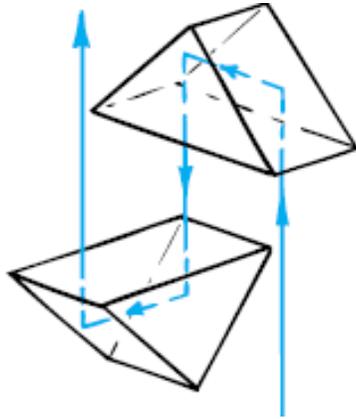
Sólido	n
Hielo	1,309
Fluorita	1,434
Poliestireno	1,49
Sal de roca	1,544
Cuarzo	1,544
Circonio	1,923
Diamante	2,417
Fabulita	2,409
Rutilo	2,62

Vidrios	n
Blanco (Crown)	1,52
Cristal ligero	1,58
Cristal mediano	1,62
Cristal denso	1,66
Cristal de lantano	1,80

Líquidos a 20°C	n
Metanol	1,329
Agua	1,333
Etanol	1,36
Tetracloruro de carbono	1,460
Aguarrás	1,472
Glicerina	1,473
Benceno	1,501
Disulfuro de carbono	1,628

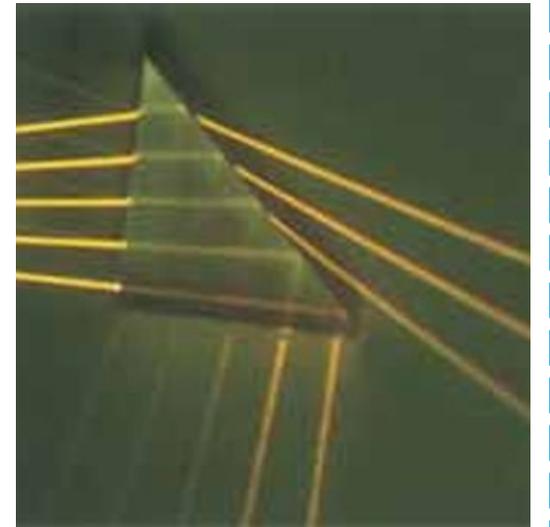
El índice de refracción del aire bajo condiciones TPE es de alrededor de 1,0003; aunque por lo general se le considera exactamente igual a 1. Además, para los gases, el valor de n aumenta a la par con su densidad.

La reflexión total interna ocurre en los materiales en los cuales la rapidez de la luz es menor que la rapidez de la luz exterior. Esta es la base del funcionamiento de binoculares, endoscopios, fibras ópticas, etc.



PUNTO DE CONTROL:

En la figura, cinco rayos de luz entran a un prisma de vidrio desde la izquierda. (i) ¿Cuántos de estos rayos se someten a reflexión interna total en la superficie inclinada del prisma?

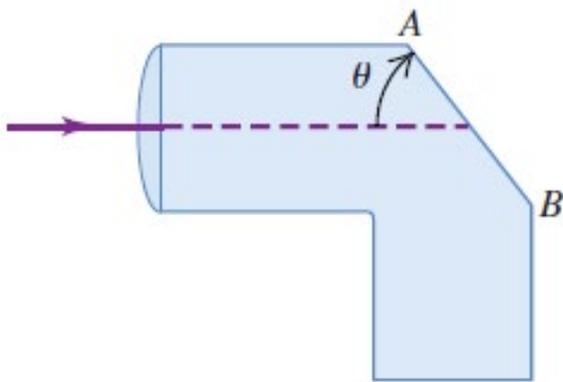


Ejemplo 9.5

El periscopio de un submarino usa dos prismas totalmente reflectantes 45° - 45° - 90° con reflexión total interna en los lados adyacentes a los ángulos de 45° . Explique por qué el periscopio deja de funcionar si se presenta una fuga y el prisma inferior queda cubierto por el agua.

Ejemplo 9.6

Entra luz a un tubo sólido hecho de plástico con un índice de refracción de 1,6. La luz viaja en forma paralela a la parte superior del tubo. Se desea cortar la cara AB de manera que toda la luz se refleje de regreso hacia el tubo, después de que incide por primera vez en esa cara. (a) ¿Cuál es el valor máximo de θ si el tubo está en el aire? (b) Si el tubo se sumerge en agua, cuyo índice de refracción es de 1,33; ¿cuál es el máximo valor que puede tener θ ?



Actividades en clase



1. Encuentre el ángulo crítico para una frontera aire-agua. **R.: $48,8^\circ$**
2. Una pieza plana de vidrio cubre la parte superior de un cilindro vertical que está completamente lleno de agua. Si un rayo de luz que viaja en el vidrio incide en la interfase con el agua a un ángulo de $\theta_o = 36,2^\circ$; el rayo refractado hacia el agua forma un ángulo de $49,8^\circ$ con la normal de la interfase. ¿Cuál es el valor más pequeño del ángulo incidente con el que el rayo no se refracta en el agua? **R.: $< 50,6^\circ$**
3. Un haz de luz que viaja dentro de un cubo de vidrio sólido con índice de refracción de 1,62 incide en la superficie del cubo desde su interior. (a) Si el cubo está en el aire, ¿cuál es el ángulo mínimo con la normal dentro del vidrio con la que esta luz no entraría al aire en dicha superficie? (b) ¿Cuál sería el ángulo mínimo en el inciso a), si el cubo se sumerge en agua? **R.: (a) $38,1^\circ$; (b) $55,4^\circ$**