

ÓPTICA GEOMÉTRICA

NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ

En el bloque estudiado anteriormente analizamos las siguientes definiciones que debemos recordar:

Una onda es una perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto, sin que exista transporte de materia. Mientras que una perturbación es una alteración instantánea del equilibrio del sistema por medio de un agente externo.

Las ondas se pueden clasificar en ondas mecánicas y ondas electromagnéticas.

ONDAS MECANICAS

Las ondas mecánicas necesitan de un medio material para propagarse, así el sonido necesita del aire para ser transportado; cuando se deja caer una piedra en un estanque tranquilo, las ondas viajarán hacia afuera a través del agua; recordando que la materia no se transporta

Otros ejemplos que podemos nombrar son: cuando se golpea un diapasón y las ondas sonoras se propagan por todas las direcciones.

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.

Las ondas electromagnéticas no necesitan de un medio material para transportarse, pueden propagarse en el vacío, por ejemplo la luz, se transporta en el espacio desde nuestro Sol hacia la Tierra, cuando se enciende un fósforo y las ondas luminosas se expanden, en todas las direcciones (a la rapidez de la luz de 300 000 km/s)

Debemos ahora decir que "LUZ" es un tipo de energía mediante la cual se hacen visibles los objetos que nos rodean que se transmiten en forma de ondas transversales (la perturbación de la partícula oscila en forma perpendicular a la propagación de la onda, es decir de arriba hacia abajo)

TEORIAS DE LA PROPAGACION DE LA LUZ

La naturaleza de propagación de la luz ha sido analizada a lo largo de la historia, las cuales han sido analizadas en las siguientes teorías que explican ciertos fenómenos observados:

1. TEORIA CORPUSCULAR:

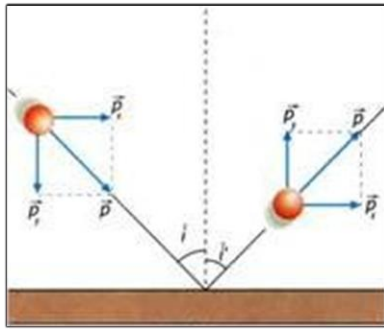
También ha recibido el nombre "de emisión" fue desarrollada en el siglo XVIII por Isaac Newton

Esta teoría afirma que la luz está formada por partículas materiales muy pequeñas sin masa (llamadas corpúsculos) que son emitidos por los cuerpos que reflejan la luz a gran velocidad.

Gracias a esto, eran capaces de atravesar los cuerpos transparentes, lo que permite ver a través de ellos. En cambio, en los cuerpos opacos, los corpúsculos rebotaban, por lo cual no podemos observar los que esta detrás de ellos.

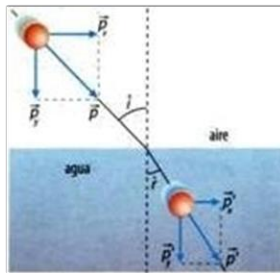
Este postulado permite afirmar que:

- La Luz se propaga en movimiento rectilíneo en el medio y como son tan pequeños en comparación con la materia, no hay fricción, así los focos luminosos emitirían minúsculas partículas que se propagan en todas direcciones y que, al chocar con nuestros ojos, producen la sensación luminosa que se interpreta como la visión.
- La luz se refleja, ya que los corpúsculos chocan elásticamente contra la superficie de separación entre dos medios. Como la diferencia de masas es muy grande los corpúsculos rebotan, de modo que la componente horizontal de la cantidad de movimiento p_x se mantiene constante mientras que la componente normal p_y cambia de sentido. Cumpliendo la ley de la reflexión, el ángulo de incidencia y de reflexión eran iguales.



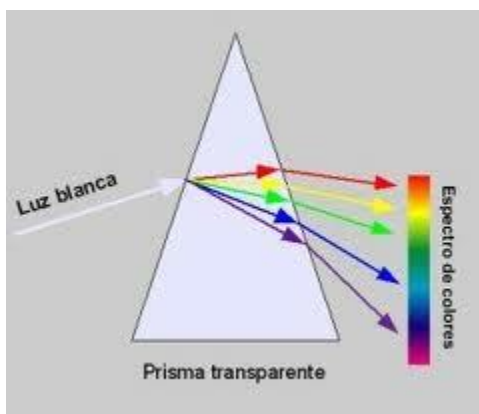
En la teoría corpuscular de la reflexión de la luz las partículas rebotan

- La Luz se refracta debido a la variación de su dirección de propagación acercándose a la normal. Según esto, la velocidad de propagación de la luz en agua es mayor que en el aire.



Esta interpretación conduce al resultado de que la velocidad de propagación de la luz debe ser mayor por el agua que por el aire.

- La Luz Blanca está conformada por los diferentes colores, ya que se deben a distintos tipos de corpúsculos, cada uno responsable de un color.

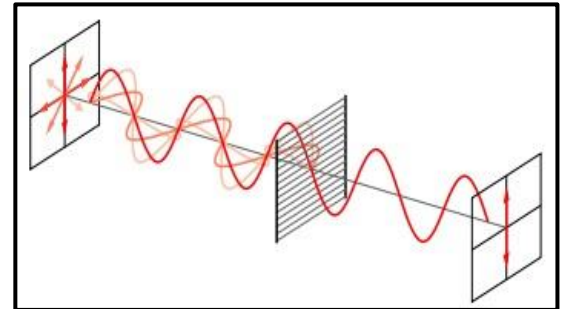


Esta teoría no podía explicar los fenómenos como la difracción de la luz.

2. TEORIA ONDULATORIA

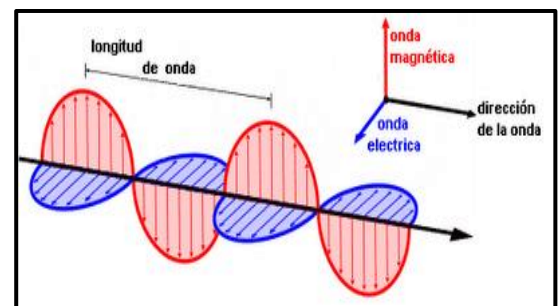
El científico holandés **Christian Huygens**, contemporáneo de Newton, elaboró una teoría para explicar la naturaleza y el comportamiento de la luz. *Esta teoría postula que la luz es*

producida por la vibración de los electrones emitida por una fuente y se propaga en forma de ondas, a través del vacío en un medio insustancial e invisible llamado éter. Además, indica que la rapidez de la luz disminuye al penetrar al agua. Con ello, explica y describe la refracción y las leyes de la reflexión.



3. TEORIA ELECTROMAGNÉTICA

En 1873, el físico inglés James Clerk Maxwell, explica que los fenómenos eléctricos están relacionados con los fenómenos magnéticos. Señala que cada variación en el campo eléctrico origina un cambio en la proximidad del campo magnético e, inversamente. Por lo tanto, la luz es una onda electromagnética trasversal que se propaga perpendicular entre sí.



4. TEORIA CUANTICA

Fue propuesta por Max Planck en 1901. Indicaba que en la emisión de luz por átomos intervienen "saltos" de electrones, de un nivel de menor energía (más interno) a un nivel de mayor energía (más externo) y solo es de manera momentánea, ya que pronto regresan al lugar de donde partieron; a esta acción se le llama "estado excitado" y es precisamente en el regreso cuando se emite un fotón; un impulso palpitante de radiación electromagnética cuya frecuencia está asociada al salto que efectuó.

Puede considerarse como un “corpúsculo” de energía pura, una “partícula” de luz expulsada del átomo. Por ejemplo, un fotón de luz roja lleva una cantidad de energía que corresponde a su frecuencia, otro fotón con el doble de frecuencia tendrá el doble de energía y corresponderá a luz ultravioleta. Si se excitan muchos átomos en un material, se emitirán muchos fotones con frecuencias que corresponden a los distintos niveles que se excitaron y que se asocian a los colores característicos que identifican a cada elemento químico.

Posteriormente en 1905 el físico de origen alemán Albert Einstein afirma que la luz se transmite en paquetes de energía denominados cuantos o fotones.

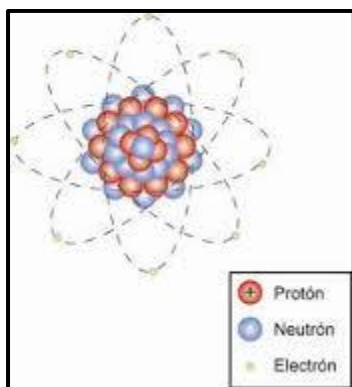


5. TEORIA MECÁNICA – ONDULATORIA

El físico francés **Luis de Broglie**, en el año 1924, señaló, que los fotones tenían un movimiento ondulatorio, o sea que la luz tenía un comportamiento dual (onda – partícula). Así, la luz, en cuanto a su propagación, se comporta como onda, pero su energía es trasportada junto con la onda luminosa por unos pequeños corpúsculos que se denominan fotones.

Esta teoría es aceptada actualmente y establece, la naturaleza corpuscular de la luz en su interacción con la materia (proceso de emisión y absorción) y la naturaleza electromagnética de su propagación.

Conocida como naturaleza dual de la Luz.



VELOCIDAD DE LA LUZ

La velocidad con que la luz se propaga a través de un medio homogéneo y transparente es una constante característica de dicho medio, y por tanto, cambia de un medio a otro. En la antigüedad se pensaba que su valor era infinito, lo que explicaba su propagación instantánea.

Utilizando métodos astronómicos y métodos terrestres se ha determinado la velocidad de la luz (C). En la actualidad se acepta para la velocidad de la luz en el vacío el valor $C = 300\ 000\ \text{km/s}$. En cualquier medio material transparente la luz se propaga con una velocidad que es siempre inferior a C. Así, por ejemplo, en el agua lo hace a $225\ 000\ \text{km/s}$ y en el vidrio a $195\ 000\ \text{km/s}$.

En óptica se suele comparar la velocidad de la luz en un medio transparente con la velocidad de la luz en el vacío, mediante el llamado *índice de refracción absoluto n* del medio: se define como el cociente entre la velocidad C de la luz en el vacío y la velocidad V de la luz en el medio, es decir:

$$n = \frac{C}{V}$$

Debido a que C es siempre mayor que V, n resulta siempre mayor o igual que la unidad. Es así que *cuanto mayor sea el índice de refracción absoluto de una sustancia, más lentamente viajará la luz por su interior.*

Si lo que se pretende es comparar las velocidades v_1 y v_2 de dos medios diferentes se define entonces el *índice de refracción relativo del medio 1 respecto del 2* como cociente entre ambas:

$$n_{12} = \frac{v_1}{v_2}$$

o en términos de índices de refracción absolutos,

$$n_{12} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Un índice de refracción relativo n_{12} menor que 1 indica que en el segundo medio, la luz se mueve más rápidamente que en el primero.

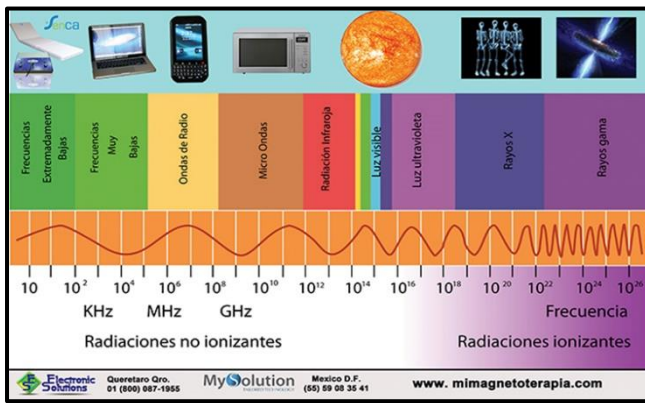
El valor de la velocidad de la luz es de gran utilidad en la medición de grandes distancias como la de los diferentes cuerpos celestes que conforman el universo. El año luz es la distancia que recorre la luz en un año y es igual a $9,5 \times 10^{12}\ \text{km}$.

ESPECTRO ELECTROMAGNETICO

Una onda electromagnética constituye la energía emitida por los electrones que vibran en el interior de los átomos y es parcialmente eléctrica y magnética. Estas ondas son de diferente longitud de onda y en conjunto reciben el nombre de espectro electromagnético.

El ojo humano percibe una pequeñísima parte denominada luz visible cuyo rango de longitud de onda esta entre 3 800 A (luz violeta) y 7600 A (luz roja) y el rango de frecuencia esta entre $7,9 \times 10^{14}$ Hz (luz violeta o ultravioleta) y $3,9 \times 10^{14}$ Hz (luz roja o infrarroja).

Así tenemos:



- **Ondas de radio:** son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión. Su frecuencia oscila desde unos pocos hercios hasta mil millones de hercios. Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo radiantes).
- **Microondas:** Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF (Ultra High Frequency) y en los hornos de las cocinas. Su frecuencia va desde los mil millones de hercios hasta casi el billón. Se producen en oscilaciones dentro de un aparato llamado magnetrón. El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes de la frecuencia de microondas.
- **Infrarrojos:** Son emitidos por los cuerpos calientes. Los tránsitos energéticos implicados en rotaciones y vibraciones de las moléculas caen dentro de este rango de frecuencias. Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37° . Sus frecuencias van desde 10^{11} Hz a 4×10^{14} Hz. Nuestra piel también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones infrarrojas.

- **Luz visible:** Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tenemos unos sensores para detectarla (los ojos, retina, conos y bastones). Se originan en la aceleración de los electrones en los tránsitos energéticos entre órbitas permitidas. Entre 4×10^{14} Hz y 8×10^{14} Hz
- **Ultravioleta:** Comprende de 8×10^{14} Hz a 1×10^{17} Hz. Son producidas por saltos de electrones en átomos y moléculas excitados. Tiene el rango de energía que interviene en las reacciones químicas. El sol es una fuente poderosa de UVA (rayos ultravioletas) los cuales al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera. Los ultravioleta pueden destruir la vida y se emplean para esterilizar. Nuestra piel detecta la radiación ultravioleta y nuestro organismo se pone a fabricar melanina para protegernos de la radiación. La capa de ozono nos protege de los UVA.
- **Rayos X:** Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados. Sus frecuencias van de $1,1 \times 10^{17}$ Hz a $1,1 \times 10^{19}$ Hz. Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.
- **Rayos gamma:** comprenden frecuencias mayores de 1×10^{19} Hz. Se origina en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas. Su radiación es muy peligrosa para los seres vivos.

FLUJO LUMINOSO (F o L)

La mayoría de las fuentes de luz emiten energía electromagnética distribuida en múltiples longitudes de onda. Se suministra energía eléctrica a una lámpara, la cual emite radiación. Esta energía radiante emitida por la lámpara por unidad de tiempo se llama potencia radiante o *flujo radiante*. Solo una pequeña porción de esta potencia radiante se encuentra en la región visible: en la región entre 400 y 700 nm y se llama *flujo luminoso*. El sentido de la vista depende tan solo de la energía radiada visible o *luminosa*, por unidad de tiempo.

El *flujo luminoso* es la parte de la potencia radiante total emitida por una fuente de luz, que es capaz de afectar el sentido de la vista.

Debido a que la percepción y la sensibilidad visual de los colores, varían de uno a otro individuo, es así que una lámpara de luz verde de 40 W se ve más brillante que una lámpara de luz azul de 40 W.

Para definir el flujo luminoso en términos de una fuente estándar y un ángulo sólido, se debe

conocer que un estereorradián (sr) es el ángulo sólido (Ω), subtendido en el centro de una esfera por un área (A) sobre su superficie que es igual al cuadrado de su radio R .

$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$

La unidad que mide el flujo luminoso se llama *lumen* (lm) y es el flujo luminoso (o potencia radiante visible) emitida desde una abertura de $1/60$ cm² de una fuente patrón e incluido dentro de un ángulo sólido de 1sr.

INTENSIDAD LUMINOSA (I)

La luz viaja radialmente hacia afuera en líneas rectas desde una fuente que es pequeña en comparación con sus alrededores. Para una fuente de luz de ese tipo, el flujo luminoso incluido en un ángulo sólido Ω permanece igual a cualquier distancia de la fuente. Por tanto, con frecuencia es más útil hablar del *flujo por unidad de ángulo sólido* que hablar simplemente del flujo total. La cantidad física que expresa esta relación se llama *intensidad luminosa*.

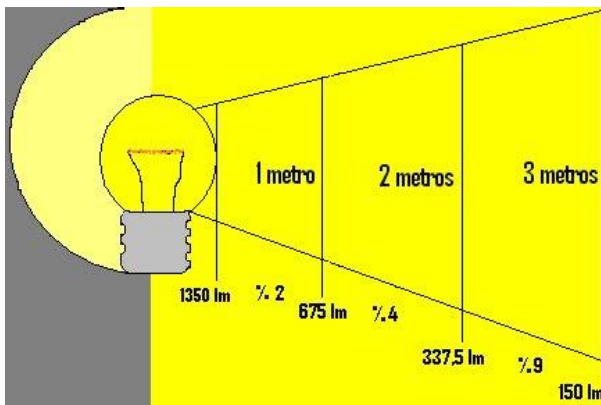
La intensidad luminosa **I** de una fuente de luz es el flujo luminoso **F** emitido por unidad de ángulo sólido Ω .

$$I = F / \Omega$$

La unidad de intensidad luminosa es la candela (cd) y está dada por el *lumen sobre el estereorradián* (lm/sr), en ocasiones también se lo llaman *bujía*

Se denomina *fuentes isotrópica* a aquella que emite luz de manera uniforme en todas direcciones.

Por ejemplo, si la intensidad luminosa de una fuente de luz es *1 candela* (1 lm/sr), el flujo luminoso que sale de la fuente sería *477 lúmenes*.



ILUMINANCIA o ILUMINACIÓN (E)

Es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área.

Se mide con el lux (lx): 1 lux = 1 Lumen/m²

LEY DE LA ILUMINACIÓN

La iluminación (E) recibida sobre una superficie es directamente proporcional a la Intensidad Luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la que se encuentra la fuente luminosa (d²).

$$E = I/d^2$$

$$F = I/A$$

$$F = I/A \cos \alpha$$

Donde: E: (iluminación lx)

I : (intensidad luminosa cd)

d: (distancia m)

F: (flujo luminoso lm)

A: (área m²)

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Determinar la iluminación que produce una lámpara eléctrica de 300 cd a una distancia de 2,5 m.

Se sabe que:

$$I = 300 \text{cd}$$

$$d = 2,5 \text{m}$$

Se debe determinar E

$$E = I/d^2 \quad E = 300 \text{ cd} / (2,5 \text{ m})^2$$

$$E = 48 \text{ lx} \quad \text{o} \quad 48 \text{ lumenes/m}^2$$

2. Determinar la distancia a la cual se encuentra una superficie de una fuente de luz que emite una intensidad luminosa de 200 cd, si la superficie recibe una iluminancia de 80 lx.

Se sabe que:

$$I = 200 \text{ cd}$$

$$E = 80 \text{ lumenes/m}^2$$

Se debe encontrar d:

$$E = I/d^2 \quad d = \sqrt{\frac{I}{E}} \quad d = \sqrt{\frac{200 \text{ cd}}{80 \text{ lx}}}$$

$$d = 1,58 \text{m}$$

3. La iluminación de una lámpara de alumbrado público es de 4lx a una distancia de 1m y alumbrada una superficie de 2m². Determinar el flujo luminoso de esa lámpara.

Se sabe que:

$$E = 4 \text{ lx}$$

$$d = 1 \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ m}^2$$

Se debe determinar F:

$$E = I/d^2 \quad I = E \cdot d^2$$

$$I = 4 \text{ lx} \cdot (1 \text{ m})^2 \quad I = 4 \text{ cd}$$

$$F = I/A \quad F = 4 \text{ cd} / 2 \text{ m}^2 \quad F = 2 \text{ lm}$$

4. Para el caso del problema anterior, si un niño observa la superficie iluminada con un ángulo de 70°. Determinar el flujo luminoso que el niño aprecia.

Se sabe que:

$$A = 70^\circ$$

Se debe determinar F:

$$F = I / \text{Acos}\alpha \quad F = 4 \text{ cd} / 2 \text{ m}^2 \cdot \cos 70^\circ$$

$$F = 5,85 \text{ cd/m}^2$$

APLICO LO APRENDIDO

1. Determinar la iluminación que produce una lámpara eléctrica de 550 cd a una distancia de 5 m. R: 22lm

2. Calcular la intensidad luminosa de un foco que produce una iluminación de 36,6 lx a 1,5 m de la fuente. R: 82cd

3. Determinar la distancia a la que debe colocarse una lámpara de 200 cd sobre una mesa para que produzca una iluminación de 50 lx. R: 2m

ESPEJOS

Un espejo plano es una superficie plana muy pulimentada que puede reflejar la luz que le llega con una capacidad reflectora de la intensidad de la luz incidente del 95% (o superior).

Los espejos planos se utilizan con mucha frecuencia. Son los que usamos cada mañana para mirarnos. En ellos vemos nuestro reflejo, una imagen que no está distorsionada.



Cuando los pueblos antiguos lograron dominar la metalurgia, hicieron espejos puliendo superficies metálicas (plata).

Los espejos corrientes son placas de vidrio plateadas. Para construir un espejo se limpia muy bien un vidrio y sobre él se deposita plata metálica por reducción del ión plata contenido en una disolución amoniacal de nitrato de plata. Después se cubre esta capa de plata con una capa de pintura protectora.

El espejo puede estar plateado por la cara anterior o por la posterior, aunque lo normal es que esté plateada la posterior y la anterior protegida por pintura. La parte superior es de vidrio, material muy inalterable frente a todo menos al impacto.

ESPEJOS PLANOS

Los espejos planos tienen las siguientes características en lo que respecta a las imágenes formadas:

Simétrica, porque aparentemente está a la misma distancia del espejo

Virtual, porque se ve como si estuviera dentro del espejo, no se puede formar sobre una pantalla pero puede ser vista cuando la enfocamos con los ojos.

Tamaño: del mismo tamaño que el objeto.

Imagen, derecha, porque conserva la misma orientación que el objeto.

Cuando la luz llega a la superficie de un cuerpo, parte de la luz se refleja y parte entra en el cuerpo donde puede ser absorbida o transmitida, absorbiéndose siempre una parte de ella mientras lo atraviesa (ej. vidrio).

La luz reflejada cumple las leyes de la reflexión.

La cantidad de luz reflejada por un cuerpo depende de:

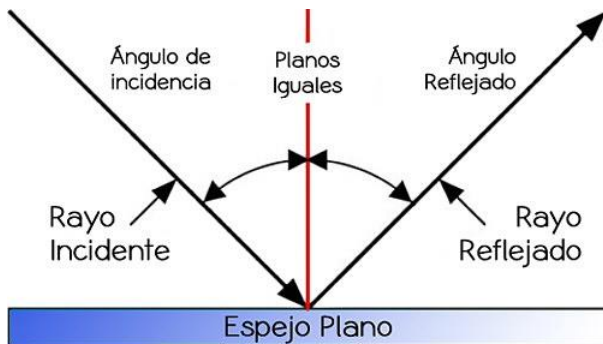
- La naturaleza de la superficie (composición, estructura, densidad, color, entre otras)
- La textura de la superficie (plana, rugosa, regular, irregular, opaca, pulida, etc.)
- La longitud de onda de la luz, y de si está o no polarizada.
- El ángulo de incidencia de la luz sobre la superficie.

REFLEXION.

Consiste en el fenómeno físico en el cual los rayos luminosos que se encuentran en un medio moviéndose en una dirección determinada, chocan con una superficie y dependiendo del tipo de superficie, estos rayos son desviados (reflejan) en otra dirección

REFLEXIÓN DE LA LUZ

Es el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar con la superficie de un objeto.



El fenómeno más evidente de la reflexión es el que se refleja la mayor parte del rayo incidente sucede cuando la superficie es plana y pulimentada (espejo).

ÁNGULO DE INCIDENCIA Y ÁNGULO DE REFLEXIÓN

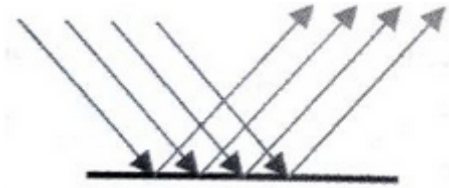
Se llama ángulo de incidencia (i) el formado por el rayo incidente y la normal.

La normal es una recta imaginaria perpendicular a la superficie de separación de los dos medios en el punto de contacto del rayo.

El ángulo de reflexión (r) es el formado por el rayo reflejado y la normal.

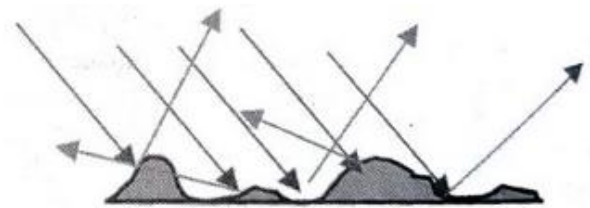
REFLEXIÓN ESPECULAR

Se da cuando la reflexión de un rayo luminoso sobre una superficie microscópicamente lisa, plana o finamente pulida es exactamente o casi exactamente igual a la original.



REFLEXION DIFUSA

Cuando un rayo luminoso que choca sobre una superficie microscópicamente no lisa, es decir rugosa, la dirección que este adquiere, es reflejada en forma distorsionada o se hace no visible.



LEYES DE LA REFLEXIÓN

Cuando un rayo incide sobre una superficie plana, pulida y lisa y rebota hacia el mismo medio decimos que se refleja y cumple las llamadas "leyes de la reflexión" :

- 1.- El rayo incidente forma con la normal un ángulo de incidencia que es igual al ángulo que forma el rayo reflejado con la normal, que se llama ángulo reflejado.
- 2.- El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano.



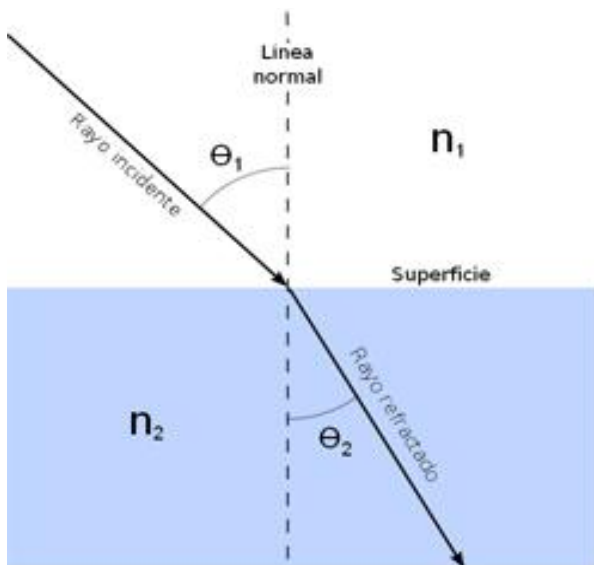
El rayo incidente define con la normal en el punto de contacto, un plano. El rayo reflejado estará en ese plano y no se irá ni hacia delante ni hacia atrás.

Imagina que el plano amarillo de la figura contiene a la normal y al rayo incidente: el rayo reflejado también estará en él.

REFRACCIÓN DE LA LUZ

Se denomina refracción luminosa al cambio que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de distinta naturaleza. Las lentes, las máquinas fotográficas, el ojo humano y, en general, la mayor parte de los instrumentos ópticos basan su funcionamiento en este fenómeno óptico.

El ángulo de refracción depende del ángulo de incidencia y de las propiedades de los dos medios. El rayo incidente, el refractado, el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción cumplen las leyes de la refracción.



Por tal razón podemos afirmar que la velocidad de la luz en un medio transparente como el aire, el agua o el vidrio es menor que en el vacío (300 000) km/s

LEYES DE LA REFRACCIÓN

Al igual que las leyes de la reflexión, las de la refracción poseen un fundamento experimental. Junto con los conceptos de rayo incidente, normal y ángulo de incidencia, es necesario considerar ahora el rayo refractado y el ángulo de refracción o ángulo que forma la normal y el rayo refractado.

La refracción sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si éstos tienen índices de refracción distintos.

El índice de refracción, n , es un número adimensional que caracteriza a un medio transparente, y se define por:

$$n = \frac{C}{v}$$

Donde C es la velocidad de la luz en el vacío, y v la velocidad de la luz en el medio

Sean n_1 y n_2 dos medios transparentes en contacto que son atravesados por un rayo luminoso en el sentido de 1 a 2 y θ_1 y θ_2 los ángulos de incidencia y refracción respectivamente. Las **leyes** que rigen el fenómeno de la **refracción** pueden, entonces, expresarse en la forma:

1.ª Ley. El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.

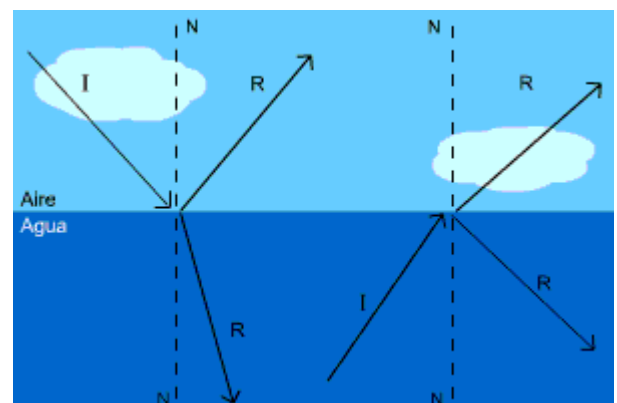
2.ª Ley. (Ley de Snell) Fue descubierta experimentalmente por Willebrod Snell en 1621

La relación entre el seno del ángulo de incidencia, θ_1 y el seno del ángulo de refracción, θ_2 es una constante característica de los dos medios, el índice de refracción relativo n_{21} del medio 2 respecto del medio 1.

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = n_{21}$$

También se la puede expresar como:

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$



Índice de refracción de algunos líquidos a 20 °C

Sustancia	n
Aceite de cedro	1.515
Acetona	1.359
Agua (15° C)	1.3334
Agua (20° C)	1.3329
Alcohol etílico	1.361
Alcohol metílico	1.329
Benceno	1.501
Bromo	1.654
Cloroformo	1.446
Glicerina	1.494

Índice de refracción de algunos sólidos

Sustancia	n
Hielo	1.32
Ámbar	1.546
Ácido Bórico	1.463
Alcanfor	1.532
Bálsamo de Canadá	1.530
Diamante	2.417
Vidrio de cuarzo	1.46
Zafiro, rubí (Al ₂ O ₃)	1.767
Circón (ZrO ₂ · SiO ₂)	1.923

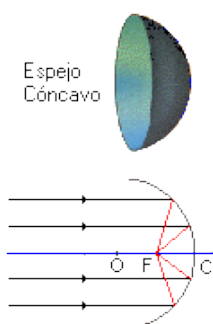
En base al análisis del índice de refracción se puede considerar que la velocidad de la luz en el aire es igual a la velocidad de la luz que en el vacío.

ESPEJOS ESFERICOS

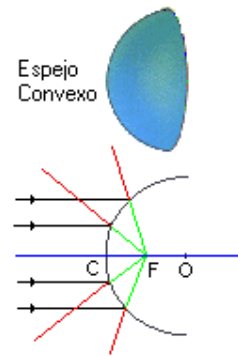
Un espejo esférico es aquel cuya superficie tiene un radio de curvatura (R) constante.

En función de si el objeto se refleja en el interior o el exterior de la esfera, es posible distinguir dos tipos de espejos esféricos:

- Espejos cóncavos, que son aquellos cuya superficie reflectora está en su interior.



Espejos convexos, en los que la superficie reflectora está en su parte externa.



El centro de curvatura (O) es el centro de la esfera a la que pertenece el casquete. Cualquier rayo que pase por este punto se reflejará sin cambiar de dirección. El centro del casquete esférico (C) se denomina centro de figura. La línea del centro que pasa por los O y C se denomina eje óptico.

El foco (F) es el punto en el que se concentran los rayos reflejados, para el caso de los espejos cóncavos, o sus prolongaciones si se trata de espejos convexos. Llamamos distancia focal de un espejo a la distancia entre los puntos F y C.

Una característica especial de los espejos esféricos es que su distancia focal siempre es la mitad de su radio de curvatura:

$$f = \frac{R}{2}$$

A diario los encontramos en nuestras casas: bolitas de navidad, cazuelas, cucharas, etc. Si manipulas estos objetos se nota que la imagen que reflejan, no poseen las mismas características que en los espejos planos. En realidad, estas características dependen, entre otras cuestiones, del tipo de espejo y de la distancia a la que se encuentra el objeto.

Formación de Imágenes.

Los espejos esféricos de acuerdo con las imágenes que se forman se clasifican en:

Imágenes en espejos cóncavos:

Imagen ampliada:

El objeto se encuentra a una distancia superior a la distancia focal y cerca del foco entonces se forma una imagen real e invertida que es mayor al objeto.

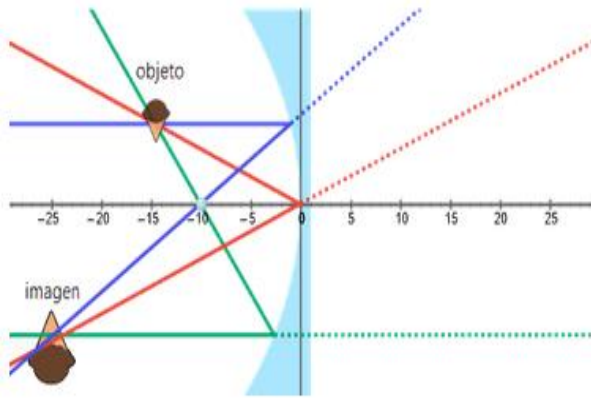


Imagen reducida;

El objeto se encuentra a una distancia superior a la distancia focal y más alejado del foco entonces se forma una imagen real e invertida que es menor al objeto.

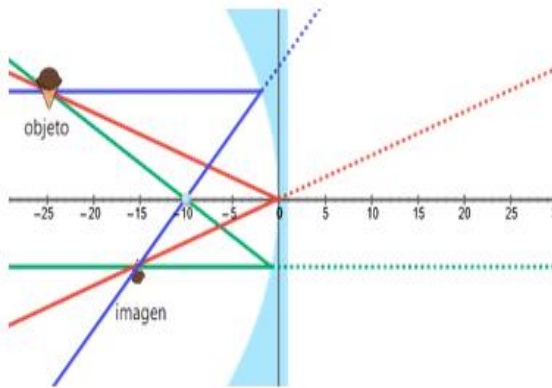


Imagen virtual:

El objeto se encuentra a una distancia inferior a la distancia focal, entonces se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto.

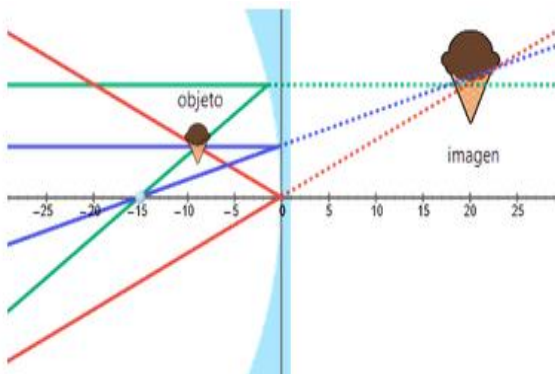
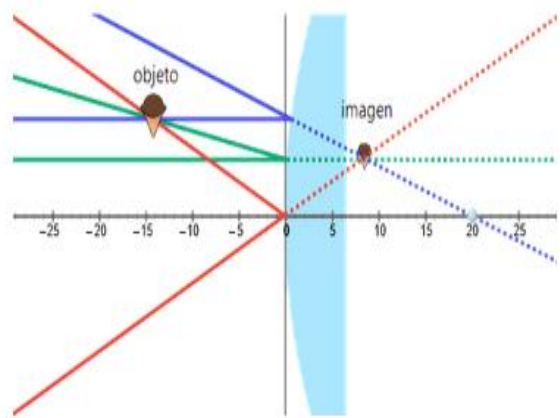


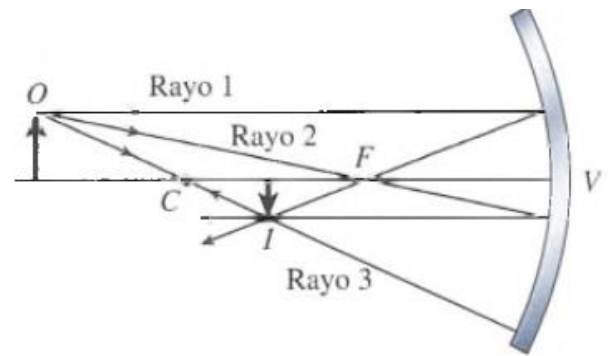
Imagen en un espejo convexo:

Siempre se forma una imagen virtual y derecha con respecto al objeto:

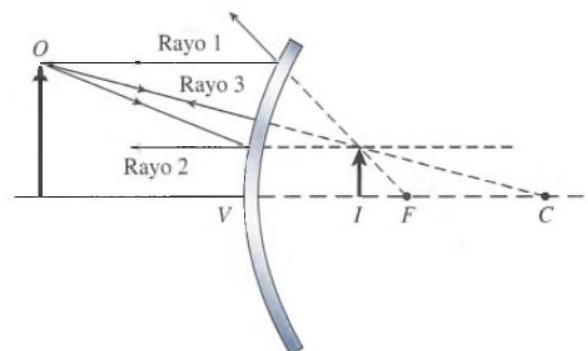


El mejor método para comprender la formación de imágenes por medio de espejos es a través de la óptica geométrica, o *trazado de rayos*. Este método consiste en considerar la reflexión de unos cuantos rayos divergentes a partir de algún punto de un objeto *O* que *no* se encuentre en el eje del espejo. El punto en el que se intersecan todos esos rayos reflejados determina la ubicación de la imagen. Analizaremos ahora tres rayos cuyas trayectorias pueden trazarse fácilmente.

Cada uno de los rayos se ilustra, tanto para un espejo convergente (cóncavo)



Rayos formados en espejo divergente (convexo)



Rayo 1: Un rayo paralelo al eje del espejo pasa a través del punto focal de un espejo cóncavo o parece provenir del punto focal de un espejo convexo.

Rayo 2: Un rayo que pasa por el punto focal de un espejo cóncavo o que se dirige al punto focal de un espejo convexo se refleja paralelamente al eje del espejo.

Rayo 3: Un rayo que avanza a lo largo de un radio del espejo es reflejado a lo largo de su trayectoria original.

Construcción de imágenes en espejos esféricos:

Se ha establecido una convención de signos en los elementos que conforman las partes del espejo para que se entienda cabalmente si los objetos y las imágenes son reales o virtuales. Hay que recordar que las imágenes *reales* se forman por rayos de luz verdaderos y deben hallarse *frente* al espejo. Mientras que las imágenes virtuales parecen situarse *detrás* de él.

La convención de signos está dada por:

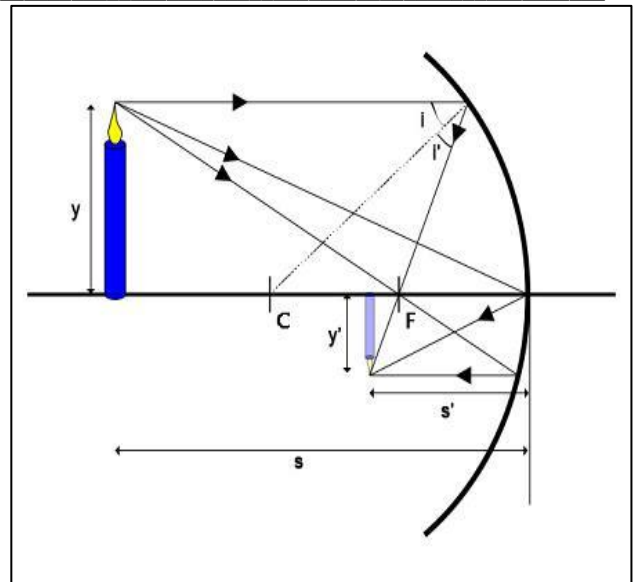
1. La distancia al objeto s es negativa para objetos reales y positiva para objetos virtuales.
2. La distancia a la imagen s' es negativa para imágenes reales y positiva para imágenes virtuales.
3. El radio de curvatura R y la longitud focal f son negativas para espejos convergentes (cóncavos) y positivos para espejos divergentes (convexos).

Clase de espejo	Situación del objeto	Características de la imagen
Cóncavo	$s > 2f$	Real, menor e invertida
Cóncavo	$s = 2f$	Real, igual e invertida
Cóncavo	$f < s < 2f$	Real, mayor e invertida
Cóncavo	$s = f$	No se forma imagen
Cóncavo	$s < f$	Virtual, mayor y derecha
Convexo	En cualquier punto	Virtual, menor y derecha

Los espejos cóncavos, también llamados espejos convergentes son utilizados en: los telescopios, en la otorrinolaringología, en los faros de los automóviles, etc.

El estudio general lo haremos con un espejo cóncavo, pero los resultados son válidos para cualquier tipo de espejo esférico.

Para ello nos ayudaremos del esquema adjunto y aplicaremos el criterio de signos en óptica y la ley de la reflexión.



Según la ley de la reflexión, aplicando el criterio de signos para los ángulos tenemos que, para los ángulos de incidencia de uno de los rayos:

$$i = -i'$$

Por otra parte, aplicando la ley de Snell para el espejo esférico y aplicando la igualdad de ángulos indicada por la reflexión:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin i' \Rightarrow n_1 = -n_2$$

Considerando el espejo esférico como un caso particular de un dioptrio esférico con $n_1 = -n_2$, la ecuación general encontrada para este tipo de dioptrios nos lleva a que:

La posición de los puntos objeto e imagen en un espejo esférico viene dado por la ecuación:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R}$$

Teniendo en cuenta que la distancia focal (f) es la mitad del radio de curvatura (R) esta expresión (ley de DESCARTES) puede expresarse también como:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

Observa que esta ecuación es independiente del medio donde se encuentre el espejo, ya que es independiente de su índice de refracción.

El aumento lateral que constituye la relación entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto de un espejo esférico esta dado por:

$$\beta = \frac{s'}{s}$$

Tamaño de la imagen formada:

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Un rayo de luz se propaga por un vidrio de índice de refracción 1,52 y llega a la superficie de separación vidrio-agua (índice de refracción del agua = 1,33) con un ángulo de incidencia de 30°. Determinar el ángulo de refracción.

Se tiene que:

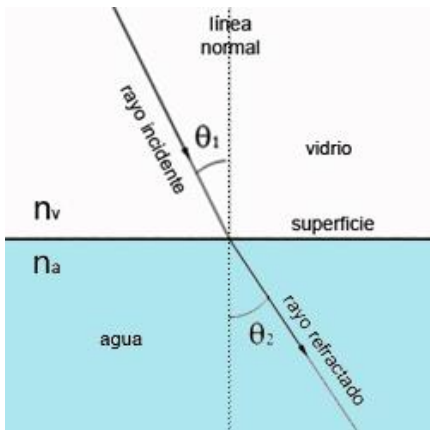
$$\theta_1 = 30^\circ$$

$$\theta_2 = ?$$

$$n_1 = 1,52$$

$$n_2 = 1,33$$

Al graficar se tiene:



Por la ley de Snell,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Sustituyendo:

$$1,52 \sin 30 = 1,33 \sin \theta_2 \Rightarrow \theta_2 = 34,8^\circ$$

2. Un rayo de luz que se propaga por el aire ($n_1 = 1$) incide sobre un medio de índice de refracción 1,22. Si la suma de los ángulos de incidencia y refracción es 90°. Determinar el valor de estos ángulos (incidencia y refracción).

Se tiene que:

$$n_1 = 1$$

$$n_2 = 1,22$$

$$\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$$

Por la ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Sustituyendo:

$$1 \sin \theta_1 = 1,22 \sin \theta_2$$

Además:

$$\theta_1 + \theta_2 = 90 \Rightarrow \theta_2 = 90 - \theta_1$$

Sustituyendo:

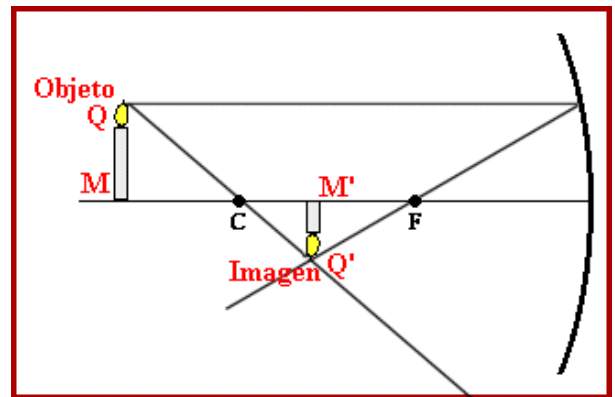
$$1 \sin \theta_1 = 1,22 \sin (90 - \theta_1) = 1,22 \cos \theta_1$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\cos \theta_1} = \tan \theta_1 = 1,22 \Rightarrow \theta_1 = 50,7^\circ$$

$$\theta_2 = 39,3^\circ$$

3. Delante de un espejo esférico cóncavo de 40 cm de radio se coloca, a una distancia de 25 cm, un objeto de 4 cm de altura. Calcular:

- La distancia focal del espejo
- La posición de la imagen formada
- El tamaño aparente de la imagen



Se tiene que:

Siguiendo el criterio de signos, los datos dados son:

$$R = -0.4 \text{ m}, s = -0.25, y = 0.04 \text{ m}$$

a) Por lo tanto, como para un espejo esférico el valor del foco viene dado por:

$$f = \frac{R}{2} = \frac{-0.4}{2} = -0.2 \text{ m}$$

Y el foco estará delante del espejo.

b) Aplicando la expresión de la ecuación general para un espejo esférico:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{R} \Rightarrow \frac{1}{s'} + \frac{1}{-0.25} = \frac{2}{-0.4}$$

$$\frac{1}{s'} = -1 \Rightarrow s' = -1 \text{ m}$$

La imagen se formará por tanto delante del espejo.

c) El aumento lateral del espejo esférico está dado por:

$$\beta = -\frac{s'}{s} = \beta = -\frac{-1}{-0.25} = -4$$

Por lo tanto, la imagen formada tendrá un tamaño

$$\beta = \frac{y'}{y} \Rightarrow y' = \beta \cdot y = -4 \cdot 0.04 = -0.16 \text{ m}$$

La imagen estará aumentada e invertida.

4. En un espejo convergente cuyo radio de curvatura es de 22 cm, determinar:

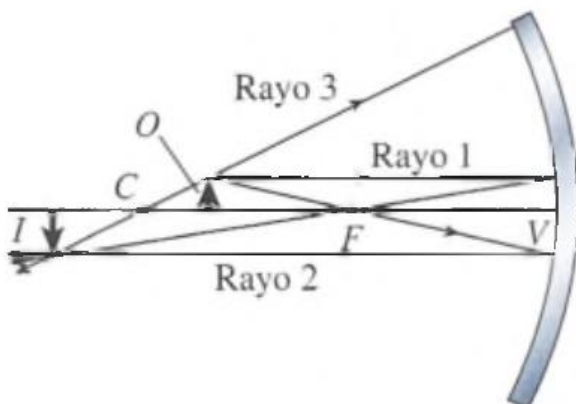
A) La longitud focal.

B) La naturaleza y ubicación de una imagen formada por el espejo si un objeto se encuentra a 15 cm del vértice del espejo.

Se tiene que $R = -0,22 \text{ m}$ y $s = -0,15 \text{ m}$.

Además, para resolver el ejercicio se debe analizar la naturaleza de la imagen a partir de contestar las siguientes interrogantes:

La imagen está de pie o de cabeza, está ampliada o reducida, es real o virtual y a partir de este análisis bosquejar la imagen.



Entonces se tiene que la imagen es real (se forma delante del espejo) está invertida (de cabeza) y ampliada, por tanto, la longitud focal es negativa en el espejo convergente.

$$f = \frac{R}{2}; f = \frac{-0,22}{2}; f = -0,11 \text{ m}$$

Como ya sabemos que la distancia s es $-0,15 \text{ m}$, la distancia a la imagen s' está dada por:

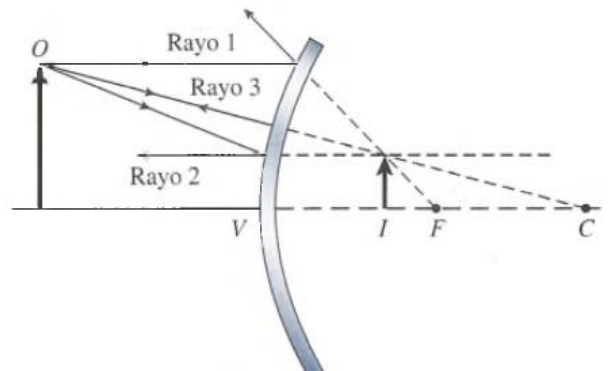
$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-0,15\text{m})(-0,11\text{m})}{-0,15\text{m} - (-0,11\text{m})}; s' = -0,41 \text{ m}$$

El signo $-$ de s' verifica que la imagen es real.

5. Determine la posición y describa la imagen si un objeto está colocado a 4 cm de un espejo convexo cuya longitud focal es de 6 cm.

En los espejos convexos las imágenes formadas en un espejo divergente son virtuales, no invertidas y son reducciones.



Entonces se tiene que $s = -0,04 \text{ m}$ y $f = 0,06 \text{ m}$ y la ecuación es:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s-f};$$

$$s' = \frac{(-0,04\text{m})(0,06\text{m})}{-0,04\text{m} - 0,06\text{m}}; s' = 0,024 \text{ m}$$

APLICO LO APRENDIDO

1. Determinar la distancia de un espejo esférico cóncavo, de 30cm de distancia focal, se debe colocar un objeto cuyo tamaño es de 20cm, para que su imagen real tenga un tamaño tres veces mayor que el del objeto.
2. A 25cm de un espejo esférico cóncavo de 20cm de distancia focal, se coloca un objeto cuyo tamaño es de 10cm. Determinar la distancia está la imagen y el tamaño de ésta y cuál es el valor del aumento.
3. Un espejo esférico convexo, tiene como radio de curvatura 12cm. Un objeto está colocado 3cm delante del espejo. Determinar la distancia estará la imagen del espejo.

LENTES

Las lentes son objetos transparentes (normalmente de vidrio), limitados por dos superficies, de las que al menos una es curva.

Las lentes más comunes se basan en el distinto grado de refracción que experimentan los rayos de luz al incidir en puntos diferentes de la lente.

Entre ellas están las utilizadas para corregir los problemas de visión en gafas, anteojos o lentillas.

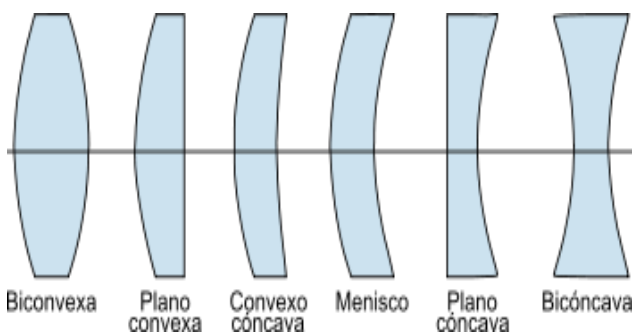
También se usan lentes, o combinaciones de lentes y espejos, en telescopios y microscopios. El primer telescopio astronómico fue construido por Galileo Galilei usando una lente convergente (lente positiva) como objetivo y otra divergente (lente negativa) como ocular.

Existen también instrumentos capaces de hacer converger o divergir otros tipos de ondas electromagnéticas y a los que se les denomina también lentes. Por ejemplo, en los microscopios electrónicos las lentes son de carácter magnético.

En astrofísica es posible observar fenómenos de lentes gravitatorias cuando la luz procedente de objetos muy lejanos pasa cerca de objetos masivos, y se curva en su trayectoria.

La palabra lente proviene del latín "lens, lentis" que significa "lenteja" con lo que a las lentes ópticas se las denomina así por parecido de forma con la legumbre.

En el siglo XIII empezaron a fabricarse pequeños discos de vidrio que podían montarse sobre un marco. Fueron las primeras gafas de libros.



TIPOS DE LENTES

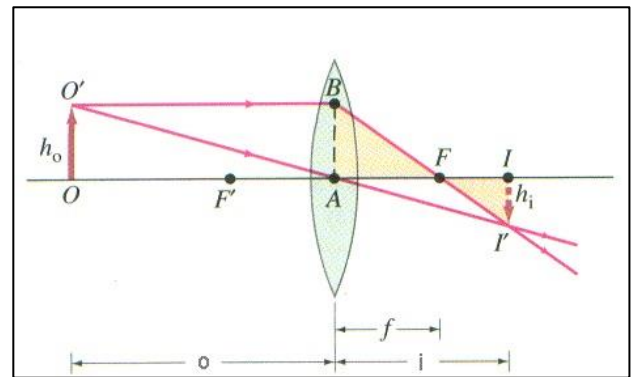
Existen dos tipos principales de lentes:

LENTES CONVERGENTES

Son aquellas cuyo espesor va disminuyendo del centro hacia los bordes. En este tipo de lentes, todo rayo que pase paralelamente al eje principal, al refractarse se junta en su foco. Las lentes convergentes forman imágenes reales de objetos.

Existen tres clases de lentes convergentes:

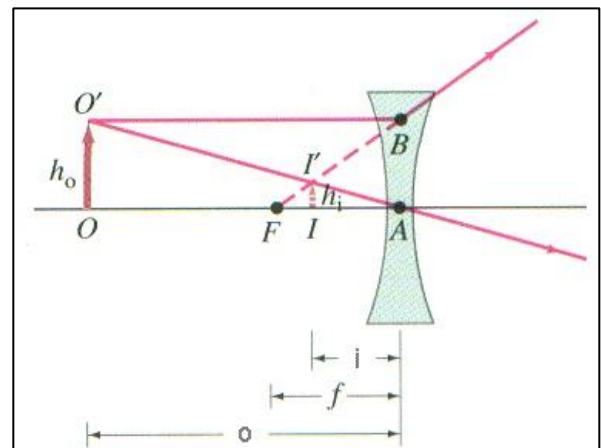
- Lentes bi-convexas.
- Lentes plano-convexas.
- Lentes cóncavo-convexas.



LENTES DIVERGENTES

Son aquellas cuyo espesor va disminuyendo de los bordes hacia el centro. En este tipo de lentes, todo rayo que pase paralelamente principal, al refractarse se separa como si procediera de un foco principal. Las lentes divergentes forman imágenes virtuales de los objetos. Existen tres clases de lentes divergentes:

- Lentes bi-cóncavas
- Lentes plano-cóncavas
- Lentes convexo-cóncavas



ELEMENTOS DE LAS LENTES

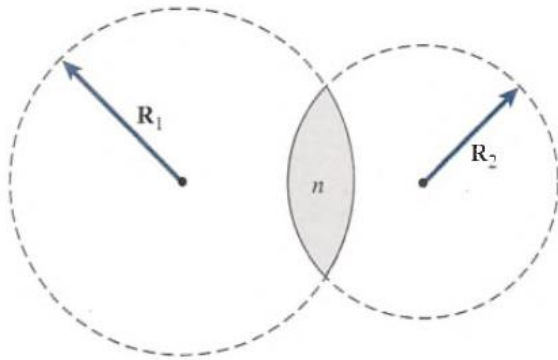
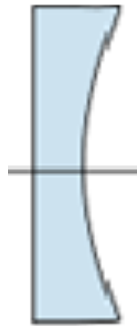
Una lente está compuesta por dos superficies esféricas, cada una con su centro de curvatura. La línea que une los centros de curvatura se llama eje principal.

El centro geométrico de la lente es el Centro óptico O.

Centro de curvatura, C y C', son los centros de las superficies que forman sus caras.

Todas las rectas que pasan por el Centro óptico son ejes secundarios.

La longitud focal f de una lente no es igual a la mitad del radio de curvatura, como en los espejos esféricos, sino que depende del índice de refracción n del material con el que esta fabricada. También depende de los radios de curvatura R_1 y R_2 de sus superficies, como se establece en la figura.

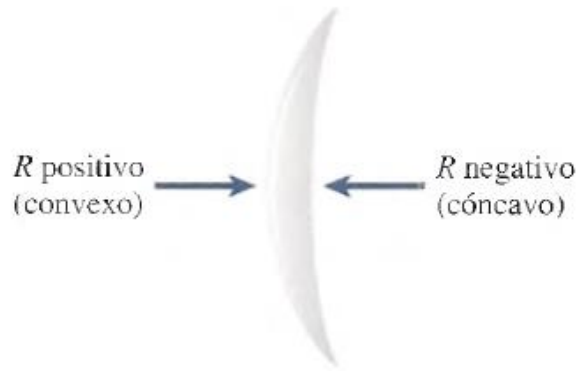


Para lentes delgadas, estas cantidades se relacionan mediante la ecuación:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Debido a que la ecuación anterior implica la construcción de parámetros para una lente, se le conoce como la *ecuación del fabricante de lentes*. Se aplica por igual a lentes convergentes y divergentes siempre que se siga esta convención de signos:

- El radio de curvatura (ya sea R_1 o R_2) se considera positivo si la superficie es curva hacia fuera (convexa) y negativa si la superficie es curva hacia dentro (cóncava).



- La longitud focal f de una lente convergente se considera positiva, y la longitud focal de una lente divergente se considera negativa.

EJERCICIOS RESUELTOS

1. Un fabricante de lentes planea construir una lente plano - cóncava de vidrio ($n_v = 1,5$). Determinar el radio de su superficie curva para construir una lente divergente con una longitud focal de -30 cm.

En la imagen se muestra una lente plano - cóncava, por lo tanto, la longitud focal es negativa para una lente divergente y que se considera que el radio de la superficie plana es infinito. Con la ecuación del fabricante de lentes se determinará el radio de la superficie curva, que ha de ser una cantidad negativa, sin importar que superficie se elija como R_1

Se conoce que $f = - 0,30$ m, $R_1 = \infty$ y $n_v = 1,5$. Al sustituir en la ecuación de lentes se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f} &= (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \\ \frac{1}{f} &= (n - 1) \left(\frac{1}{\infty} + \frac{1}{R_2} \right); \\ \frac{1}{f} &= (n - 1) \left(0 + \frac{1}{R_2} \right); \\ \frac{1}{f} &= \frac{(n-1)}{R_2}; \\ R_2 &= (n - 1)f \\ R_2 &= (1,5 - 1)(-0,30m) \\ R_2 &= (0,5)(-0,30m) \\ R_2 &= -0,15m \end{aligned}$$

El radio de curvatura es negativo en un lente divergente.

2. Una *lente menisco* tiene una superficie convexa cuyo radio es de 12 cm y cuya superficie cóncava tiene un radio de -16 cm. Si la lente se construye en vidrio con un índice de refracción de 1,52. Determinar la longitud focal.

Se conoce que $R_1 = 0,12$ m, $R_2 = - 0,16$ m y $n_v = 1,52$, al sustituir estos dados en la ecuación se tiene que:

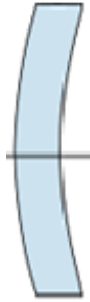
$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right);$$

$$\frac{1}{f} = (1,52 - 1) \left(\frac{1}{0,12 \text{ m}} + \frac{1}{-0,16 \text{ m}} \right);$$

$$\frac{1}{f} = (0,52) \left(\frac{1}{0,12 \text{ m}} - \frac{1}{0,16 \text{ m}} \right)$$

$$\frac{1}{f} = (0,52) \left(\frac{0,16 \text{ m} - 0,12 \text{ m}}{0,0192 \text{ m}^2} \right)$$

$$f = 0,92 \text{ m}$$

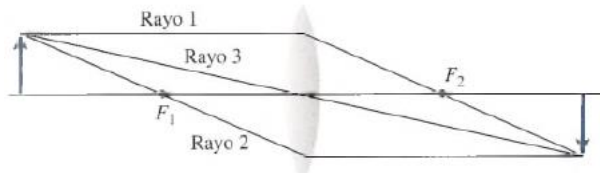


La longitud focal es positiva, lo que indica que es una lente menisco convergente.

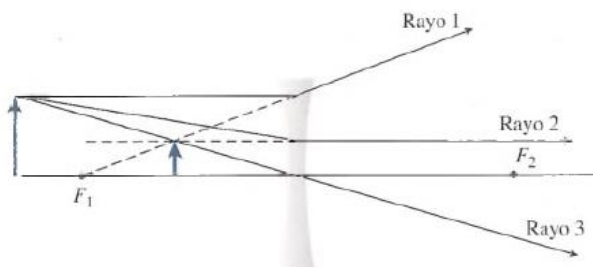
FORMACIÓN DE IMÁGENES MEDIANTE LENTES DELGADAS.

Puede considerarse que la desviación completa de un rayo que pasa por una lente delgada se lleva a cabo en un plano a través del centro de la lente. Se afirma que una lente tiene dos puntos focales. Definimos el *primer punto focal* F_1 como el que se ubica del mismo lado de la lente donde incide la luz. El *segundo punto focal* F_2 , se halla en el lado opuesto o más distante de la lente. Hay tres rayos principales que pueden trazarse fácilmente a través de una lente.

Los rayos que se ilustran para una lente convergente son:



Los rayos para una lente divergente son:



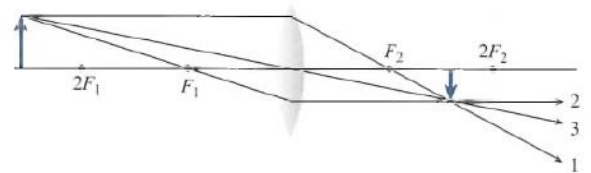
Rayo 1: Es un rayo paralelo al eje que pasa por el segundo punto focal F_2 de una lente convergente o que parece provenir del primer punto focal de una lente divergente.

Rayo 2: Un rayo que pasa por el primer punto focal F_1 de una lente convergente o avanza hacia el segundo punto focal F_2 de una lente divergente se refracta paralelamente al eje de la lente.

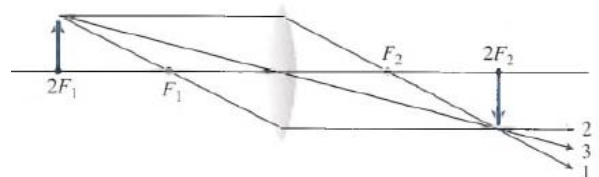
Rayo 3: Un rayo que pasa por el centro geométrico de una lente no se desvía.

La intersección de cualquiera de estos rayos (o sus extensiones) que provienen de un objeto puntual representa la imagen de ese punto. Puesto que una imagen real producida por una lente se forma mediante rayos de luz que en realidad pasan por la lente, *una imagen real siempre se forma del lado de la lente opuesto al objeto. Una imagen virtual aparecerá del mismo lado de la lente donde se encuentra el objeto.*

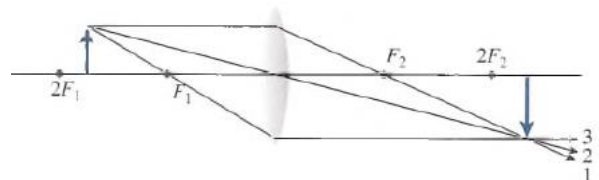
1. Objeto ubicado a una distancia de más del doble de la longitud focal. Se forma una imagen real, invertida y menor entre F_2 y $2F_2$ en el lado opuesto de la lente.



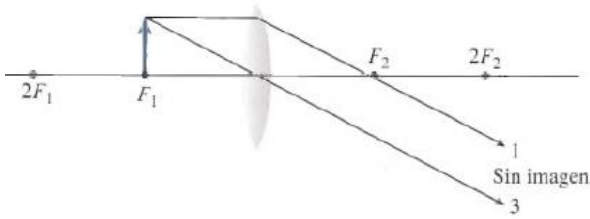
2. El objeto está a una distancia igual al doble de la longitud focal. Una imagen real, invertida y del mismo tamaño que el objeto se ubica en $2F_2$ en el lado opuesto de la lente.



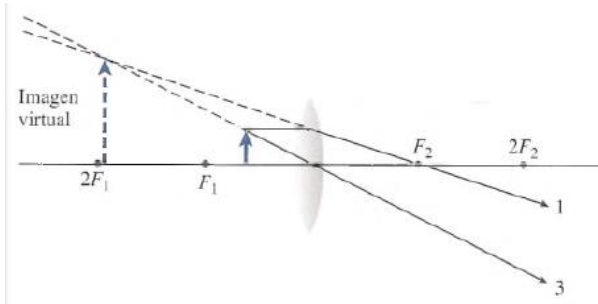
3. El objeto se halla a una distancia entre una y dos longitudes focales de la lente. Se forma una imagen real, invertida y mayor, más allá de $2F_2$ del lado opuesto de la lente.



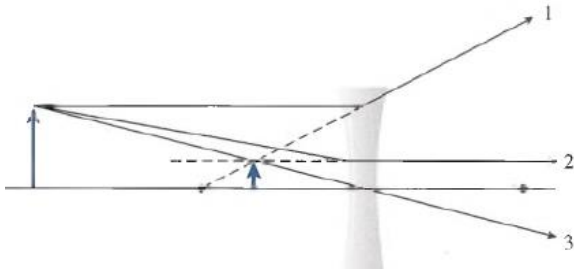
4. El objeto está en el primer punto focal F_1 . No se forma la imagen. Los rayos refractados son paralelos.



5. El objeto se encuentra dentro del primer punto focal. Se forma una imagen virtual, no invertida y mayor, del mismo lado de la lente donde se encuentra el objeto.



6. Las imágenes formadas con lentes divergentes siempre son virtuales, no están invertidas y son de menor tamaño.



ECUACIÓN DE LAS LENTES

Las características, el tamaño y la ubicación de las imágenes pueden también determinarse analíticamente a partir de la *ecuación de las lentes*.

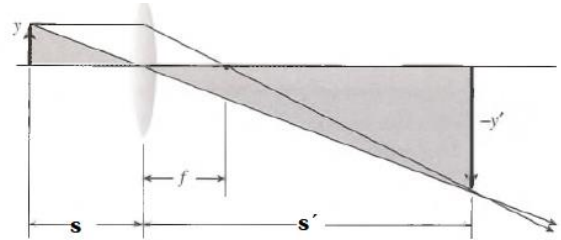
$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$$

donde s = distancia al objeto
 s' = distancia a la imagen
 f = distancia focal de la lente

Las mismas convenciones de signos establecidas para los espejos se pueden usar en la ecuación de las lentes si tanto las convergentes como las divergentes se comparan con los espejos convergentes y divergentes. Esta convención se resume de la forma siguiente:

1. La distancia al objeto, s , y la distancia a la imagen, s' , se consideran negativas para objetos e imágenes reales y positivas para objetos e imágenes virtuales.

2. La longitud focal f se considera negativa para lentes convergentes (cóncavos) y positiva para lentes divergentes (convexos)



La *amplificación* de una lente M se define como la razón del tamaño de la imagen con respecto al tamaño del objeto.

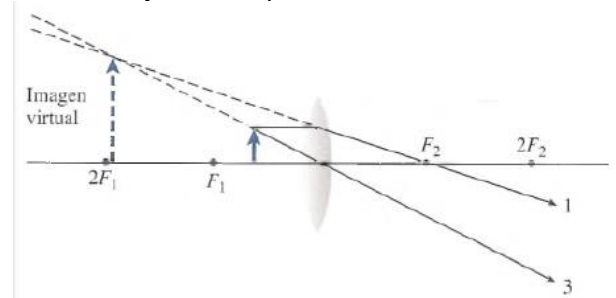
$$M = \frac{s'}{-s}; \quad M = \frac{y'}{y}$$

Una *amplificación positiva* indica que la imagen no está invertida, mientras que una *amplificación negativa* ocurre sólo cuando la imagen está invertida.

EJERCICIOS.

1. Un objeto de 4 cm de altura se halla a 10 cm de una lente convergente delgada que tiene una longitud focal de 20 cm. Determinar la naturaleza, tamaño y ubicación de la imagen.

Para formarse una idea visual de la naturaleza, el tamaño y la ubicación de la imagen, se traza un esbozo de diagrama de rayos para un objeto ubicado dentro de la longitud focal. La solución cuantitativa de cada ubicación y tamaño de la imagen se determina con base en las ecuaciones de la lente y de la amplificación.



Puesto que $f = -0,20$ m y $s = -0,10$ cm, se resuelve para s' como sigue:

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; \quad s' = \frac{sf}{s - f};$$

$$s' = \frac{(-0,10\text{ m})(-0,20\text{ m})}{(-0,10\text{ m}) - (-0,20\text{ m})}; s' = 0,20\text{ m}$$

El signo positivo señala que la imagen es virtual

Para el tamaño del objeto aplicamos:

$$M = \frac{s'}{-s}; M = \frac{y'}{y}$$

$$\frac{s'}{-s} = \frac{y'}{y}; y' = \frac{s' \cdot y}{-s}$$

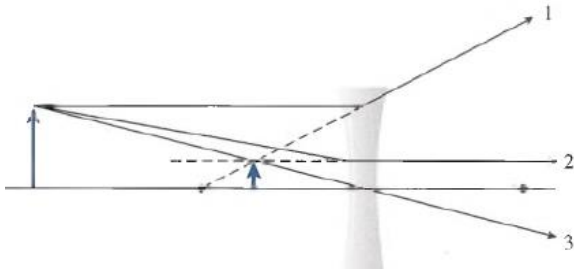
$$y' = \frac{(-0,20\text{ m}) \cdot (0,04)}{-0,10\text{ m}}$$

$$y' = 0,08\text{ m}$$

El signo positivo señala que la imagen es virtual, no invertida y ampliada.

2. Una lente menisco divergente tiene una longitud focal de -16 cm . Si la lente se sostiene a 10 cm del objeto. Determinar la ubicación de la imagen y la amplificación de la lente.

Esta vez el diagrama de rayos será semejante a



Para una lente divergente la imagen siempre es virtual, no está invertida y es más pequeña que el objeto.

La ubicación y la amplificación de la imagen se determinan a partir de las ecuaciones de la lente y de la amplificación.

Por sustitución directa se obtiene
 $f = -16\text{ cm}$ y $s = 10\text{ cm}$

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}; s' = \frac{sf}{s - f};$$

$$s' = \frac{(-0,10\text{ m})(-0,16\text{ m})}{(-0,10\text{ m}) - (-0,16\text{ m})}; s' = -0,62\text{ m}$$

El signo menos de nuevo indica que la imagen es virtual.

Para la amplificación se tiene

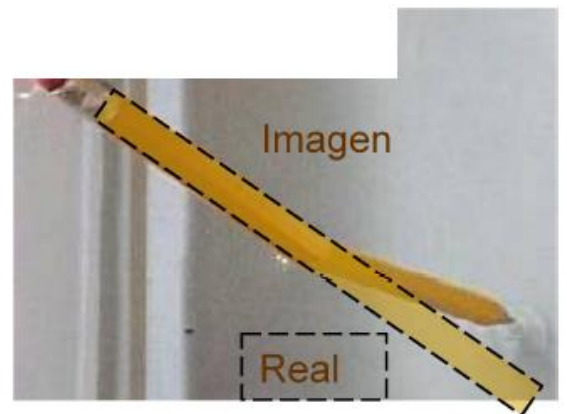
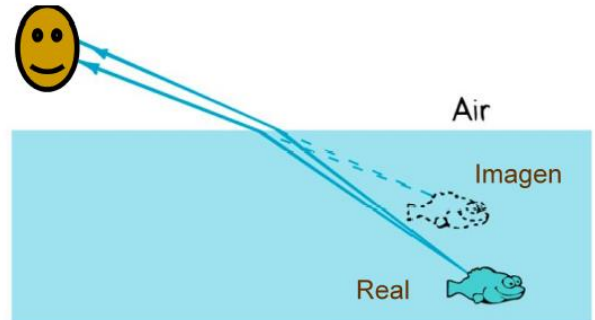
$$M = \frac{s'}{-s}; M = \frac{-0,62\text{ m}}{-0,10\text{ m}}; M = +0,062$$

El signo y la amplificación de la respuesta indican que la imagen no está invertida y tiene menor tamaño.

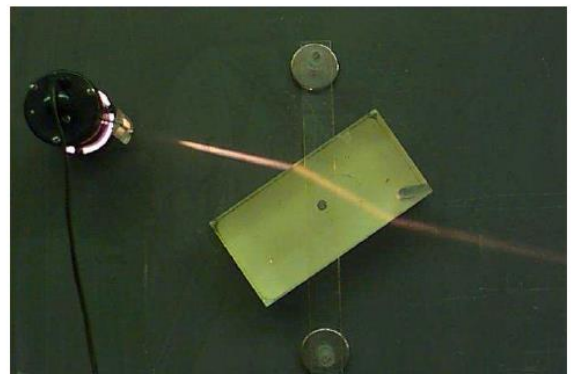
APLICACIONES EN LA VIDA COTIDIANA

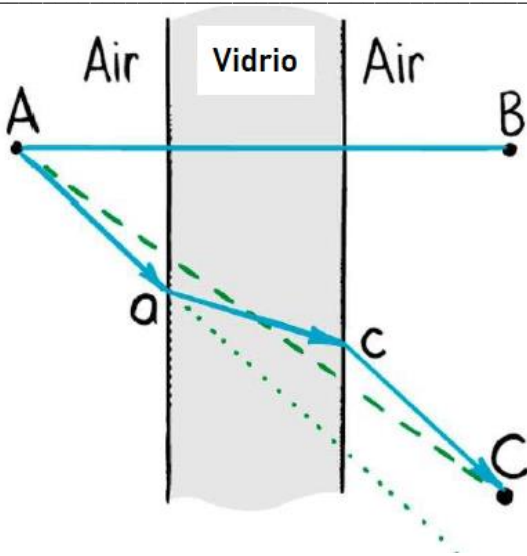
1. EFECTOS ÓPTICOS DEBIDO A LA REFRACCIÓN.

Los rayos de luz se desvían (refractan) cuando pasan del agua al aire, haciendo que los objetos parezcan menos profundos y más cerca del observador.

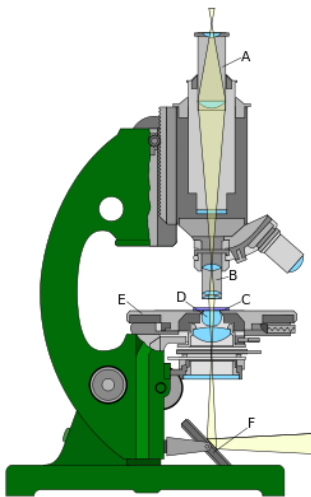


La luz es refractada cuando entra en el bloque, y vuelve a refractar cuando lo deja y vuelve al medio original (saliendo paralela)





1. MICROSCOPIO



El tipo de microscopio más utilizado es el microscopio óptico, que se sirve de la luz visible para crear una imagen aumentada del objeto.

El microscopio óptico más simple es la lente convexa doble con una distancia focal corta. Estas lentes pueden aumentar un objeto hasta 15 veces. Por lo general, se utilizan

microscopios compuestos, que

disponen de varias lentes con las que se consiguen aumentos mayores. Algunos microscopios ópticos pueden aumentar un objeto por encima de las 2.000 veces.

El microscopio compuesto consiste en dos sistemas de lentes, el objetivo y el ocular, montados en extremos opuestos de un tubo cerrado. El objetivo está compuesto de varias lentes que crean una imagen real aumentada del objeto examinado.

Las lentes de los microscopios están dispuestas de forma que el objetivo se encuentre en el punto focal del ocular. Cuando se mira a través del ocular se ve una imagen virtual aumentada de la imagen real. El aumento total del microscopio depende de las distancias focales de los dos sistemas de lentes.

El equipamiento adicional de un microscopio consta de un armazón con un soporte que sostiene el material examinado y de un mecanismo que permite acercar y alejar el tubo para enfocar la muestra. Los especímenes o muestras que se examinan con un microscopio son transparentes y se observan con una luz que los atraviesa; se suelen colocar sobre un rectángulo fino de vidrio.

El soporte tiene un orificio por el que pasa la luz. Bajo el soporte se encuentra un espejo que refleja la luz para que atraviese el espécimen.

El microscopio puede contar con una fuente de luz eléctrica que dirige la luz a través de la muestra.

2. TELESCOPIO.

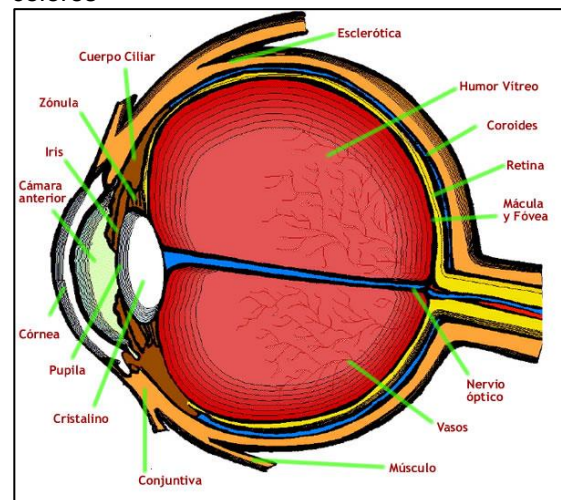
El antejo astronómico es un telescopio ya que amplifica las imágenes de los cuerpos celestes. Estos se llaman telescopios de refracción, porque las estrellas se ven directamente a través de las



lentes que refractan la luz. El moderno telescopio de reflexión un enorme espejo cóncavo el cual recoge la luz de las estrellas y las refleja, concentrando los rayos en un espejo plano, donde son observadas a través de lentes convergentes.

3. EL OJO HUMANO

El ojo humano es el instrumento óptico más fundamental, puesto que sin él no existiría el campo de la óptica. Es un órgano foto receptor, cuya función, ya implícita, consiste en recibir los rayos luminosos procedentes de los objetos presentes en el mundo exterior y transformarlos en impulsos eléctricos que son conducidos al centro nervioso de la visión en el cerebro, además necesita de cierto período de adaptación para pasar de una intensidad luminosa correspondiente a la luz del día, a intensidades de luz menores y viceversa; es un órgano maravilloso que posee una notable capacidad de adaptarse para ver objetos distantes o distinguir pequeños granos de arena, como también nos permite apreciar un amplio rango de colores

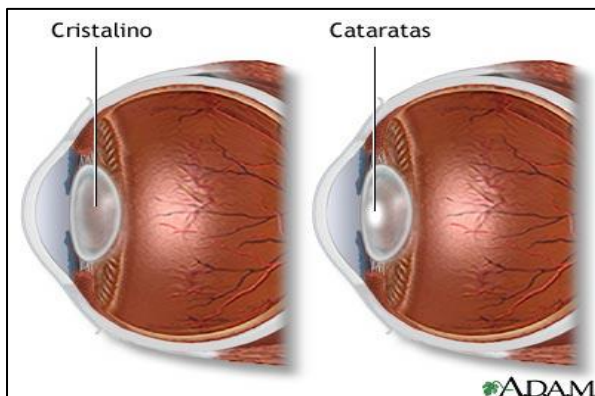


Astigmatismo

Es un estado ocular que generalmente proviene de un problema en la curvatura de la córnea, lo que impide el enfoque claro de los objetos tanto lejos como cerca. La córnea, que es una superficie esférica, sufre un achatamiento en sus polos, lo cual produce distintos radios de curvatura en el eje del ojo, por ende cuando la luz llega al ojo, específicamente en la córnea, la imagen que se obtiene es poco nítida y distorsionada. Se corrige con lentes cilíndricas.

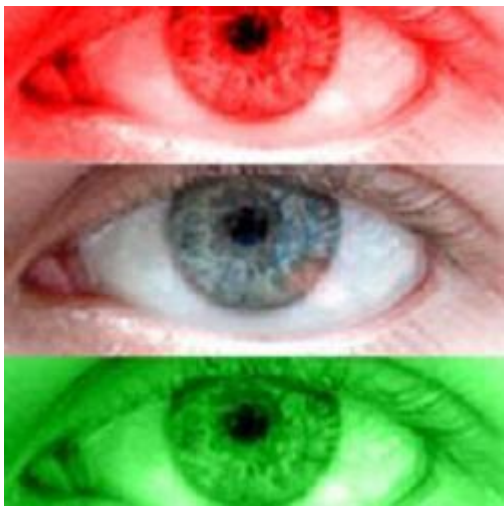
Miopía: es el estado refractivo en el que el punto focal se forma delante de la retina cuando el ojo se encuentra en reposo, en lugar de en la misma retina como sería normal

Cataratas: Una catarata es la pérdida de la transparencia del cristalino, estructura situada en el interior del ojo, por detrás de la pupila, que cumple la función de una lente, enfocando las imágenes en la retina, como un objetivo de una cámara de fotos, que enfoca la luz sobre la película (Retina).



Daltonismo:

El daltonismo ocurre cuando hay un problema con los materiales que perciben el color (pigmentos) en ciertas neuronas del ojo, llamadas conos. Estas células se encuentran en la retina, la capa de tejido sensible a la luz en la parte posterior del ojo interno.



Si una persona carece solamente de un pigmento, podría tener problemas para establecer la diferencia entre el rojo y el verde, que es el tipo más común de daltonismo. Otras veces, las personas tienen problemas para ver los colores azul y amarillo; pero quienes tienen este tipo de daltonismo casi siempre tienen problemas para identificar también los colores rojos y verdes.

La forma más grave de daltonismo es la acromatopsia y quienes padecen esta rara afección no pueden ver ningún color.

4. LA FIBRA OPTICA

Es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.

El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el núcleo de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser láser o un LED.

Las fibras se utilizan ampliamente en telecomunicaciones, ya que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio o cable. Son el medio de transmisión por excelencia al ser inmune a las interferencias electromagnéticas, también se utilizan para redes locales, en donde se necesita aprovechar las ventajas de la fibra óptica sobre otros medios de transmisión.



5. EL RAYO LASER

La palabra **LASER** es la sigla (en inglés): **Ligh Amplification by Stimulated Emission of Radiation**, que traducido al español es: amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación. El rayo láser es un rayo de luz de una sola amplitud de onda que ya sea visible o no, tiene un único color. La luz del sol posee varias longitudes de onda que se unen formando la luz blanca. Si la luz blanca atraviesa un prisma, se descompone mostrando todos los colores que la componen.

Entonces podemos entender que **el laser es la expresión de uno de esos colores en forma amplificada**. En el año 1958, los físicos A. Schawlow y C. Hard Townes describieron los principios del funcionamiento del láser y dos años más tarde, el estadounidense Theodore Maiman concretó el primer proceso láser con un cristal de rubí.

Se requiere un barra de **rubí** (posee en su interior átomos de cromo dispersos como impurezas), en ambos extremos debe tener superficies espejadas de las cuales **una** refleja el 100% de los rayos y la **otra** aproximadamente 95% llamada superficie **semirreflectante**.

La barra de rubí es estimulada por fotones generados por el destello de una lámpara o tubo fluorescente con características determinadas. El rubí libera fotones monocromáticos para descargar la energía acumulada, un fotón estimula la formación de otro idéntico, produciéndose el fenómeno de **clonación** de los mismos.

Cuando estos fotones que se desplazan entre las dos superficies reflectantes superan una determinada cantidad de energía, son liberados a través de la superficie semirreflectante generando el rayo.

Se libera un **rayo laser** que tiene como característica el ser coherente y compuesto por luz monocromática (una sola longitud de onda).

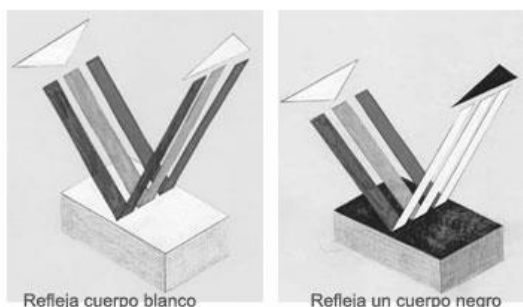


6. EL COLOR DE LOS OBJETOS

Un cuerpo opaco, es decir no transparente absorbe gran parte de la luz que lo ilumina y refleja una parte más o menos pequeña. Cuando este cuerpo absorbe todos los colores contenidos en la luz blanca, el objeto parece negro.

Cuando refleja todos los colores del espectro, el objeto parece blanco. Los colores absorbidos desaparecen en el interior del objeto, los reflejados llegan al ojo humano. Los colores que visualizamos son, por tanto, aquellos que los propios objetos no absorben, si nó que los propagan.

Absorción y reflexión



Todos los cuerpos están constituidos por sustancias que absorben y reflejan las ondas

electromagnéticas, es decir, absorben y reflejan colores.

Cuando un cuerpo se ve blanco es porque recibe todos los colores básicos del espectro (rojo, verde y azul) los devuelve reflejados, generándose así la mezcla de los tres colores, el blanco.

Si el objeto se ve negro es porque absorbe todas las radiaciones electromagnéticas (todos los colores) y no refleja ninguno.

El rojo de un cuerpo



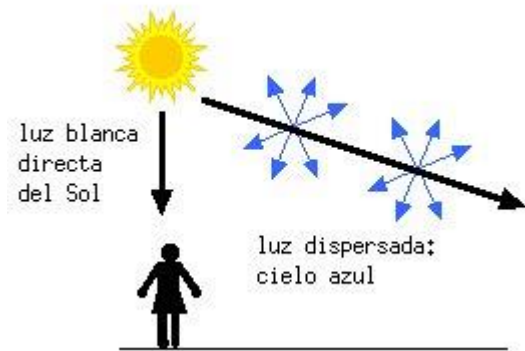
El tomate nos parece de color rojo, porque el ojo sólo recibe la luz roja reflejada por la hortaliza, absorbe el verde y el azul y refleja solamente el rojo. Un plátano amarillo absorbe el color azul y refleja los colores rojo y verde, los cuales sumados permiten visualizar el color amarillo.

7. LA LUZ EN LA ATMOSFERA

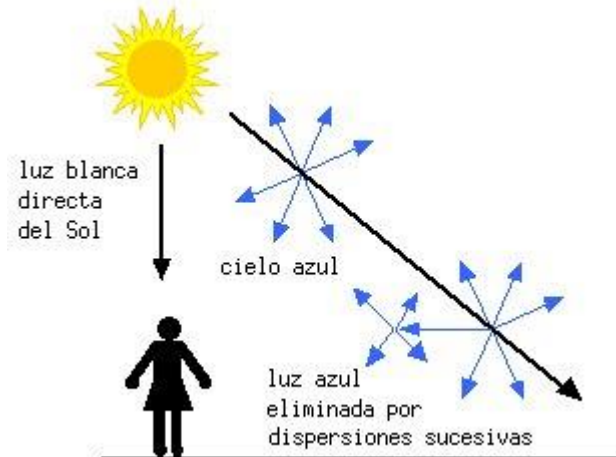
En el vacío, la luz viaja en línea recta y sin nada que la perturbe. Al penetrar en la atmósfera, la luz puede incidir sobre un grano de polvo o en una molécula. En cada uno de estos casos pasan cosas distintas: Los granos de polvo y las gotitas de agua son de tamaño mucho mayor que la longitud de onda de la luz visible, por lo tanto actúan como "espejos" que reflejan la luz incidente en diferentes direcciones, sin cambiarle el color. Las moléculas son más chicas que la longitud de onda de la luz visible. Cuando una onda luminosa choca con una molécula, ésta puede absorber la luz, y luego la emite en cualquier otra dirección. Este fenómeno se llama *dispersión*. Pero las moléculas son mucho más eficientes para dispersar la luz de longitud de onda corta (azul) que la luz de longitud de onda larga (rojo). Este proceso fue estudiado por el físico Lord John Rayleigh hacia 1870, por eso se lo conoce como "dispersión Rayleigh". La dispersión es uno de los fenómenos de la luz natural en su descomposición en: colores desde el rojo hasta el violeta, el momento que se refracta a través de algún material de vidrio y es el proceso en el cual la velocidad de la luz varía en un medio cualquiera

EL CIELO AZUL

El color azul del cielo se debe a la dispersión Rayleigh. Cuando la luz del Sol atraviesa la atmósfera para llegar hasta nosotros, la mayor parte de la luz roja, anaranjada y amarilla (longitudes de onda largas) pasa sin ser casi afectada. Sin embargo, buena parte de la luz de longitudes de onda más cortas es dispersada por las moléculas gaseosas del aire. A cualquier parte del cielo que miremos, estaremos viendo algo de esa luz dispersada, que es azul, y por eso el cielo es de ese color. En cambio, la luz que nos llega directamente del Sol perdió parte de su color azul, por eso el Sol se ve amarillento.



Al mirar hacia un punto más cercano al horizonte, el cielo se ve de un color azul más pálido. Esto se debe a que, para llegar hasta nosotros, la luz del cielo debe en este caso atravesar una mayor cantidad de aire, y por lo tanto vuelve a ser dispersada. La luz que nos llega del cielo cercano al horizonte habrá entonces perdido parte de su color azul y se verá pálido o blanquecina.



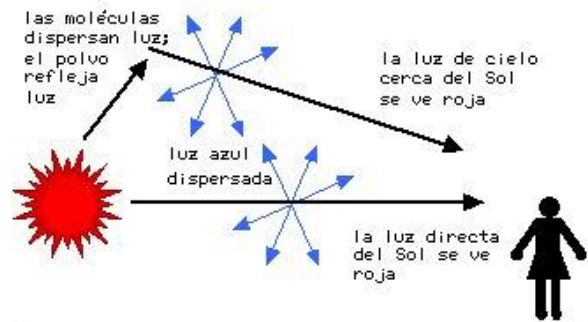
EN EL ESPACIO

En órbita fuera de la atmósfera terrestre o desde la Luna, el Sol se ve blanco y el cielo negro. Al no haber moléculas que dispersen la luz, todas las longitudes de onda de la luz solar nos llegan por igual y el Sol se ve blanco. Y el cielo se ve negro porque no hay nada que disperse la luz.



EN EL OCASO

A medida que el Sol está más cerca del horizonte, la luz debe atravesar una porción de atmósfera cada vez mayor para llegar a nosotros (recordemos que la atmósfera es muy delgada comparada con el radio terrestre). El color del Sol va cambiando primero a anaranjado, luego a rojo. Esto se debe a que se van dispersando cada vez más las longitudes de onda cortas (azul, verde), y sólo nos llega la luz más roja.



El cielo alrededor del sol poniente puede tomar colores muy variados. Cuando el aire contiene gran cantidad de partículas de polvo o gotitas de agua, éstas reflejan luz blanca en todas direcciones. Sobre esta luz actúa la dispersión Rayleigh, eliminando las longitudes de onda más cortas. Por eso el cielo se ve rojizo.

8. IRIDISCENCIA

La **iridiscencia** es un fenómeno óptico caracterizado como la propiedad de ciertas superficies en las cuales el tono de la luz varía de acuerdo al ángulo desde el que se observa la superficie, como en las manchas de aceite, las burbujas de jabón, las alas de una mariposa y el lado reproducible del disco láser, ya sea CD o DVD.

La iridiscencia es causada por múltiples reflexiones de la luz en múltiples superficies semitransparentes, donde los subsecuentes cambios de fase e interferencia de

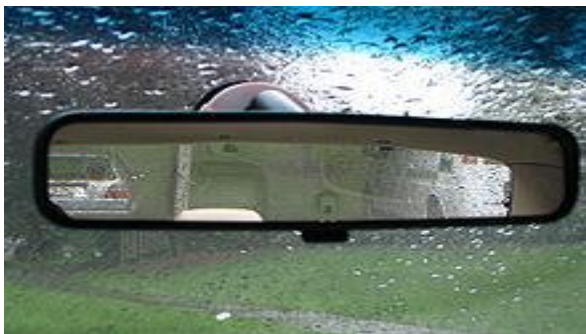


las reflexiones modulan la luz por la amplificación o atenuación de las diferentes longitudes de onda.

9. ESPEJO RETROVISOR

Es un tipo funcional de espejo que poseen los automóviles y otros vehículos, que están diseñados para permitirle al conductor ver el área que se encuentra detrás del vehículo a través de la ventana posterior.

Los espejos retrovisores a veces son confundidos con los espejos laterales, que son un tipo diferente de espejos que se ubican sobre los laterales izquierdo y derecho de muchos vehículos modernos. Si bien este tipo de espejos miran hacia atrás, su propósito es mostrarle al conductor el estado del tráfico a la derecha y a la izquierda del automóvil. Los espejos retrovisores internos y el espejo lateral del lado del conductor son específicamente requeridos por la legislación que no sean provistos de magnificación y por lo tanto son convexos.¹ El conductor se encuentra ubicado tan próximo a estos espejos como para con un desplazamiento de su cabeza poder expandir en forma apropiada su campo de visión. En cambio el espejo lateral del lado del acompañante se encuentra ubicado lo suficientemente lejos como para que el campo visual sea fijo, por más que el conductor mueva su cabeza y por lo tanto un espejo convexo es deseable para expandir el campo visual.



Usos de los espejos convexos dentro de edificios

Los grandes hospitales, tiendas y edificios de oficinas a menudo utilizan espejos convexos para permitir que la gente vea lo que está al doblar una esquina y así evitar que la gente choque entre sí.



Usos de los espejos convexos en gafas de sol

Los espejos convexos se utilizan para fabricar lentes para gafas de sol. Estos espejos ayudan a reflejar algo de la luz del sol lejos de los ojos del portador.

Usos de los espejos convexos en vehículos

Los espejos convexos se encuentran con frecuencia en los lados de pasajeros de los vehículos motorizados. Estos espejos hacen que los objetos parezcan más pequeños de lo que realmente son. Debido a esta compresión, estos espejos reflejan un área de imagen más amplia, o campo de visión.

Usos de los espejos convexos en la seguridad

Los espejos convexos se suelen colocar cerca de los cajeros automáticos para permitir que los usuarios sepan si alguien está detrás de ellos. Esta es una medida de seguridad que ayuda a proteger a los usuarios de cajeros automáticos del robo de los retiros de dinero y ayuda a mantener la identidad de los usuarios de cajeros más segura.

Usos de los espejos convexos en lentes de aumento

Dos espejos convexos, colocados espalda contra espalda se utilizan para crear una lupa.

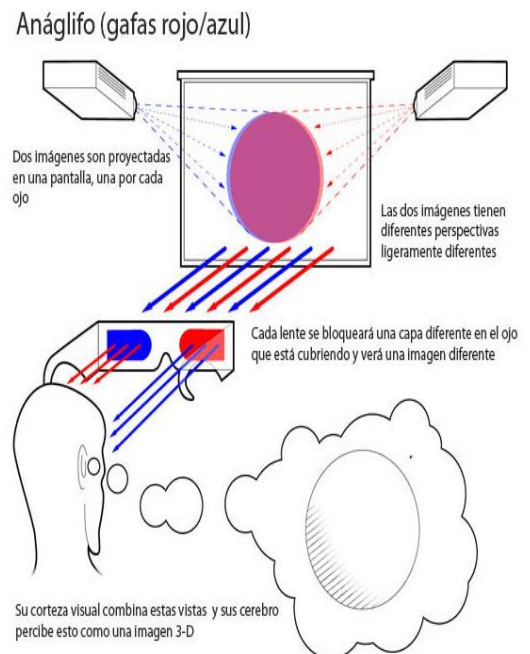
Usos de los espejos cóncavos en los vehículos

Los espejos cóncavos son utilizados en los faros de los vehículos para enfocar la luz proveniente de los faros. La luz no es tan difusa y el conductor puede ver mejor en la noche.

Usos de los espejos cóncavos en la concentración de la luz

Los espejos cóncavos son utilizados para enfocar luz para fines de calefacción.

9. GAFAS 3D



Las imágenes de anaglifo o anaglifos son imágenes de dos dimensiones capaces de provocar un efecto tridimensional, cuando se ven con lentes especiales (lentes de color diferente para cada ojo).

Se basan en el fenómeno de síntesis de la visión binocular y fue patentado por Louis Ducos du Hauron en el 1891 con el nombre de este artículo. Las imágenes de anaglifo se componen de dos capas de color, súper impuestas pero movidas ligeramente una respecto a la otra para producir el efecto de profundidad. Usualmente, el objeto principal está en el centro, mientras que lo de alrededor y el fondo están movidos lateralmente en direcciones opuestas. La imagen contiene dos imágenes filtradas por color, una para cada ojo. Cuando se ve a través de las Gafas anaglifo, se revelará una imagen tridimensional. La corteza visual del cerebro fusiona esto dentro de la percepción de una escena con profundidad.

Las gafas anaglifo están formadas por dos lentes (muy sencillas), cada una con uno de los dos colores que componen la imagen. De esta manera actúan como [filtro](#) y dejan ver a cada ojo sólo el par estéreo que le corresponde. Así pues, por ejemplo, si tuviéramos una imagen creada a partir del desplazamiento de una imagen azul (enfocada para el ojo izquierdo) y otra roja (enfocada para el ojo derecho), necesitaríamos unas gafas anaglifo con filtros de los mismos colores: el ojo derecho tendría la lente de color azul y el izquierdo la lente roja, ya que el filtro sólo permite ver la imagen que no sea del mismo color.



10. ILUSION OPTICA

Una **ilusión óptica** es cualquier ilusión del sentido de la vista que nos lleva a percibir la realidad de varias formas. Éstas pueden ser de carácter fisiológico asociados a los efectos de una estimulación excesiva en los ojos o el cerebro (brillo, color, movimiento, etc., como el encandilamiento tras ver una luz potente) o cognitivo en las que interviene nuestro conocimiento del mundo

(como el Jarrón Rubin en el que percibimos dos caras o un jarrón indistintamente). Las ilusiones cognitivas se dividen habitualmente en ilusiones de ambigüedad, ilusiones de distorsión, ilusiones paradójicas e ilusiones ficticias (alucinaciones) donde las imágenes no son perceptibles con claridad por el ojo humano, ya que nuestro cerebro solo puede asimilar una imagen a la vez. En conclusión, el cerebro humano solo puede concentrarse en un objeto, por lo que, cuando se presentan dos formas en una sola imagen, se ocasiona confusión y el cerebro entra en desorden, con lo cual este lleva a ver otra visión de lo visto.

