

# ÓPTICA GEOMÉTRICA

## ONDAS LUMINOSAS

La luz que nos llega del sol (luz blanca), está compuesta por rayos de luz de diferentes colores. Este conjunto de rayos constituye lo que se llama **espectro visible**, el cual, es una zona pequeña del **espectro electromagnético**.

La diversidad que existe entre las ondas de la radiación electromagnética, se debe únicamente a la diferente frecuencia de las ondas.

**ÓPTICA GEOMÉTRICA** Es la parte de la óptica que trata, a partir de representaciones geométricas, de los cambios de dirección que experimentan los rayos luminosos en los distintos fenómenos de reflexión y refracción

## REFLEXIÓN DE LA LUZ

Es el fenómeno que se observa cuando un rayo de luz incide sobre una superficie y se refleja. Su estudio se basa en dos leyes:

**1ª ley:** El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.

**2ª ley:** El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión. (En la reflexión especular)

En este fenómeno está basada la formación de imágenes en los **ESPEJOS**.

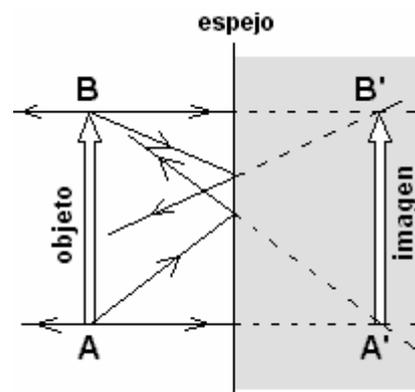
- Espejos planos
- Espejos esféricos:
  - **CÓNCAVOS**. La superficie reflectante es la cara interna.
  - **CONVEXOS**. La superficie reflectante es la cara externa.

## Tipos de imágenes

- **Imagen real**, es cuando está formada sobre los propios rayos. Estas imágenes se pueden recoger sobre una pantalla.
- **Imagen virtual**, es cuando está formada por la prolongación de los rayos, y no se puede recoger sobre una pantalla.

## Imágenes en los espejos planos.

- La imagen obtenida es virtual.
- Es simétrica del objeto con respecto al espejo.
- Es derecha.
- El tamaño del objeto y su imagen son iguales.



## Elementos de los espejos esféricos

- **Centro de curvatura**, es el centro de la esfera teórica a la que pertenece el casquete esférico.
- **Radio de curvatura**, es el radio de la esfera teórica a la que pertenece el casquete dónde está realizado el espejo.
  - Espejo cóncavo:  $r < 0$
  - Espejo convexo:  $r > 0$
- **Vértice**, es el centro del casquete esférico.
- **Eje principal**, es la línea imaginaria que pasa por el centro de curvatura y el vértice.
- **Foco**, Es el punto situado sobre el eje principal, por dónde pasan todos los rayos reflejados procedentes de los rayos paralelos que llegan al espejo.
- **Distancia focal**, es la distancia entre el foco y el vértice del espejo.

Se cumple que:

$$\text{distancia focal} = \frac{\text{radio de curvatura}}{2} \quad \boxed{f = \frac{r}{2}}$$

## Imágenes en los espejos esféricos.

La construcción de imágenes en los espejos esféricos, se realizan aplicando las dos propiedades siguientes:

1. Todo rayo paralelo al eje principal, se refleja pasando por el foco (y viceversa).
2. Todo rayo que pasa por el centro de curvatura, se refleja sobre sí mismo.

Siendo:  $s$  = distancia del objeto al vértice del espejo. Por convenio le tomamos siempre  $< 0$

$s'$  = distancia de la imagen al vértice del espejo

$f$  = distancia focal. (-) en espejos cóncavos y (+) en los convexos.

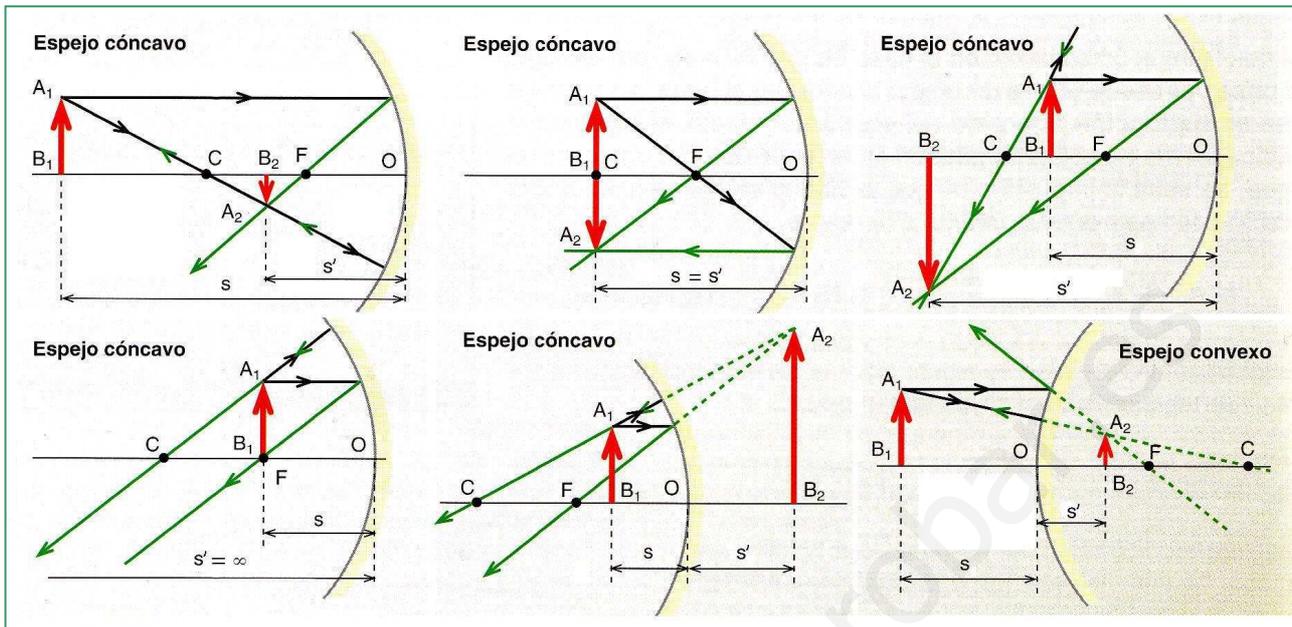
Clase de espejo	Situación del objeto	Características de la imagen
Cóncavo	$s > 2f$	Real, menor e invertida
Cóncavo	$s = 2f$	Real, igual e invertida
Cóncavo	$f < s < 2f$	Real, mayor e invertida
Cóncavo	$s = f$	No se forma imagen
Cóncavo	$s < f$	Virtual, mayor y derecha
Convexo	En cualquier punto	Virtual,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

## LA ECUACIÓN DE LOS ESPEJOS

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

$$\boxed{\frac{y'}{y} = -\frac{s'}{s}}$$

## CONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES EN ESPEJOS



**Índice de refracción absoluto** de un medio transparente, es el cociente entre la velocidad de propagación de la luz en el vacío  $c$  (igual que en el aire), y la velocidad de la luz en el medio considerado.

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

Como  $c \geq v \Rightarrow n$  será siempre igual o mayor que 1.

## REFRACCIÓN DE LA LUZ

Si un rayo de luz, propagándose por un medio transparente llega a otro medio también transparente, e incide oblicuamente, se sigue propagando rectilíneamente en el segundo medio, pero desviándose de la dirección inicial, produciéndose un cambio en la velocidad y en la dirección.

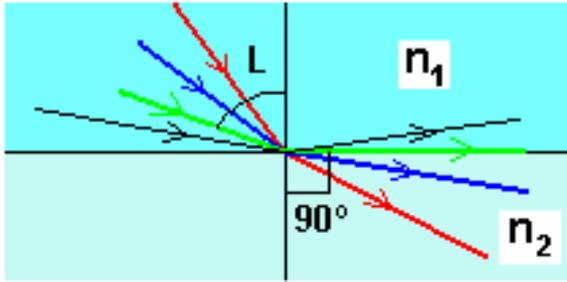
La relación que existe entre el ángulo de incidencia y el de refracción es:

$$n_1 \sen \hat{i} = n_2 \sen \hat{r}$$

Expresión que se denomina **LEY DE SNELL**, y de la cual se deduce que:

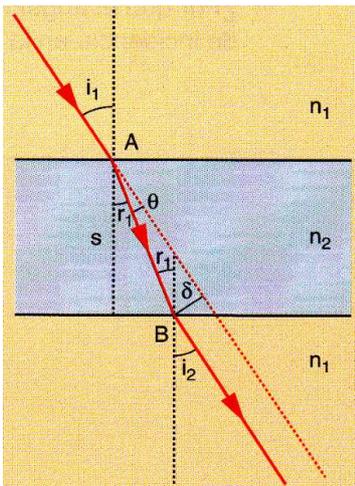
1. Cuando la luz pasa de un medio que es menos refringente (por ejemplo el aire) a otro medio más refringente (por ejemplo el vidrio), el rayo refractado se acerca a la normal.
2. **Ángulo límite. Reflexión total.** Recíprocamente, cuando el rayo luminoso pasa de un medio más refringente a otro menos refringente ( $n_1 > n_2$ ), se aleja de la normal.

En este caso, se da la circunstancia que a un ángulo de incidencia determinado  $L$ , le corresponde un ángulo de refracción de  $90^\circ$ . Al ángulo  $L$  se le denomina **Ángulo límite**, definiéndose éste como "El ángulo de incidencia al que le corresponde un ángulo de refracción de  $90^\circ$ ". El fenómeno se conoce como **Reflexión total** y tiene aplicaciones técnicas en las fibras ópticas.



$$n_1 \text{ sen } \hat{L} = n_2 \text{ sen } 90 \quad \vee \quad \text{sen } \hat{L} = \frac{n_2}{n_1}$$

### 3. Lámina de caras planas y paralelas



Cuando un rayo de luz monocromática incide sobre una lámina transparente de caras planas y paralelas se refracta en ambas caras de la lámina.

$$1^{\text{a}} \text{ cara: } n_1 \cdot \text{sen } i_1 = n_2 \cdot \text{sen } r_1$$

$$2^{\text{a}} \text{ cara: } n_2 \cdot \text{sen } r_1 = n_1 \cdot \text{sen } i_2$$

Combinando las dos ecuaciones se obtiene:  $i_1 = i_2$ , es decir, el rayo luminoso emerge de la lámina paralelo al rayo incidente.

El rayo lumino experimenta un **DESPLAZAMIENTO LATERAL**  $\delta$  (distancia entre los rayos incidente y emergente), cuyo valor es:

$$\delta = AB \text{ sen } \theta$$

$$AB = s / \cos r_1$$

$$\theta = i_1 - r_1$$

$$\delta = s \frac{\text{sen } (i_1 - r_1)}{\cos r_1}$$

## LENTE

Es un medio transparente y homogéneo, limitado por dos superficies, una de ellas por lo menos, curva. Al ser atravesados por un rayo luminoso, éste se refracta.

### CLASES DE LENTES

**Lentes convergentes.** Son de mayor espesor en el centro que en los bordes.

**Lentes divergentes.** Son más delgadas en el centro que en los bordes.

### ELEMENTOS DE UNALENTE

- **Centros de curvatura C, C'**, son los centros geométricos de las superficies curvas que limitan el medio transparente.
- **Eje principal**, es la línea imaginaria que une los centros de curvatura.
- **Centro óptico O**, Es el punto de intersección de la lente con el eje principal.
- **Foco F y F'**, es el punto del eje principal por dónde pasan los rayos refractados en la lente, que provienen de rayos paralelos al eje principal.
- **Distancia focal f y f'**, es la distancia entre el foco y el centro óptico.

### Imágenes producidas por las lentes.

La construcción de imágenes en las lentes, se realizan aplicando las tres propiedades siguientes:

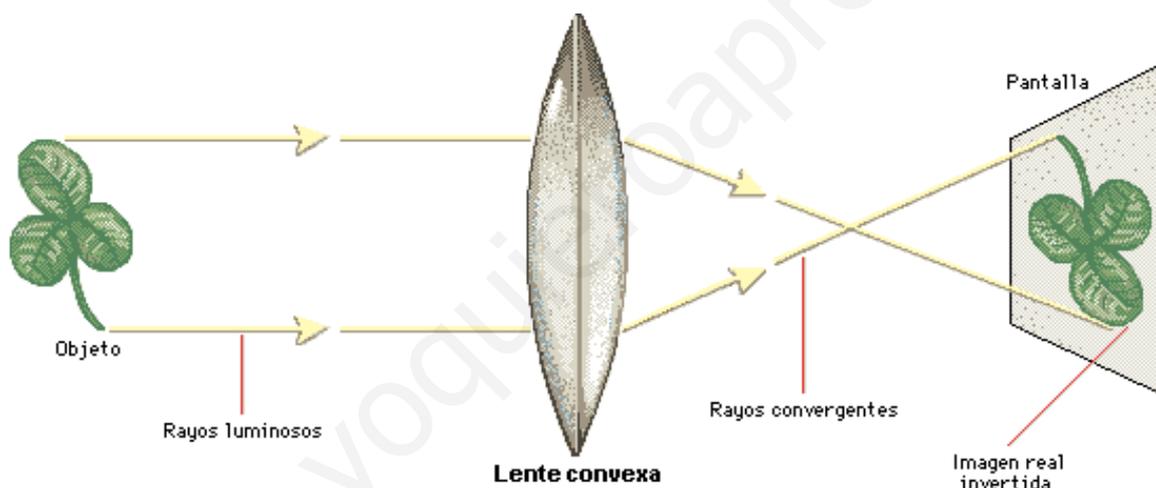
1. Todo rayo paralelo al eje principal, se refracta pasando por el foco.
2. Todo rayo que pasa por el centro óptico, no se desvía.
3. Todo rayo que pasa por el foco, se refracta paralelo al eje principal.

Siendo:  $s$  = distancia del objeto a la lente. Por convenio le tomamos siempre  $< 0$

$s'$  = distancia de la imagen a la lente

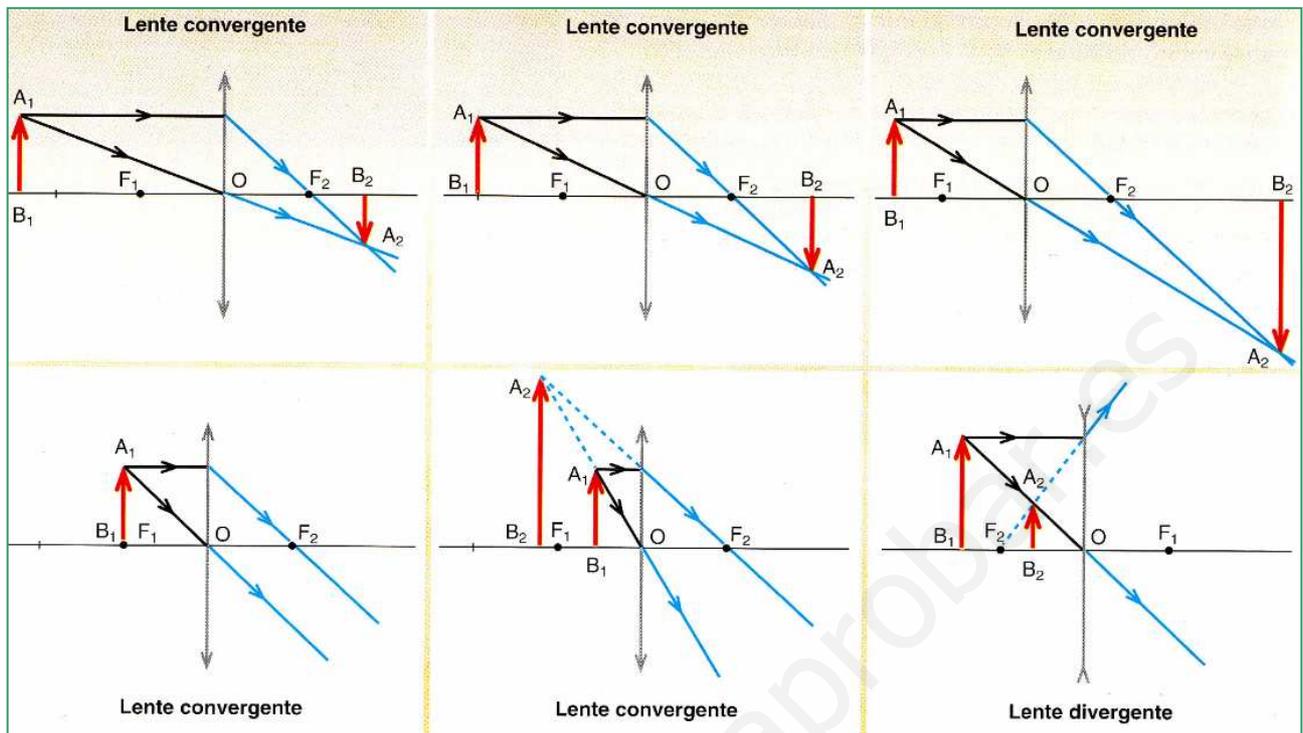
$f'$  = distancia focal imagen

- Si la lente es convergente,  $F'$  es un foco real y  $f' > 0$
- Si la lente es divergente,  $F'$  es virtual y  $f' < 0$



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

## CONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES EN UNALENTE



## LA ECUACIÓN DE LAS LENTES

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

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

- Si una lente está situada en el aire ( $n=1$ ) y su índice de refracción es  $n$ , se cumple la siguiente relación entre los radios de curvatura  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $n$ , y  $f'$

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

- AUMENTO (A):** En los espejos y en las lentes es la relación entre el tamaño de la imagen ( $y'$ ) y el tamaño del objeto ( $y$ ). Se cumple que:

$$\frac{y'}{y} = \text{Aumento}$$

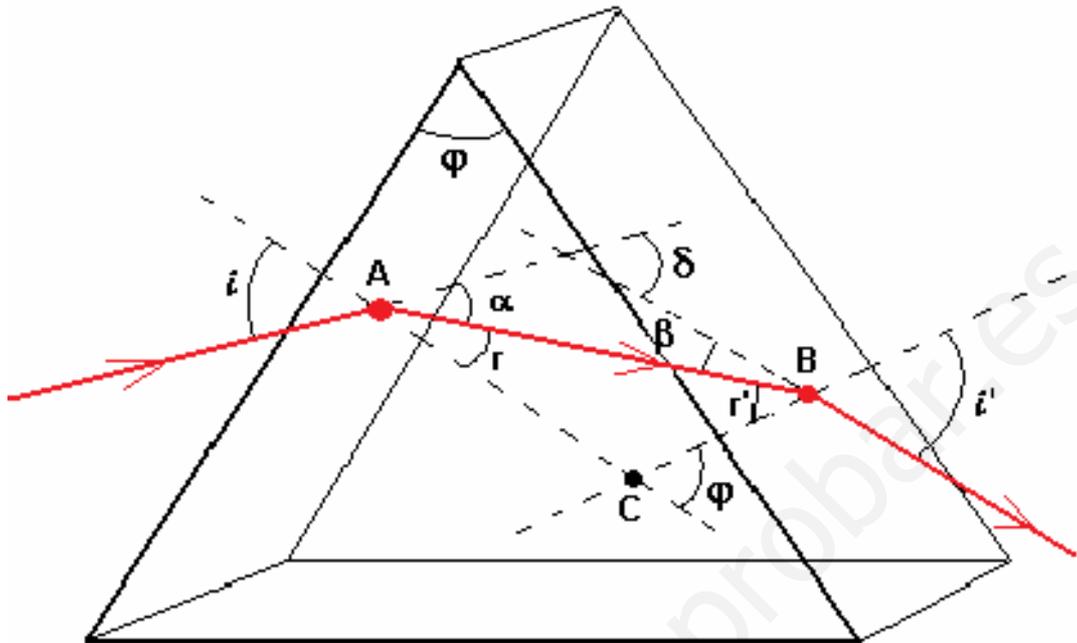
## POTENCIA DE LAS LENTES. DIOPTRÍA

El número inverso de la distancia focal, se denomina **Potencia**. Cuanto menor es la distancia focal de una lente mayor es su potencia.

$$\text{Potencia} = \frac{1}{f'}$$

La unidad de la potencia óptica en el S.I. es la **Dioptría**.

## EL PRISMA ÓPTICO



Recibe el nombre de prisma óptico “*todo medio transparente limitado por dos superficies planas no paralelas*”.

Supongamos que el prisma óptico tiene un índice de refracción  $n$ , y que se encuentra en el aire  $n = 1$ .

$\varphi =$  ángulo del prisma.

$i =$  ángulo de incidencia

$i' =$  ángulo de emergencia

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Refracción en la 1ª cara: } 1 \cdot \text{sen } i = n \cdot \text{sen } r \Rightarrow n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} \\ \text{Refracción en la 2ª cara: } n \cdot \text{sen } r' = 1 \cdot \text{sen } i' \Rightarrow n = \frac{\text{sen } i'}{\text{sen } r'} \end{array} \right.$$

Según el dibujo:  $\varphi = r + r'$

- “**desviación sufrida por el rayo**”, al atravesar el prisma.

$$\left. \begin{array}{l} \delta = \alpha + \beta \\ i = \alpha + r \\ i' = \beta + r' \end{array} \right\} \delta = i - r + i' - r' = i + i' - (r + r')$$

Luego  $\delta = i + i' - \varphi$



- La **desviación mínima**  $\delta_m$  se produce (se comprueba teórica y experimentalmente) cuando  $i = i'$ , es decir, cuando dentro del prisma, la trayectoria del rayo es paralela a la base del prisma.

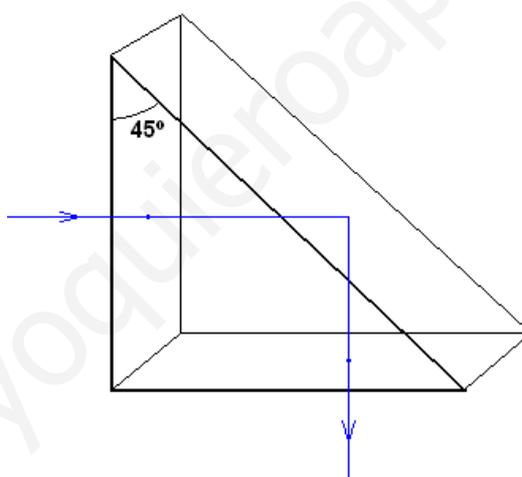
$$i = i' \quad ; \quad r = r' \quad ; \quad \varphi = 2r \Rightarrow r = \frac{\varphi}{2}$$

$$\delta_m = i + i' - \varphi = 2i - \varphi \Rightarrow \boxed{i = \frac{\delta_m + \varphi}{2}}$$

$$n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{\text{sen } \frac{\delta_m + \varphi}{2}}{\text{sen } \frac{\varphi}{2}}$$

Ecuación que permite determinar experimentalmente el índice de refracción de un prisma

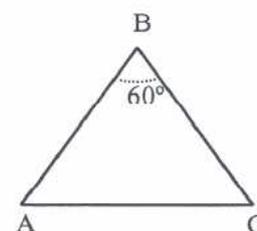
**ACTIVIDAD. Prisma rectángulo isósceles** con índice de refracción  $n = 1,5$ . La trayectoria seguida por el rayo es la señalada en el dibujo. Razonar.



**Problema. Selectividad (Madrid Junio – 2006)**

Sobre un prisma de ángulo  $60^\circ$  como el de la figura, situado en el vacío, incide un rayo luminoso monocromático que forma un ángulo de  $41,3^\circ$  con la normal a la cara AB. Sabiendo que en el interior del prisma el rayo es paralelo a la base AC:

- Calcule el índice de refracción del prisma.
- Realice el esquema gráfico de la trayectoria seguida por el rayo a través del prisma.
- Determine el ángulo de desviación del rayo al atravesar el prisma.
- Explique si la frecuencia y la longitud de onda correspondientes al rayo luminoso son distintas, o no, dentro y fuera del prisma.



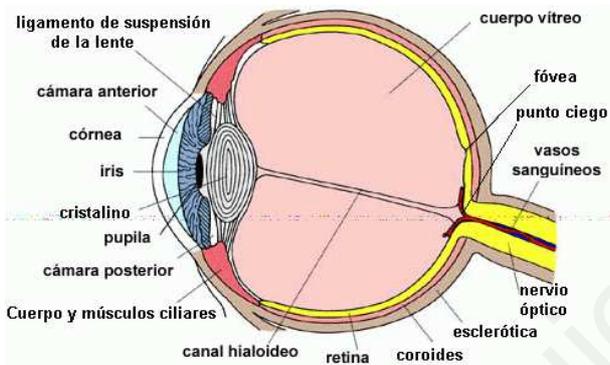
## Instrumentos ópticos

**Lupa.-** Es simplemente una lente convergente de pequeña distancia focal (entre 5 y 10 cm). Se emplea para ampliar la imagen de pequeños objetos colocados dentro de la distancia focal.

**Microscopio.-** para aumentos mayores de los que permite la lupa se recurre al microscopio. Consta de dos lentes convergentes. Una (llamada **objetivo**) se sitúa muy próxima al objeto (de ahí su nombre) que deseamos observar. La imagen formada por esta lente cae dentro de la distancia focal de otra segunda lente (llamada **ocular**), cerca de la que se sitúa el ojo. La imagen real formada por la primera lente actúa como objeto de la segunda, obteniéndose una imagen final muy aumentada.

**Telescopio.-** En los telescopios refractores (los basados en espejos se llaman reflectores), existe una lente convergente de más o menos diámetro en un extremo del tubo del telescopio. En el otro extremo se sitúa el ocular, coincidiendo en distancia con la focal de la lente principal.

## El ojo como instrumento óptico



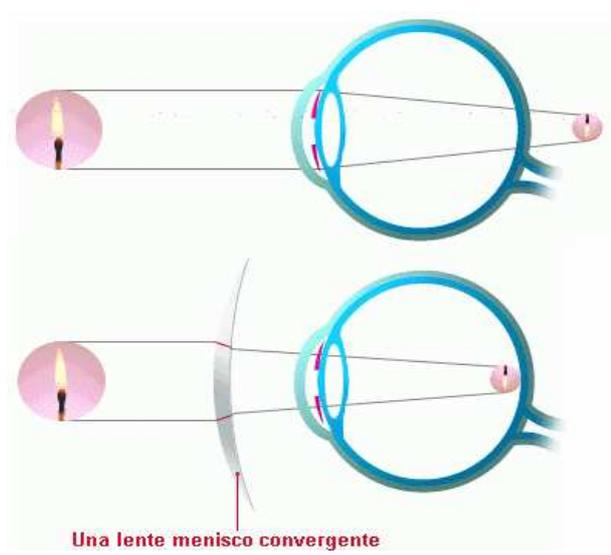
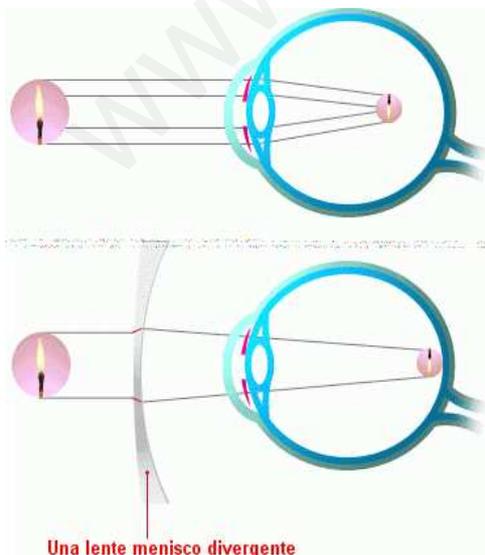
El funcionamiento del ojo como instrumento óptico es muy parecido al de la cámara fotográfica. El objetivo está formado por la **córnea** y el **cristalino**. Para enfocar las imágenes, el cristalino mediante un anillo de músculos, varía su potencia (este procedimiento se llama *acomodación*). La **retina** es la zona sensible donde se forma la imagen; el diafragma es el **iris**, cuyo diámetro y su variación involuntaria depende de la cantidad de luz que entra en el ojo.

La imagen que el ojo produce de un objeto es real e invertida, pero el cerebro se encarga de que la veamos derecha.

El ojo con un funcionamiento normal, forma la imagen de un objeto sobre la retina.

Una persona con **miopía** no ve con claridad los objetos lejanos, ya que estos se enfocan delante de la retina. La solución a este problema es la utilización de lentes divergentes.

Una persona con **hipermetropía** no ve con claridad los objetos cercanos, ya que estos se enfocan detrás de la retina. La solución a este problema es la utilización de lentes convergentes.



## Cuestiones y Problemas

1. Sobre una lámina de vidrio de caras planas y paralelas de 3 cm de espesor y situada en el aire incide un rayo de luz monocromática con un ángulo de incidencia de  $35^\circ$ . La velocidad de propagación del rayo en la lámina es  $(2/3)c$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz en el vacío.
  - a) Determine el índice de refracción de la lámina.
  - b) Demuestre que el rayo emergerá de la lámina.
  - c) Dibujar la marcha del rayo a través de la lámina y determine en qué dirección el rayo emerge de la lámina.
  - d) Calcular la distancia recorrida por el rayo dentro de la lámina y el desplazamiento lateral.
2. (Junio – 2008) Una lámina de vidrio (índice de refracción  $n = 1,52$ ) de caras planas y paralelas y espesor  $d$ , se encuentra entre el aire y el agua. Un rayo de luz monocromática de frecuencia  $5 \cdot 10^{14}$  Hz incide desde el agua en la lámina. Determinar:
  - a) Las longitudes de onda del rayo en el agua y en el vidrio.
  - b) El ángulo de incidencia en la primera cara de la lámina a partir del cual se produce reflexión total interna en la segunda cara.

Datos: índice de refracción del agua  $n_{\text{agua}} = 1,33$  ; velocidad de la luz en el vacío  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s
3. (Junio – 2008) Un sistema óptico está formado por dos lentes; la primera es convergente y con distancia focal de 10 cm; la segunda, a 50 cm de distancia de la primera, es divergente y con 15 cm de distancia focal. Un objeto se coloca a 20 cm delante de la lente convergente.
  - a) Obtener gráficamente mediante trazado de rayos la imagen que produce el sistema.
  - b) Calcular la posición de la imagen producida por la primera lente.
  - c) Calcular la posición de la imagen producida por el sistema.
  - d) ¿Cuál es el tamaño y la naturaleza de la imagen final formada por el sistema óptico?
4. Un objeto de 1,5 cm de alto se coloca a 20 cm de un espejo cóncavo cuyo radio de curvatura es 30 cm. Determine:
  - a) La posición de la imagen y su tamaño.
  - b) Efectúe la construcción geométrica de la imagen.
5. Dos lentes convergentes de distancias focales 20 cm la primera de ellas y 25 cm la segunda, están separadas 80 cm. Un objeto se coloca a 60 cm delante de la primera lente:
  - a) Determinar la posición y el aumento lateral de la imagen final formada por la combinación de ambas lentes.
  - b) Realizar el trazado de rayos. ¿Cuál es la naturaleza de la imagen formada?
6. Un rayo de luz monocromática atraviesa la superficie de separación entre dos medios diferentes. En el segundo medio la velocidad de propagación del rayo es el doble que en el primero.
  - a) Determinar para qué valores del ángulo de incidencia es posible la refracción.
  - b) Para un ángulo de incidencia de valor  $28^\circ$ , ¿cuál será el ángulo de refracción correspondiente?
7. Un espejo esférico cóncavo, forma una imagen invertida de un objeto de 1 cm de altura, sobre una pantalla situada a 400 cm del espejo. La imagen debe tener una altura de 25 cm. Calcular:
  - a) La distancia del espejo a la que debe situarse el objeto y el radio de curvatura del espejo.
  - b) Efectuar la construcción geométrica de la imagen.