

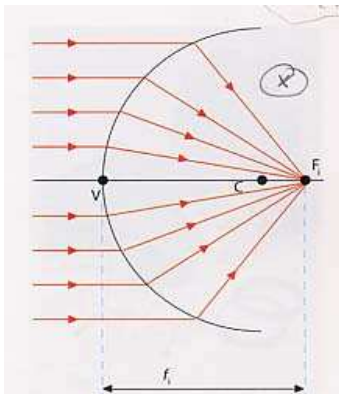
Teniendo en cuenta la aproximación paraxial,

$$r = \frac{-h'}{s_i}; i = \frac{h}{s_o}$$

Si utilizamos la ley de Snell; $n_1 i = n_2 r \rightarrow$

$$n_1 \frac{h}{s_o} = n_2 \frac{-h'}{s_i}; \text{ por tanto el aumento de la imagen viene dado por: } \frac{h'}{h} = \frac{n_1 s_i}{n_2 s_o}$$

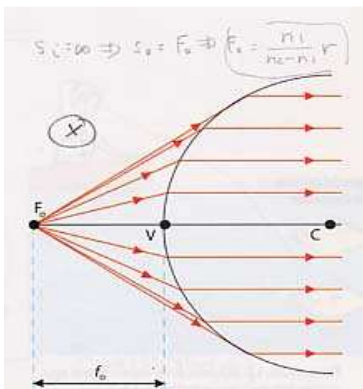
Distancias focales en la óptica de refracción



Supongamos una superficie de refracción convexa que separa dos medios de índices n_1 y n_2 , en donde $n_1 < n_2$. Si el objeto está a una distancia muy lejana ($s_o = \infty$) los rayos incidentes pueden considerarse paralelos. El punto F_i en el que convergen los rayos refractados es denominado foco imagen y s_i , en este caso particular f_i , **distancia focal imagen.**

Se puede obtener dicha distancia a partir de la ecuación del dioptrio esférico.

$$\frac{n_1}{\infty} + \frac{n_2}{f_i} = \frac{n_2 - n_1}{r} \text{ De donde } f_i = \frac{n_2}{n_2 - n_1} \cdot r$$



De forma análoga se puede establecer un foco objeto F_o , que es el punto de donde debería partir los rayos para que los rayos refractados salieran paralelos. Así, $s_i = \infty$ y s_o , correspondiente a la distancia focal objeto, f_o .

$$\frac{n_1}{f_o} + \frac{n_2}{\infty} = \frac{n_2 - n_1}{r} \text{ de donde } f_o = \frac{n_1}{n_2 - n_1} \cdot r$$

Si dividimos ambas expresiones obtenemos la

$$\text{relación entre ambas distancias focales } \frac{f_o}{f_i} = \frac{n_1}{n_2}$$

Imágenes formadas por refracción en superficies planas

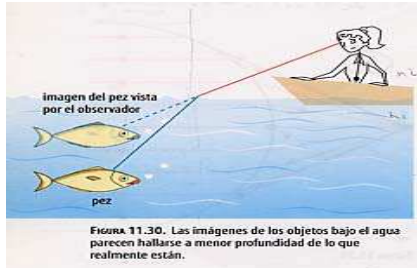
Una superficie plana puede considerarse como si fuera una superficie esférica de radio infinito ($r = \infty$). La ecuación del dioptrio esférico quedaría para esta situación

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

se forma del lado del objeto (lado de incidencia).”





Si el medio de incidencia de los rayos tiene un mayor índice de refracción que el de transmisión ($n_1 > n_2$) veremos el objeto más próximo de lo que realmente está. Por ejemplo un objeto dentro del agua.

¿ Por qué un palo parcialmente sumergido en agua parece estar curvado?

La razón es que la imagen que nosotros vemos del remo sumergido se forma a una profundidad menor que la real . Si consideramos que el índice de refracción del agua (medio de incidencia) es 1,333 y el del aire (medio de transmisión) es 1, la distancia a la que se forma la imagen de nosotros será:

$$s_i = \frac{-1}{1,333} s_o = -0,75 \cdot s_o$$

Como s es la profundidad real del objeto, la imagen del remo

está a las $\frac{3}{4}$ partes de la profundidad real. Por esto el remo parece estar curvado. Es un efecto de refracción. El $-$ indica que la imagen está debajo del agua, virtual.

4. Lentes delgadas

Una lente delgada es un sistema óptico centrado formado por dos dioptrios, uno de los cuales, al menos, es esférico, y en el que los dos medios refringentes extremos poseen el mismo índice de refracción.

Clasificación de las lentes

Según su forma

Atendiendo a la forma de las superficies que constituyen los dioptrios y, por tanto, según el signo de los radios de curvatura de los dos dioptrios, las lentes pueden ser *convergentes* o *divergentes*.

— **Lentes convergentes:** son más gruesas en su parte central que en los extremos. Según su forma, pueden ser, por orden en la figura, biconvexas ($r_1 > 0, r_2 < 0$), planoconvexas ($r_1 > 0, r_2 = \infty$) o meniscoconvexas ($r_1 > 0, r_2 > 0$ y $r_1 < r_2$). Esquemáticamente se representan por una línea acabada en puntas de flecha.

— **Lentes divergentes:** son más gruesas en sus extremos que en la parte central. Según su forma, pueden ser, por orden en la figura, bicóncavas ($r_1 < 0, r_2 > 0$), planocóncavas ($r_1 = \infty, r_2 > 0$) o meniscodivergentes ($r_1 > 0, r_2 > 0$ y $r_1 > r_2$). Esquemáticamente se representan por una línea recta acabada en puntas de flecha invertidas.

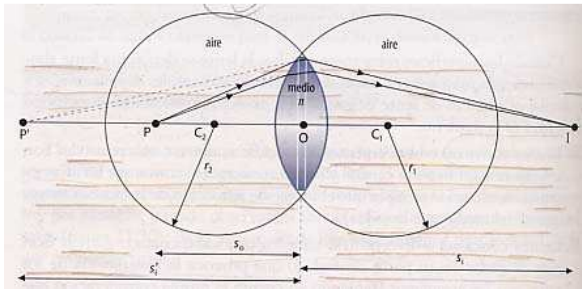
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

CO de la tierra, O. las Cuantitativas.

La superficie de las lentes es esférica. La razón es la facilidad con la que se puede una superficie esférica, con lo que se pueden obtener superficies de gran calidad.



Consideremos una lente delgada biconvexa. Las superficies que la constituyen tienen radios de curvatura r_1 y r_2 respectivamente. Si el índice de refracción de la lente es $n (>1)$ y que el medio que la rodea es aire, con $n = 1$. Suponer que la lente es delgada (espesor ≈ 0) nos permite considerar las distancias

desde el centro óptico de la lente O en vez de desde el vértice V.

Desde el objeto P, que se halla a una distancia s del centro óptico, O, parten rayos luminosos que llegan a la superficie de radio r_1 . Sufren una primera refracción que hace que parezcan provenir del punto P', situado a una distancia s' de O. La imagen sería virtual y se formaría en P'.

Aplicando la ecuación del dioptrio esférico tenemos $\frac{1}{s_o} + \frac{n}{s_i'} = \frac{n-1}{r_1}$. Sin

embargo la imagen no se forma en dicho punto porque los rayos sufren una segunda refracción en la superficie de radio r_2 , para converger finalmente en I, donde se forma la imagen a una distancia s_i de O. Suponemos que en esta segunda refracción los rayos provienen de P' y que el medio incidente es n , mientras que el medio al que se transmiten los rayos es el aire.

Volviendo a aplicar la ecuación del dioptrio esférico se tiene que $\frac{n}{s_o'} + \frac{1}{s_i} = \frac{1-n}{r_2}$.

Según el convenio de signos usado en la refracción las distancias objeto (s_o y s_o') son positivas en el lado de incidencia, mientras que las distancias imagen son negativas $s_o' = -s_i'$ por lo que la ecuación para la segunda superficie puede escribirse así

$\frac{n}{-s_i'} + \frac{1}{s_i} = \frac{1-n}{r_2}$ Sumando las dos ecuaciones tenemos $\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ Esto

se conoce como la ecuación del fabricante de lentes o fórmula de las lentes delgadas.

Podemos expresar esta ecuación en función de la distancia focal de la lente. Como ya sabemos, una lente delgada presenta dos distancias focales: objeto e imagen. La primera se obtiene haciendo $s_i = \infty$ y entonces $s_o = f_o$. La segunda distancia focal (imagen) se halla haciendo $s_o = \infty$ y entonces $s_i = f_i$. Al sustituir en cualquiera de los dos casos la expresión obtenida es la misma. Esto quiere decir que **en las lentes la**

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70**

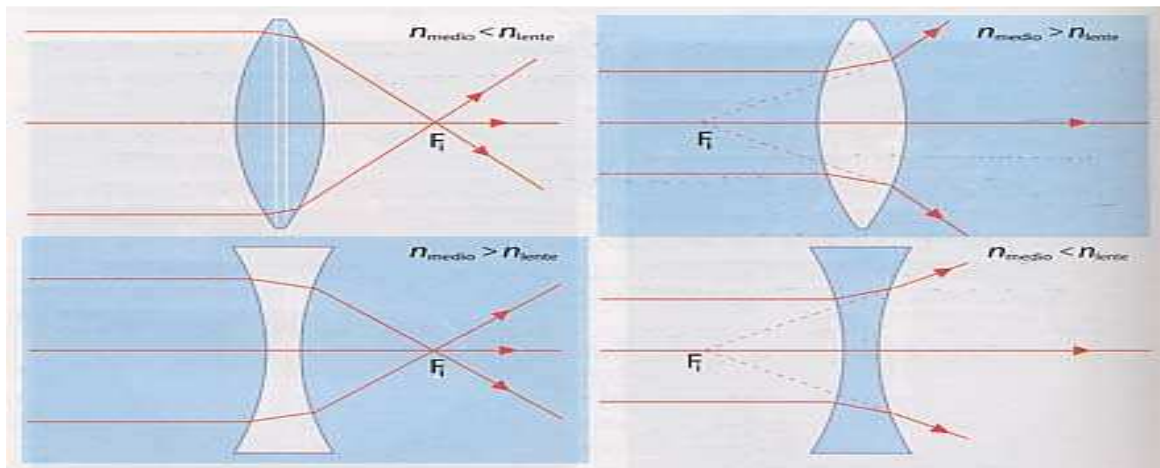
Cartagena99



MUY IMPORTANTE: esta ecuación es la misma que usamos con los espejos, pero el criterio de signos es diferente.

Nota: En el caso de que la lente se encuentre inmersa en un medio que no sea el aire, con índice de refracción n' , la ecuación sería idéntica sin más que sustituir el índice de refracción absoluto de la lente, n , por su índice de refracción relativo al medio $n_{rel}=n/n'$.

$\frac{1}{f} = (n_{rel} - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ Esto quiere decir que el comportamiento convergente o divergente de una lente depende del medio en el que esté inmersa. Ej: Una lente biconvexa se comporta como convergente cuando está en el aire y como divergente si el medio de alrededor tiene un índice de refracción mayor que la lente.



4.1 Formación de imágenes en lentes delgadas

Vamos a intentar responder a estas preguntas ¿ Cómo vemos la imagen de un objeto a través de una lente? ¿ En qué condiciones aparece invertida o derecha?¿ Cuando se observa aumentada o disminuida?

Utilizaremos la fórmula de gauss $\frac{1}{s_0} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}$

Realizaremos un **trazado o diagrama de rayos:**



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

- Rayo 1. Es paralelo al eje óptico y tras ser refractado en la lente, pasa por el foco imagen de la misma
- Rayo 2. Pasa por el centro óptico de la lente. Desde el punto de vista de las lentes delgadas no sufre desviación alguna y que atraviesa la lente en línea recta.
- Rayo 3. Pasa por el foco anterior a la lente, foco objeto y tras ser refractado en la lente, emerge paralelo al eje óptico.

Si observamos la figura y utilizamos la aproximación paraxial

$\vartheta = \frac{h}{s_o}$; $\vartheta = \frac{-h'}{s_i}$ y por tanto el aumento de la imagen es $\frac{h'}{h} = -\frac{s_i}{s_o}$ Un aumento negativo significa que la imagen resulta invertida.

Imagen de un objeto visto a través de lentes biconvexas. (transparencia EDEBE 220)

- **Posición del objeto entre el ∞ y $2f$**

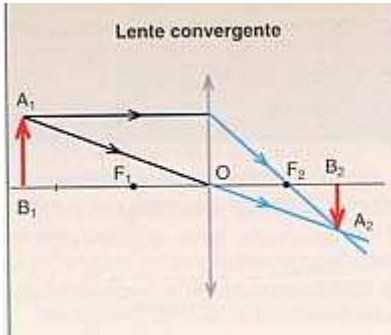


Imagen real, invertida y disminuida y entre f y $2f$.

- **Posición del objeto a una distancia $S_0 = 2f$.**

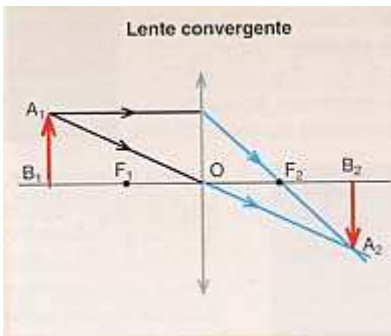


Imagen real, invertida y de tamaño natural en $2f$.

- **Posición del objeto a una distancia S_0 comprendida entre f y $2f$**

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

- **Posición a una distancia $S_0 = f$.**

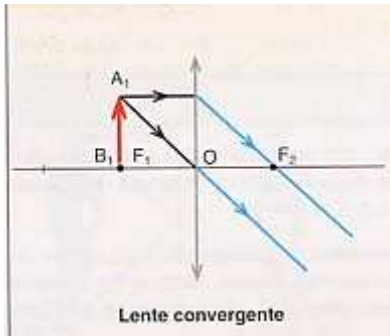


Imagen en el ∞ . Se ve un borrón.

- **Posición a una distancia $S_0 < f$**

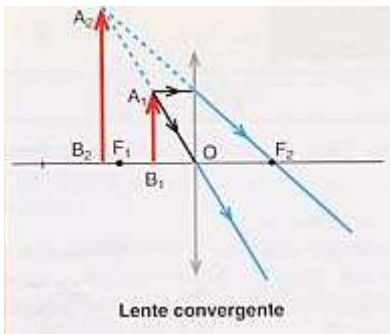
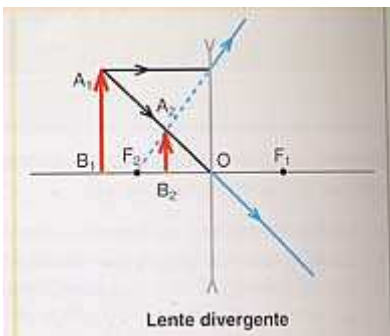


Imagen virtual, derecha y aumentada.

- **Imagen de un objeto con lentes bicóncavas.**



Sabemos que
$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Como r_1 es negativo y r_2 positivo, f es negativo, es decir que,
$$\frac{1}{S_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{S_0} \rightarrow S_i < 0.$$

Imagen siempre virtual.

EL OJO HUMANO

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Humor vítreo

FIGURA 11.48. Bastoncillos y conos del ojo humano.

El ojo humano tiene forma aproximadamente esférica, de unos 25 mm de diámetro. Está limitado por la esclerótica, una membrana blanca, opaca y resistente. La parte anterior de la esclerótica es la cornea. Es la parte frontal y transparente de la esclerótica (El blanco de los ojos),.. Actúa como una lente convexa que dirige hacia el eje óptico los rayos que inciden en ella. Está ligeramente achatada (tiene mayor curvatura) y por ello casi no presenta aberración esférica. El índice de refracción de la cornea es de 1,37, similar al del agua. Una segunda membrana, la coroides recubre la parte interior del ojo excepto la cornea. Su función es absorber parte de la luz que entra en el ojo. Detrás de la cornea se encuentra un líquido transparente el humor acuoso, una disolución acuosa de cloruro de sodio ($n = 1,34$), similar al del agua. El humor acuoso es retenido por el cristalino, un cuerpo elástico, transparente y de aspecto gelatinoso que se comporta como una lente biconvexa. La lente está constituida por 22000 láminas transparentes. Su índice de refracción no es homogéneo (desde 1,38 en la periferia hasta 1,4 en el núcleo).Su elasticidad le permite cambiar de forma, lo que permite la adaptación de la vista para un enfoque adecuado. El cristalino está sujeto por sus extremos al globo ocular mediante los músculos ciliares, que según la presión que ejercen hacen que el cristalino se abombe más o menos variando su radio de curvatura y por tanto su distancia focal; es decir el cristalino es una lente convergente de distancia focal variable.

Detrás del cristalino, y rellenando todo el espacio del globo ocular, se encuentra el humor vítreo, líquido de aspecto gelatinoso con índice de refracción similar al del humor acuoso.

La luz entra en el ojo por la pupila, abertura de diámetro variable a través de la cual observamos la retina, de color rojo(Esta es la razón por la que en algunas fotos con flash se observan rojos los ojos).Se encuentra en el centro del iris, diafragma cuya abertura(la pupila) regula el paso de la luz. Está constituido por músculos radiales y circulares y a él se debe el color de los ojos.

En el fondo del globo ocular, la coroides está sustituida por un tapizado de células nerviosas, sensibles a la luz que es la retina, destinada a recoger la imagen. Se trata de una finísima capa de 0,5 mm construida por 125 millones de células receptoras conocidas como conos y bastoncillos. Los conos son los responsables de la visión del color o cromática, la cual solo se da en las personas y en los primates. Los conos requieren altos niveles de iluminación en comparación con los bastones. En la visión nocturna solo actúan los bastones y nuestra visión es en tonos grises.

La zona dónde se concentra un mayor número de conos es la fovea, o mancha amarilla o depresión de la mácula, situada sobre el eje óptico. En esta región no hay bastoncillos. Tampoco hay células receptoras en el punto de conexión del nervio óptico que se llama punto ciego.

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

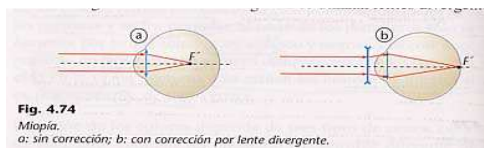
pupila se abre o cierra dependiendo de la luminosidad. Esta variación se denomina

acomodación y es un proceso involuntario que realizan los músculos ciliares. Tiene límites:

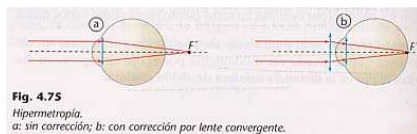
- El punto próximo, punto más cercano al ojo que puede verse con nitidez, varía de unas personas a otras y con la edad, para un adulto es de unos 25 cm, para un niño de 10 años de unos 7 cm y a partir de los 45 años aproximadamente se va alejando.
- El punto remoto, que para un ojo normal está en el infinito.

Una persona tiene vista normal, o emétrope, cuando puede ver claramente los objetos que se encuentran desde el infinito hasta ese punto próximo.

Defectos comunes de vista.

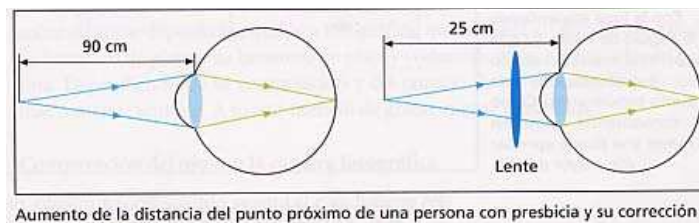


- **Miopía.** Se debe a una deformación por alargamiento del globo ocular. El ojo miope enfoca correctamente en la retina los objetos cercanos. Sin embargo, el punto focal correspondiente a la visión lejana se forma delante de la retina. La consecuencia es una visión borrosa de los objetos alejados. Se corrige con el uso de lentes *divergentes*.



- **Hipermetropía.** Es la alteración opuesta a la miopía. El segundo punto focal del ojo se encuentra detrás de la retina. El ojo hipermetrope ve bien de lejos (debe acomodarse) pero mal de cerca. Se corrige con el uso de lentes *convergentes*.

- **Astigmatismo.** Se debe a irregularidades en la curvatura de la cornea, de tal manera que de un objeto se pueden obtener imágenes parciales situadas en planos diferentes. Se pone de manifiesto porque dificulta la visión clara y simultánea de dos rectas perpendiculares, de los radios de una bicicleta. Se corrige con lentes cilíndricas (se obtienen cortando un cilindro por un plano paralelo al eje).



- **Vista cansada o prebiscia.** Es la reducción de la capacidad de acomodación debida a la fatiga de los

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

- **Cataratas.** Consiste en la pérdida de transparencia del cristalino, lo que dificulta gravemente la visión. Suele aparecer con la edad. La padecen el 50% de las personas entre 65 y 75 años y más del 70% de los mayores de 75 años. Suele afectar a los dos ojos pero no a la vez. No hay posibilidad de corrección de las cataratas, salvo la cirugía (Se sustituye el cristalino por otro sintético) la cual ha avanzado notablemente en los últimos tiempos de forma que la intervención se realiza sin ingreso hospitalario(o muy reducido). A veces se aprovecha la sustitución del cristalino para, a la vez que eliminan el problema de las cataratas solucionar otros defectos referidos al cristalino, como la miopía.

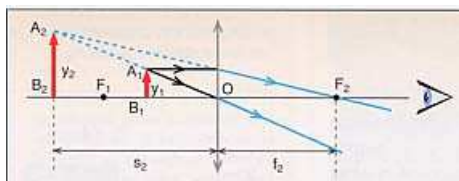
- **Daltonismo.** Es un defecto de la vista que impide distinguir ciertos colores; generalmente quienes lo padecen confunden el rojo y el verde. Está asociado a deficiencias o ausencias de conos en la retina.

Lo presentan el 8% de los hombres y el 0,4% de las mujeres. Casi siempre es hereditario y va ligado al sexo. El gen portador de ese carácter se encuentra en el cromosoma X; en el hombre (XY) el daltonismo se manifestará si el cromosoma X contiene el gen anormal; en la mujer si los dos cromosomas X lo contienen. No obstante, las mujeres que son hijas de un hombre daltónico transmitirán el defecto a la mitad de sus hijos, es decir, el defecto salta generaciones y se puede presentar en los hombres de cada segunda generación.

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

1. La lupa

La lupa, también llamada microscopio simple o lente de aumento es una lente convergente que permite ver los objetos de mayor tamaño que el natural. Si queremos observar con detalle un objeto de pequeño tamaño, solemos acercarlo al ojo para que sea mayor la imagen sobre la retina. La existencia del punto próximo limita nuestras posibilidades de ver el objeto con nitidez. La lupa nos permite colocar el objeto a menor distancia que el punto próximo.

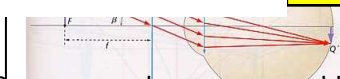


Si el objeto A_1B_1 se coloca entre el foco F_1 y la lente se obtiene una imagen A_2B_2 virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto. Podemos observarlo colocando el ojo cerca de la cara posterior de la lente.

El aumento angular o poder amplificador de la lupa es la relación entre el ángulo visual ϕ cuando se observa el objeto con lupa y el ángulo visual ϕ_0 cuando se

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

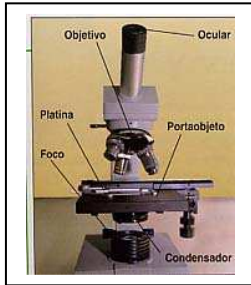
**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**



sin embargo en la retina se forma una imagen real: La

lupa y el ojo forman un sistema óptico de forma que a cada punto del objeto le corresponde un punto imagen

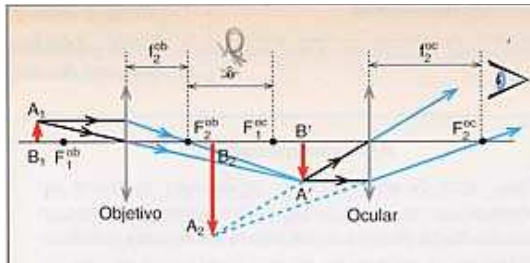
2. Microscopio compuesto.



Se le suele llamar simplemente microscopio. Sirve para observar objetos cercanos de muy poco tamaño con un aumento considerablemente mayor que el proporcionado por una lupa. Está constituido por:

- Objetivo. Es el sistema de lentes más cercano al objeto que se va a observar
- Ocular. Es el sistema de lentes a través del que observamos la imagen ampliada del objeto.
- Platina. Superficie que sirve de soporte del objeto. Este se coloca sobre un vidrio llamado portaobjetos y se tapa con otro vidrio muy fino llamado cubreobjetos. El objeto a observar se sitúa en la platina.
- Foco luminoso y condensador. Constituyen el sistema de iluminación. La luz procedente del foco es concentrada por el condensador que es una lente convergente sobre el objeto y se logra una iluminación suficiente de este.

Su funcionamiento es sencillo. El tubo que contiene el objetivo y el ocular se acerca o se aleja hasta ver el objeto con la nitidez deseada.



El objeto A_1B_1 se coloca a una distancia del objetivo algo mayor que la focal, produciéndose la imagen $A'B'$ real, invertida y ampliada entre el ocular y su foco anterior. El ocular, que actúa como una lupa observa esta imagen y produce otra A_2B_2 , virtual, invertida y aún más ampliada.

Para observar la imagen sin acomodación del ojo, los rayos del ocular deben salir paralelos, es decir, la imagen del objetivo debe formarse en el foco anterior del ocular.

El aumento lateral del objetivo será $m = \frac{h'}{h}$. Según la figura se puede deducir que

$$\alpha \approx \frac{-h'}{l} \approx \frac{h}{f_{\text{objetivo}}} \text{ y por tanto } \frac{h'}{h} = -\frac{l}{f_{\text{objetivo}}}$$



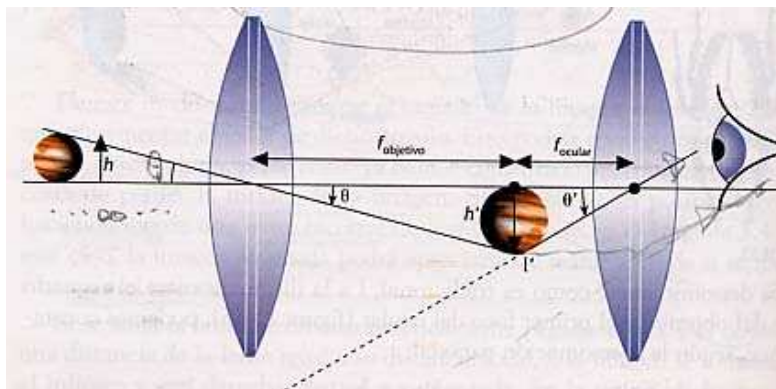
**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

OJO: Es importante distinguir entre aumento lateral (aumenta el tamaño del objeto) y aumento angular (lo acerca)

Telescopio.



Los elementos fundamentales son el objetivo y el ocular: La imagen del objeto se forma en el punto focal del objetivo. Esta imagen es ahora el objetivo para el ocular. Si la imagen coincide con el primer foco del

ocular, la imagen será invertida, aumentada y se formará en el infinito.

Con la aproximación paraxial vemos que: $\theta = \frac{-h'}{f_{objetivo}}$; $\theta'' = \frac{h'}{f_{ocular}}$ y por tanto el aumento

angular vendrá dado por $M = \frac{\theta''}{\theta} = -\frac{f_{objetivo}}{f_{ocular}}$. El signo menos indica que la imagen es invertida.

Existen telescopios refractores, basados en la refracción, reflectores, en la reflexión y catadióptricos, que combina ambos sistemas.

La cámara fotográfica

la película, es decir, su imagen se forma sobre la película fotográfica.

- **Visor:** permite al usuario encuadrar la imagen que después ha de quedar impresionada en la película.
- **Obturador:** es un dispositivo que hace posible controlar el tiempo de entrada de la luz hasta la película o tiempo de exposición.
- **Diafragma:** está formado por un anillo de laminillas metálicas superpuestas y permite regular el diámetro efectivo del objetivo y, por lo tanto, la cantidad de luz que llega a la película.
- **Disparador:** al accionarlo, tomamos una fotografía. Abre el obturador durante un tiempo determinado para que la luz pueda impresionar la película.

El funcionamiento de la cámara es semejante al del ojo humano. El objetivo equivale a nuestro cristalino y la película sensible equivale a la retina. Pero la cámara fotográfica tiene un gran *ángulo de apertura*, mucho más amplio.

Los elementos esenciales de la cámara fotográfica son:

- **Cuerpo:** es en esencia una cámara oscura. En su parte posterior se coloca una placa o película fotográfica sensible a la luz donde se forma la imagen real e in-

**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99