

TEMA 10: INSTRUMENTOS ÓPTICOS.

10.1. El ojo humano.

De forma muy simplificada, podemos considerar que el ojo humano está constituido por **una lente** (formada por la **córnea y el cristalino**) y una superficie fotosensible (**la retina**). La luz entra en el ojo a través de la **pupila**, cuyo tamaño se puede variar por contracción o expansión de una membrana denominada **iris**. (Figura 34.42).

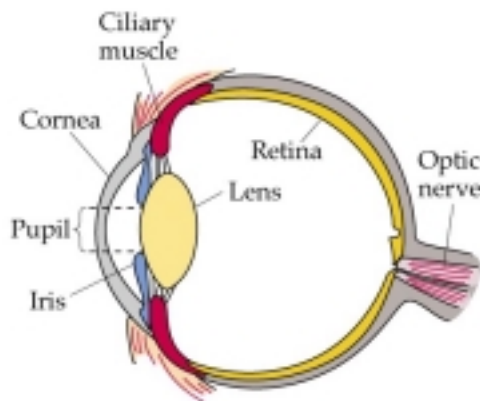


Figura 34.42. Ojo humano. La cantidad de luz que entra en el ojo se controla mediante el iris, que varía el tamaño de la pupila. Los músculos ciliares controlan la curvatura del cristalino. La retina (fotosensible) está constituida por receptores, denominados conos y bastones.

Una característica fundamental de este sistema es **que la potencia de la lente es variable**, cosa que el ojo lleva a cabo cambiando la curvatura del cristalino, mediante los músculos ciliares.

- Cuando el ojo está en reposo (es decir, cuando el cristalino no está acomodando, está **en posición de reposo**), la potencia de la lente es la adecuada para que sobre la retina se forme una imagen enfocada de los objetos situados en el infinito. La potencia del ojo en esta situación de reposo es de aproximadamente, 58 dioptrías. (Figura 10.1.a).
- Cuando el cristalino acomoda al máximo, es decir, cuando su potencia es máxima, se forma una imagen enfocada de la retina de objetos situados a, aproximadamente, 25 cm (esta distancia depende de la edad). Es decir, el ojo puede **incrementar** su potencia hasta 4 dioptrías (amplitud de acomodación).

Así pues, el ojo humano puede ver enfocadas imágenes de objetos situados entre un punto alejado (**punto remoto**) y un punto cercano (**punto próximo**).

Un ojo es emélope cuando el punto remoto está en el infinito y el punto cercano está a 25 cm. (Figura 10.1.b).

La distancia a la que se encuentra el punto próximo depende fuertemente de la edad: en los niños es menor y con la edad va aumentando debido a la pérdida de flexibilidad del cristalino. A partir de los 35 o 40 años el punto próximo se aleja de forma sensible (es decir, la amplitud de acomodación disminuye). A este fenómeno se le conoce como **presbicia** (popularmente “vista cansada”). Nótese que la presbicia afecta únicamente a la localización del punto próximo (o a la amplitud de acomodación) pero no a la localización del punto remoto).

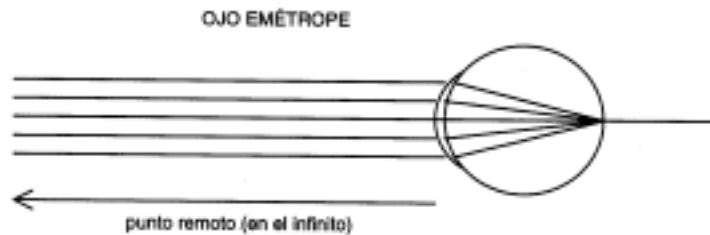


Figura 10.1.a. Ojo emétrope.
Visión lejana. $P \approx 58$ dioptrías.

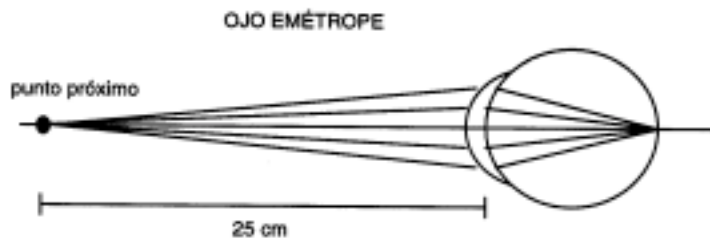


Figura 10.1.b. Ojo emétrope.
Visión cercana. $P \approx 58 + 4 = 62$ dioptrías

Los defectos más comunes de la visión (ametropías) son la **miopía**, la **hipermetropía** y el **astigmatismo**.

Un ojo miope (Figura 10.2 y 10.3.a) es aquél en el que el punto remoto no se encuentra en el infinito, sino a una distancia finita. Como la amplitud de acomodación no varía respecto al ojo emétrope (salvo que también haya presbicia), el punto próximo se encuentra, para un miope, más cercano al ojo que en el caso de un emétrope. En resumen, lo que ocurre en un ojo miope es que hay un exceso de potencia. El miope tiene una visión muy defectuosa de lejos pero su visión es buena de cerca.

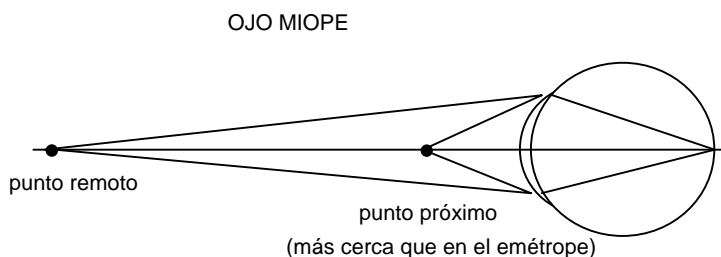


Figura 10.2. Ojo miope. El punto remoto no se encuentra en el *infinito*.

La forma de corregir este defecto es **añadiendo lentes divergentes** (de potencia negativa) que disminuyan la potencia del sistema. De esta forma, se alejan del ojo tanto el punto remoto (hasta el infinito) como el punto próximo.(Figura 10.3.b.).

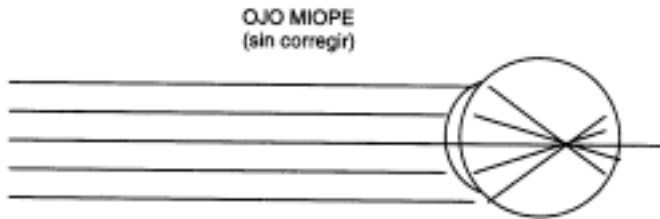


Figura 10.3.a Ojo miope, sin corregir.

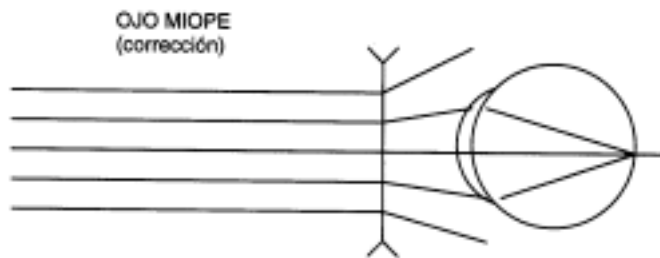


Figura 10.3.b. Ojo miope corregido por lentes divergentes.

La hipermetropía (Figura 10.4) es justamente lo contrario que la miopía: el ojo hipermetrope no tiene suficiente potencia. Esto se traduce en un alejamiento de los puntos remoto y próximo. Así, el punto próximo pasa a estar más alejado que en el emétrope y el punto remoto pasa a ser virtual (situado detrás del ojo. Así, el ojo hipermetrope tiene buena visión de lejos pero mala visión de cerca. Nótese que los síntomas son parecido a los de la presbicia pero no es lo mismo ya que la amplitud de acomodación de un hipermetrope es normal, algo que no ocurre en el ojo presbita.

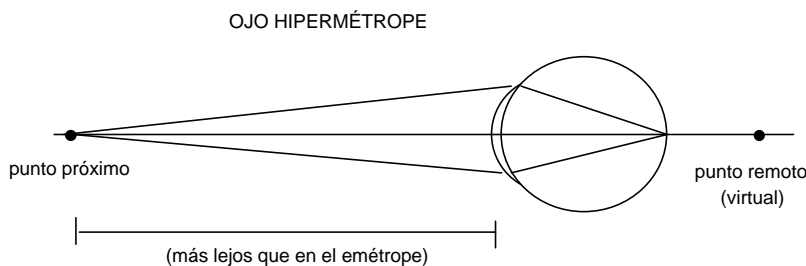


Figura 10.4.a. Ojo hipermetrope.

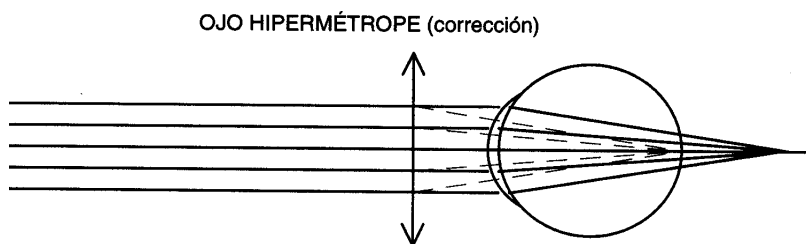


Figura 10.4.b. Ojo hipermetrope. Corrección con lentes convergentes.

La forma de corregir un ojo hipermetrope es **añadiendo lentes convergentes** (de potencia positiva) de manera que se acercan tanto el punto remoto como el próximo.

Para finalizar diremos algo del **astigmatismo**. Un ojo astigmático es aquél que no tiene simetría de revolución, es decir, es un ojo que no tiene la misma potencia para la dirección horizontal que para la vertical. El astigmatismo puede ser miópico (exceso de potencia en una dirección) o hipermetrope (lo contrario). Se corrige añadiendo lentes cilíndricas (o esfero-tóricas) que **devuelvan la simetría de revolución**.

10.2. Instrumentos de visión próxima.

Son instrumentos que **ayudan a ver objetos más pequeños** que los que pueden verse a ojo desnudo. Los más importantes son el microscopio simple (o lupa) y el microscopio compuesto.

10.2.a. El microscopio simple (o lupa).

Es una **lente convergente**. (Figura 10.5). Se usa de forma que la imagen esté sin invertir y para ello es necesario que la imagen sea virtual, lo que se consigue **situando el objeto entre el foco objeto de la lente y la lente misma** (en caso contrario, esto es si el objeto está más alejado de la lente que su foco objeto, la imagen es real e invertida).

Para calcular el **aumento angular** de la lupa, hay que definir claramente las condiciones de observación. Para ello, supondremos **inicialmente** el objeto situado en el punto próximo del ojo desnudo (a 25 cm, distancia que representaremos por a'). En este caso, el ángulo subtendido por el objeto (supongamos que de altura h) es

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{h}{250\text{mm}} = \frac{h}{a'}$$

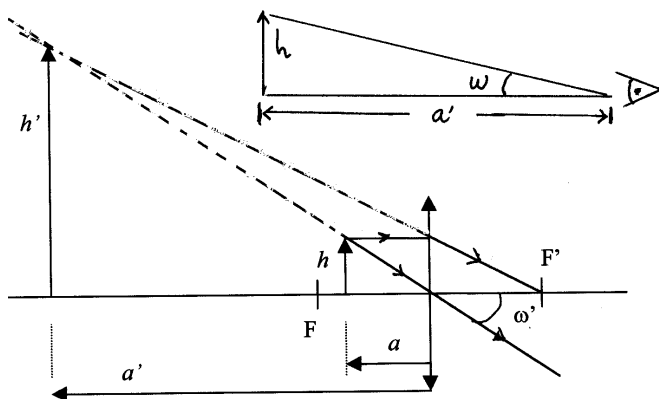


Figura 10.5. Esquema de funcionamiento de la lupa. El ojo se supone pegado a la lupa.

Ahora se sitúa la lupa de forma que la imagen virtual proporcionada por ésta caiga justamente sobre el punto próximo, para lo que hay que

modificar la distancia objeto, que ahora tomará el valor de a (ver **figura 10.5**) y supongamos que el ojo está pegado a la lupa.

Ahora, el ángulo subtendido por la imagen es:

$$\text{tg}\omega' = \frac{h'}{a'} = \frac{h}{a}$$

siendo $a'=250\text{mm}$. Por tanto, el aumento angular (hemos de comparar el ángulo subtendido por el objeto cuando está situado en el punto próximo con el subtendido por la imagen cuando está situada también en ese punto) vale:

$$\Gamma' = \frac{\text{tg}\omega'}{\text{tg}\omega} = \frac{a'}{a} = 1 + \frac{a'}{f'} = 1 + \frac{250 \text{ mm}}{f' \text{ (en mm)}}$$

con f' expresado en mm. Normalmente la potencia de las lupas es de 40 a 80 dioptrías¹.

Por lo que hemos visto, el aumento angular de la lupa depende de las condiciones de observación. Se define entonces un aumento comercial que consiste en suponer que el objeto se sitúa en el foco objeto. En este caso:

$$\Gamma' = 250 / f'.$$

10.2.b. El microscopio compuesto.

Consta de tres partes: sistema de iluminación, objetivo y ocular. El esquema del microscopio compuesto es el siguiente: (**Figura 10.6**).

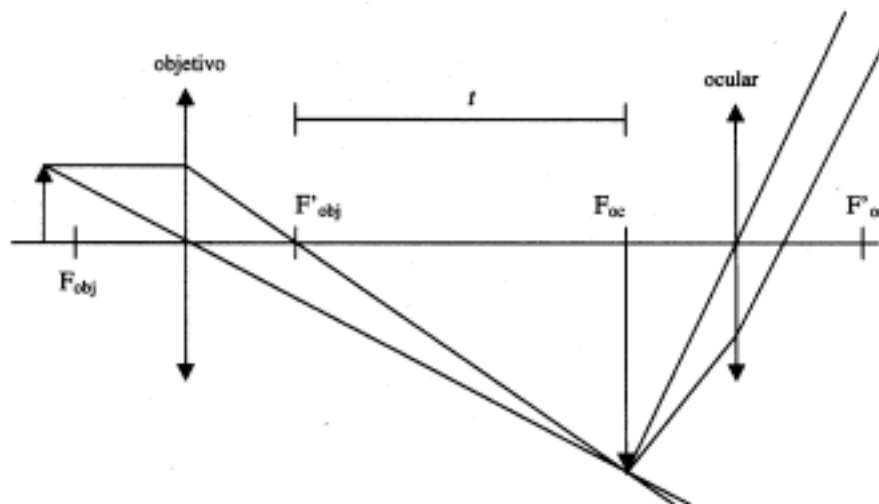


Figura 10.6. Esquema del microscopio compuesto. En su forma más elemental está constituido por dos lentes convergentes: objetivo y ocular.

¹ Hemos usado que $h=a' \text{ tg } \omega$ y la ley de lentes delgadas $1/a+1/a'=1/f$, donde se considera además que a' es negativa. En la expresión del texto a' es positiva.

A la distancia t se la denomina longitud óptica del tubo. El objetivo forma una imagen real del objeto real y se ajusta la distancia del objeto al objetivo para que esta imagen intermedia caiga **sobre el foco objeto del objetivo**, que proporciona una imagen en el infinito. Puede demostrarse fácilmente que el aumento angular vale:

$$\Gamma' = -\frac{t}{f'_{\text{obj}} f'_{\text{oc}}}$$

que no es más que el aumento lateral correspondiente al objetivo (primera fracción) multiplicado por el aumento angular comercial del ocular.

10.3. Instrumentos de visión lejana.

Son instrumentos diseñados para **ver objetos grandes pero distantes**. Constan de **un objetivo y un ocular** (que pueden ser, cada uno de ellos, un conjunto de lentes) acoplados de forma tal que formen un **sistema afocal**, esto es, un sistema cuyos focos se encuentran en el infinito. De esta manera, la imagen de un objeto que se encuentra en el infinito, se forma en el infinito, lo cual es conveniente para observar cómodamente como ya vimos en los instrumentos de visión próxima. Aquí vamos a tratar los anteojos astronómico (o de Kepler) y de Galileo y el telescopio.

10.3.a. El anteojo astronómico (o de Kepler).

Consta de un objetivo y un ocular convergentes. En la figura se aprecia un haz de rayos paralelos (procedente de un objeto situado en el infinito) que incide formando un ángulo ω con el eje óptico. Como el objeto está en el infinito, la imagen de éste dada por el objetivo se forma en el plano focal imagen del objetivo. Ahora bien, como el anteojo astronómico es un **sistema afocal**, **el foco imagen del objetivo coincide con el foco objeto del ocular** lo que implica que la imagen dada por el ocular de la imagen intermedia se forme en el infinito. De esta forma, el observador no ha de acomodar para observar. (Figura 10.7).

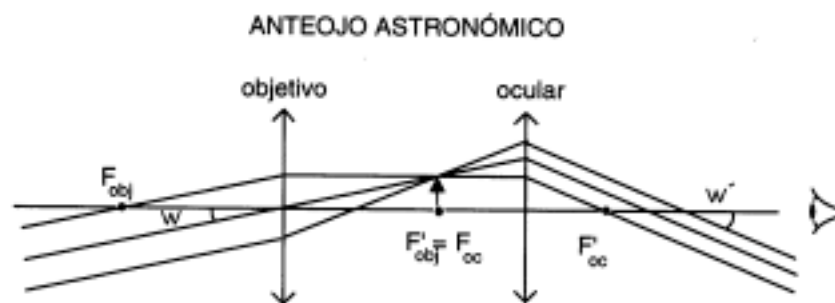


Figura 10.7 Anteojo astronómico: se trata de un sistema afocal: el foco objeto se hace coincidir localmente con el foco del ocular.

Es trivial demostrar que el aumento angular vale:

$$\Gamma' = \frac{\text{tg}\omega'}{\text{tg}\omega} = -\frac{f'_{\text{obj}}}{f'_{\text{oc}}} = -\frac{\phi'_{\text{oc}}}{\phi'_{\text{obj}}}$$

siendo ϕ'_{obj} y ϕ'_{oc} las potencias del objetivo y el ocular, respectivamente. Nótese que el aumento angular es negativo lo que significa que la imagen está invertida.

10.3.b. El anteojo de Galileo.

Está formado por un objetivo convergente y un ocular divergente. En este caso la imagen no es invertida. (Figura 10.8).

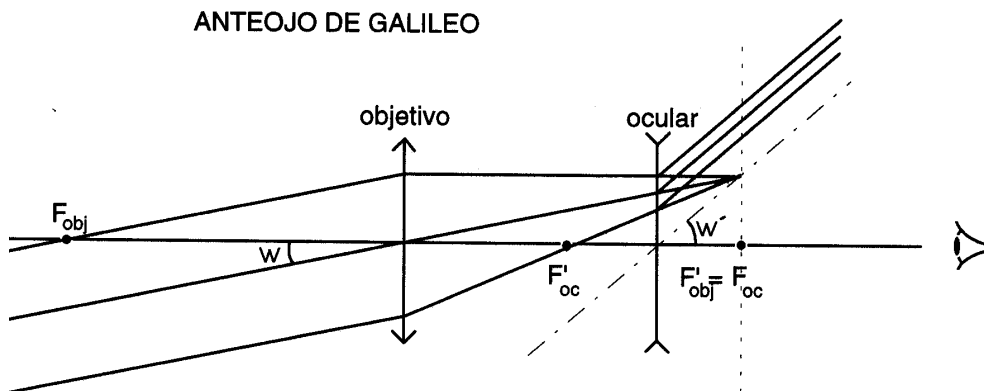


Figura 10.8. Esquema del anteojo de Galileo.

De nuevo es fácil calcular el aumento angular que tiene la misma expresión que en el anteojo astronómico. La diferencia es que ahora es positivo porque la potencia del ocular es negativa. La dificultad radica en que la pupila de salida se encuentra dentro del tubo del anteojo, lo que hace que la observación resulte incómoda.

10.3.c. Telescopio.

Para construir un anteojo astronómico muy potente (para ver a años luz) habría que construir lentes muy grandes y esto es muy difícil. Resulta más sencillo y barato construir telescopios reflectores, esto es, hechos con espejos. Además esto tiene la ventaja de que no hay que corregir la aberración cromática. Un ejemplos de telescopio es el de Newton. (F. 10.9)

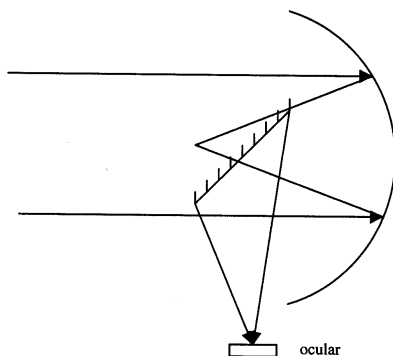


Figura 10.9. Esquema del telescopio.