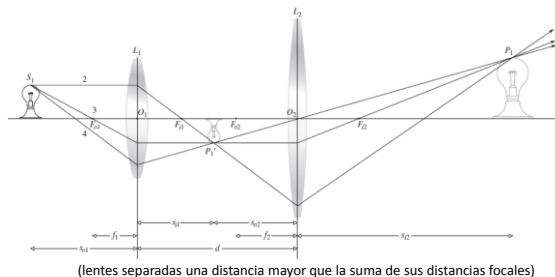


Sistemas Opticos

- Ojos
- Microscopios
- Telescopios

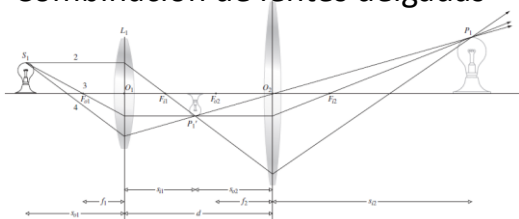
Combinación de lentes delgadas



(lentes separadas una distancia mayor que la suma de sus distancias focales)

La imagen de la primera lente sera el objeto de la segunda....

Combinación de lentes delgadas



$$\frac{1}{s_{o1}} + \frac{1}{s_{i1}} = \left(\frac{1}{R_{11}} - \frac{1}{R_{21}} \right) (n_{lm} - 1) \rightarrow s_{i1} = \frac{s_{o1} f_1}{s_{o1} - f_1}$$

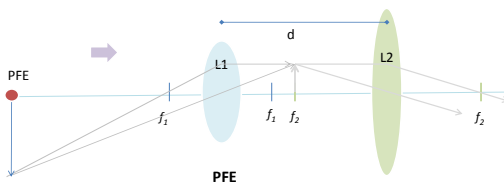
$$\frac{1}{s_{o2}} + \frac{1}{s_{i2}} = \frac{1}{f_2} \rightarrow s_{i2} = \frac{s_{o2} f_2}{s_{o2} - f_2}$$

$$s_{o2} = d - s_{i1}$$

$$s_{i2} = \frac{f_2 d - s_{o1} f_1 f_2 / (s_{o1} - f_1)}{d - f_2 - s_{o1} / (s_{o1} - f_1)}$$

$$M_T \equiv \frac{y_i}{y_o} = \frac{y_{i1}}{y_o} \frac{y_{i2}}{y_{i1}} \rightarrow M_T = M_{T1} M_{T2}$$

Puntos focales de entrada y salida



$$s_{o1} = \frac{s_{o1} f_1}{s_{o1} - f_1}$$

$$s_{o2} = d - s_{i1}$$

$$s_{i2} = \frac{s_{o2} f_2}{s_{o2} - f_2}$$

$$s_{o1} = ?, s_{i2} \rightarrow \infty$$

$$s_{o2} = f_2$$

$$s_{i1} = d - f_2$$

$$\frac{1}{s_{o1}} + \frac{1}{d - f_2} = \frac{1}{f_1}$$

$$PFE \equiv s_{o1} = \frac{f_1(d - f_2)}{d - (f_1 + f_2)}$$

Puntos focales de entrada y salida

PFE

$$s_{i1} = \frac{s_{o1}f_1}{s_{o1} - f_1}$$

$$s_{o2} = d - s_{i1}$$

$$s_{i2} = \frac{s_{o2}f_2}{s_{o2} - f_2}$$

$s_{o1} = ?, s_{i2} \rightarrow \infty$

$$s_{o2} = f_2$$

$$s_{i1} = d - f_2$$

$$\frac{1}{s_{o1}} + \frac{1}{d - f_2} = \frac{1}{f_1}$$

PFS

$$s_{o1} \rightarrow \infty, s_{i2} = ?$$

$$s_{i1} = f_1$$

$$s_{o2} = d - f_1$$

PFE $\equiv s_{o1} = \frac{f_1(d - f_2)}{d - (f_1 + f_2)}$

PFS $\equiv s_{i2} = \frac{f_2(d - f_1)}{d - (f_1 + f_2)}$

Puntos focales de entrada y salida

PFE $\equiv s_{o1} = \frac{f_1(d - f_2)}{d - (f_1 + f_2)}$

PFS $\equiv s_{i2} = \frac{f_2(d - f_1)}{d - (f_1 + f_2)}$

$d \rightarrow 0$

PFE = PFS $\equiv f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

$D = D_1 + D_2$

La potencia del sist. compuesto es la suma de potencias

Ojos



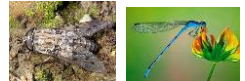
Arquitecturas oculares

Diferentes tipos de soluciones para el sentido de información visual:

Moluscos
Sistemas tipo cámara-oscura ('ujerito' sin lente)



Artrópodos
Sistemas que utilizan arreglos de múltiples lentes diminutas



Vertebrados, algunos moluscos (i.e. pulpo) y algunas arañas
Sistemas que utilizan lentes para formar una imagen a partir de la energía lumínica incidente



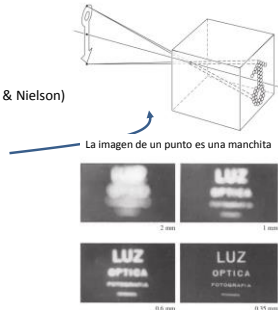
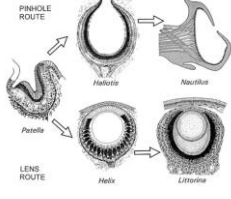
Arquitecturas oculares

Diferentes tipos de soluciones para el sentido de información visual:

Moluscos

Sistemas tipo cámara-oscura ('ujerito' sin lente)

Posibles rutas evolutivas (*Animal Eyes*, Land & Nielson)



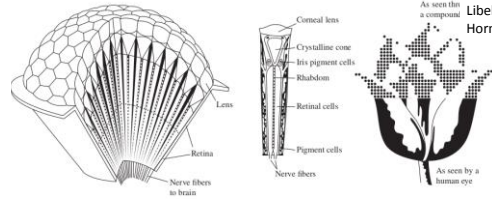
Arquitecturas oculares

Diferentes tipos de soluciones para el sentido de información visual:

Artrópodos

Sistemas que utilizan arreglos de múltiples lentes diminutas

- Nunca se forma una imagen completa
- Cada lente abarca un campo visual muy reducido
- El ojo divide, digitaliza y produce una imagen pixelada de la realidad:

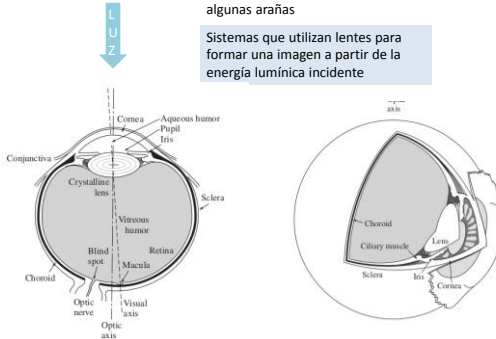


Tabanos 7000 lentes
Libelulas 30000
Hormigas 50

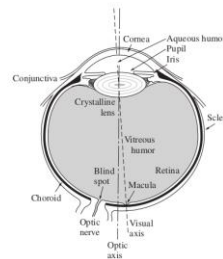
El ojo en vertebrados...

Vertebrados, algunos moluscos (i.e. pulpo) y algunas arañas

Sistemas que utilizan lentes para formar una imagen a partir de la energía luminica incidente

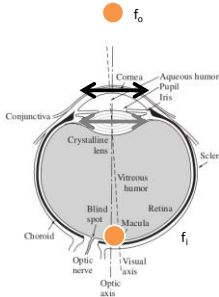


Fisiología del ojo



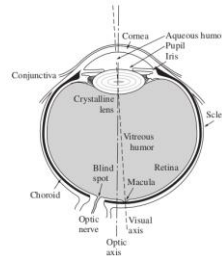
- ✓ Sistema de doble lente: **cornea** y **crystalino**
- ✓ La idea es producir imágenes sobre la parte posterior del globo ocular.
- ✓ El ojo es aprox esférico ~24mm diametro
- ✓ **Cornea** es el elemento de mayor **potencia**.
- ✓ $n_{\text{cornea}} \sim 1.376$ (por eso se ve raro bajo el agua, ($n_{\text{agua}} \sim 1.33$) no?)
- ✓ Al emerger de la cornea la luz pasa por una camara de liquido humoral $n_h \sim 1.336$ donde se encuentra el iris
- ✓ Iris actua como diafragma: 2mm – 8mm para regular intensidad y tb incrementar definición

Fisiología del ojo

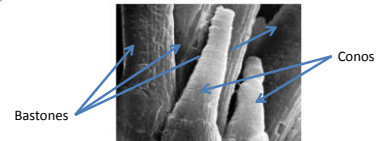


- ✓ Detrás del iris esta el **crystalino**: segundo elemento difractor.
- ✓ Compuesto por 22000 finas capas transparentes, $n \sim 1.386 - 1.405$ (en la parte mas densa)
- ✓ **Flexible**: puede ser deformado variando su curvatura.
- ✓ Provee mecanismo de *fine tuning*
- ✓ Cornea y cristalino pueden pensarse como un sistema de doble lente con una PFE= $f_o \sim 15.6\text{mm}$ y PFS= $f_i \sim 24.3\text{mm}$ (desde el cristalino)
- ✓ Detrás del cristalino cámara con *humor vitreo* $n_{iv} \sim 1.337$

Fisiología del ojo



- ✓ **Retina**: Fina capa de celulas fotorreceptoras que cubren la superficie **coroidal**
- ✓ Hay de dos tipos: bastones y conos
- ✓ **Bastones**: receptores rapidos, sensibles, b/n, sin mucha definición
- ✓ **Conos**: responden al color en alta intensidad, pero no en baja.
- ✓ Rango de respuesta del sistema ojo humano: 390nm-780nm
- ✓ **Fovea centrlis**: region en la macula con alta densidad de conos pequeños ...o sea alta definición. Esto repercute en estrategia de exploración...i.e. mov del globo ocular,

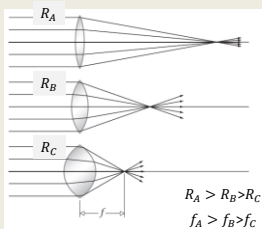


Recordar...

Curvatura y distancia focal

$$\frac{1}{s_{o1}} + \frac{1}{s_{i2}} = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) (n_{lm} - 1) \longrightarrow \frac{1}{f} = \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) (n_{lm} - 1)$$

En lentes biconvexas: $R_1 = -R_2 \longrightarrow \frac{1}{f} = \frac{2}{R_1} (n_{lm} - 1)$



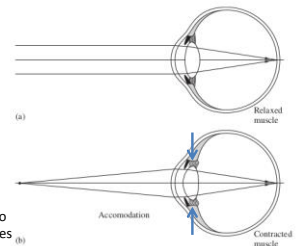
Distancias focales más grandes se obtienen para curvaturas más grandes $f \sim R$

Potencia de una lente (dioptrías)
capacidad de desviar/quebrar rayos

$$\phi = \frac{1}{f}$$

Acomodamiento

Mecanismo de focalización:
La imagen SIEMPRE se tiene que formar en la retina.



- En **condicion relajada** la imag de un objeto en el infinito se forma sobre la retina. Pto lejano (aquel que forma imagen sobre retina cuando musculo relajado) en el infinito.
- Para que la imagen de un punto cercano se forme sobre la retina músculos ciliares comprimen al cristalino, curvandolo...ergo mas potencia.
- El cristalino se endurece con la edad...Para un niño el **pto más cercano** que es posible enfocar esta a 7cm. Para un adulto 25cm en adultos, 100cm para 60 años.

- **Diferentes estrategias**:
Mamíferos: modifican curvatura,
peces: mueven la lente, pulpo: contrae o expande el globo ocular, aves de presa: curvan cornea

Miopía

El ojo miope tiene *demasiada* potencia. El *punto lejano* esta relativamente cerca.

La idea es anteponer una lente que haga divergir un poco los rayos de manera que el sistema compuesto lente/ojo tenga menos potencia (i.e. que alcance la de un ojo normal)

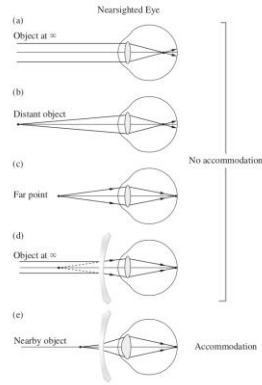
Que relacion tiene la distancia focal de la lente con algun parametro del ojo que tiene el problema que se desea corregir?

Si punto lejano fuese 2m,

$$f_{lente} = -2 \text{ m}$$

y su potencia

$$D_{lente} = -\frac{1}{2} \text{ dioptrias}$$



Miopía

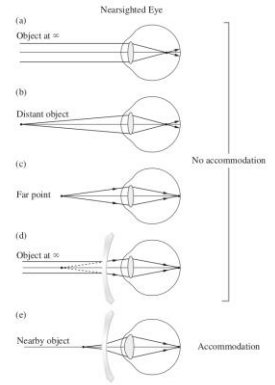
El ojo miope tiene *demasiada* potencia. El *punto lejano* esta relativamente cerca.

Notar que para lentes de contacto tenemos un sistema optico con (d=0, ver slide 5)

$$D_{ojo-normal} = D_{miope} + D_{lente-contacto}$$

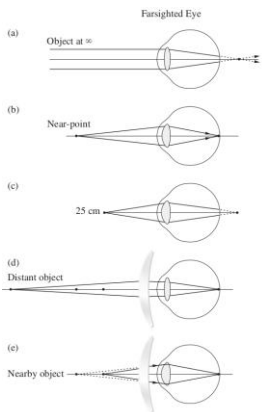
Para anteojos (d>0) el valor absoluto de la potencia de la lente del antejo, D_a , debe ser un poco mas gde... (ver ec 5.74 Hecht)

$$D_a = \frac{D_c}{1 + dD_c}$$

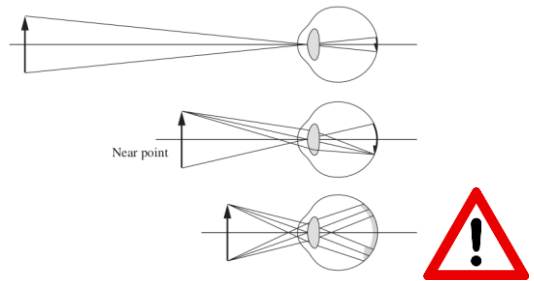


Hipermetropía

- El ojo hipermetrope tiene menos potencia que un ojo normal.
- En condición de relajación, la imagen de un objeto en el infinito se forma detrás de la retina (notar que es posible enfocar objetos lejanos deformando el cristalino)
- El problema surge con el **punto cercano** del ojo. Esta demasiado lejos.
- Para objetos muy próximos. Aún el cristalino trabajando a máxima potencia no alcanza a hacer converger los rayos.
- La potencia faltante la puede suministrar un elemento convergente (i.e. de potencia positiva)



Viendo lo chiquito a ojo desnudo



Viendo lo chiquito con ayuda...de la lupa

(a) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$\frac{y_0}{d_0} = \tan \alpha_u \sim \alpha_u$

$M_A = \frac{y_i d_0}{y_0 L}$

aumento lateral de la lente

$= \frac{f - s_i}{f} \frac{d_0}{L}$

$= \left(1 - \frac{s_i}{f}\right) \frac{d_0}{L}$

$s_i = -(L - l)$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

(b) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$\frac{y_i}{L} = \tan \alpha_a \sim \alpha_a$

Viendo lo chiquito con ayuda...de la lupa

(a) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$

$M_A = \left(1 + D(L - \frac{1}{D})\right) \frac{d_0}{L}$

$= (1 + DL - 1) \frac{d_0}{L}$

$M_{A|l=f} = d_0 D$

(b) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$

$M_A = \left(1 + D(L - \frac{1}{D})\right) \frac{d_0}{L}$

$= (1 + DL - 1) \frac{d_0}{L}$

$M_{A|l=f} = d_0 D$

Viendo lo chiquito con ayuda...de la lupa

(a) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$ $M_{A|l=f} = d_0 D$

$l = 0$ $M_{A|l=0} = d_0 \left(\frac{1}{L} + D\right)$

$M_{A|l=0}^{max} = d_0 \left(\frac{1}{d_0} + D\right)$

$= 1 + d_0 D$

$L \rightarrow \infty$ $M_{A|L \rightarrow \infty} = d_0 D$

(b) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$ $M_{A|l=f} = d_0 D$

$l = 0$ $M_{A|l=0} = d_0 \left(\frac{1}{L} + D\right)$

$M_{A|l=0}^{max} = d_0 \left(\frac{1}{d_0} + D\right)$

$= 1 + d_0 D$

$L \rightarrow \infty$ $M_{A|L \rightarrow \infty} = d_0 D$

Viendo lo chiquito con ayuda...de la lupa

Ejemplo:
Una lente de $f=0.1$ m tiene una potencia de $D=10$ dioptrias. Utilizada como lupa que genera una imagen en el infinito provee un aumento lateral de 2.5 x.

La imagen sobre la retina es 2.5 veces mas larga que la generada a ojo desnudo.

Aumento angular: $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$L \rightarrow \infty$ $M_{A|L \rightarrow \infty} = d_0 D$

(a) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$ $M_{A|l=f} = d_0 D$

$l = 0$ $M_{A|l=0} = d_0 \left(\frac{1}{L} + D\right)$

$M_{A|l=0}^{max} = d_0 \left(\frac{1}{d_0} + D\right)$

$= 1 + d_0 D$

$L \rightarrow \infty$ $M_{A|L \rightarrow \infty} = d_0 D$

(b) **Aumento angular:** $M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u}$

$M_A = (1 + D(L - l)) \frac{d_0}{L}$

Tres configuraciones de interes

$l = f$ $M_{A|l=f} = d_0 D$

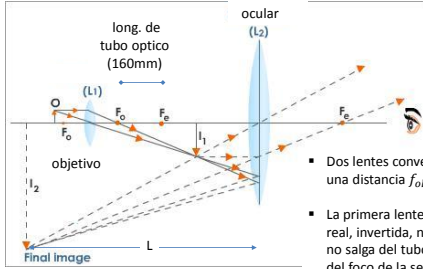
$l = 0$ $M_{A|l=0} = d_0 \left(\frac{1}{L} + D\right)$

$M_{A|l=0}^{max} = d_0 \left(\frac{1}{d_0} + D\right)$

$= 1 + d_0 D$

$L \rightarrow \infty$ $M_{A|L \rightarrow \infty} = d_0 D$

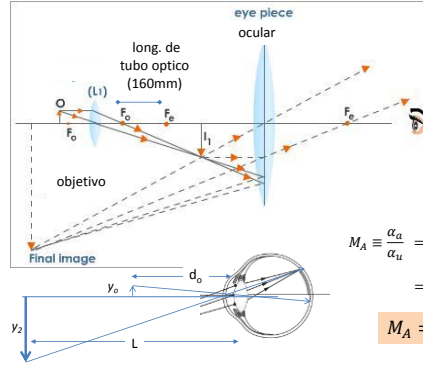
Microscopio compuesto



- Dos lentes convergentes separadas una distancia $f_{ob} + f_{oc} + L$.
- La primera lente produce una imagen real, invertida, no muy gde (para que no salga del tubo) detras (pero cerca) del foco de la segunda.
- Puede estar diseñado para que L sea infinito o, alternativamente, d_o



Microscopio compuesto



$$M_A \equiv \frac{\alpha_a}{\alpha_u} = \frac{y_2 d_o}{y_o L} = \frac{y_1 y_2 d_o}{y_o y_1 L}$$

$$M_A = M_{T,obj} M_{A,ocul}$$



Mirando lejos: telescopios refractantes

