



departamento de Física
universidad de buenos aires - exactas
Juan José Giambiagi



Instrumentos ópticos

Cátedra: Diego Arbó



DIAFRAGMAS

Debido a la naturaleza finita de las lentes y espejos en un sistema óptico podemos definir:

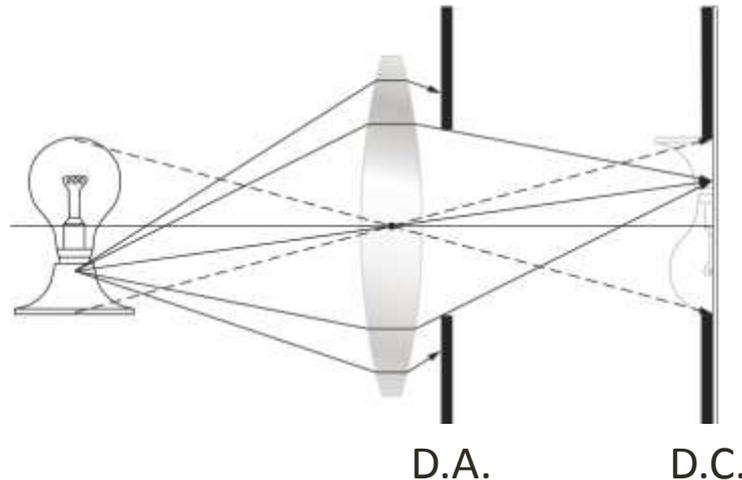
Diafragma de apertura:

Limita el diámetro del haz que atraviesa el sistema, controla el brillo de la imagen y puede mantener (o no) la validez de la aproximación paraxial en lo que se refiere a la inclinación de los rayos.

Diafragma de campo:

Limita el tamaño de la imagen (campo), es conjugado del objeto y puede mantener la validez de la aproximación paraxial en lo que se refiere al tamaño del objeto.

Determina la visión del instrumento.



Por cada punto objeto, el diafragma de apertura corta algunos rayos, mientras que el diafragma de campo los corta todos o los deja pasar a todos los que llegan.

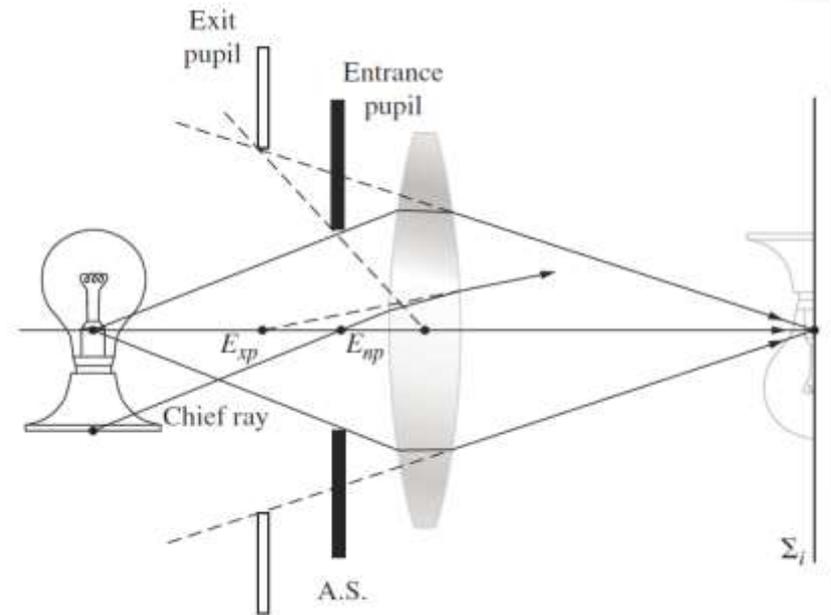
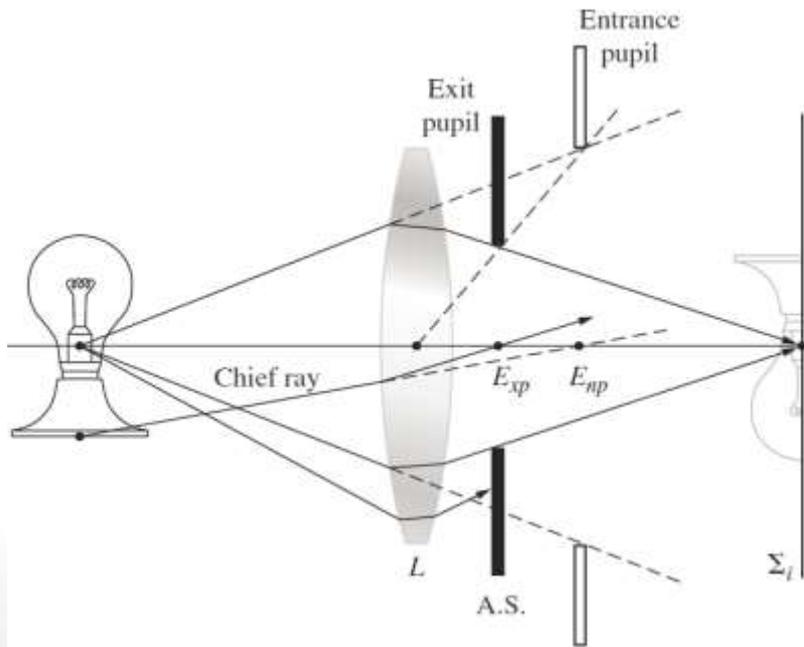
PUPILAS

Pupila de entrada:

Imagen del diafragma de apertura en el espacio objeto, teniendo en cuenta los elementos que preceden al D.A. Para encontrarla se considera que el D.A. es un objeto y se hace trazado inverso de rayos.

Pupila de salida:

Imagen del diafragma de apertura formada en el plano imagen a través de todos los elementos ópticos que suceden al D.A. Para encontrarla se considera que el D.A. es un objeto y se hace el trazado directo de rayos.



Viñeteo: Para puntos del objeto lejos del eje óptico, se reduce el D.A. por lo que los puntos imagen conjugados serán menos brillantes que en el eje óptico

La cantidad de energía que llega al plano imagen es proporcional al área de la pupila de entrada y se reparte sobre una región correspondiente de la imagen. Entonces el flujo de energía (energía por unidad de área y unidad de tiempo) o irradiancia es inversamente proporcional al área de la imagen.

$$y' = -y \frac{f}{x_0} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} \text{Área P.E.} \propto D^2 \quad (\text{diámetro P.E.}) \\ \text{Área imagen} \propto y'^2 \propto f^2 \end{array}$$

$$\text{flujo} \propto \left(\frac{D}{f} \right)^2$$

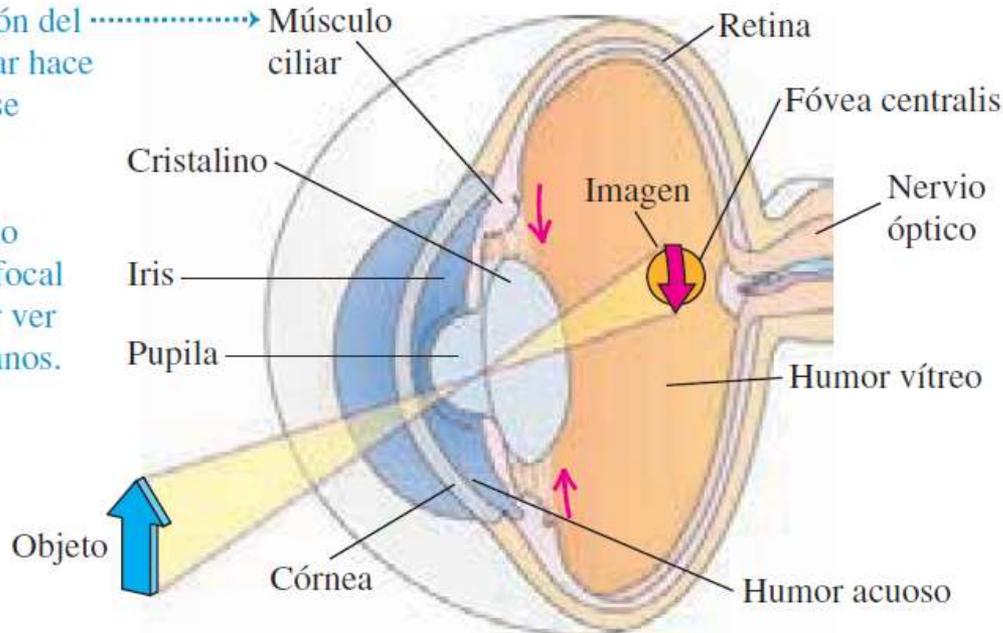
$\frac{D}{f}$: apertura relativa

$\frac{f}{D}$: razón focal ($f / \#$)

Ejemplo: lente de apertura 5 cm y $f = 10$ cm $\rightarrow f/2$

Ojo humano

La contracción del músculo ciliar hace que la lente se vuelva más convexa, disminuyendo su distancia focal para permitir ver objetos cercanos.



aproximadamente
equivalente a una lente de
 $f_o = 1.6 \text{ cm}$ y $f_i = 2.4 \text{ cm}$

Humor vítreo: $n = 1.337$

Humor acuoso: $n = 1.336$

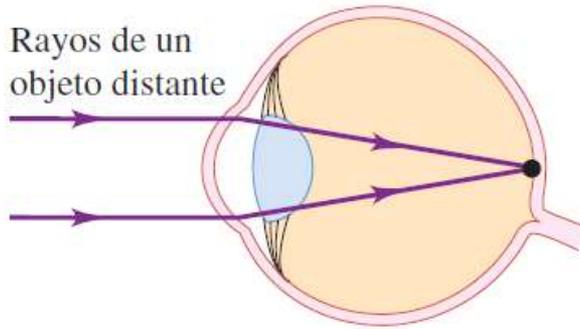
Cristalino: $n = 1.406 - 1.386$

En la retina existen dos tipos de células fotorreceptoras:

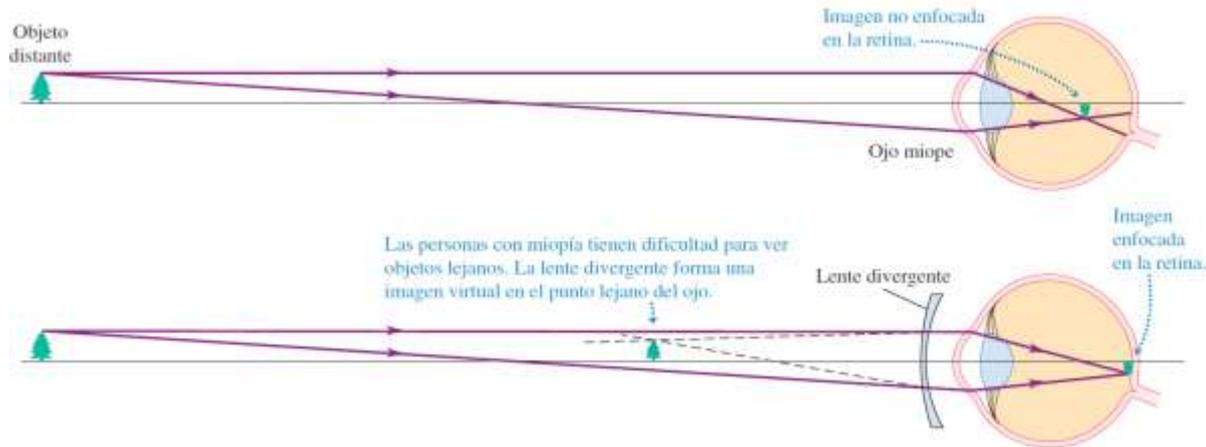
- Conos: muy sensibles a la luz (insensible al color).
- Bastoncitos: poco sensible a la luz (color).

a) Ojo normal

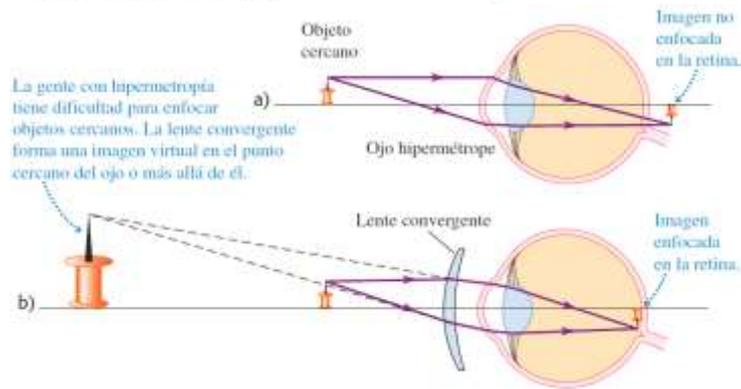
Rayos de un objeto distante



b) Ojo miope (corto de vista)

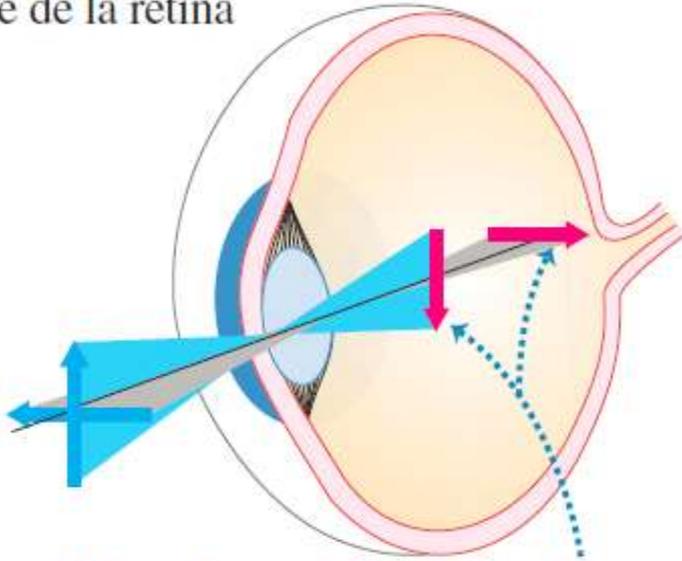


c) Ojo hipermetrope (problemas de visión a distancias cortas)



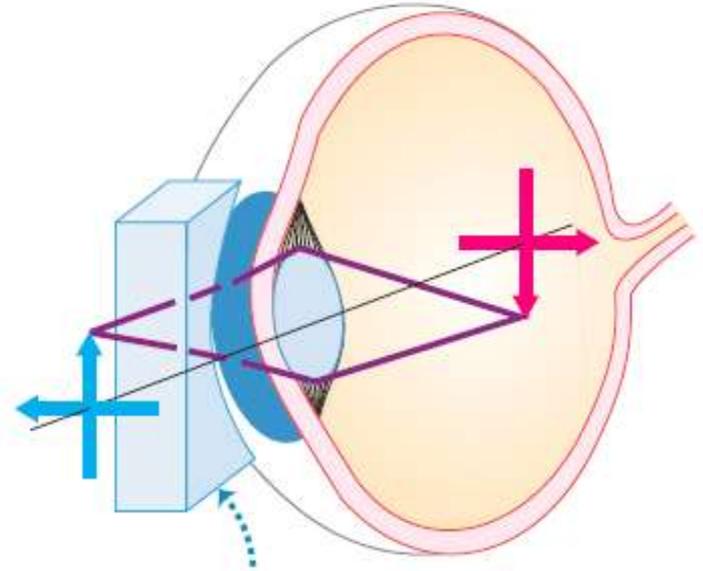
Astigmatismo

a) La imagen de las líneas verticales se forman delante de la retina



La forma del ocular o del cristalino hace que los elementos verticales y horizontales se enfoquen a diferentes distancias.

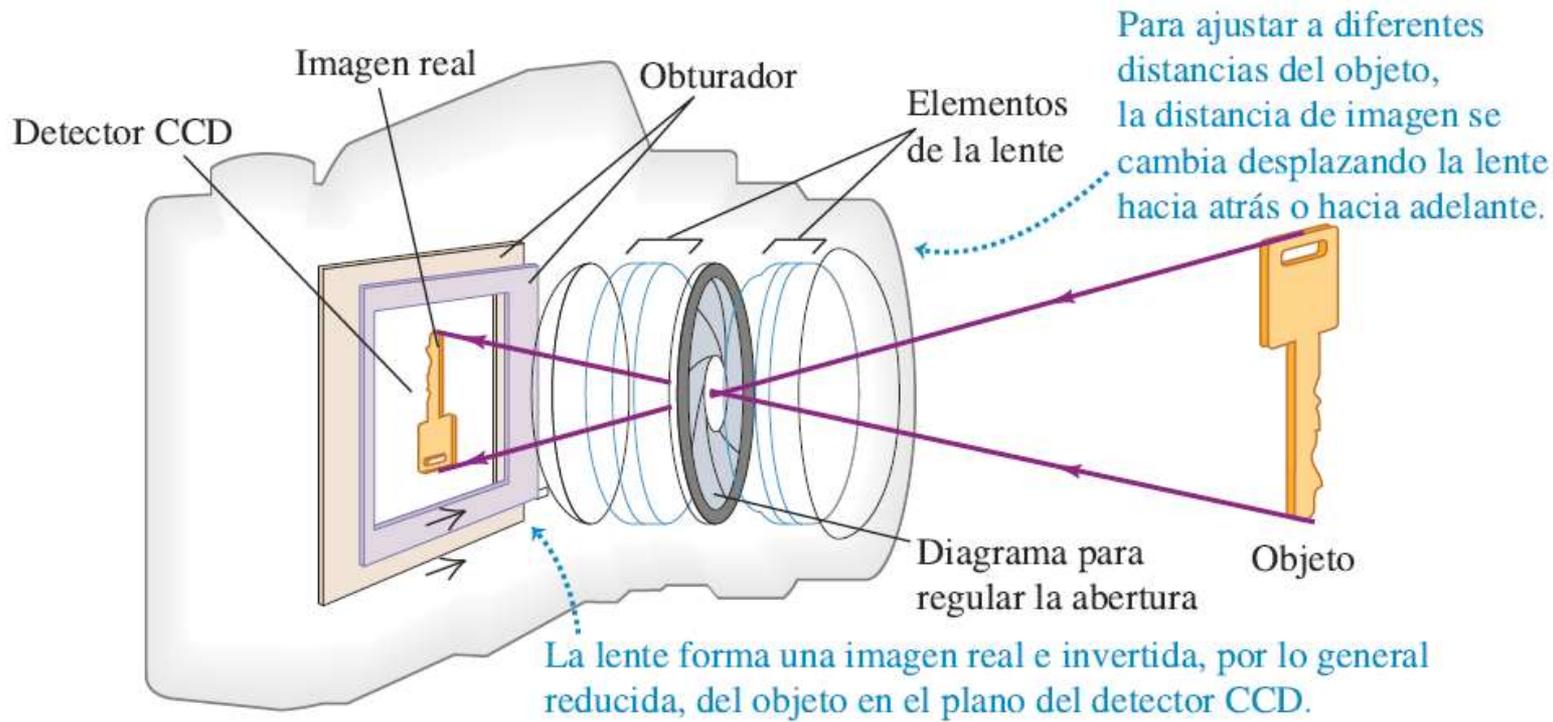
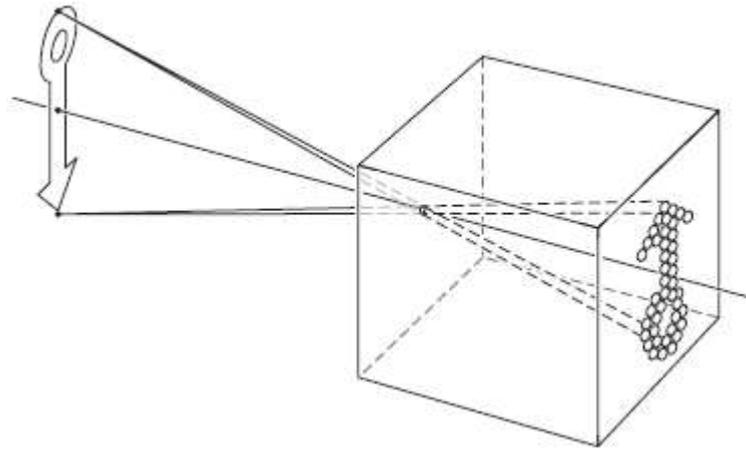
b) Una lente cilíndrica corrige el astigmatismo



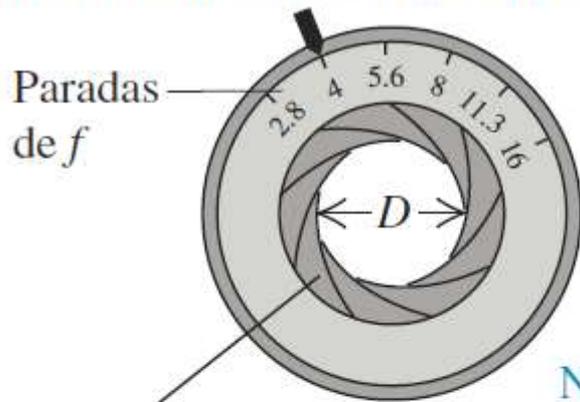
Esta lente cilíndrica se curva en la dirección vertical pero no en la horizontal, cambiando la distancia focal de los elementos verticales.

Cámara fotográfica

Cámara oscura

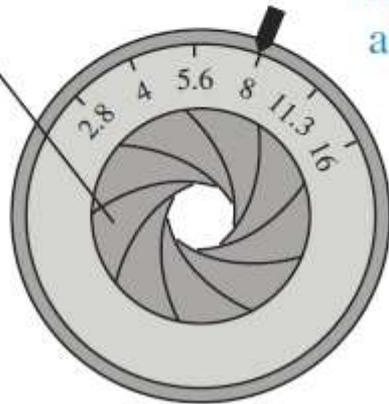


Al cambiar el diámetro en un factor de $\sqrt{2}$
la intensidad cambia en un factor de 2.



Abertura $f/4$

Números f
más grandes
significan
una menor
abertura.



Abertura $f/8$

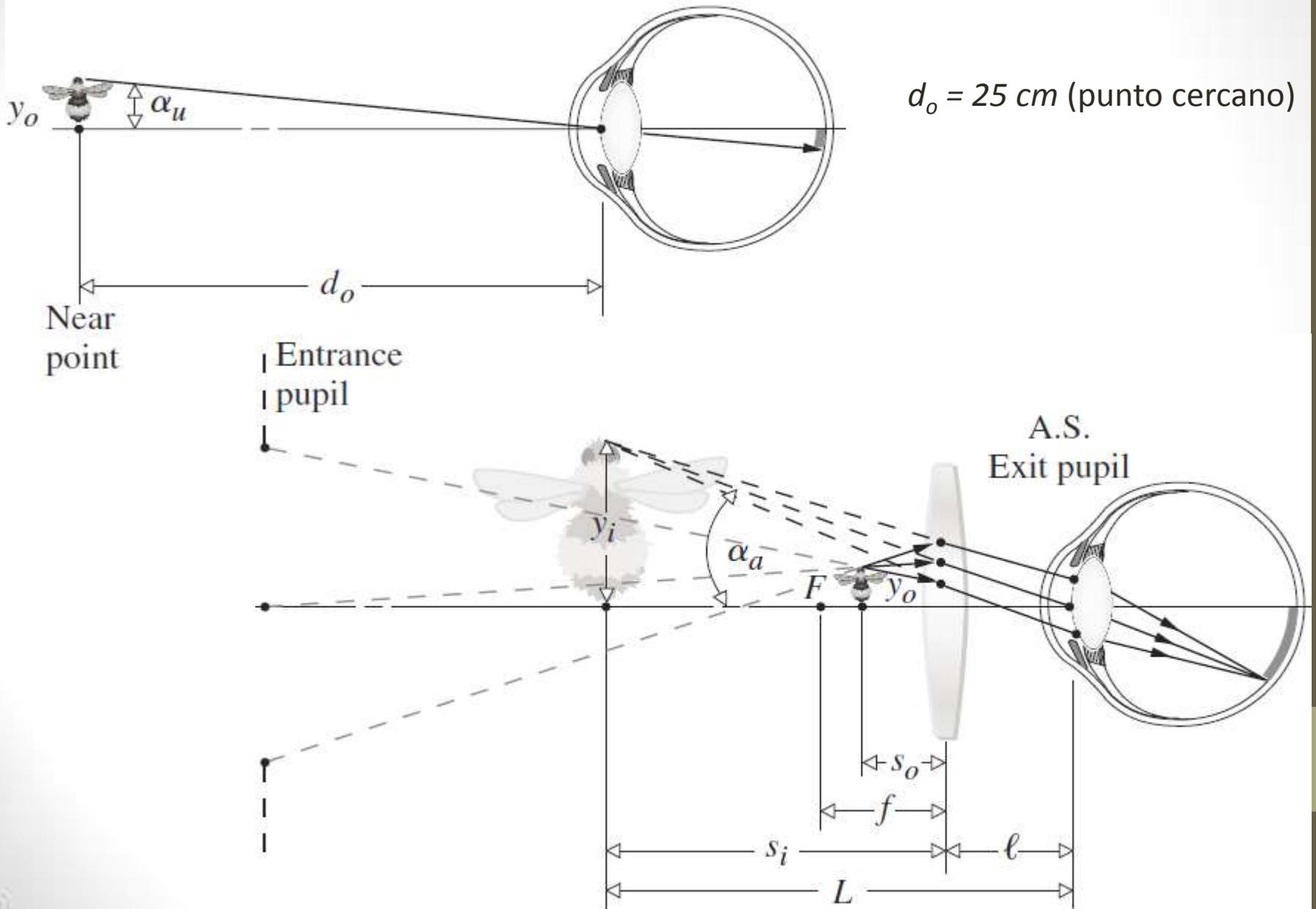
$$\text{flujo} \propto \left(\frac{D}{f}\right)^2$$

$\frac{D}{f}$: apertura relativa

$\frac{f}{D}$: razón focal ($f / \#$)

El tiempo de exposición se maneja externamente y debe ser inversamente proporcional al flujo ($1/D^2$) para una misma luminosidad.

Lupa



$$M = \frac{\alpha_a}{\alpha_u} = \frac{y_i / L}{y_o / d_o} \quad (\text{potencia de aumento})$$

Por definición, el aumento lateral es igual a

$$M = \frac{y_i}{y_o} = -\frac{s_i}{s_o} \quad \Rightarrow \quad M = -\frac{s_i d_o}{s_o L} = -s_i \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{s_i} \right) \frac{d_o}{L} = \left(1 - \frac{s_i}{f} \right) \frac{d_o}{L}$$

$$\Rightarrow \boxed{M = \left[1 + (L - l) P \right] \frac{d_o}{L}}; \quad P = \frac{1}{f} \quad (\text{potencia de la lupa})$$

Caso i) Pongo el ojo en el foco de la lupa ($l = f$)

$$M_{l=f} = \left[1 + \frac{(L-f)}{f} \right] \frac{d_o}{L} = \left[1 - \frac{L}{f} - \frac{f}{f} \right] \frac{d_o}{L} = \frac{d_o}{f} = d_o P$$

Caso ii) Pongo el ojo sobre la lupa ($l = 0$)

$$M_{l=0} = \left[1 + LP \right] \frac{d_o}{L} = \left[\frac{1}{L} + P \right] d_o; \quad M_{l=0} > M_{l=f}$$

Cuanto menor L , mayor $M_{l=0}$, pero si quiero visión clara: $L = d_o$

$$M_{\substack{l=0 \\ d_o=L}} = \left[\frac{1}{d_o} + P \right] d_o = 1 + d_o P = 1 + 0.25P; \quad P \text{ en dioptrías}$$

Caso iii) Pongo el objeto en el foco de la lupa ($s_o = f \rightarrow s_i = \infty$)

$$M_{s_o=f} = \left[1 + \frac{(L-l)}{f} \right] \frac{d_o}{L} \xrightarrow{L \rightarrow \infty} \left[\frac{L}{f} \right] \frac{d_o}{L} = d_o P$$

Como los rayos son $||$, el ojo está relajado.

Ejemplo: Lupa de 10 D (dioptrías) significa que $P = 1/f = 10/\text{m} \rightarrow f = 1/10 \text{ m} = 10 \text{ cm}$.

Entonces $M_{L=\infty} = d_o P = 0.25 \text{ m} \times 10 / \text{m} = 2.5$.

Se dice que la lupa es 2.5 X.

La imagen en retina es 2.5 veces mayor a la imagen sobre la retina con objeto en punto próximo (d_o) a ojo desnudo.

Aberración cromática: Como $n(\lambda)$, entonces el foco será en distintos lugares dependiendo del color. Se puede corregir con combinación de lentes convergentes y divergentes de distinto índice de refracción.

Microscopio

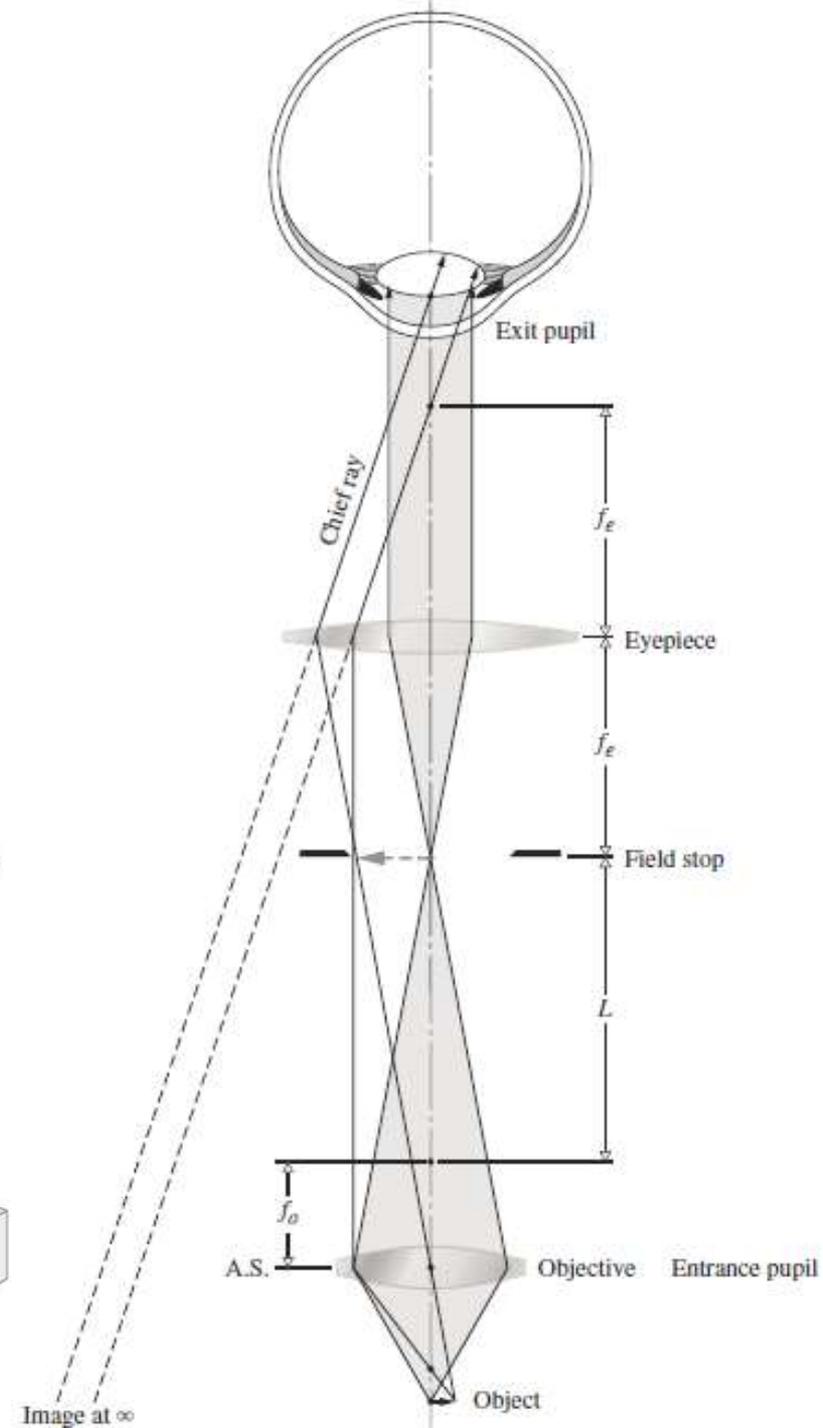
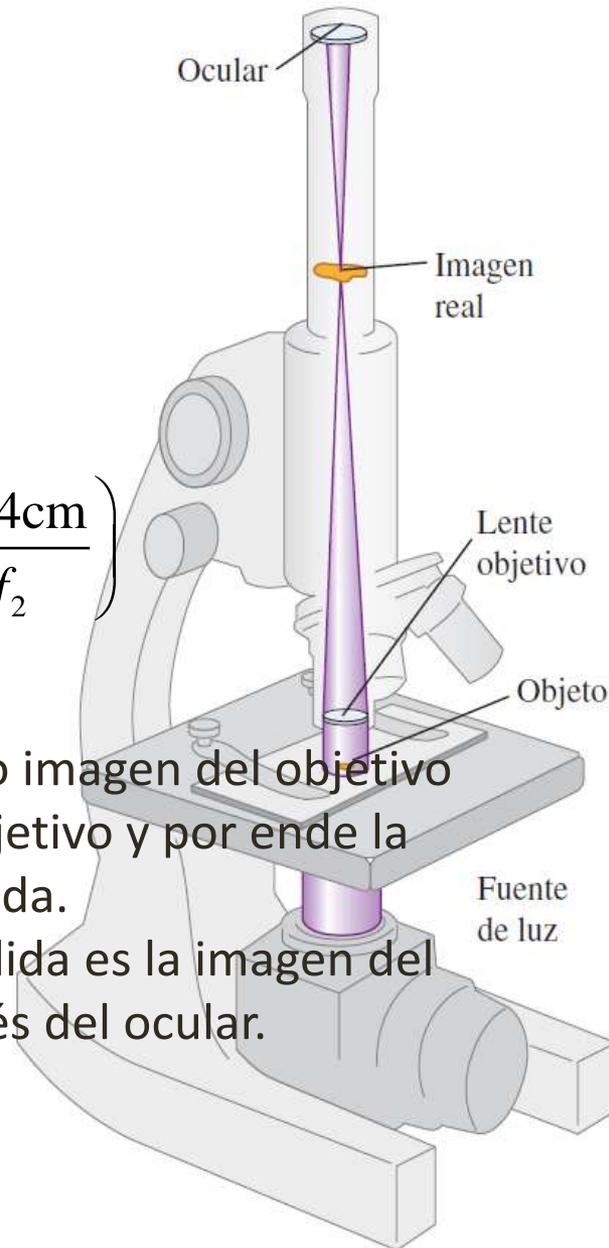
$$m_1 = -\frac{s'_1}{s_1} = \frac{-x_i}{f_1}$$

$$M_2 = \frac{d_o}{f_2}$$

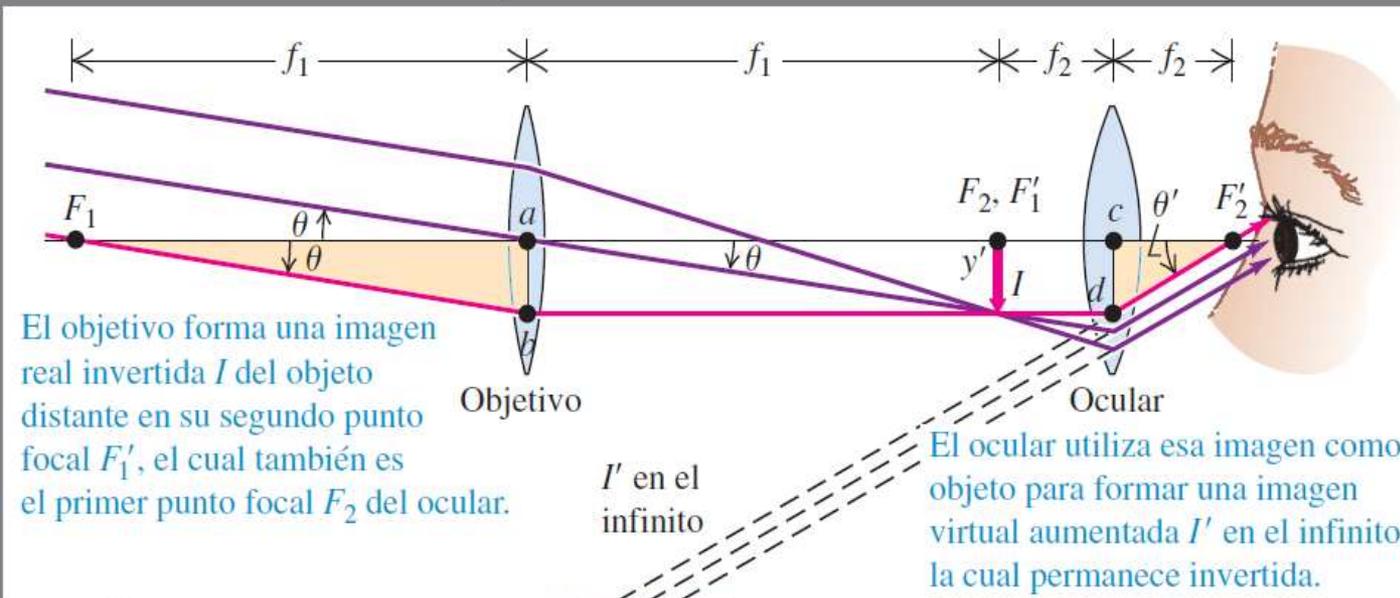
$$M = m_1 M_2 = \frac{-x_i d_o}{f_1 f_2}$$

$$= \left(\frac{-16\text{cm}}{f_1} \right) \left(\frac{25.4\text{cm}}{f_2} \right)$$

- El D.C. en plano imagen del objetivo
- El D.A. es el objetivo y por ende la pupila de entrada.
- La pupila de salida es la imagen del objetivo a través del ocular.



Telescopio astronómico refractor



Lente objetivo

Ocular

$$\theta = \frac{-y'}{f_1} \quad \theta' = \frac{y'}{f_2} \quad M = \frac{\theta'}{\theta} = -\frac{y'/f_2}{y'/f_1} = -\frac{f_1}{f_2}$$

(aumento angular de un telescopio)

El aumento lateral del ocular es:

$$m_e = -\frac{f_e}{x_o} = \frac{-f_e}{f_o} \Rightarrow M = \frac{1}{m_e}$$

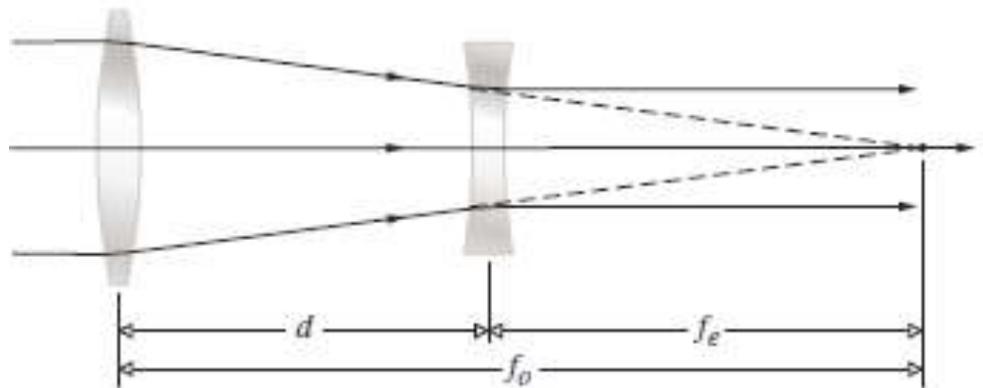
$$m_e = \frac{D'}{D} \Rightarrow M = \frac{D}{D'}$$

donde D y D' diámetros del objetivo y pupila salida

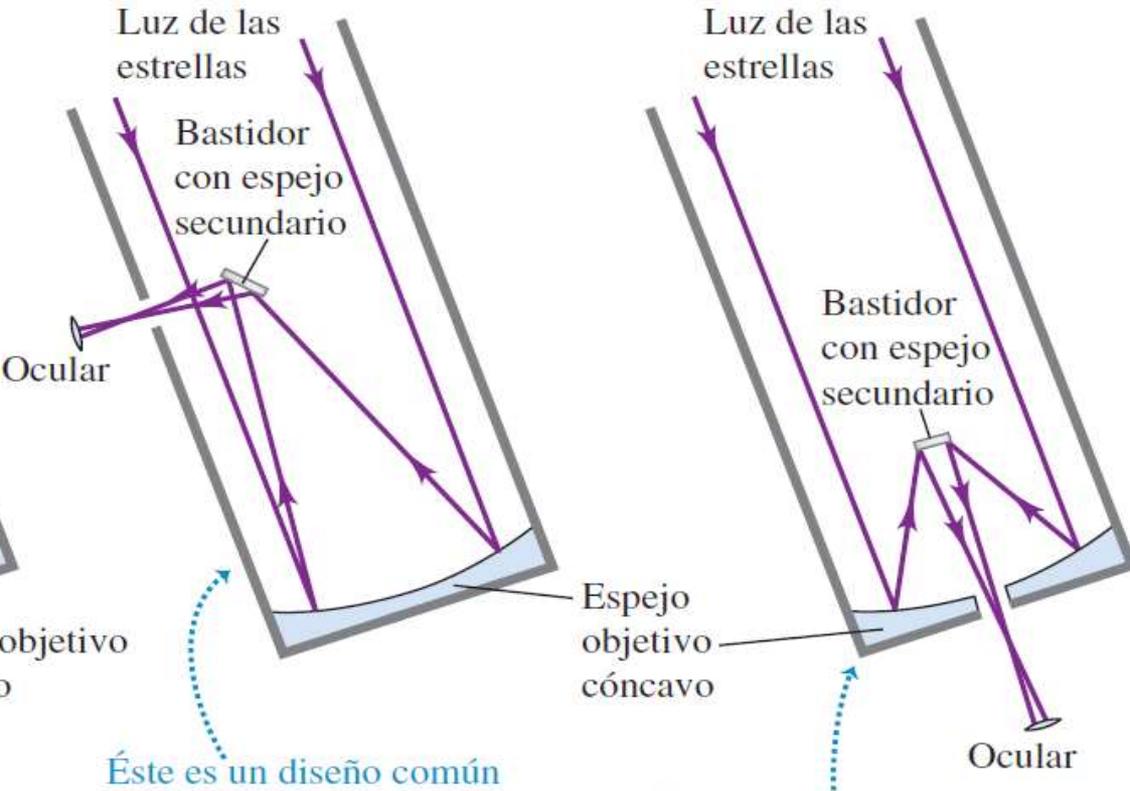
D' es negativa ya que la imagen del objetivo sobre el ocular está invertida

M y m_e son negativas y la imagen se ve invertida. No sirven en la tierra.

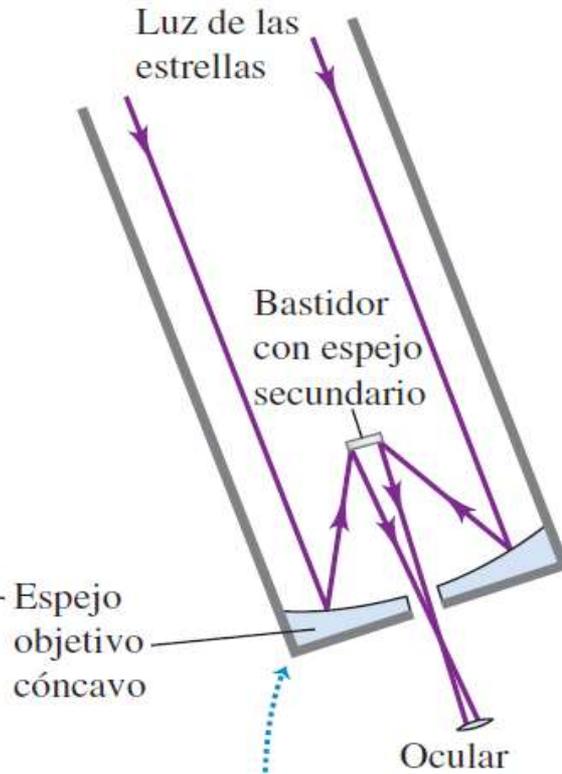
Telescopio de Galileo:



Telescopio reflector:



Éste es un diseño común para los telescopios de astrónomos aficionados.



Éste es un diseño común para los modernos telescopios grandes. En vez de un ocular, se utilizan una cámara u otro instrumento insertado.



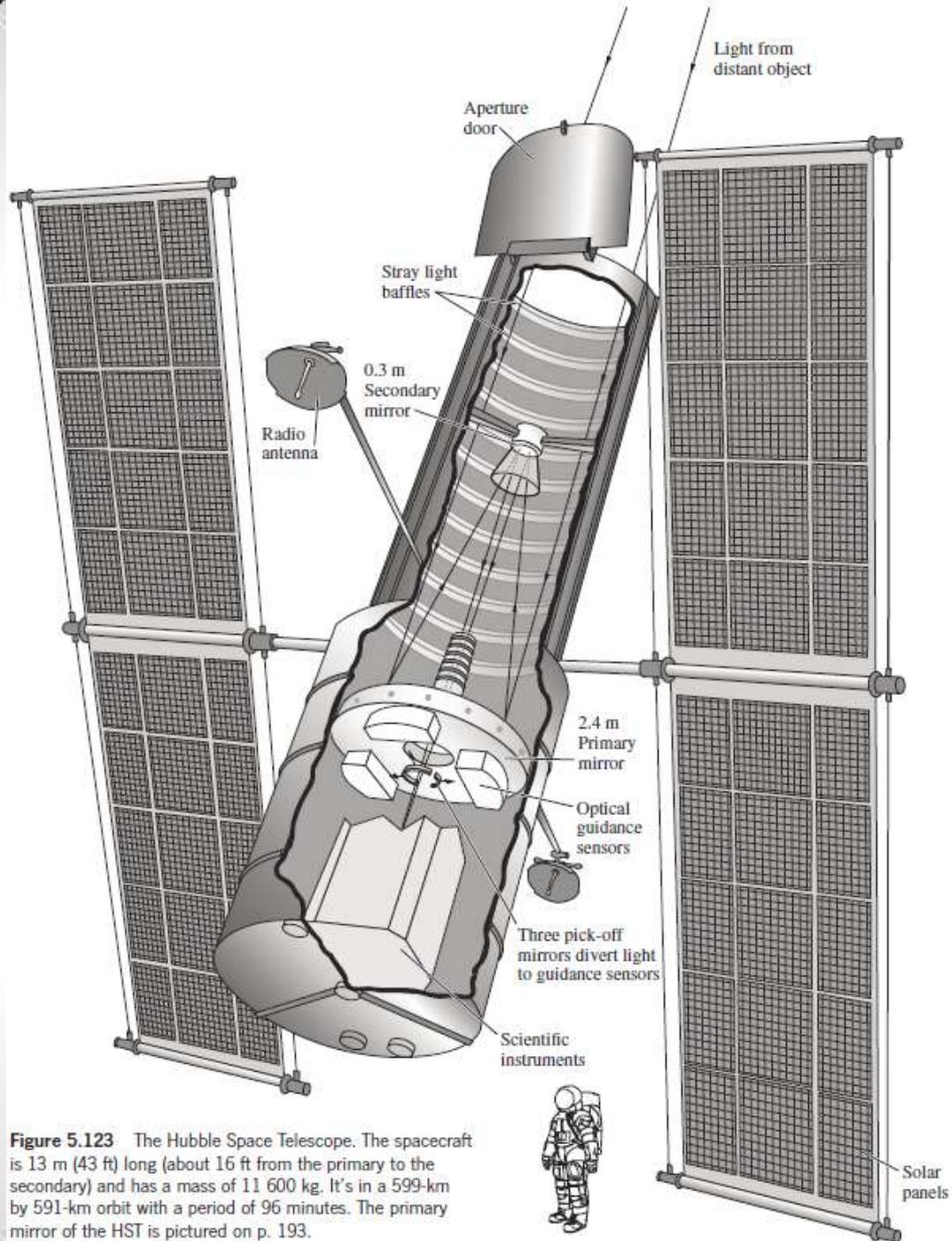


Figure 5.123 The Hubble Space Telescope. The spacecraft is 13 m (43 ft) long (about 16 ft from the primary to the secondary) and has a mass of 11 600 kg. It's in a 599-km by 591-km orbit with a period of 96 minutes. The primary mirror of the HST is pictured on p. 193.



James Webb

Concebido por la NASA hace más de 30 años como sucesor del telescopio espacial Hubble

Características principales

Altura
8 m

Espejo primario

- 18 hexágonos de berilio cubiertos con oro que le dan mucha mayor capacidad de recolección de luz

Diámetro
6,5 m

Espejo secundario

Escudo solar multicapa

- 5 capas de parasol del tamaño de una cancha de tenis bloquean la luz del Sol, la luna y la Tierra para mantenerlo a -223°C

14 m

21 m

Rástradores de estrellas

- Ayudan al telescopio a mantenerse dirigido al objetivo

Espejo secundario

Espejo primario

Estabilizador

Módulo de instrumentos científicos

Paneles solares

Escudo solar multicapa

Rástradores de estrellas

Módulo de control

- Computadora de a bordo
- Sistema de propulsión y maniobra orbital

Antena de comunicación