



Óptica

Licenciatura en Física

CURSO SEMESTRAL



Elaboracion: Dr. Juan Sumaya Martinez

Departamento de Fisica



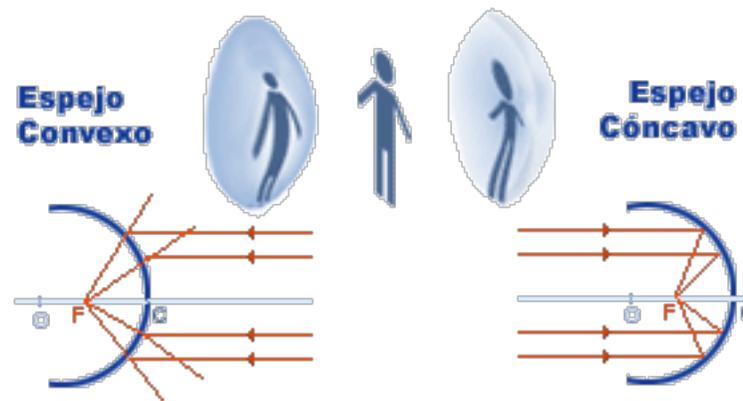
GUIÓN EXPLICATIVO: Este material está desarrollado en conformidad con los objetivos y contenidos de la unidad de aprendizaje **ÓPTICA**. En particular describe el funcionamiento de las lentes y la formación de imágenes mediante la técnica de trazado de rayos para lentes delgadas y espesor no nulo. Se deducen las fórmulas del fabricante de lentes, la fórmula gaussiana y la forma de Newton.

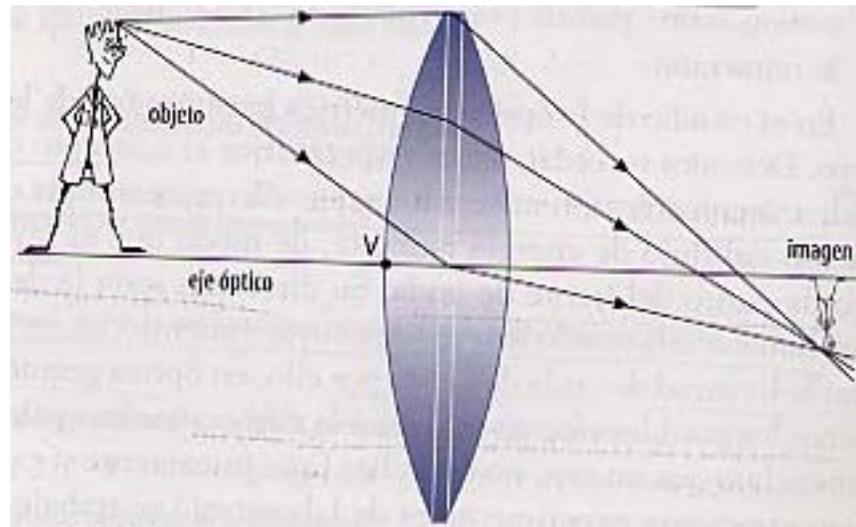
También se estudia el caso de lentes compuestas, tanto convergentes como divergentes y sus mezclas.



INTRODUCCION

Bajo el titulo de optica geometrica se incluye todo el material que se presenta en estas diapositivas que siguen la secuencias de la UA OPTICA. Sin embargo, desde hace algunos años varios investigadores del campo de la optica han propuesta que el tema de estudio aqui considerado sea llamado optica de rayos. El argumento fundamental de esta ultima propuesta es que se esta analizando el problema fisico de la refraccion o reflexion de la luz en superficies refractoras o reflectoras.





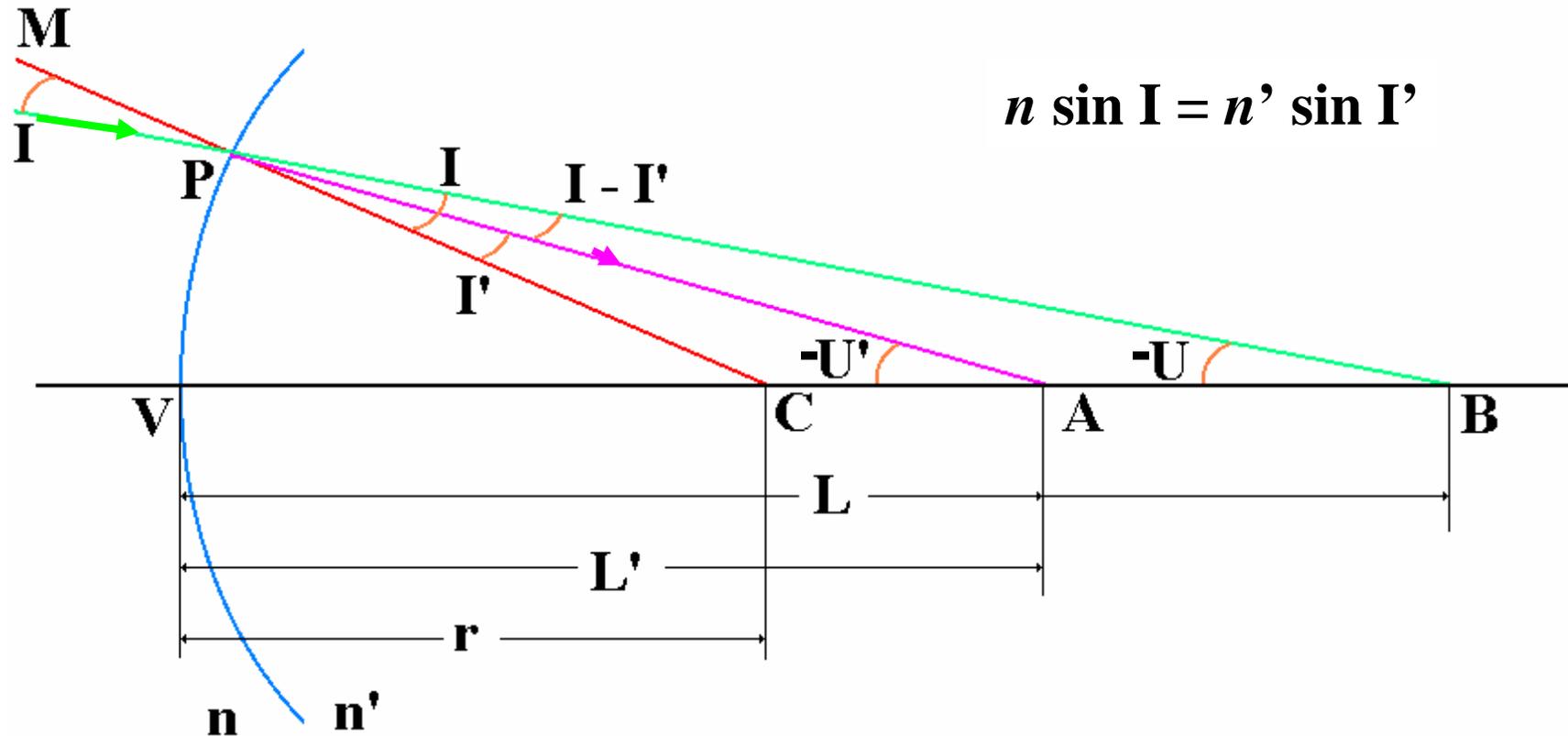
INTRODUCCION (cont.)

Ahora bien, para hacer este tipo de estudio se acepta y trabaja con el concepto de "rayo", el cual representa la dirección en la cual viaja la luz o la energía de una onda luminosa u electromagnética. Una vez aceptado el concepto de rayo se representan sus trayectorias como líneas rectas y se emplea la geometría plana para el estudio de la reflexión y refracción en superficies de formas diferentes. De allí el nombre clásico de óptica geométrica.



Trazo de rayos

Superficie esférica



C - Centro de curvatura
V - Vértice
r - Radio de curvatura
VB - Eje óptico
M - Normal en P
 (todos positivos!)

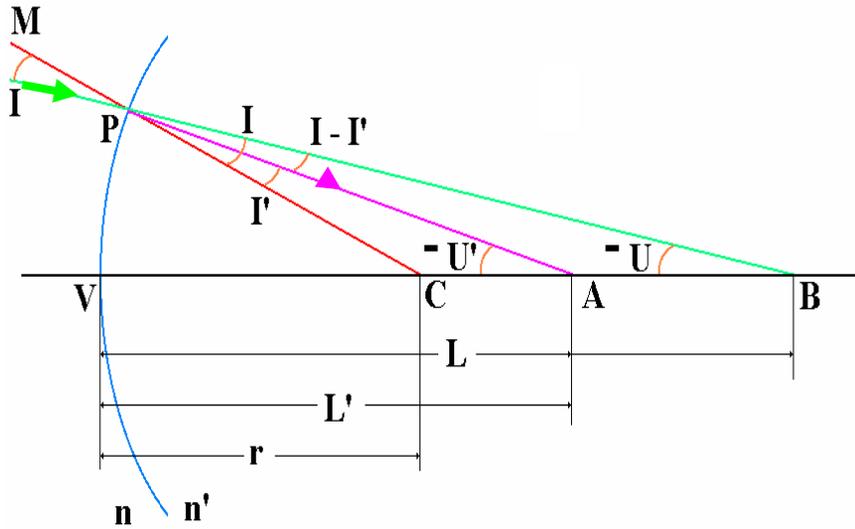
Rayo meridional (BP)
Rayo paraxial ($U \ll 1$)
Rayo oblicuo

En T. Aberraciones:
Rayo tangencial (RT)
Rayo sagital ($RS \perp RT$)



Trazo de rayos

Superficie esférica



Caso paraxial:

$$\sin I \Rightarrow i$$

$$\sin I' \Rightarrow i'$$

$$\sin U \Rightarrow u$$

$$\sin U' \Rightarrow u'$$

$$L \Rightarrow l$$

$$L' \Rightarrow l'$$

Triángulo PBC:

$$\frac{\sin I}{L-r} = -\frac{\sin U}{r}$$

Triángulo PCA:

$$\frac{\sin I'}{L'-r} = -\frac{\sin U'}{r}$$

Triángulo PAB:

$$U - I = U' - I'$$

Ley de Snell:

$$n \sin I = n' \sin I'$$

∴

$$\frac{i}{l-r} = -\frac{u}{r}$$

$$\frac{i'}{l'-r} = -\frac{u'}{r}$$

$$u - i = u' - i'$$

$$n i = n' i'$$



Trazo de rayos

Fórmula de Gauss

$$\frac{\sin I}{L-r} = -\frac{\sin U}{r} \Rightarrow \frac{L}{r} = -\frac{\sin I}{\sin U} + 1 = \frac{\sin U - \sin I}{\sin U} \quad \therefore \frac{r}{L} = 1 - \frac{\sin I}{\sin I - \sin U}$$

Multiplicando ambos lados por: $\frac{n}{r} \Rightarrow \frac{n}{L} = \frac{n}{r} - \frac{n}{r} \frac{\sin I}{\sin I - \sin U}$ (*)

Similarmente, tomando: $\frac{\sin I'}{L'-r} = -\frac{\sin U'}{r} \Rightarrow \frac{n'}{L'} = \frac{n'}{r} - \frac{n'}{r} \frac{\sin I'}{\sin I' - \sin U'}$ (**)

Restando () y (*):** $\frac{n'}{L'} - \frac{n}{L} = \frac{n'-n}{r} + \frac{n \sin I}{r} \left[\frac{1}{\sin I - \sin U} - \frac{1}{\sin I' - \sin U'} \right]$

Caso paraxial:

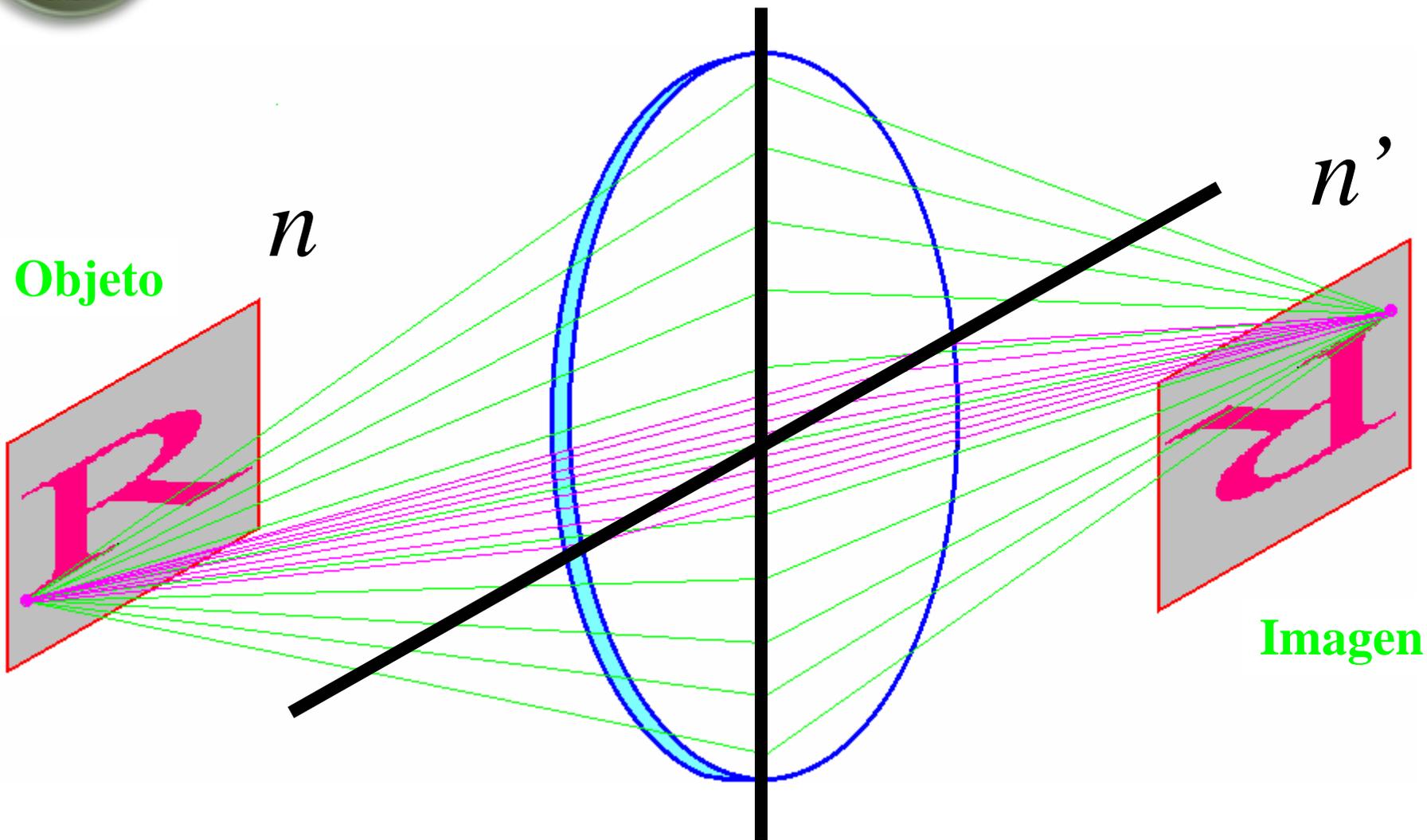
$$\frac{n'}{l'} - \frac{n}{l} = \frac{n'-n}{r}$$

Fórmula de Gauss



Formación de imágenes

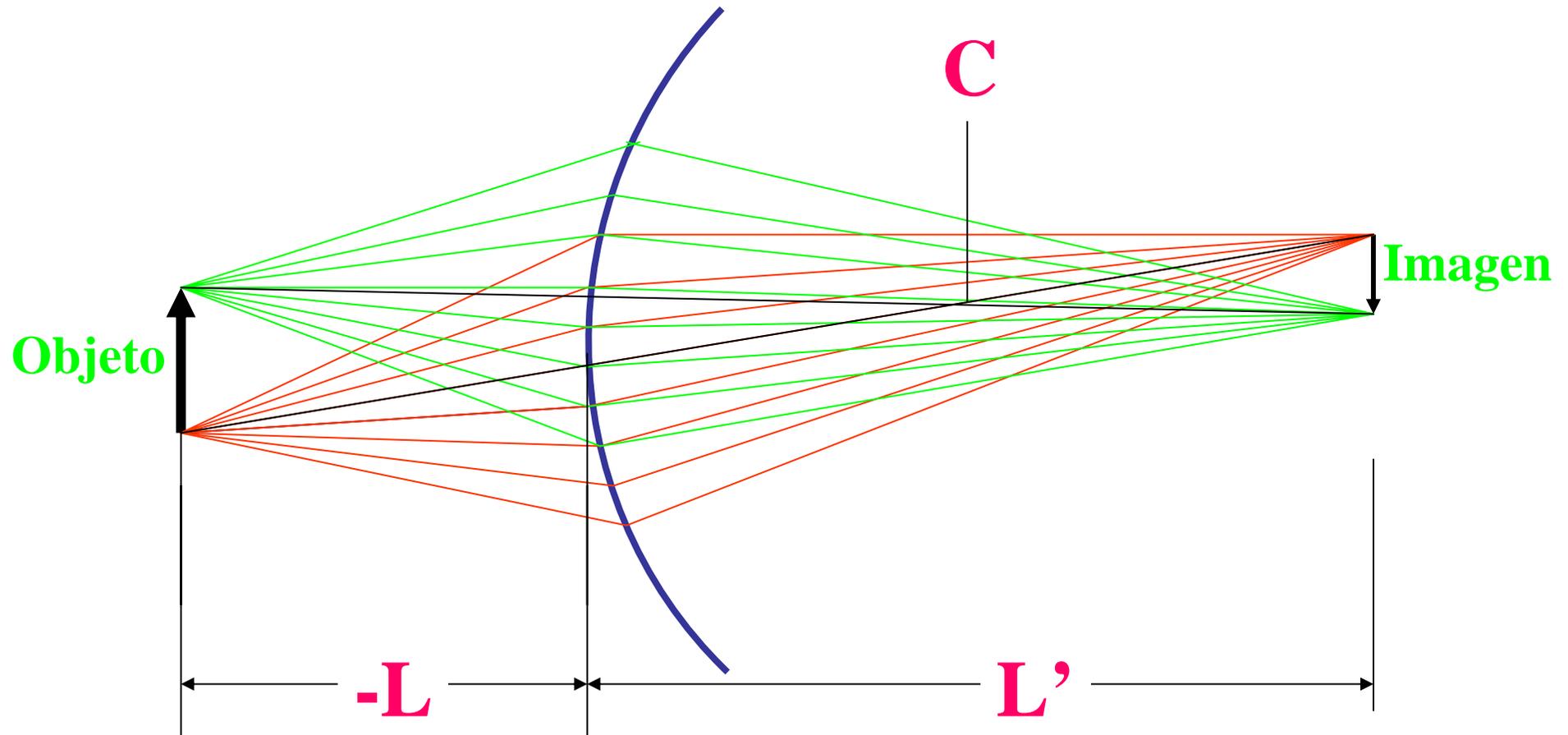
Superficie esférica





Formación de imágenes

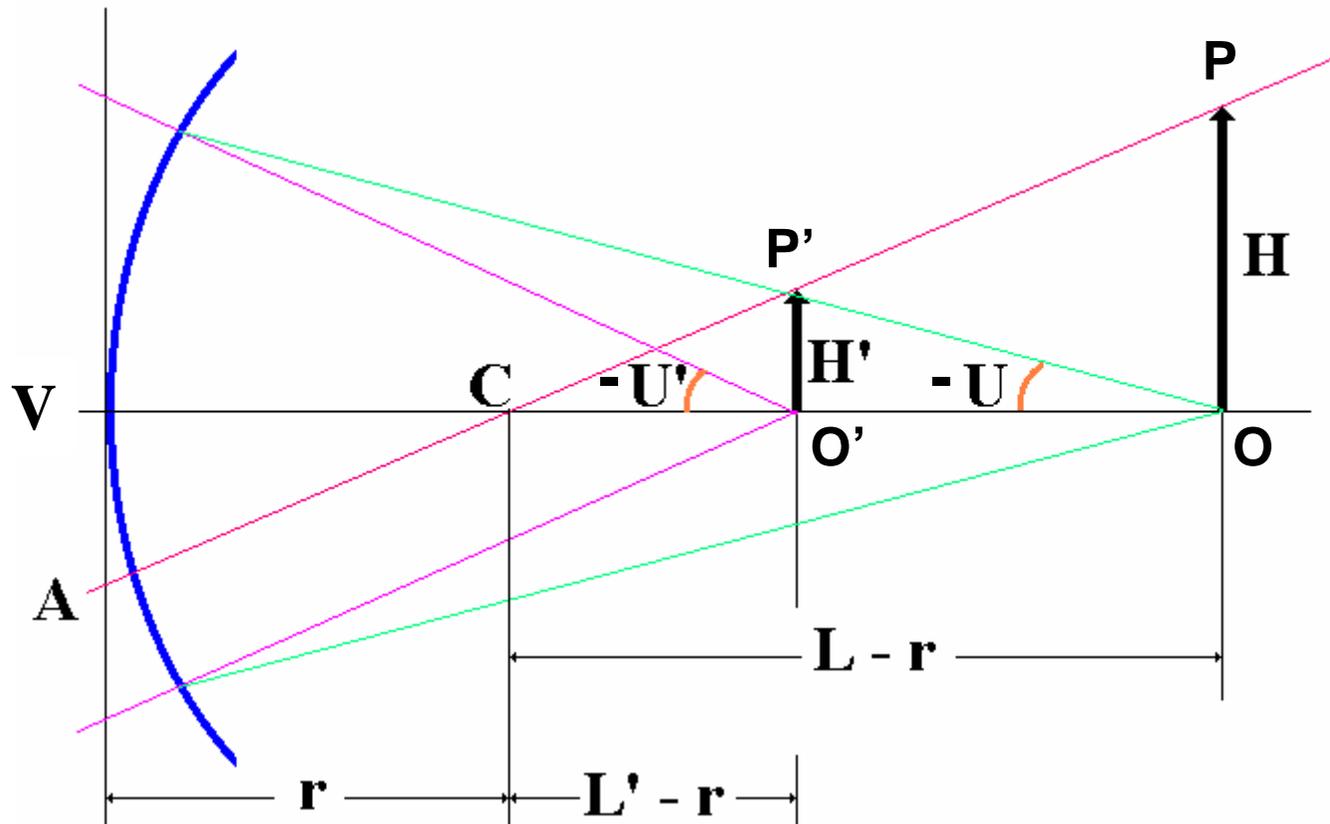
Superficie esférica





Formación de imágenes

Teoremas del seno y Lagrange



Tamaño de la imagen \approx Grado de convergencia



Formación de imágenes

Teoremas del seno y Lagrange

Por ser semejantes los Δ 's CP'O' y CPO:

$$\frac{H'}{H} = \frac{L'-r}{L-r}$$

$$\therefore nH \sin U = n' H' \sin U'$$

Teorema óptico del seno

El equivalente paraxial:

$$nhu = n' h' u'$$

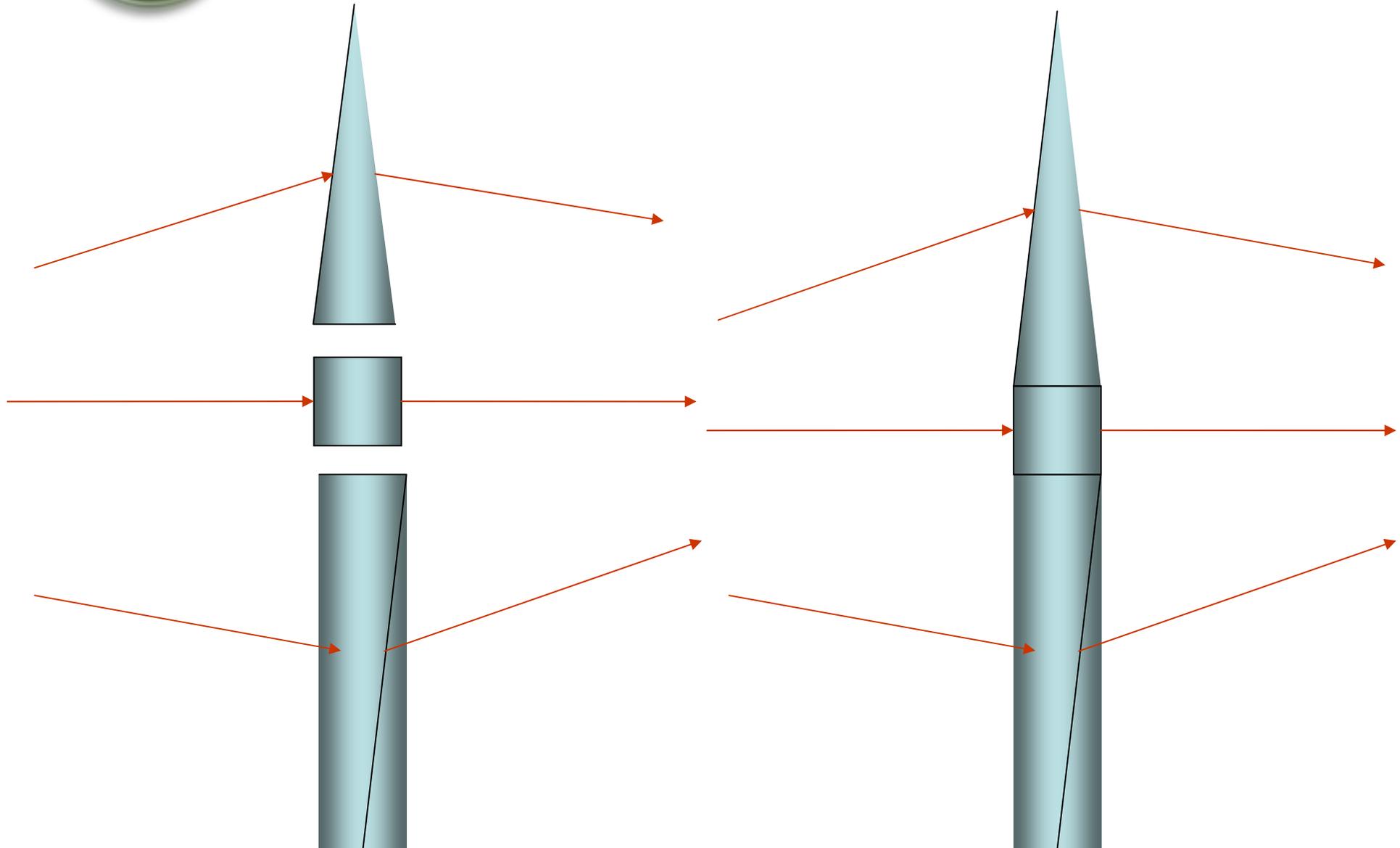
Teorema de Lagrange

Tarea # 4: Demuestre que la amplificación longitudinal, m_l , esta dada por $m_l = (n'/n) m^2$, donde m es la amplificación lateral



Lentes delgadas

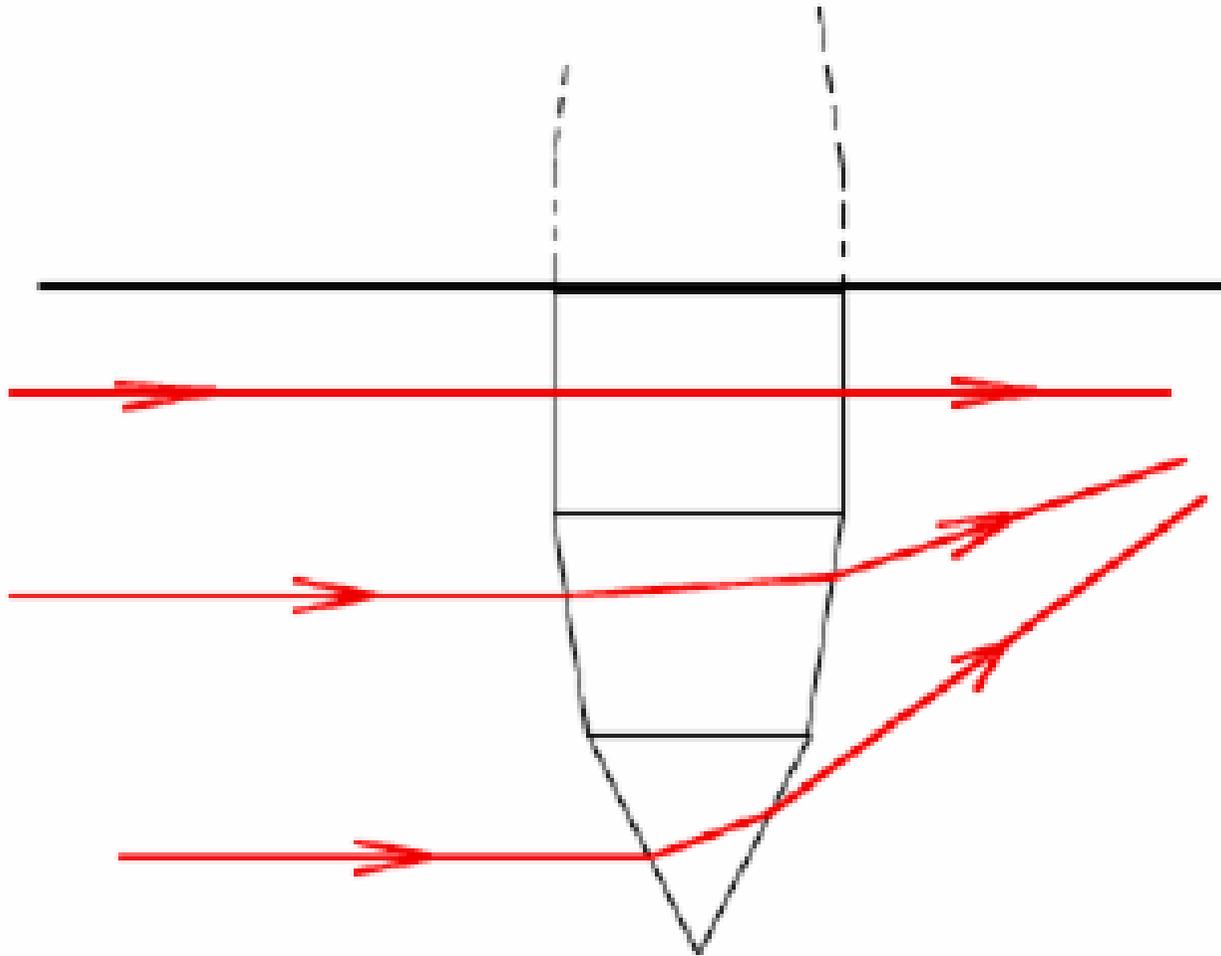
Construcción de una lente





Lentes delgadas

Construcción de una lente



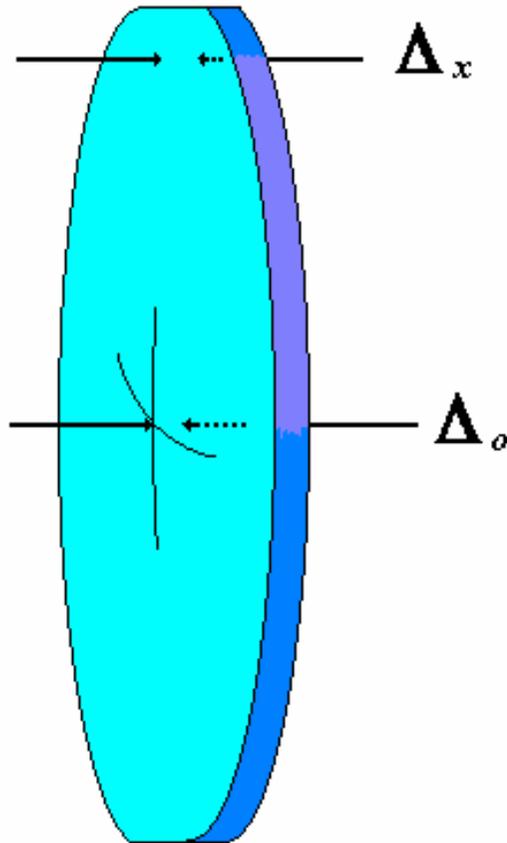


Lente delgada

Tipos de lentes

Si $\Delta_x < \Delta_o \quad \therefore \textit{positiva o convexa}$

Si $\Delta_x > \Delta_o \quad \therefore \textit{negativa o cóncava}$



**Bi-
Plano-
Menisco-**

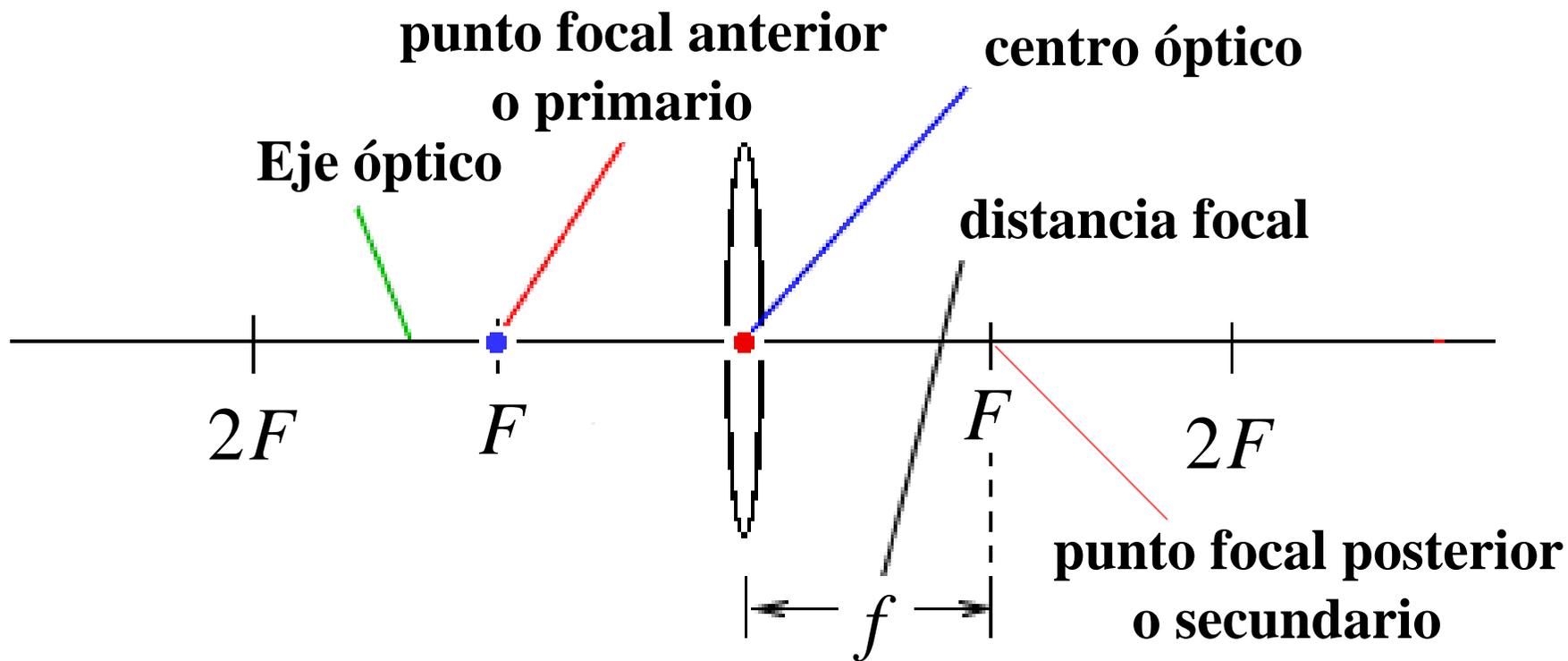
Cóncava

Convexa



Lentes delgadas

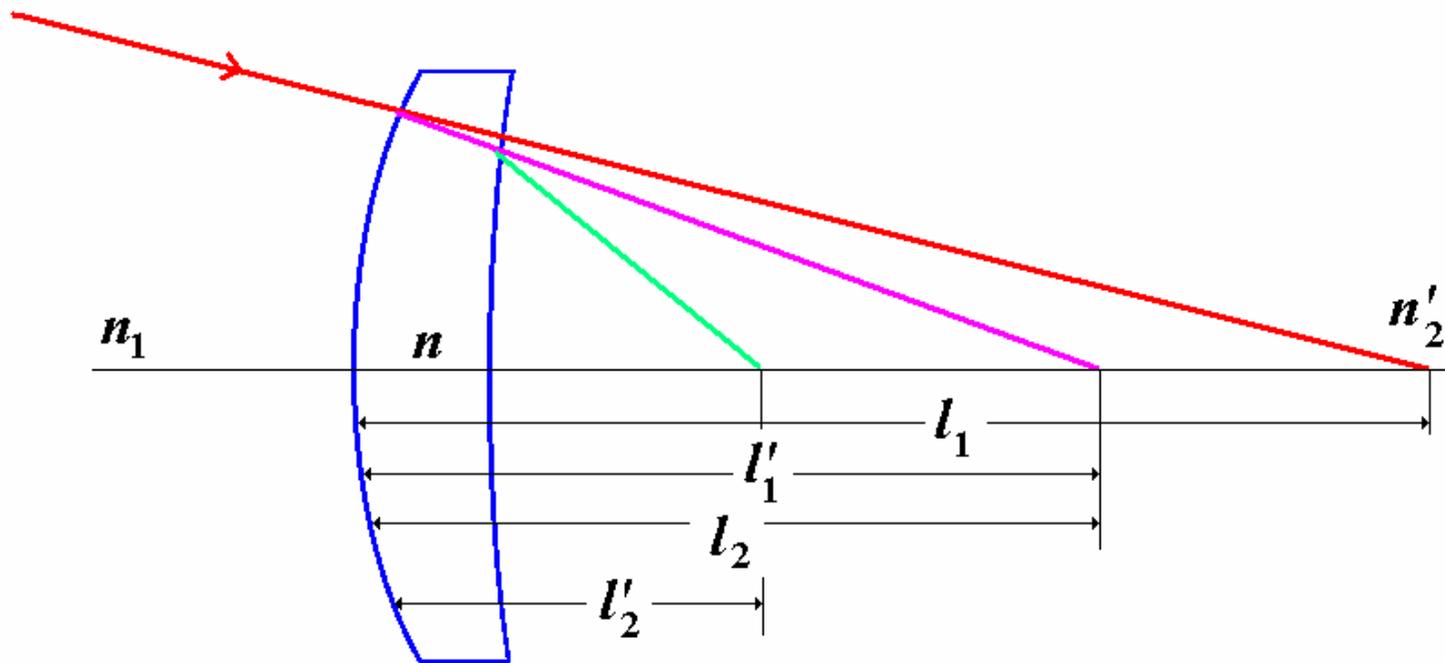
Parámetros principales





Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas



Para la primera superficie:

$$\frac{n'_1}{l'_1} - \frac{n_1}{l_1} = \frac{n'_1 - n_1}{r_1}$$

Si $n'_1 = n_2 = n$

Para la segunda superficie:

$$\frac{n'_2}{l'_2} - \frac{n_2}{l_2} = \frac{n'_2 - n_2}{r_2}$$

y $l_2 = l'_1 \dots$



Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas

Si $n'_1 = n_2 = n$ y $l_2 = l'_1$

$$\therefore \frac{n}{l_2} - \frac{n_1}{l_1} = \frac{n - n_1}{r_1} \quad \text{y} \quad \frac{n'_2}{l'_2} - \frac{n}{l_2} = \frac{n'_2 - n}{r_2}$$

Sumando miembro a miembro:

$$\frac{n'_2}{l'_2} - \frac{n_1}{l_1} = \frac{n'_2 - n}{r_2} + \frac{n - n_1}{r_1}$$

Distancia imagen (pointing to l'_2)

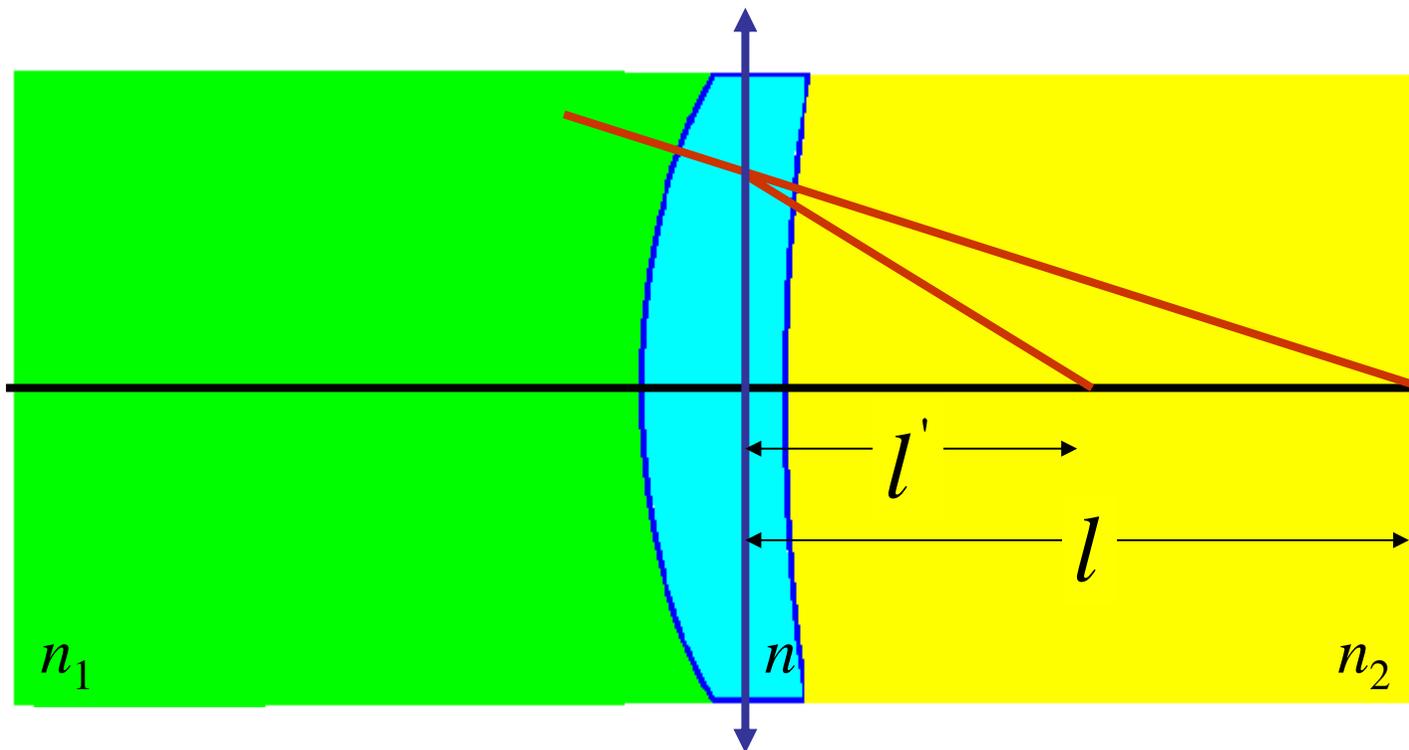
Distancia objeto (pointing to l_1)

Constante (pointing to the right-hand side of the equation)



Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas



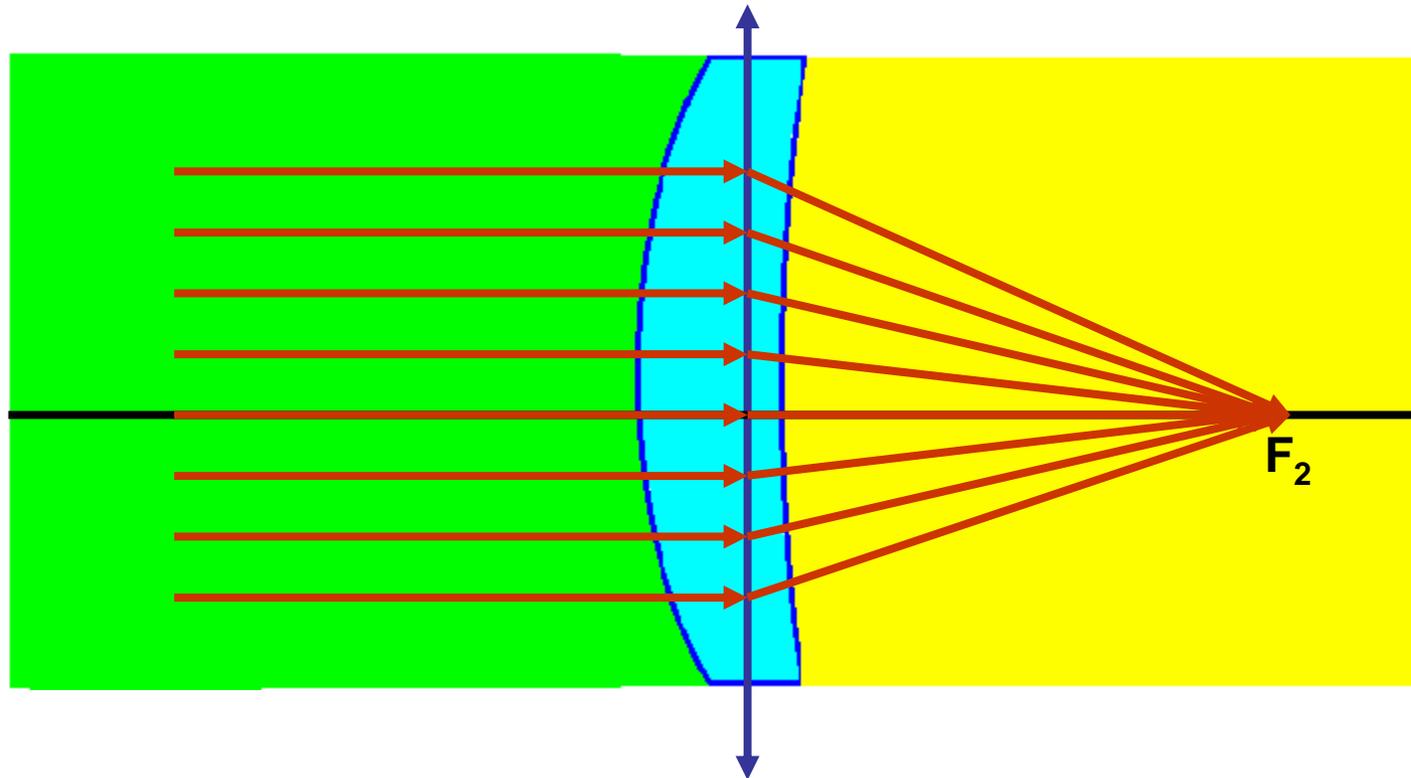
Así la última ecuación se puede escribir como:

$$\frac{n_2}{l'} - \frac{n_1}{l} = \frac{n_2 - n}{r_2} + \frac{n - n_1}{r_1}$$



Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas



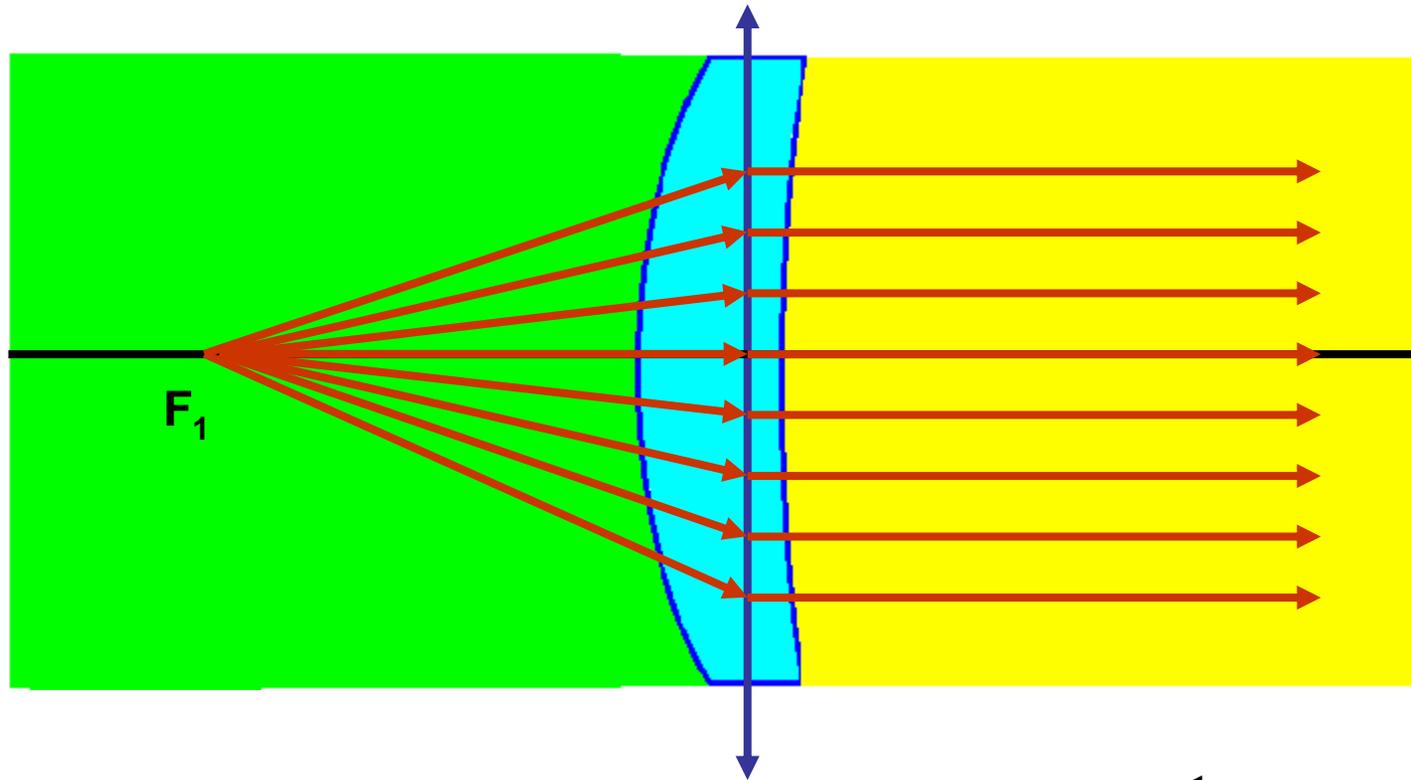
En este caso: $l \rightarrow \infty$ y $l' \rightarrow f_2$

$$\Rightarrow \therefore \frac{1}{f_2} = \frac{n - n_1}{n_2 r_1} + \frac{n_2 - n}{n_2 r_2}$$

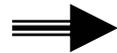


Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas



Principio de reversibilidad: $l' \rightarrow \infty$ y $l \rightarrow f_1$ $\therefore \frac{1}{f_1} = \frac{n - n_1}{n_1 r_1} + \frac{n_2 - n}{n_1 r_2}$



$$\frac{n_2}{f_2} = \frac{n_1}{f_1}$$



Lente delgada

Fórmula de lentes delgadas

Si $n_1 = n_2 = 1$, por tanto $f_2 = f_1 = f$

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

Ecuación del fabricante de lentes.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{l} + \frac{1}{l'}$$

Ecuación de Gauss para la formación de imágenes.

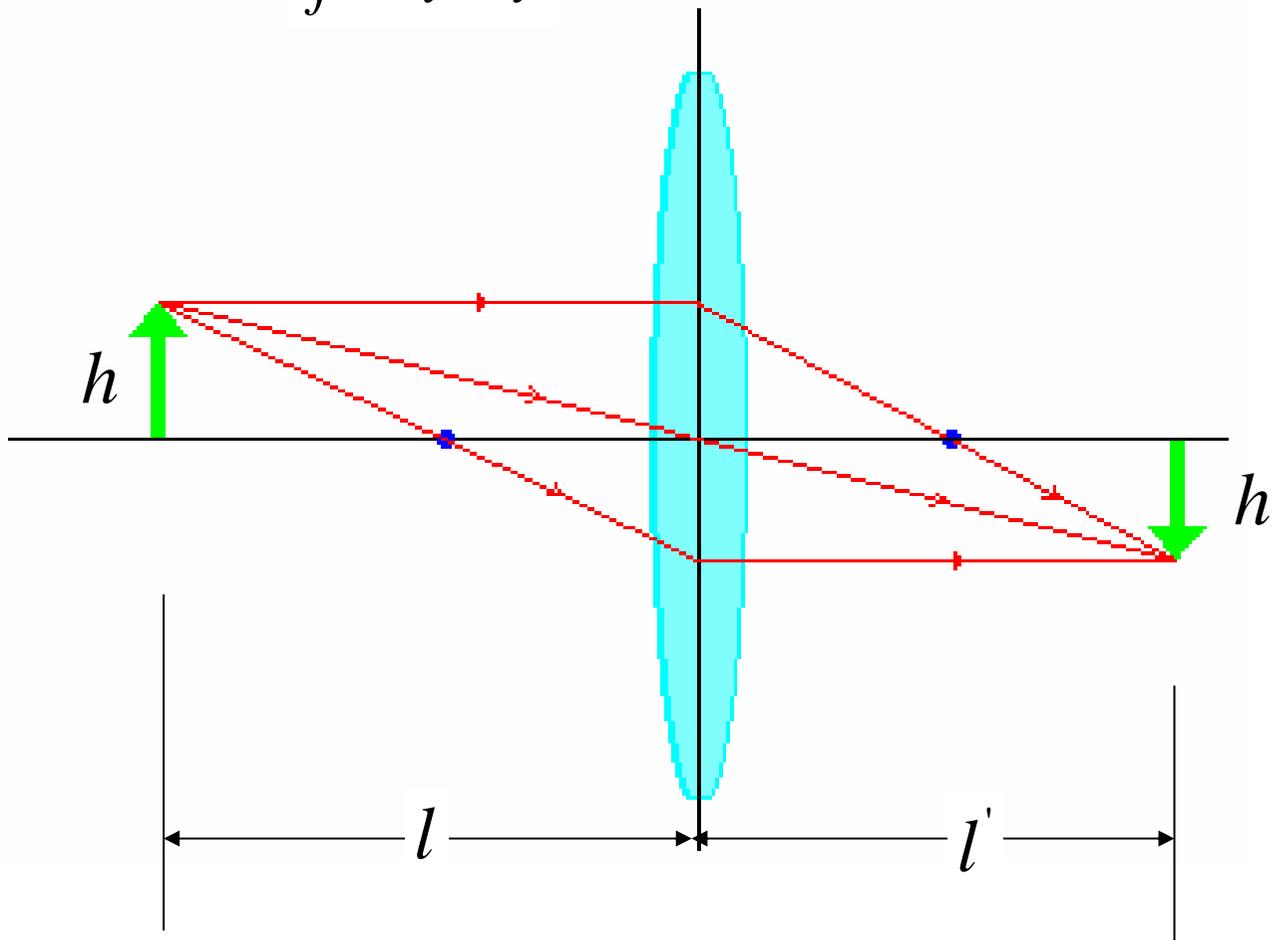


Formación de imágenes

Lentes delgadas

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{l} + \frac{1}{l'}$$

si $l \rightarrow \infty$, $\therefore l' = f$



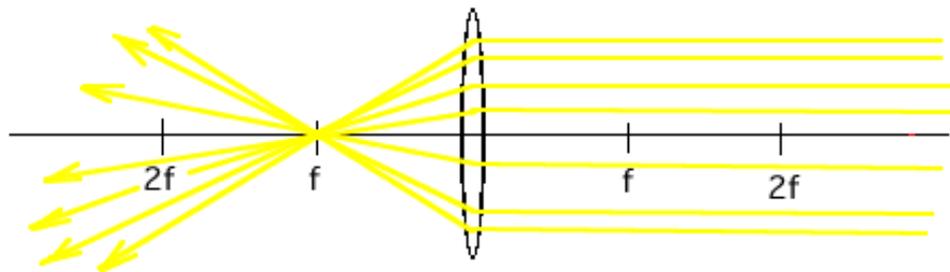


Formación de imágenes

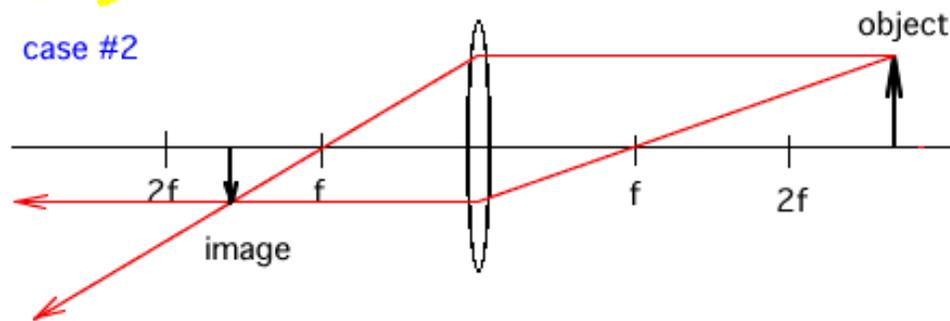
Trazo de rayos. Casos comunes

CASE #1 object near infinity
(our sun)

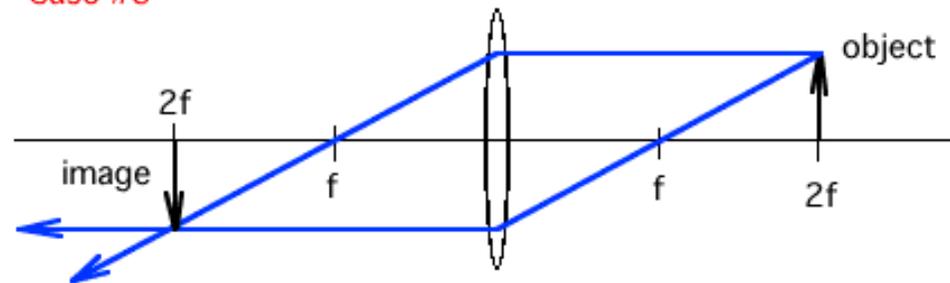
rays from sun are parallel



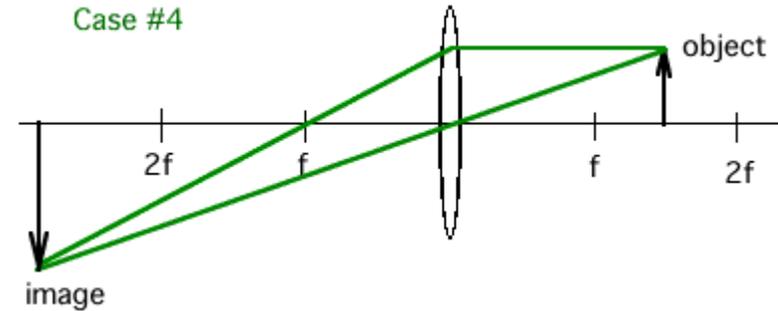
case #2



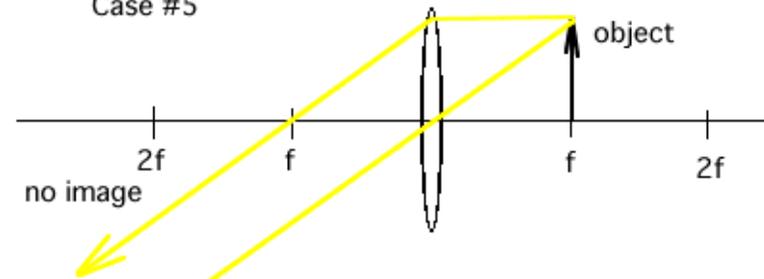
Case #3



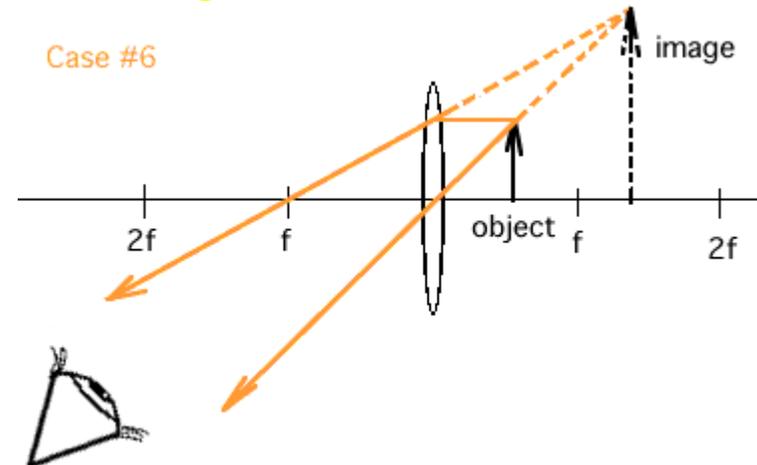
Case #4



Case #5



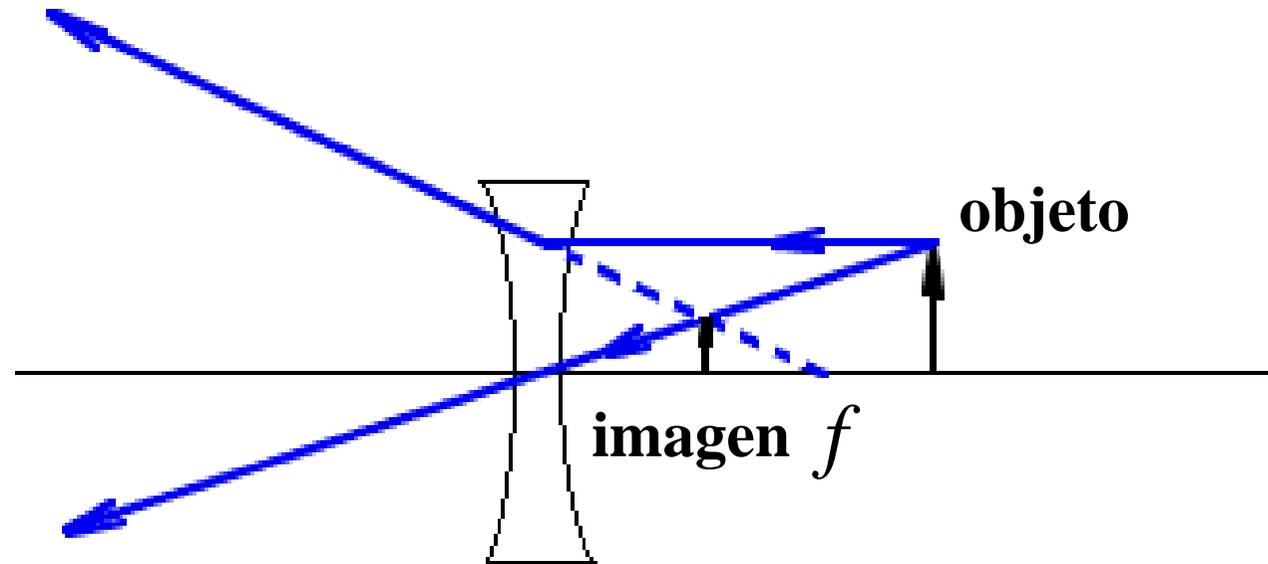
Case #6





Formación de imágenes

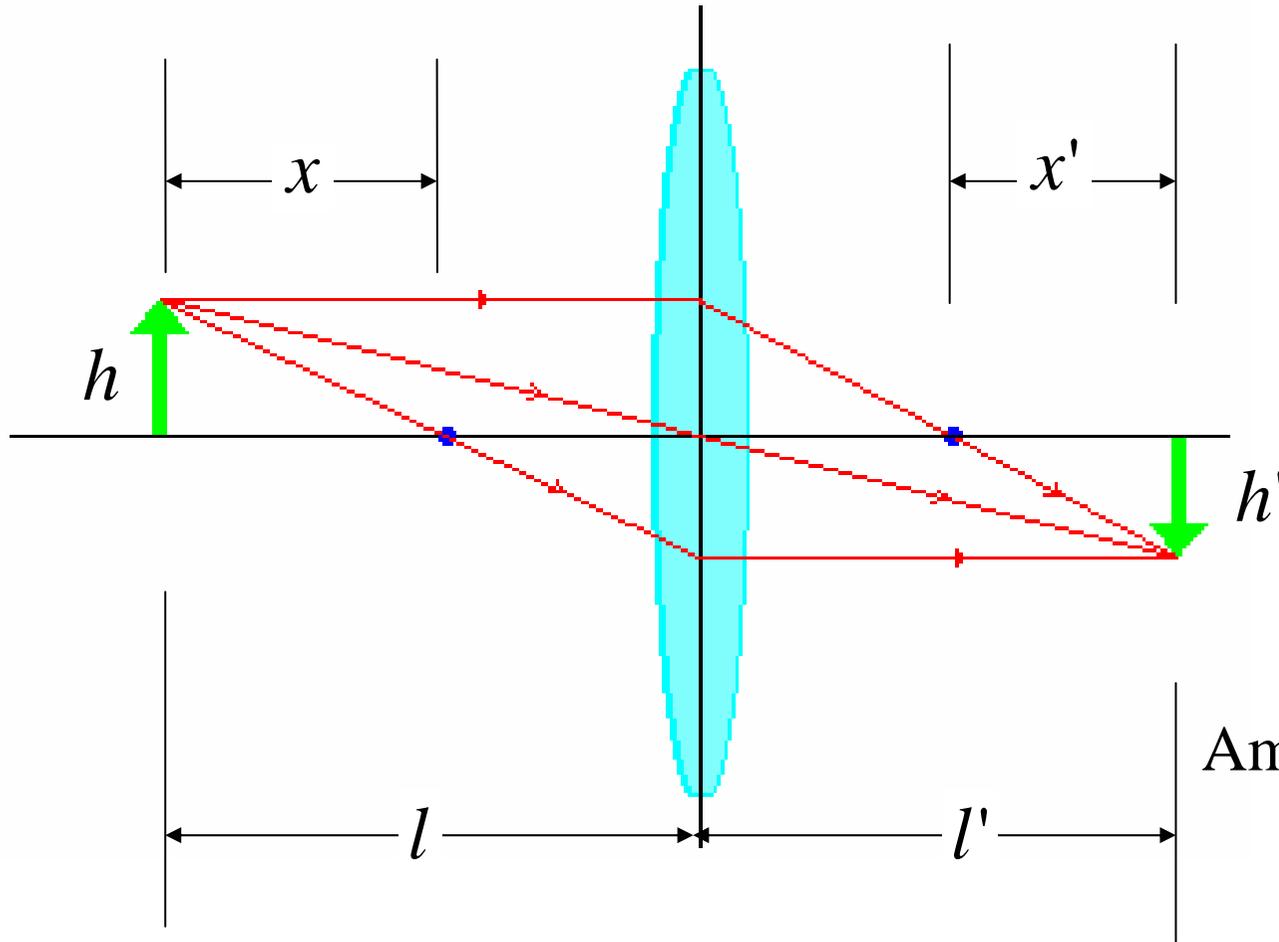
Trazo de rayos. Lente divergente





Formación de imágenes

Ecuación de Newton



Ecuación de Gauss:

$$\frac{1}{l} + \frac{1}{l'} = \frac{1}{f}$$

Forma de Newton:

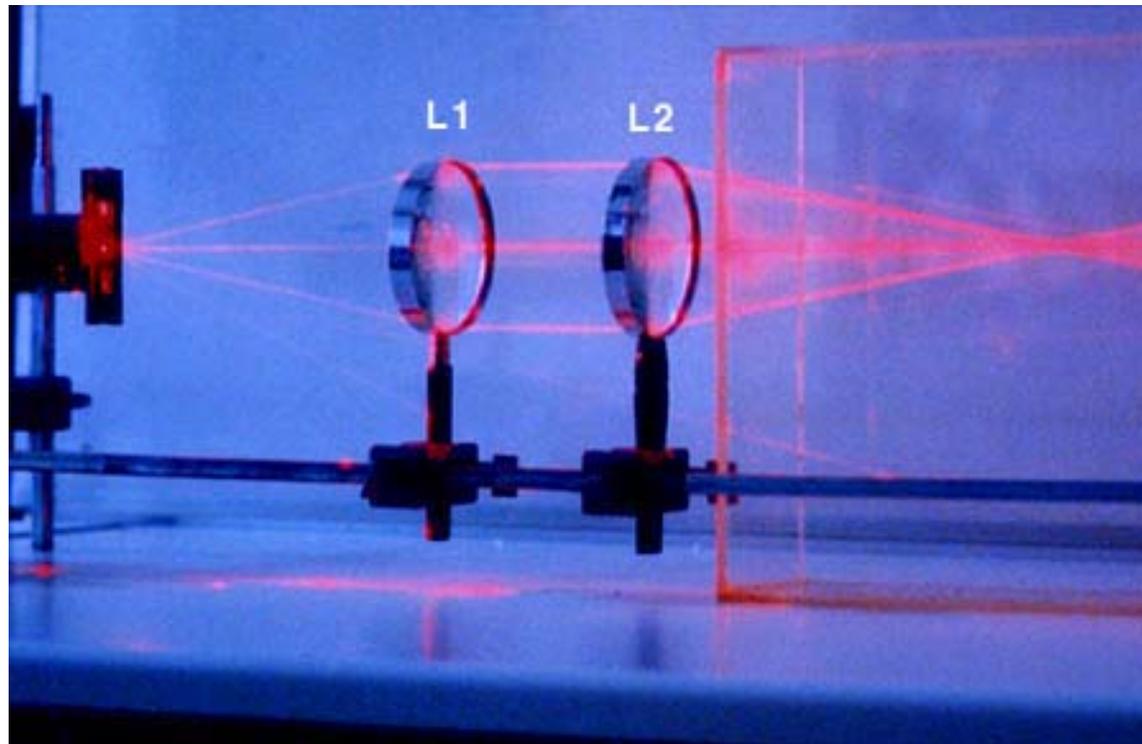
$$f^2 = xx'$$

Amplificación transversal:

$$m = \frac{l'}{-l} = \frac{h'}{h}$$

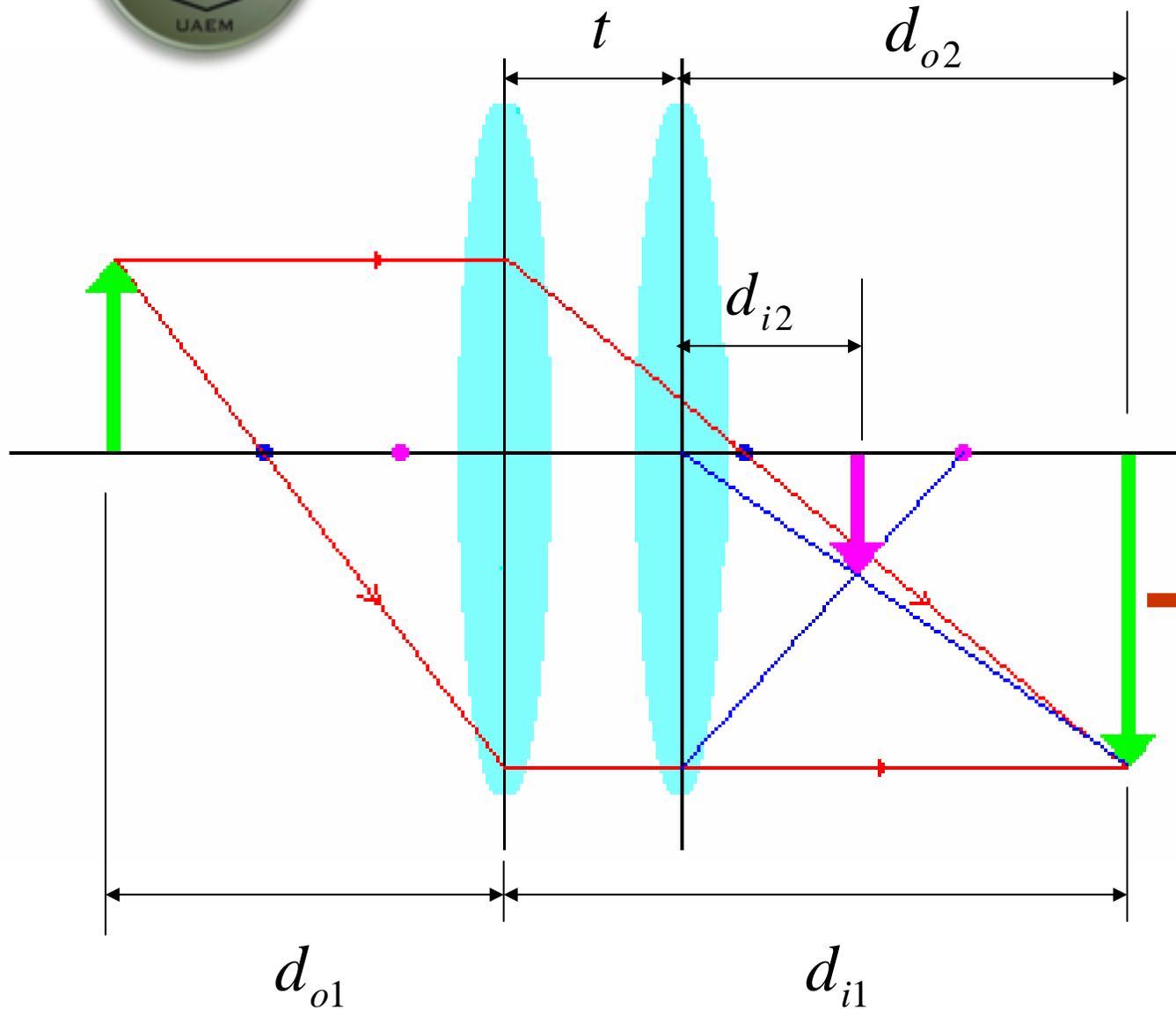


Combinación de lentes delgadas





Combinación de lentes delgadas



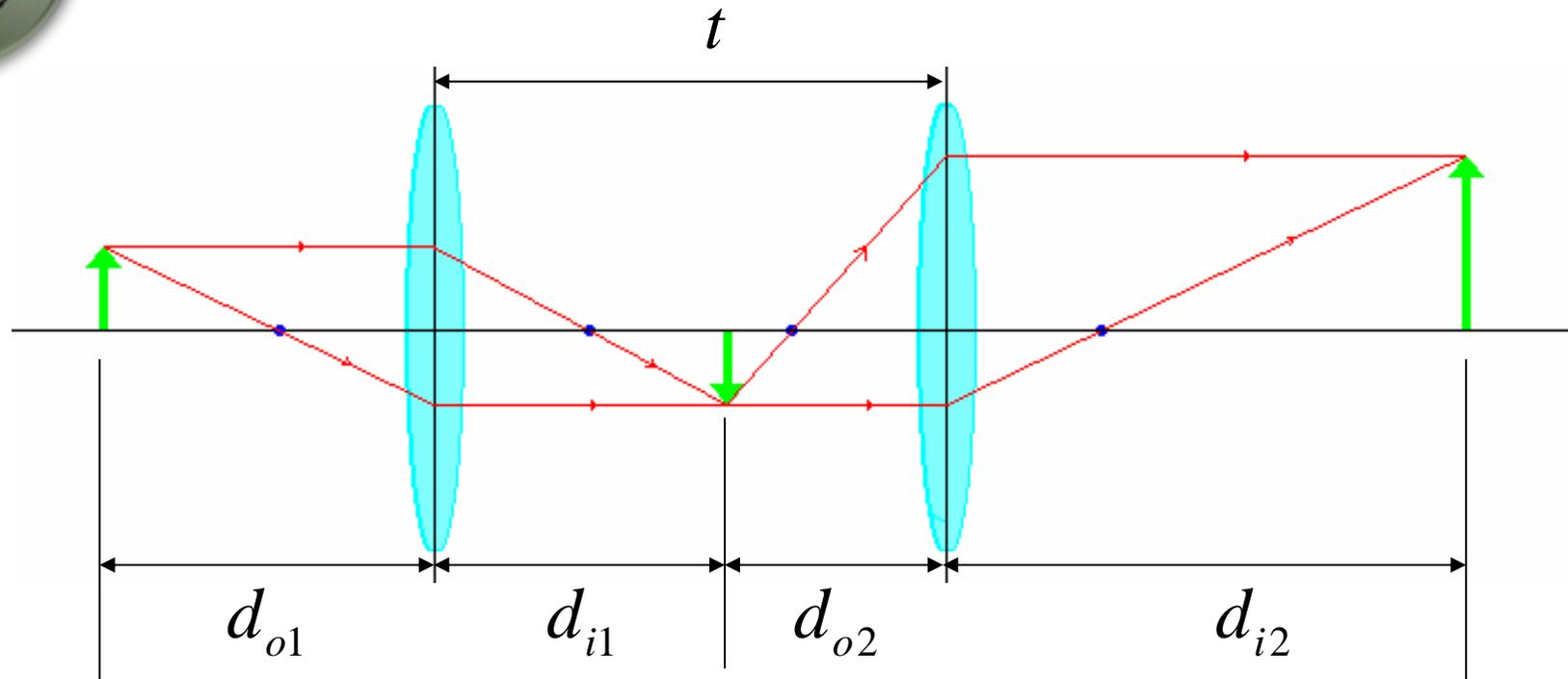
$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1}$$

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

$$d_{o2} = d_{i1} - t$$



Combinación de lentes delgadas



$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i1}} = \frac{1}{f_1}$$



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

Caso:

$$\frac{1}{d_{o2}} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2}$$



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

$$t = d_{i1} + d_{o2}$$



Combinación de lentes delgadas

$$t = d_{i1} + d_{o2} \rightarrow t = \frac{d_{o1}f_1}{d_{o1} - f_1} + \frac{d_{i2}f_2}{d_{i2} - f_2}, \quad \frac{d_{i2}f_2}{d_{i2} - f_2} = t - \frac{d_{o1}f_1}{d_{o1} - f_1}$$

$$\frac{1}{f_2} - \frac{1}{d_{i2}} = \frac{t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1}{d_{o1} - f_1}, \quad \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_2} - \frac{d_{o1} - f_1}{t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1}$$

$$\frac{1}{d_{i2}} = \frac{t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1 - f_2(d_{o1} - f_1)}{f_2[t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1]}$$

$$d_{i2} = \frac{f_2[t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1]}{t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1 - f_2(d_{o1} - f_1)}$$



Combinación de lentes delgadas

$$d_{i2} = \frac{f_2 [t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1]}{t(d_{o1} - f_1) - d_{o1}f_1 - f_2(d_{o1} - f_1)}$$

Análisis:

Si $d_{o1} = f_1$



$$d_{i2} = f_2$$

Si $t = 0$



$$\therefore t = \frac{d_{o1}f_1}{d_{o1} - f_1} + \frac{d_{i2}f_2}{d_{i2} - f_2} = 0$$

$$\frac{1}{d_{o1}} + \frac{1}{d_{i2}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

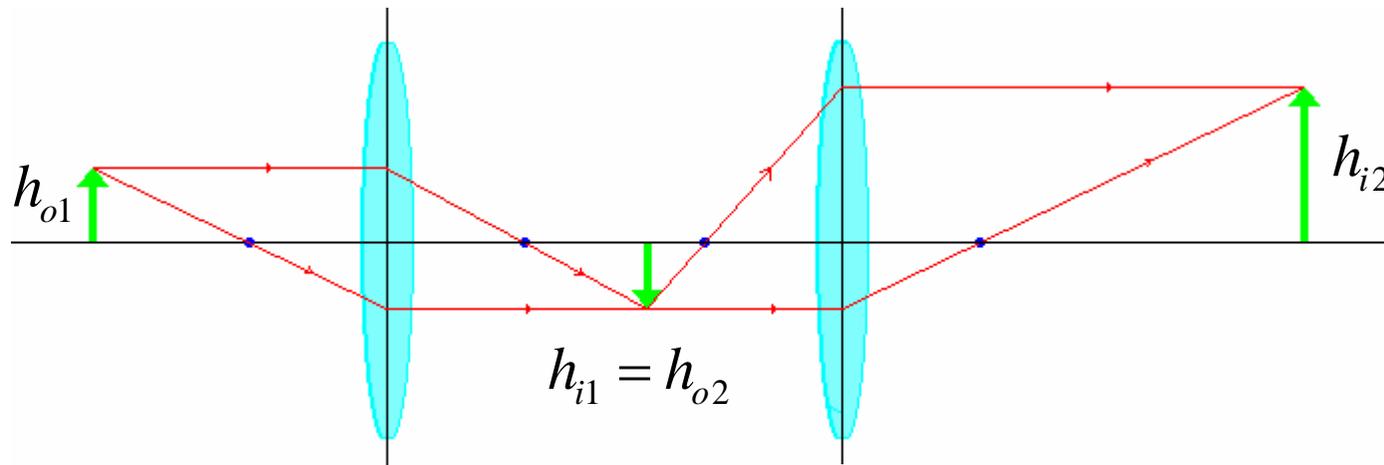


$$\frac{1}{f_e} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$



Combinación de lentes delgadas

Análisis: Amplificación



$$m_1 = \frac{h_{i1}}{h_{o1}}$$

$$m_2 = \frac{h_{i2}}{h_{o2}}$$

$$m_1 m_2 = ?$$

$$m_1 m_2 = \frac{h_{i1} h_{i2}}{h_{o1} h_{o2}} = \frac{h_{i2}}{h_{o2}} \equiv m$$

Entonces para n lentes:

$$m = m_1 m_2 m_3 \dots m_n$$



REFERENCIAS:

1. Hetch E., *Optica. Teoria y problemas resueltos. Serie Schaum*, Mc Graw-Hill, 2001.
2. Belendez Vazquez A. *Fundamentos de optica para ingenieria informatica*, Universidad de Alicante, 1996.
3. Hecht E. *Óptica*, Addison Wesley Iberoamericana 2003.
4. Shepeliiov A.V. *Óptica (Serie: Lo que no se puede olvidar)*. Ed. URSS, 2002.