



ce
pre
UNI

Física

CICLO
PREUNIVERSITARIO
2023-1





ce
pre
UNI

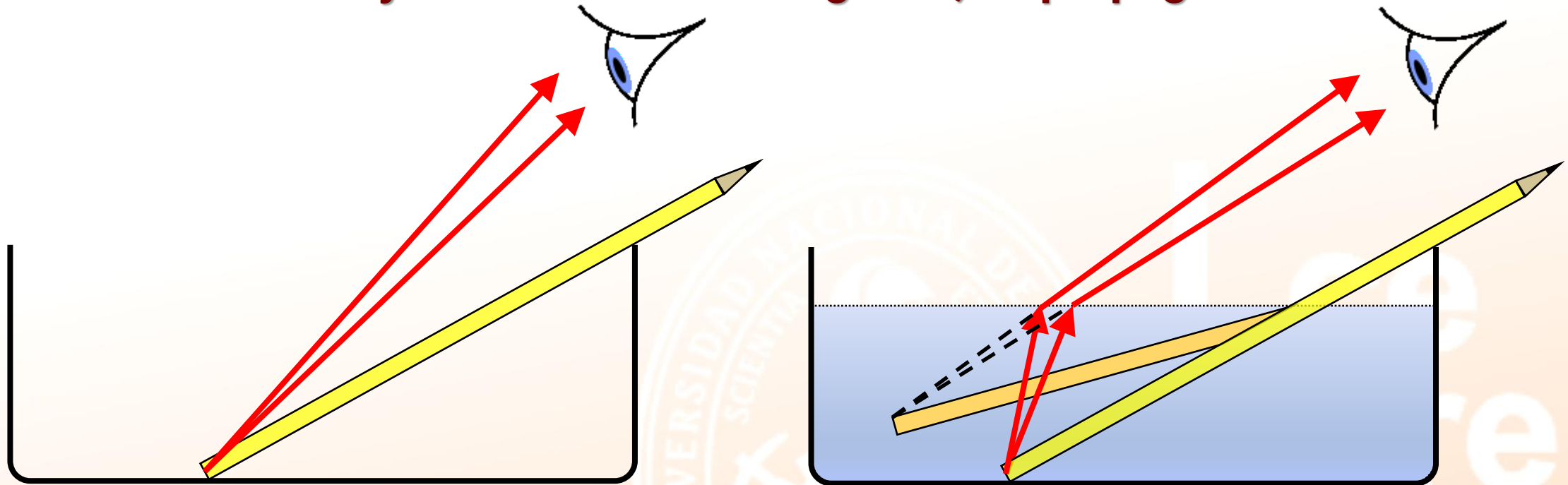
Física

ÓPTICA GEOMÉTRICA

ce
pre
UNI

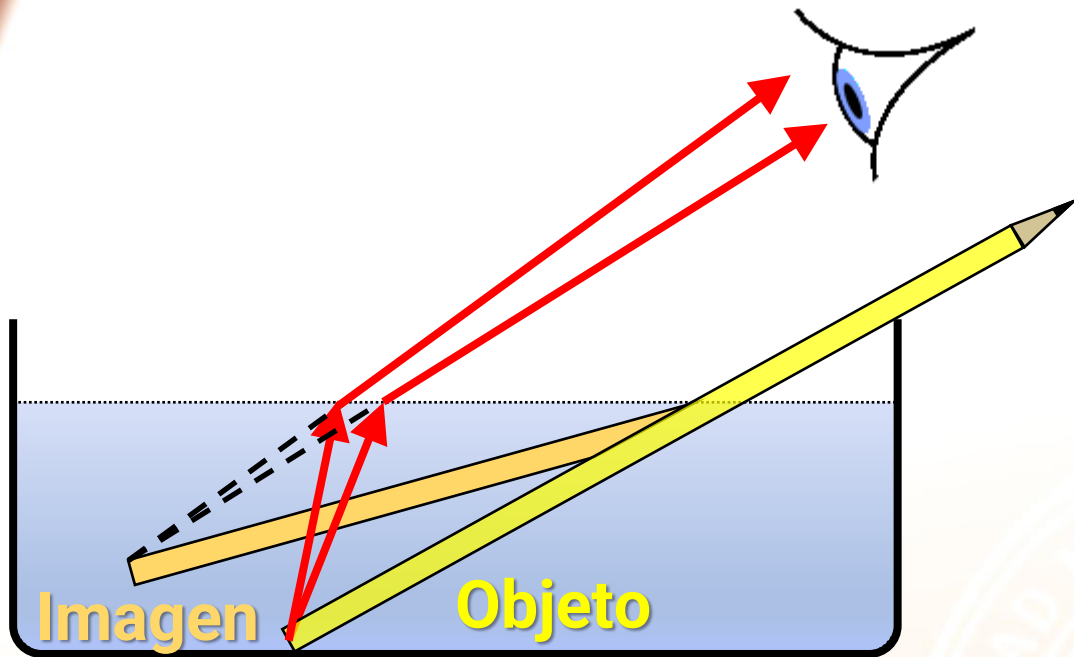
ELEMENTOS ÓPTICOS

Cuando la luz viaja en un medio homogéneo, se propaga en línea recta.



Para un observador en un medio homogéneo, los rayos provienen de una fuente, desde donde los rayos viajan en línea recta hacia él.

Esta fuente, en algunos casos, podría ser aparente.



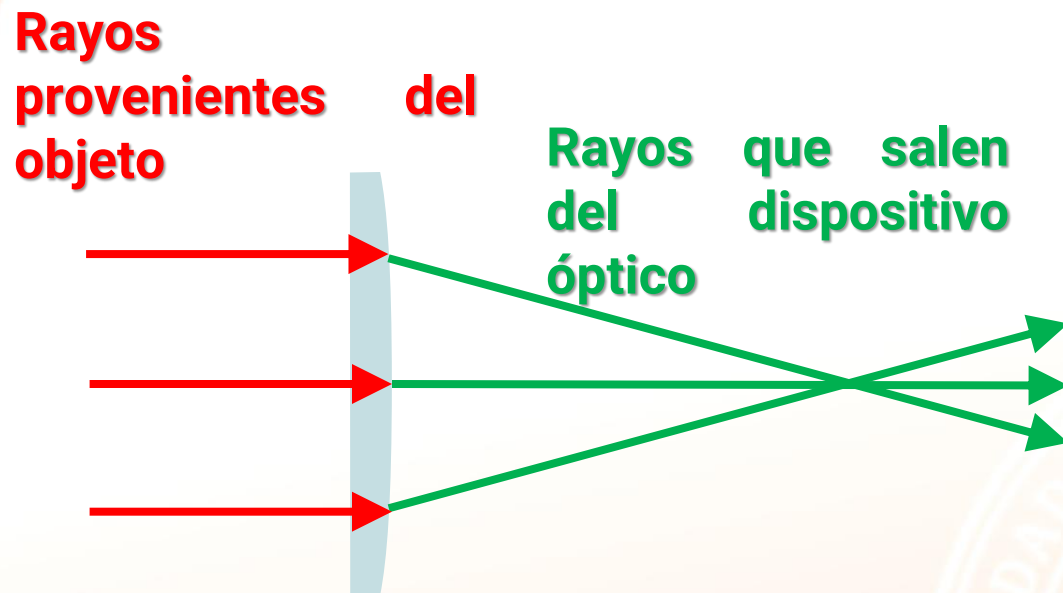
Se denomina **objeto**, al cuerpo de donde proviene la luz, ya sea propia o retransmitida de otra fuente.

Se denomina **imagen**, a la fuente aparente de la luz que llega al observador.

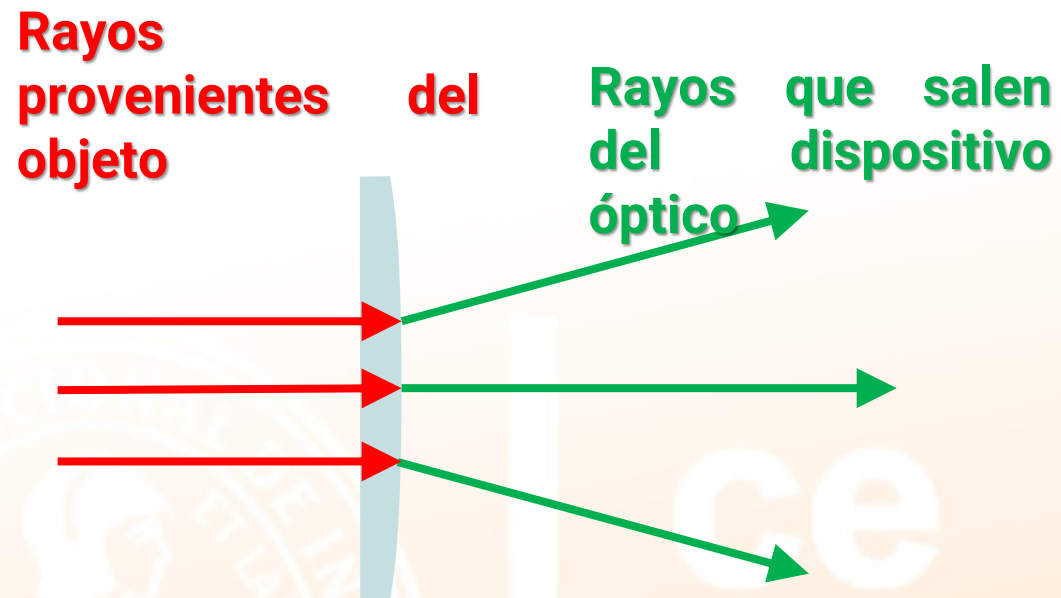
La luz proveniente del objeto, puede reflejarse o refractarse sobre un cuerpo antes de llegar al observador. A este cuerpo se denomina dispositivo óptico.

Si el **dispositivo óptico** refleja mayormente la luz , se le llama **espejo**.

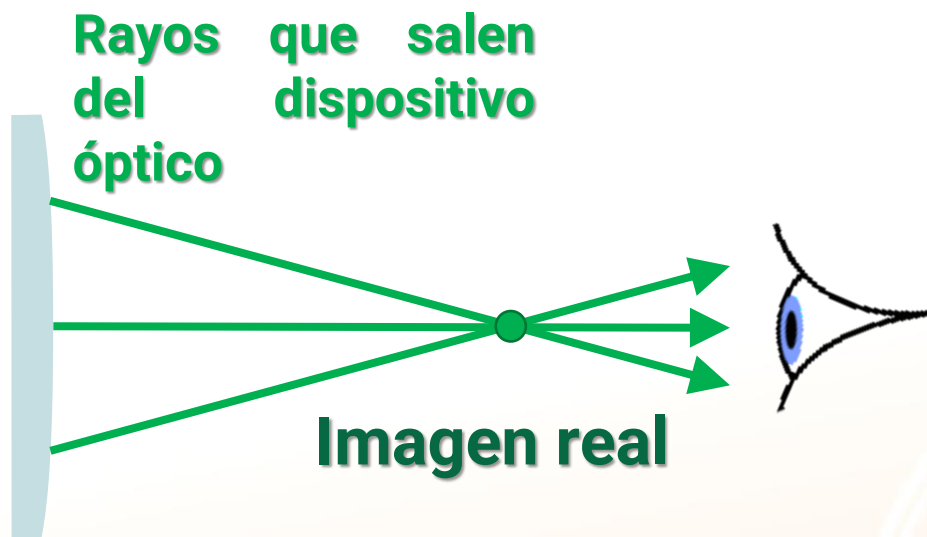
Si el **dispositivo óptico** refracta mayormente la luz, se le llama **lente**.



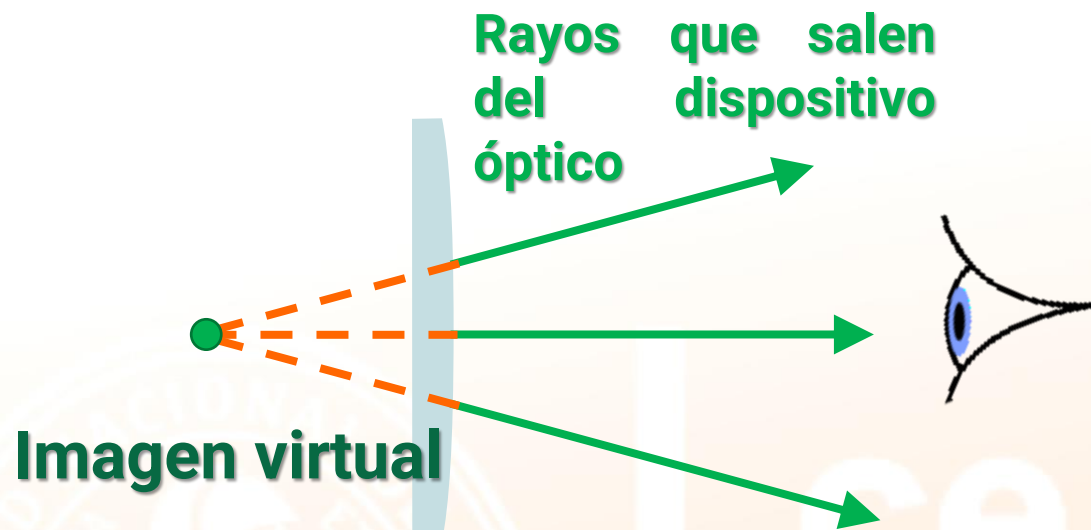
Si los rayos provenientes del objeto inciden paralelamente sobre el dispositivo y estos al salir se interceptan en un punto del espacio, al dispositivo se denomina convergente.



Si los rayos provenientes del objeto inciden paralelamente sobre el dispositivo y estos al salir se alejan entre sí, al dispositivo se denomina divergente.



Los rayos que salen del dispositivo convergen. Dicho punto de convergencia, para el observador, es la fuente aparente de esos rayos. Dicho punto se llama imagen real



Los rayos que salen del dispositivo divergen. El punto de cruce de las prolongaciones, para el observador, es la fuente aparente de todos esos rayos. Dicho punto se llama imagen virtual



Las posiciones para puntos en la zona virtual sobre el eje óptico se denotarán como el negativo de la distancia de dicho punto al dispositivo.

Las posiciones para puntos en la zona real sobre el eje óptico se denotarán como la distancia de dicho punto al dispositivo.

La única posición que siempre será positiva es la del objeto al dispositivo, la cual se simboliza como p .

La posición de la imagen al dispositivo se simboliza como q .

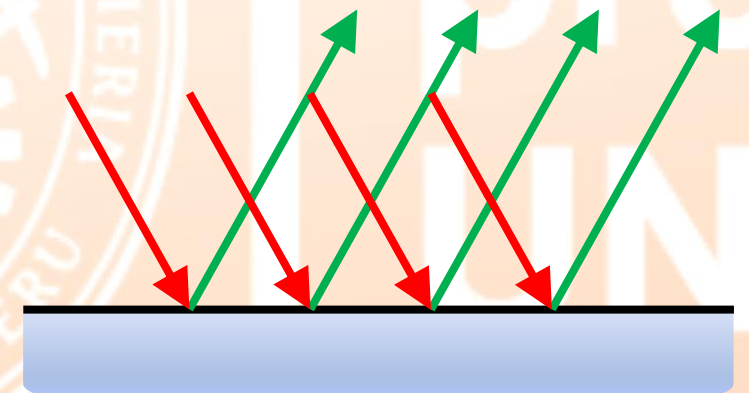
ESPEJOS

Los espejos son cuerpos que reflejan casi toda la luz que incide sobre su superficie, debido a este fenómeno podemos observar nuestra imagen en ellos.

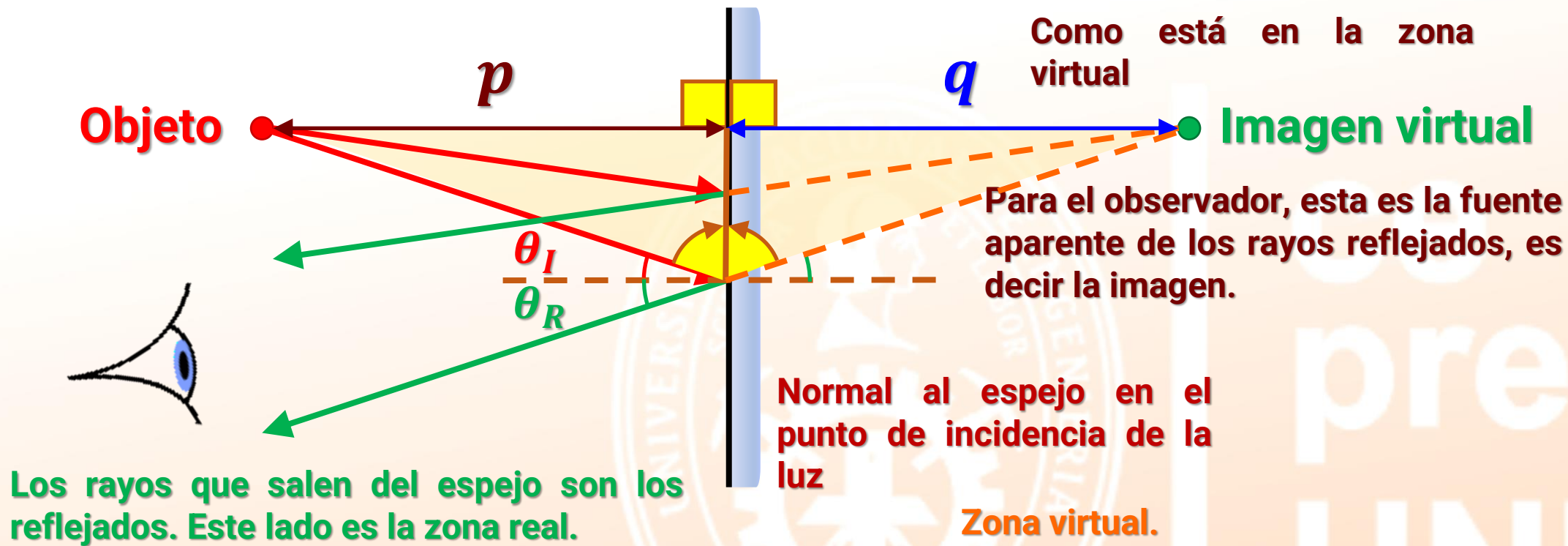
Analizaremos primero los espejos mas sencillos, que son los espejos planos.

Espejos planos

En estos espejos un haz de rayos de luz paralelos puede cambiar de dirección completamente en conjunto y continuar siendo un haz de rayos paralelos.



FORMACIÓN DE IMÁGENES EN ESPEJOS PLANOS

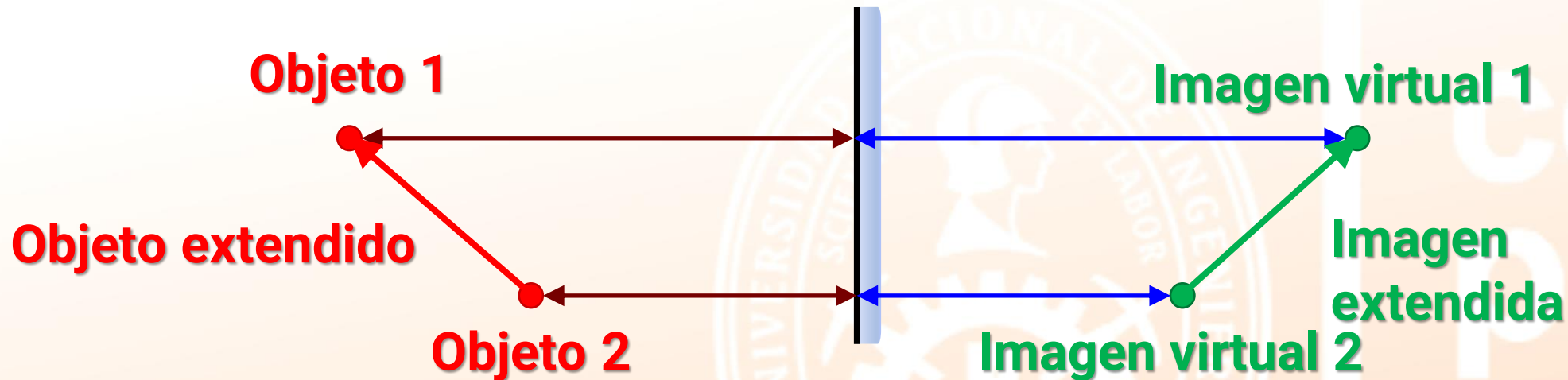


Por congruencia de triángulos:

$$q = -p$$

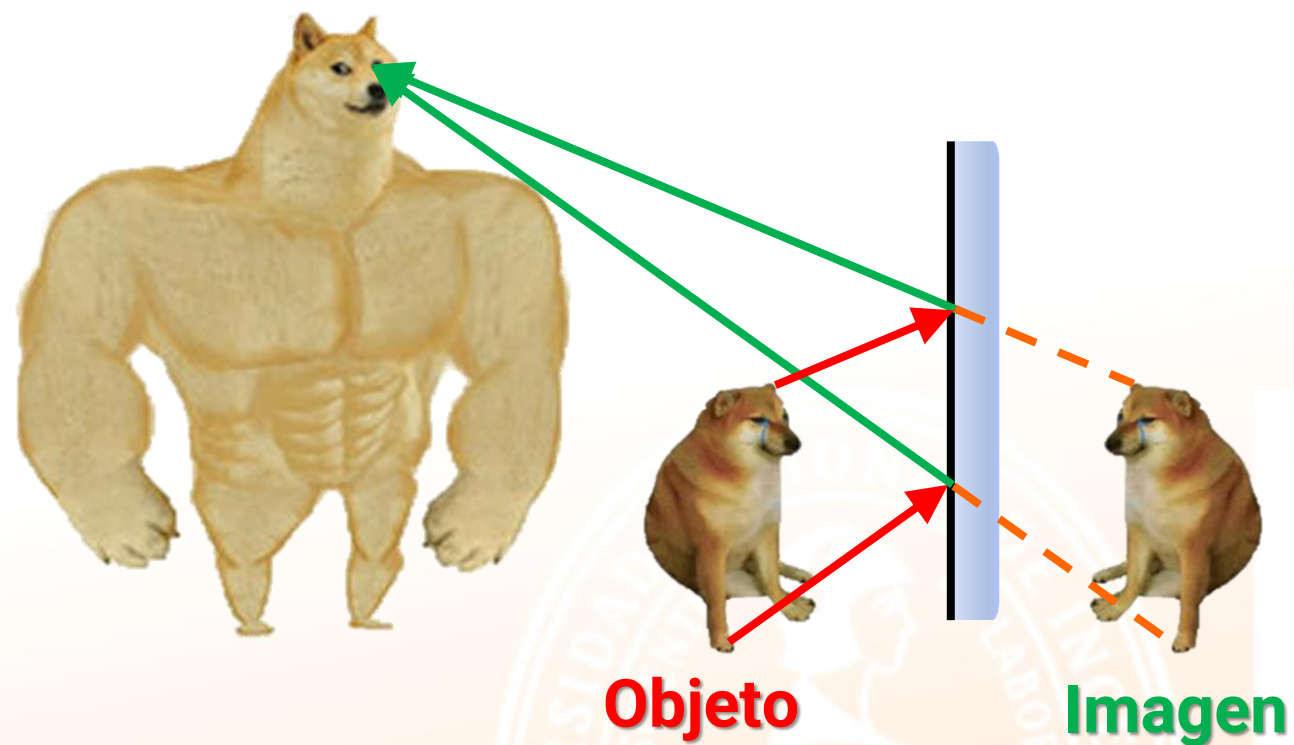
Para hallar la imagen de un objeto puntual, formada por un espejo plano, basta con trazar la línea perpendicular al punto de incidencia de la luz. La imagen se ubicaría en la zona virtual, sobre la misma línea perpendicular a la misma distancia de la superficie del espejo.

Para un objeto extendido, se haría lo mismo para cada punto del objeto

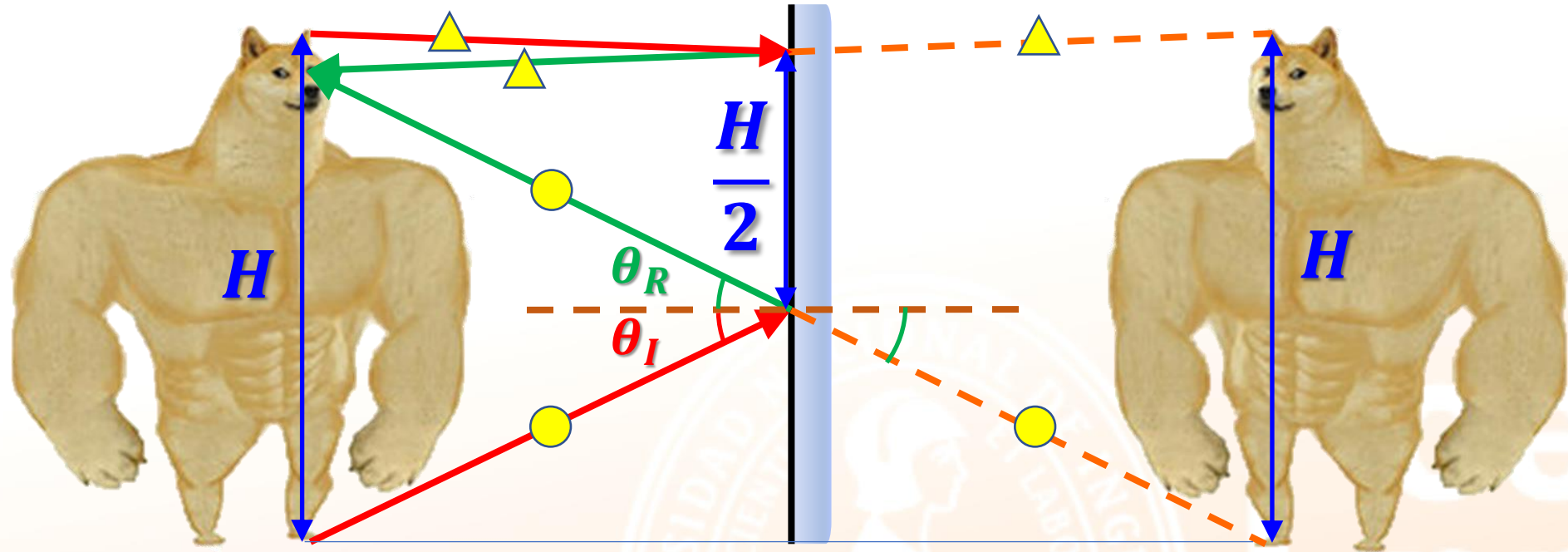


La imagen es el simétrico del objeto, por lo que tienen el mismo tamaño.

La imagen tiene la misma orientación vertical que el objeto (imagen derecha)



En general, para poder observar la imagen completa de un objeto formado por un espejo plano, el espejo debe contener tanto el rayo reflejado del rayo proveniente de la parte inferior del objeto como el reflejado del rayo proveniente de la parte superior del objeto.



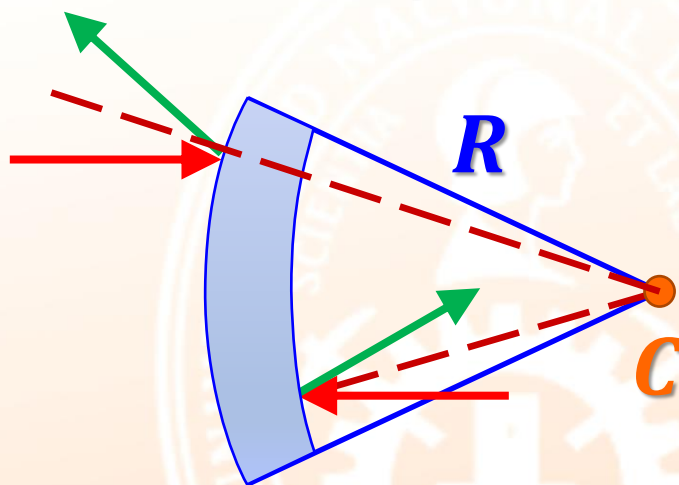
En general, para que una persona pueda observar su imagen completa formada por un espejo plano, el espejo debe contener tanto el rayo reflejado del rayo proveniente de la parte inferior como el reflejado del rayo proveniente de la parte superior. Ese espejo tiene por tamaño la mitad de su altura.

Espejos esféricos

Son aquellos que se forman cuando la superficie reflectora es parte de la superficie de una esfera. Estos tienen un **centro de curvatura C** y un radio de curvatura **R** constante.

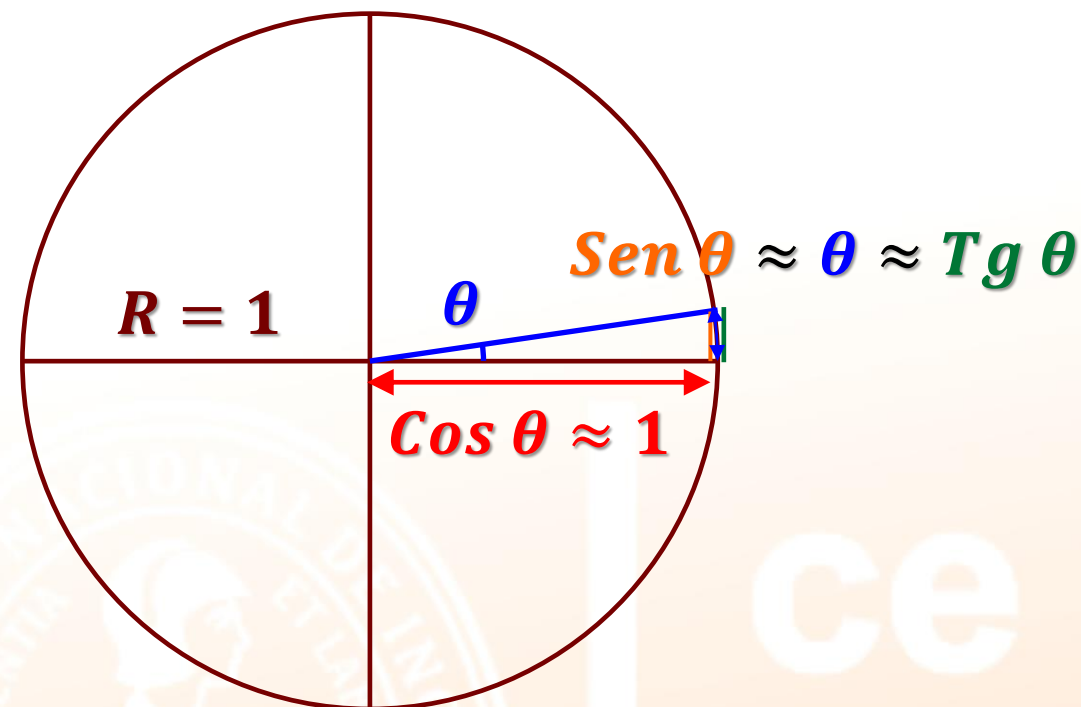
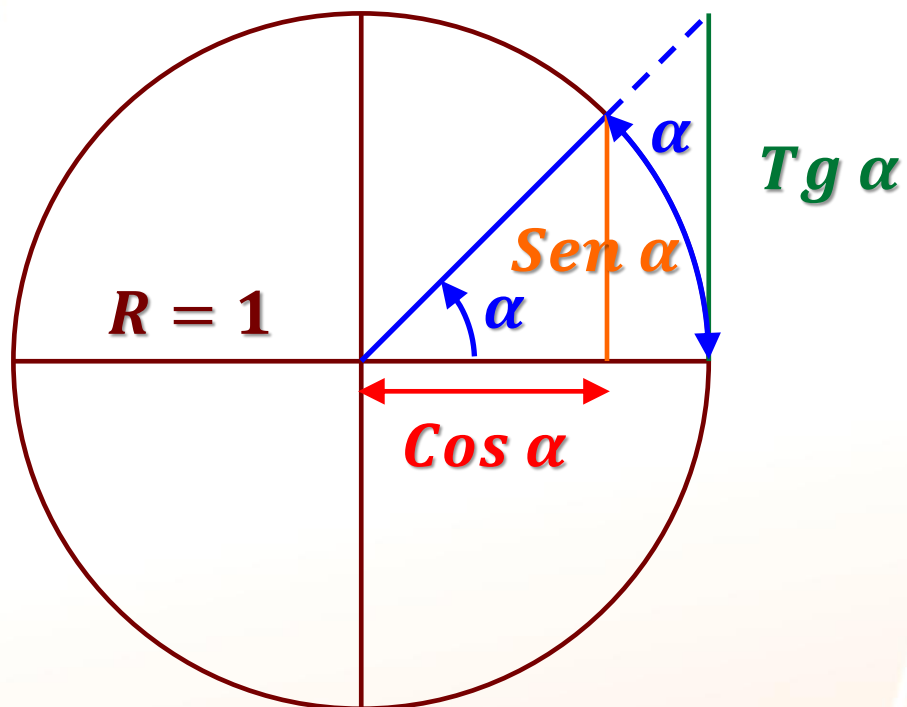
Es posible distinguir dos tipos de espejos esféricos:

Espejos convexos en los que la superficie reflectora está en su parte externa.



Espejos cóncavos que son aquellos cuya superficie reflectora está en su interior.

Recordemos que, para la superficie esférica la línea normal es la línea radial que se traza desde el centro de curvatura hacia el punto de incidencia de la luz.

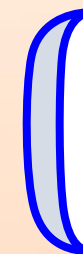


Para ángulos pequeños, podemos aproximar la superficie del espejo esférico como una superficie plana.

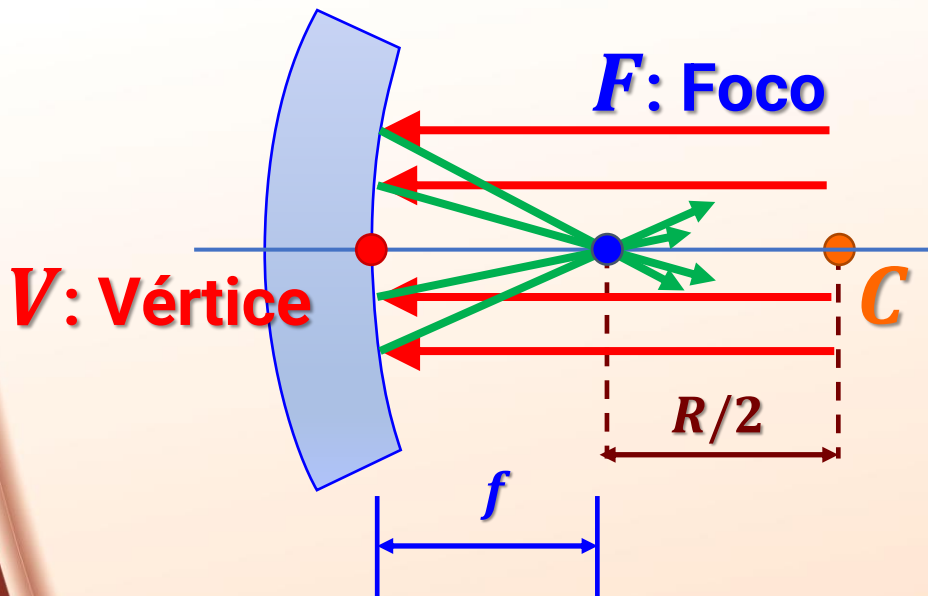
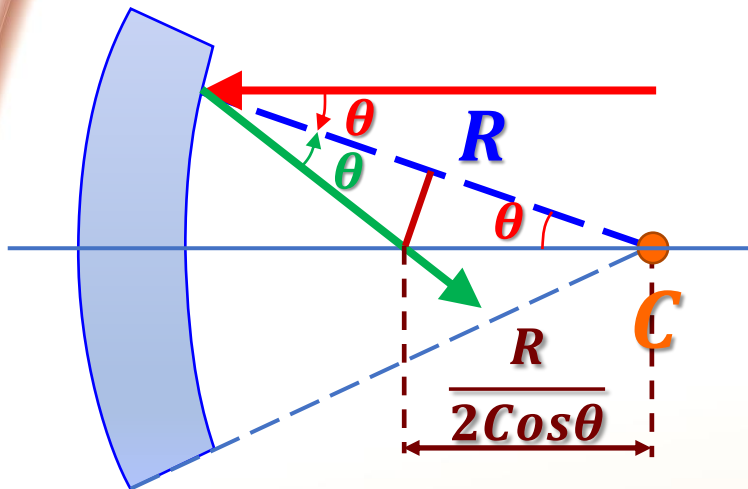
Espejo cóncavo



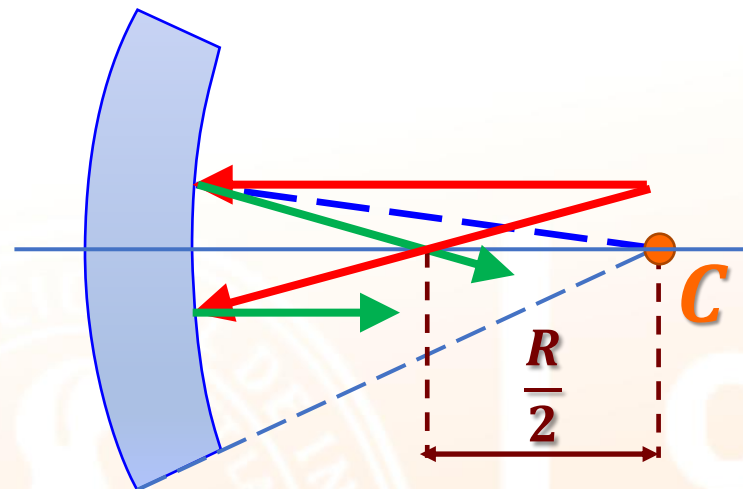
Espejo convexo



Espejo cóncavo

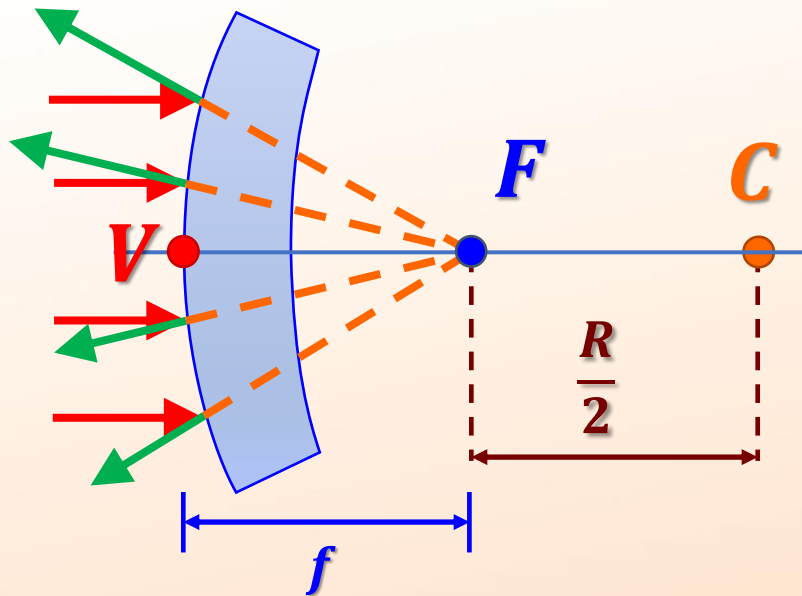
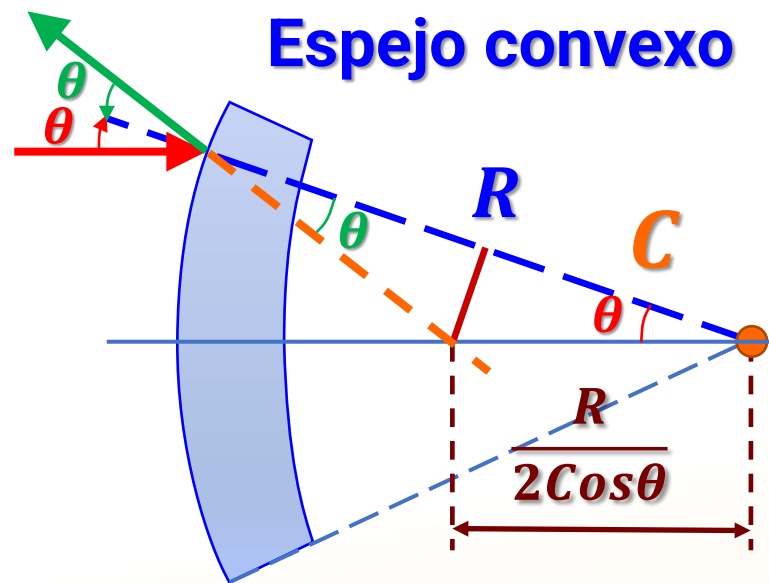


Para rayos cercanos al eje los ángulos son pequeños

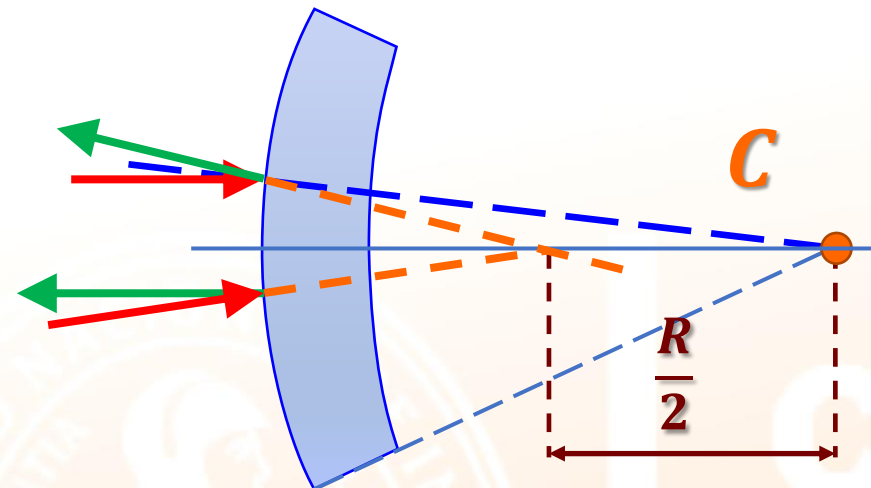


La distancia entre el vértice y el foco se llama distancia focal (f). Como el lado del espejo por donde salen los rayos reflejados es la zona real, la **distancia focal** del espejo cóncavo es $f = +R/2$, pues **está** ubicada en la **zona real**.

Espejo convexo



Para rayos cercanos al eje los ángulos son pequeños



Como el lado del espejo por donde salen los rayos reflejados es la zona real, la **distancia focal** del espejo convexo se ubica **en la zona virtual**. Por ello la distancia focal $f = -R/2$

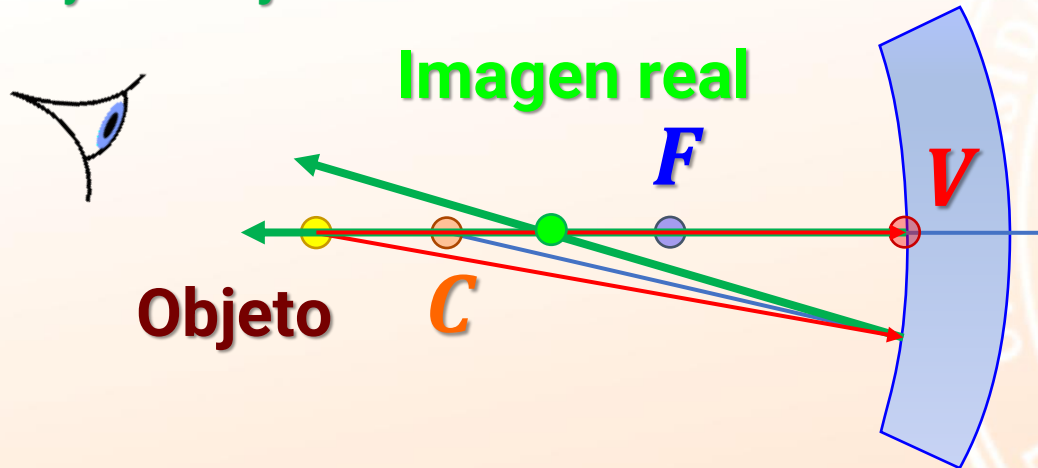
Formación de imágenes en el espejo

cóncavo

Primero construiremos imágenes de objetos puntuales (de tamaño mucho menor que el radio de curvatura del espejo) de modo que los rayos de luz serán cercanos al eje (rayos paraxiales).

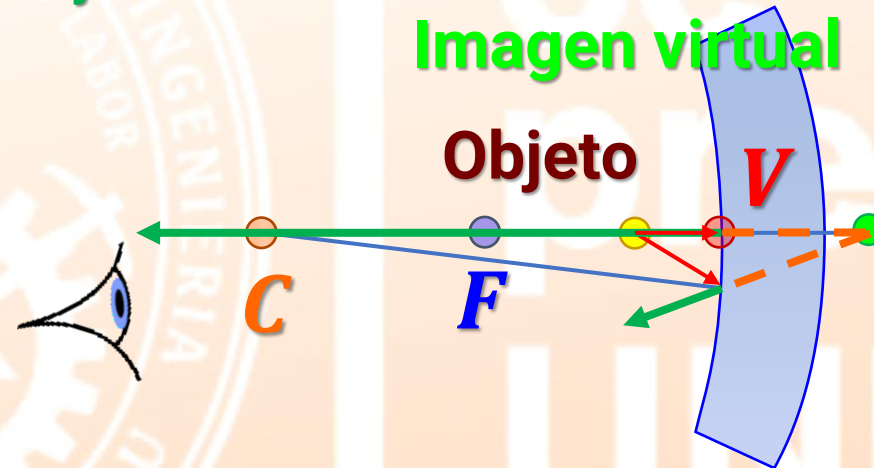
Se necesitarán dos rayos de luz para determinar la ubicación de la imagen

El lado del espejo por donde salen los rayos reflejados es la zona real.



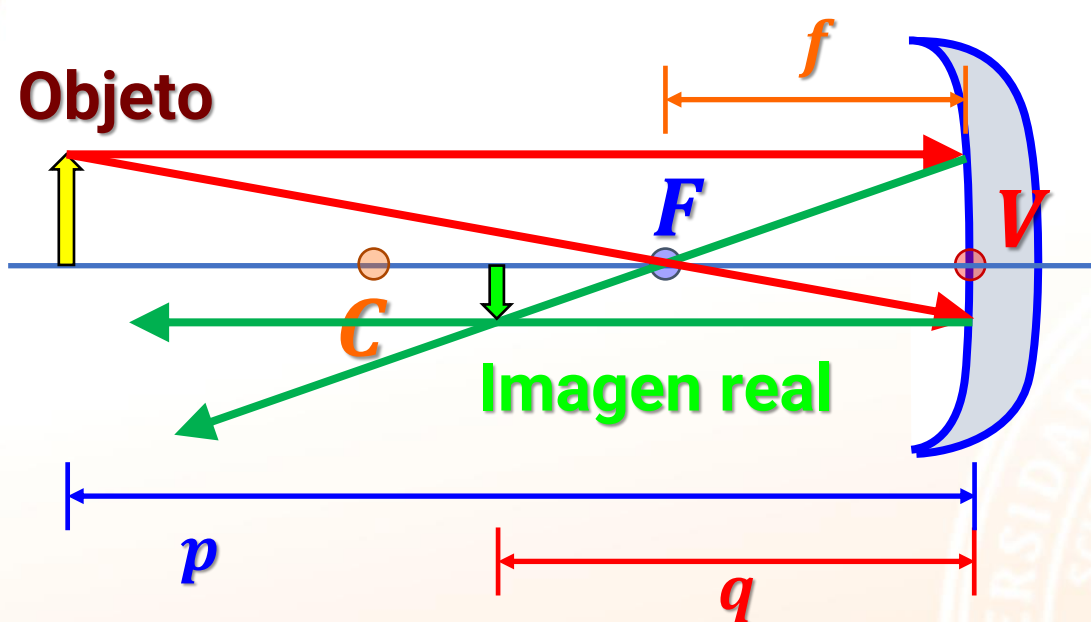
Para el observador, esta es la fuente aparente de los rayos reflejados

El lado del espejo por donde salen los rayos reflejados es la zona real.

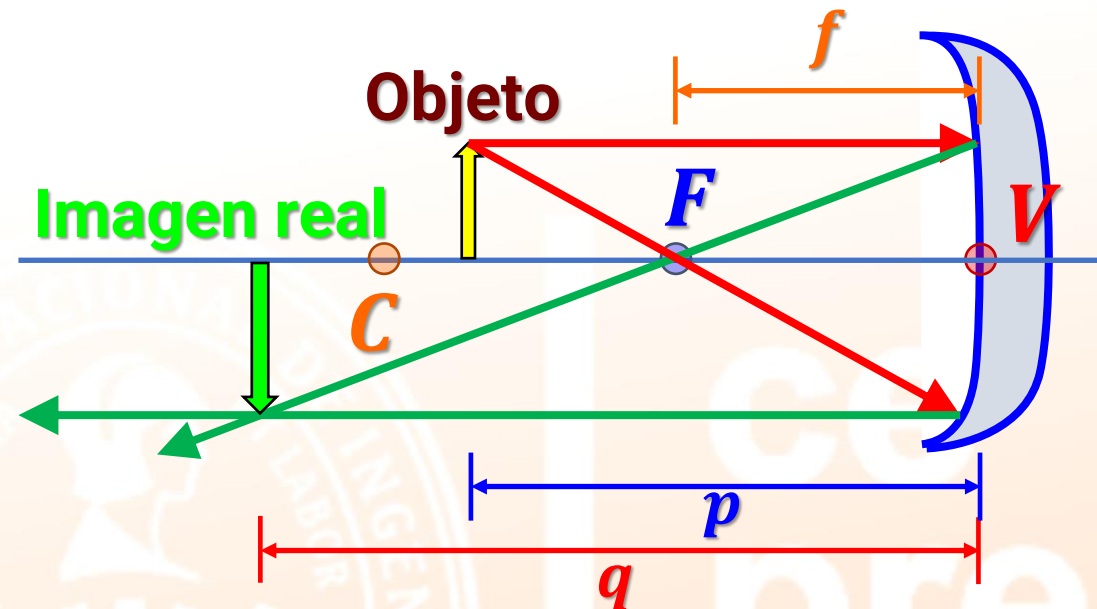


Para el observador, esta es la fuente aparente de los rayos reflejados

Para objetos extendidos, cuyo tamaño nos permita considerar que los rayos de luz aún son rayos paraxiales, construiremos sus imágenes.



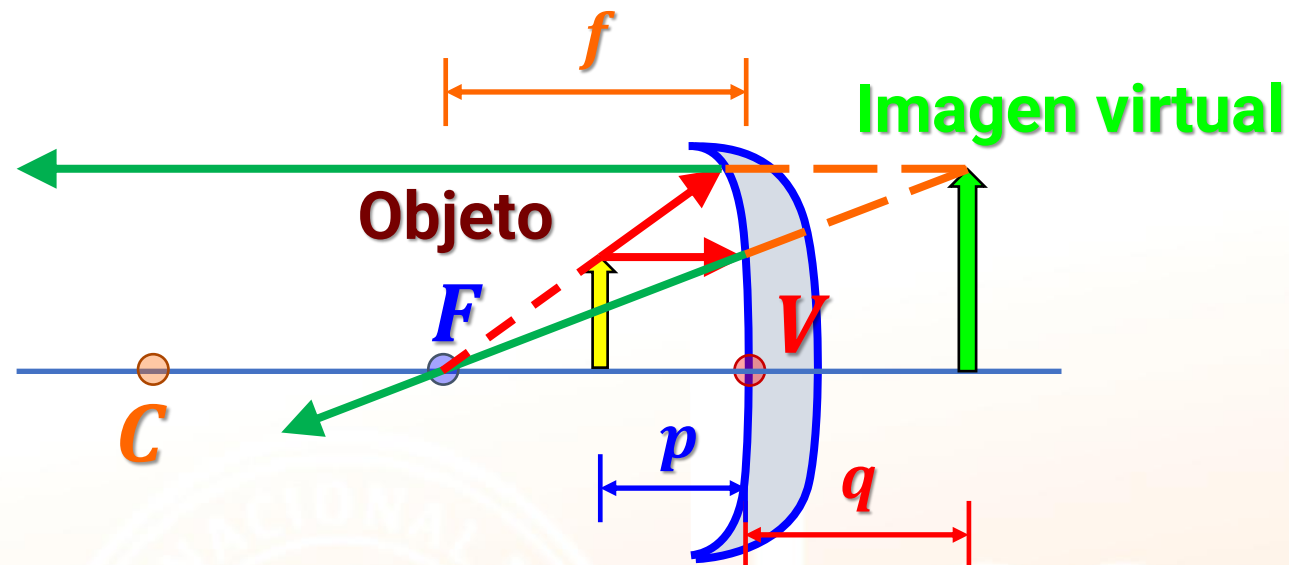
$p > 2f$ la imagen es real, invertida y de menor tamaño que el objeto



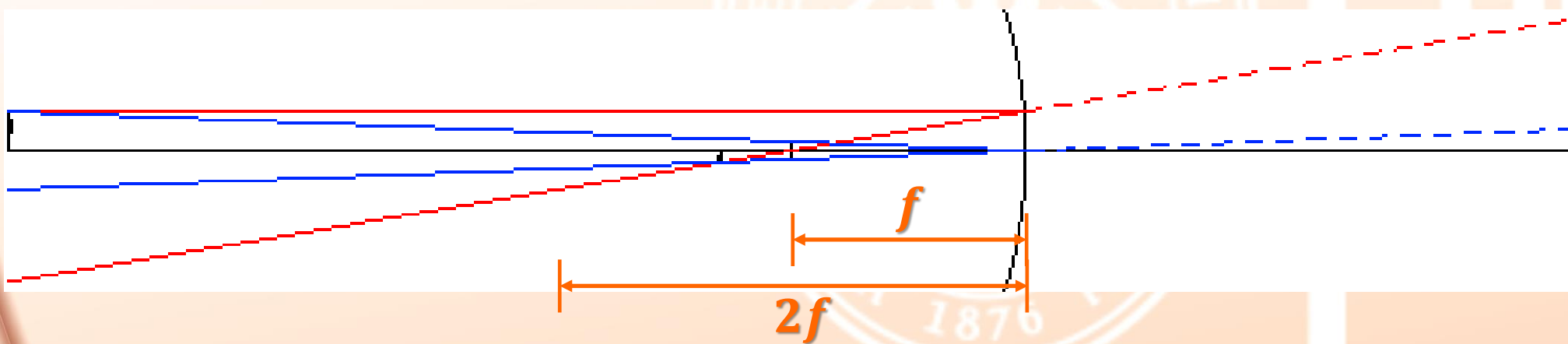
$f < p < 2f$ la imagen es real, invertida y de mayor tamaño que el objeto

$p = 2f$ la imagen es real, invertida y de igual tamaño que el objeto

$p < f$ la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto

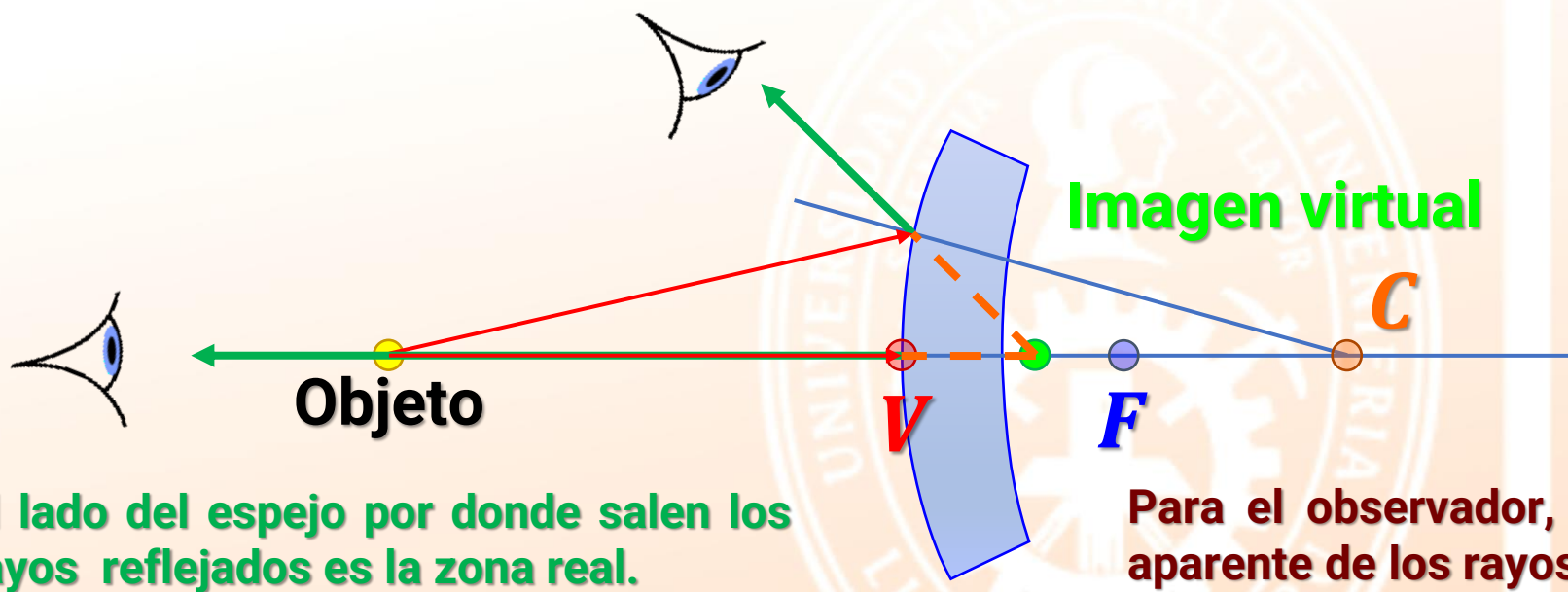


Si para $p < f$ la imagen es virtual y para $p > f$ la imagen es real, entonces para $p = f$ no se forma imagen.



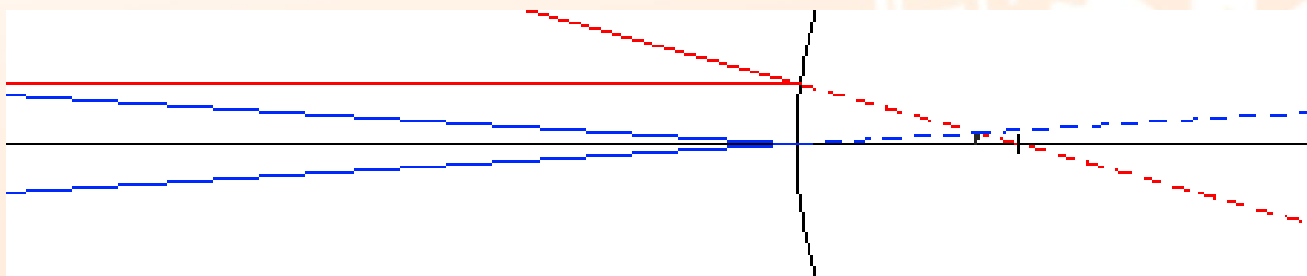
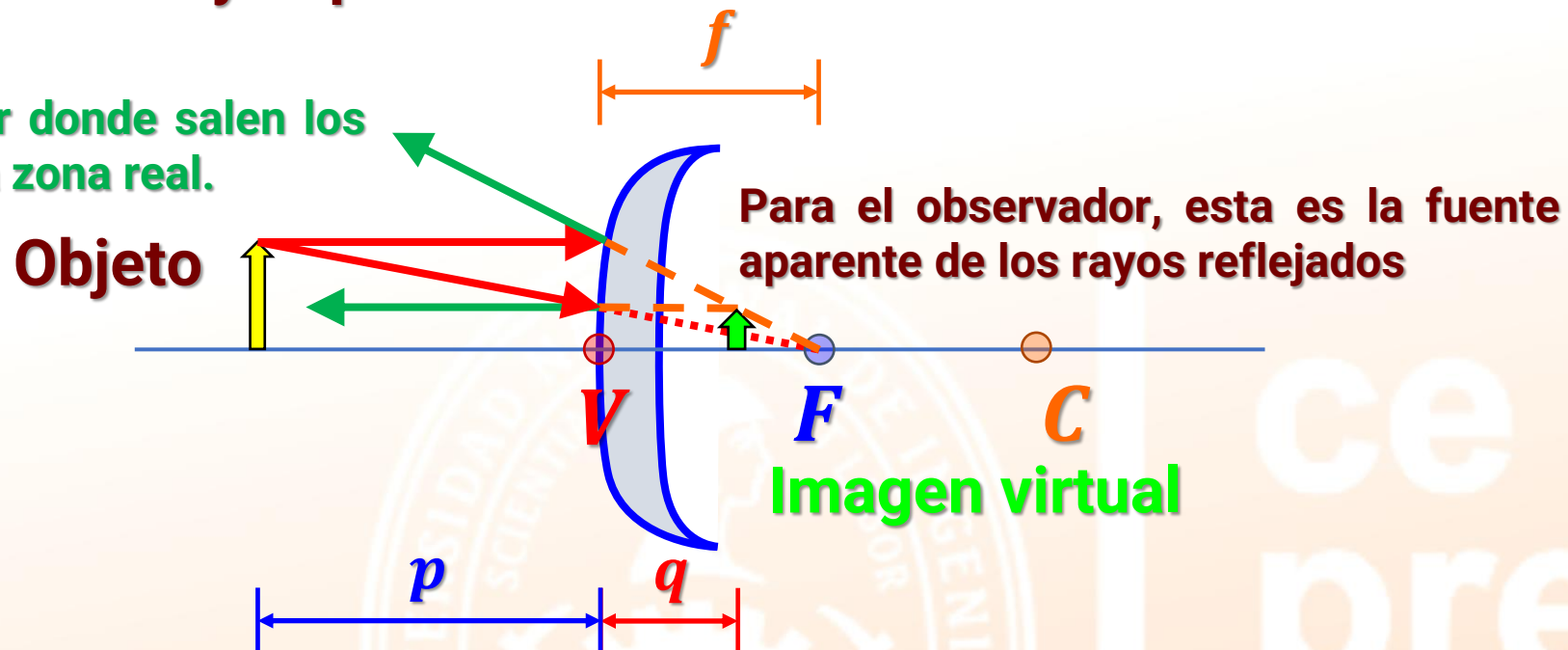
Formación de imágenes en el espejo convexo

Primero construiremos imágenes de objetos puntuales (de tamaño mucho menor que el radio de curvatura del espejo) de modo que los rayos de luz serán cercanos al eje (rayos paraxiales).



Para objetos extendidos cuyo tamaño nos permita considerar que los rayos de luz aún son rayos paraxiales

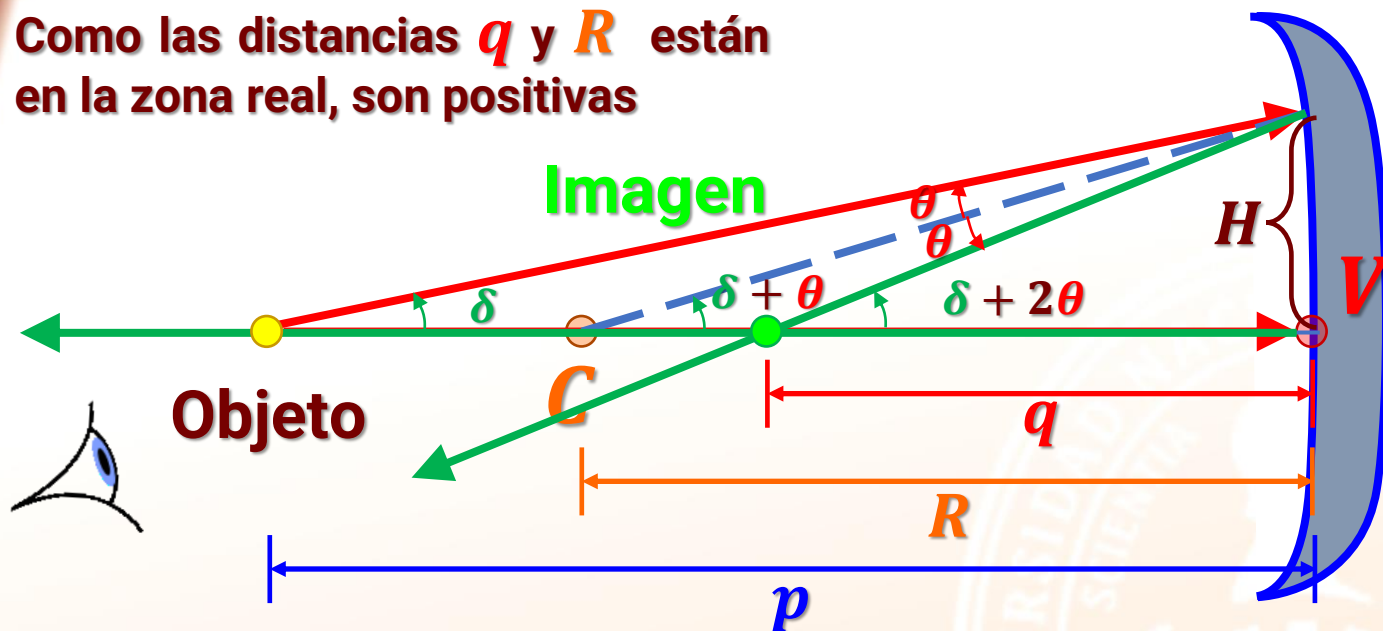
El lado del espejo por donde salen los rayos reflejados es la zona real.



Independientemente de la ubicación del objeto, la imagen es virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.

ECUACIÓN DE ESPEJOS ÉSFÉRICOS

Como las distancias q y R están en la zona real, son positivas



Para rayos cercanos al eje, los ángulos son pequeños y podemos aproximar la superficie del espejo esférico como una superficie plana.

$$\text{Sen } \theta \approx \theta \approx \text{Tg } \theta$$

$$\text{Tg } \delta = \frac{H}{p} \approx \delta$$

$$\text{Tg } (\delta + \theta) = \frac{H}{R} \approx \delta + \theta$$

$$\text{Tg } (\delta + 2\theta) = \frac{H}{q} \approx \delta + 2\theta$$

$$\delta + \delta + 2\theta = 2(\delta + \theta)$$

$$\Rightarrow \frac{H}{p} + \frac{H}{q}$$

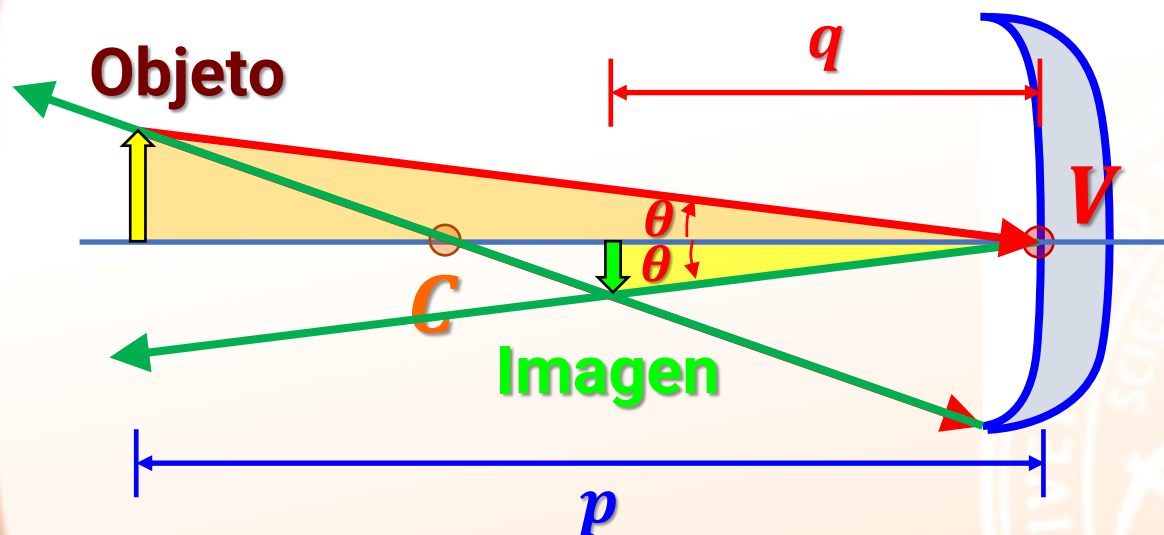
$$= 2 \left(\frac{H}{R} \right)$$

 $\therefore$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{2}{R} = \frac{1}{f}$$

MAGNIFICACIÓN O AUMENTO

El valor de M es el cociente entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto. Su signo nos indica si la imagen es derecha (+) o invertida (-)



$$|M| = \frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}} = \frac{|q|}{p}$$

Como se vio anteriormente, toda imagen real ($q > 0$) es invertida ($M < 0$) y toda imagen virtual ($q < 0$) es derecha ($M > 0$)

$$M = -\frac{q}{p}$$

A partir de la ecuación de espejos esféricos

$$M = \frac{f}{f - p} = 1 - \frac{q}{f}$$

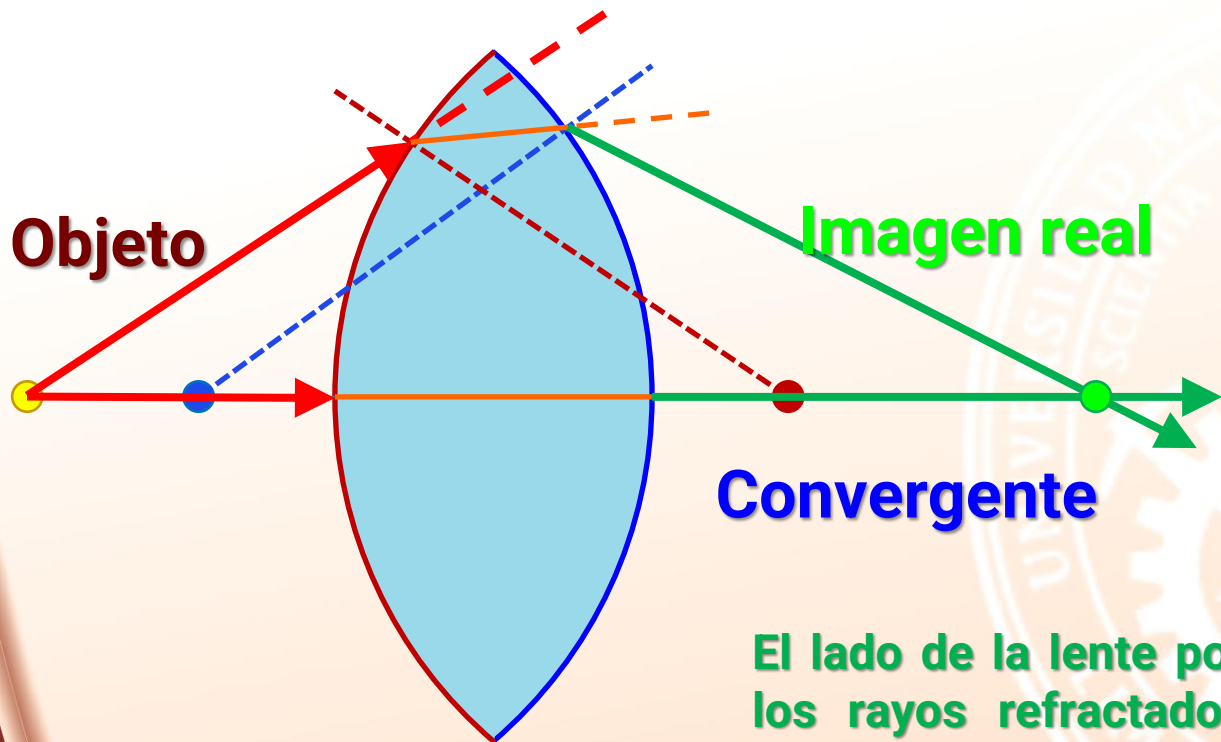
LENTES

Una lente es un dispositivo óptico transmisor que enfoca o dispersa un haz de luz por medio de la refracción. Los dispositivos que enfocan o dispersan de manera similar las ondas y la radiación que no sea la luz visible, también se denominan lentes, como lentes de microondas, lentes de electrones o lentes acústicas.

Una lente está constituida por un medio transparente limitado por dos superficies, siendo curva al menos una de ellas. Una lente simple consiste en una sola pieza de material transparente, mientras que una lente compuesta consta de varias lentes simples (elementos), generalmente dispuestas a lo largo de un eje común. Las lentes están hechas de materiales tales como vidrio o plástico, y se moldean para conseguir la forma deseada. Una lente puede enfocar la luz para formar una imagen, a diferencia de un prisma, que refracta la luz sin enfocar.

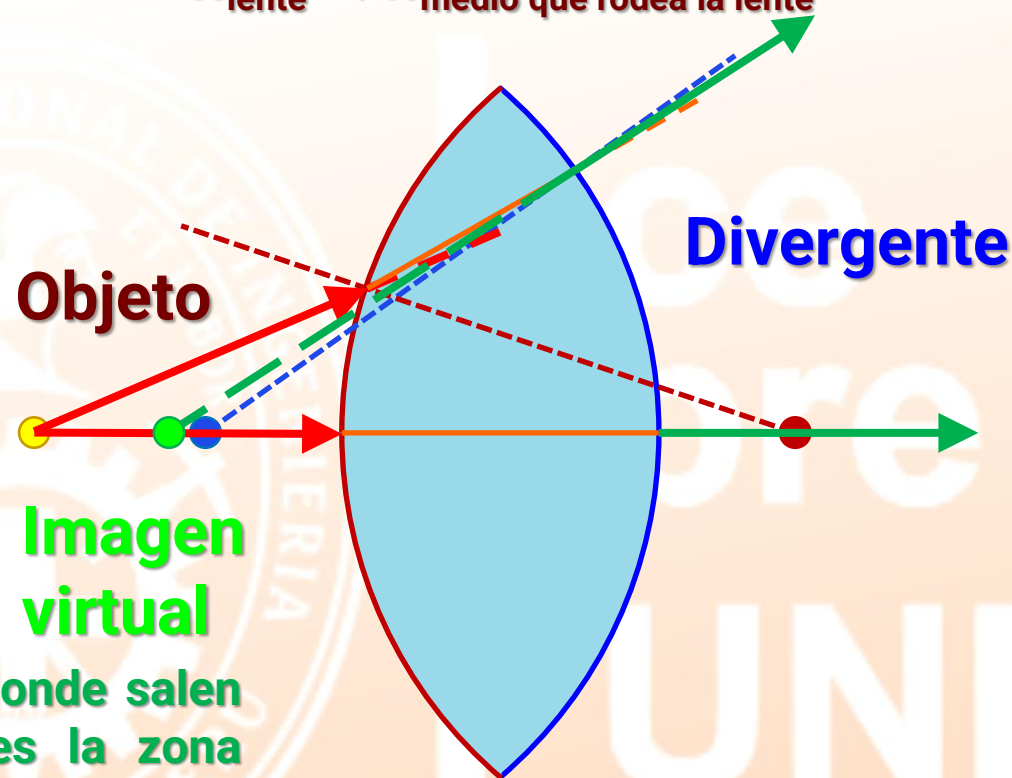
Dependiendo de los índices de refracción del material del cual esta hecho la lente y del medio que la rodea, y de la geometría de las superficies, podemos clasificarlas como lentes convergentes o lentes divergentes.

$$n_{\text{lente}} > n_{\text{medio que rodea la lente}}$$



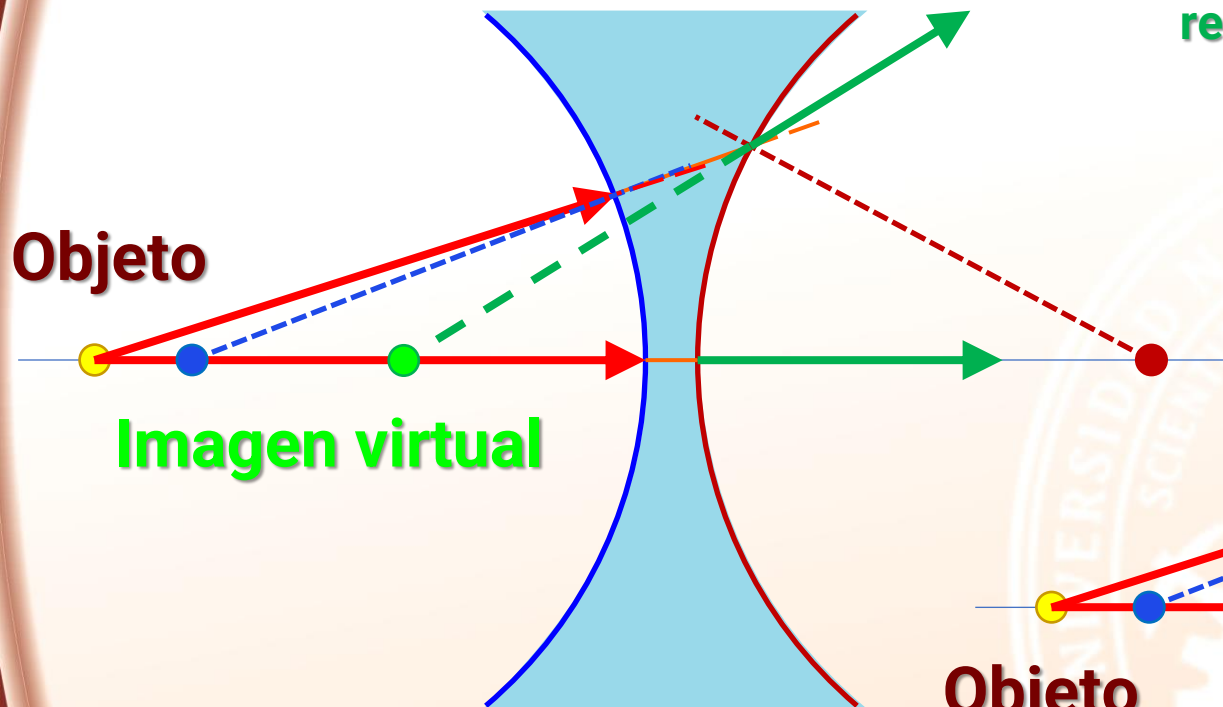
El lado de la lente por donde salen los rayos refractados es la zona real.

$$n_{\text{lente}} < n_{\text{medio que rodea la lente}}$$



$$n_{\text{lente}} > n_{\text{medio que rodea la lente}}$$

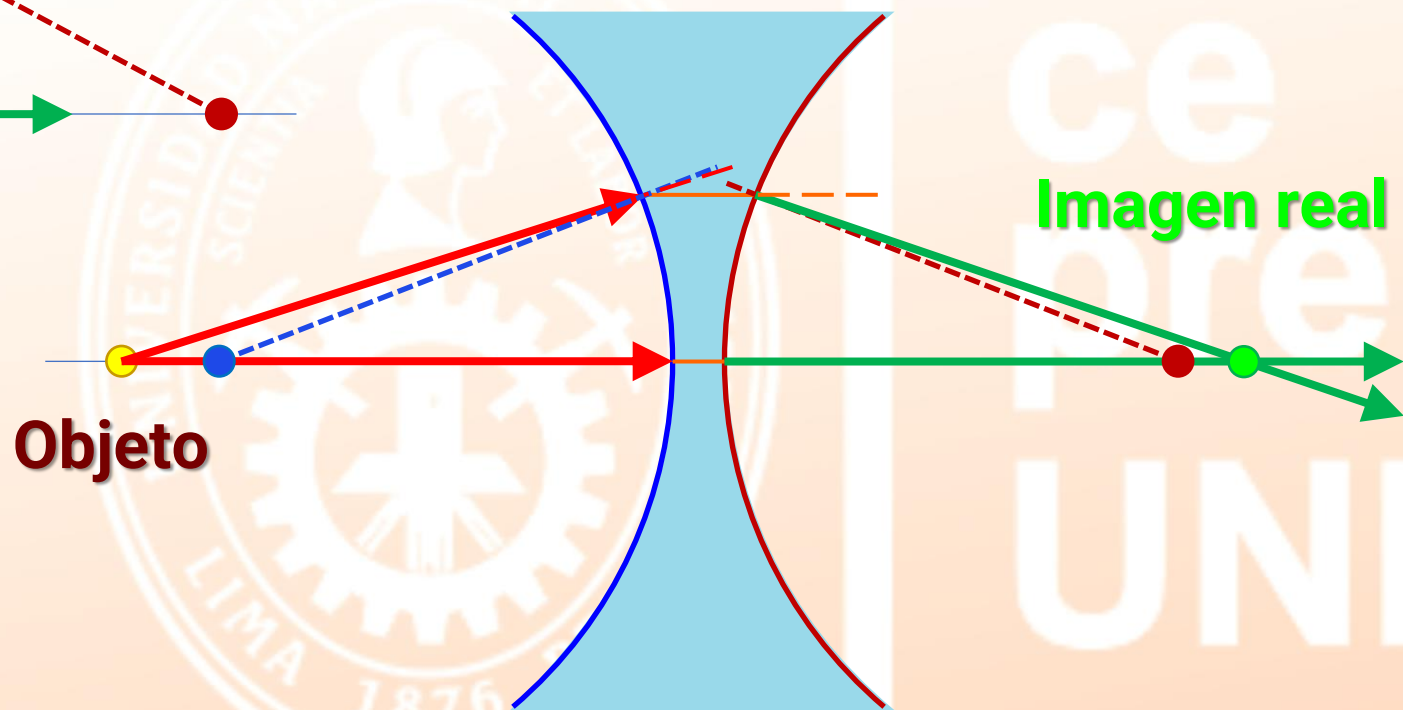
DIVERGENTE



El lado de la lente por donde salen los rayos refractados es la zona real.

$$n_{\text{lente}} < n_{\text{medio que rodea la lente}}$$

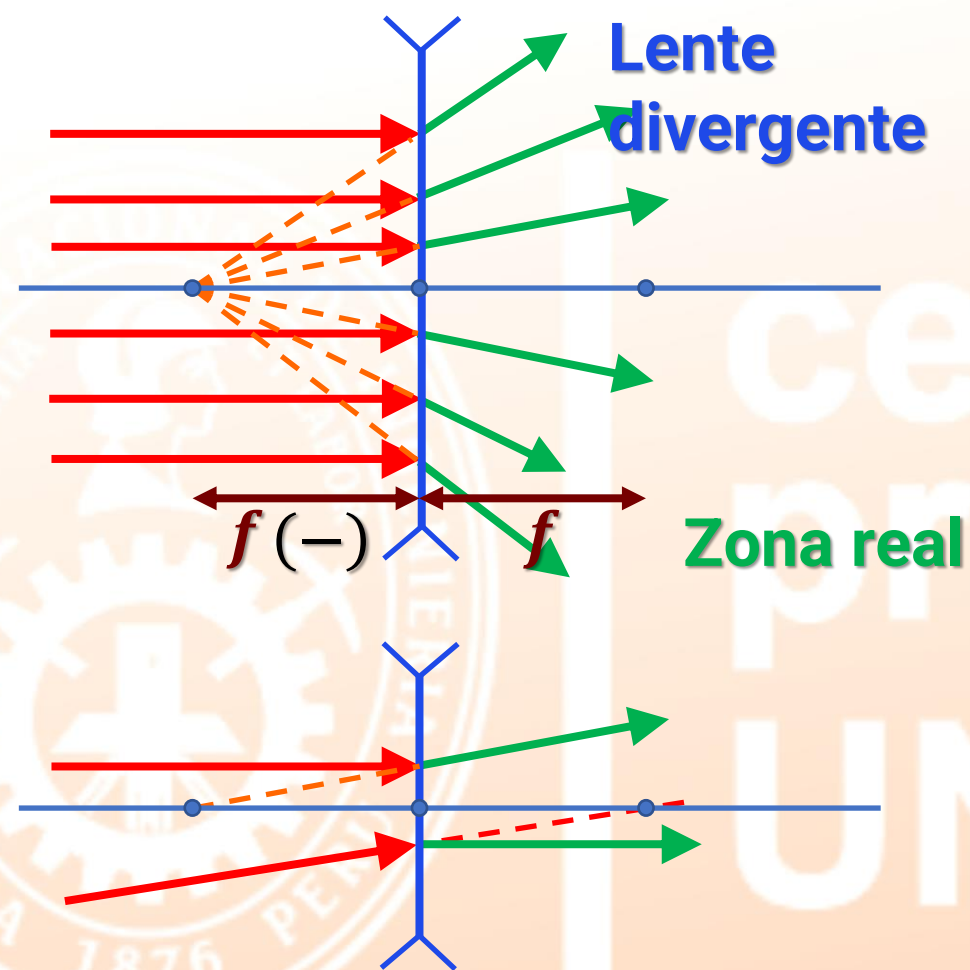
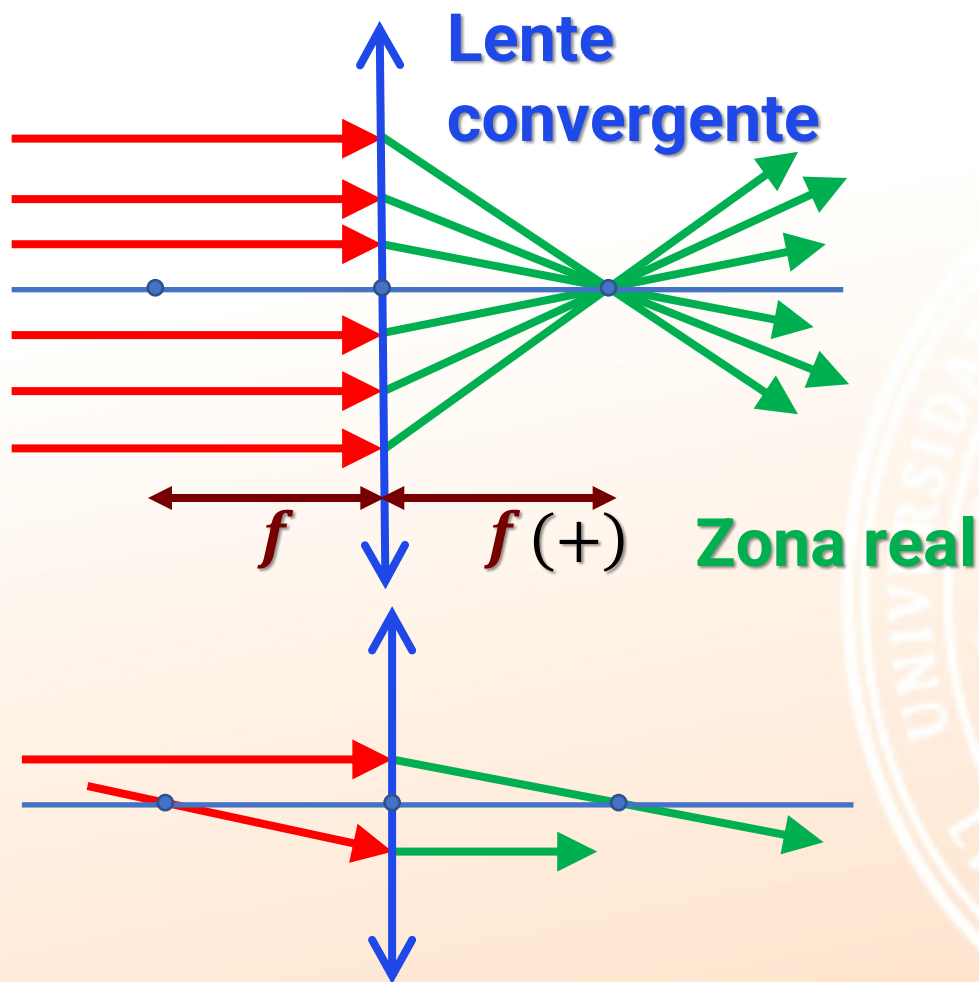
CONVERGENTE



			Son lentes convergentes si $n_{\text{lente}} > n_{\text{medio que rodea la lente}}$ Son lentes divergentes si $n_{\text{lente}} < n_{\text{medio que rodea la lente}}$
Biconvexa	Plano-convexa	Menisco-convexa	
			Son lentes divergentes si $n_{\text{lente}} > n_{\text{medio que rodea la lente}}$ Son lentes convergentes si $n_{\text{lente}} < n_{\text{medio que rodea la lente}}$
Bicóncava	Plano-cóncava	Menisco-cóncava	

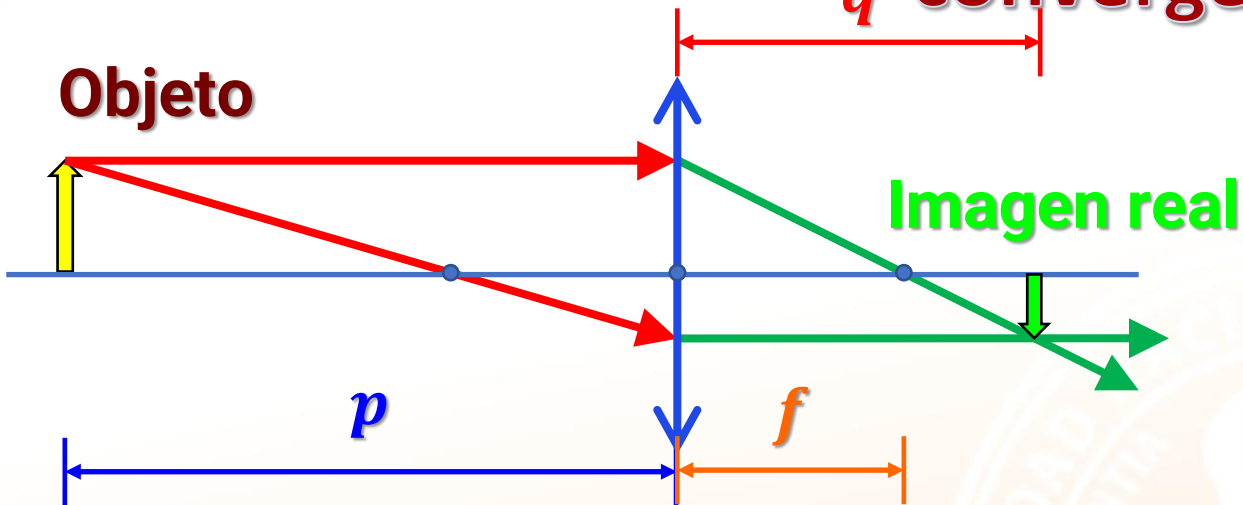
Para objetos extendidos de tamaño pequeño, en comparación con los radios de curvatura de las superficies, aproximamos los rayos de luz como paraxiales, los ángulos pequeños y las superficies como planas

Para rayos paraxiales paralelos al eje óptico de la lente y considerando el grosor de la lente muy pequeño comparado con los radios de curvatura (lente delgada)

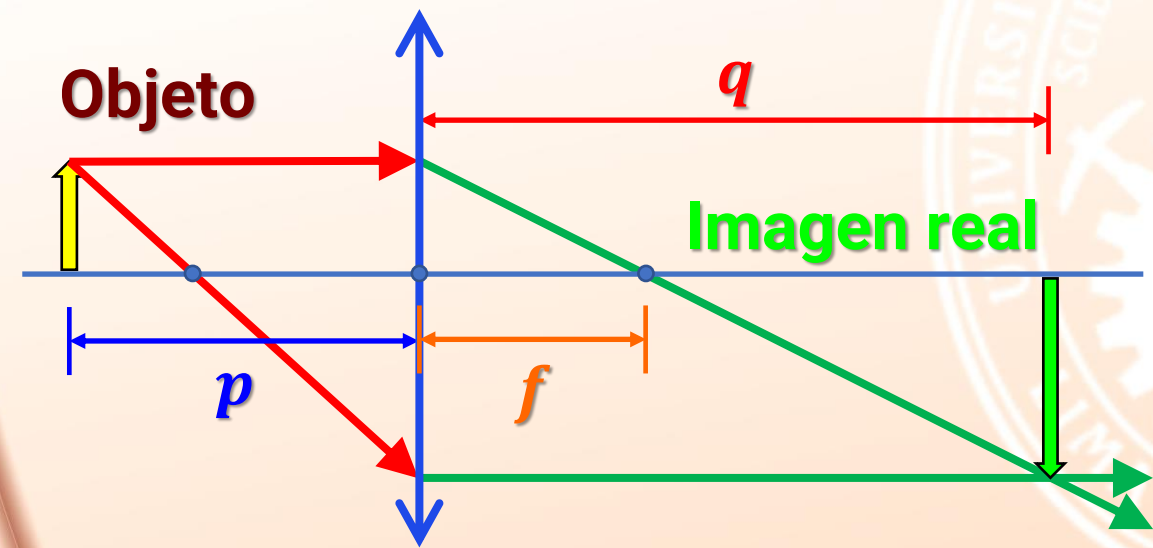


Formación de imágenes en lente

q convergente



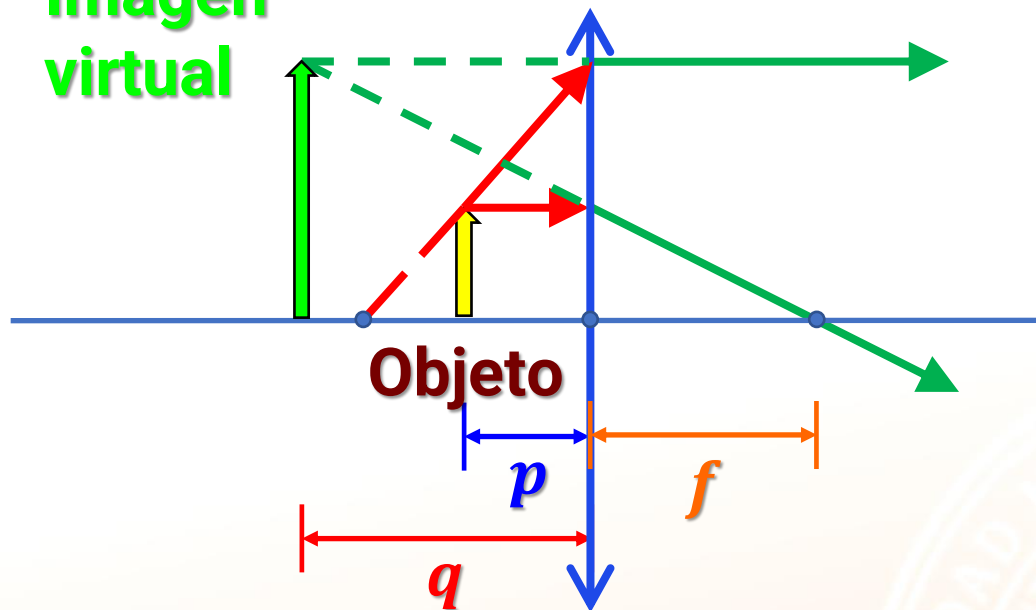
$p > 2f$ la imagen es real, invertida y de menor tamaño que el objeto



$f < p < 2f$ la imagen es real, invertida y de mayor tamaño que el objeto

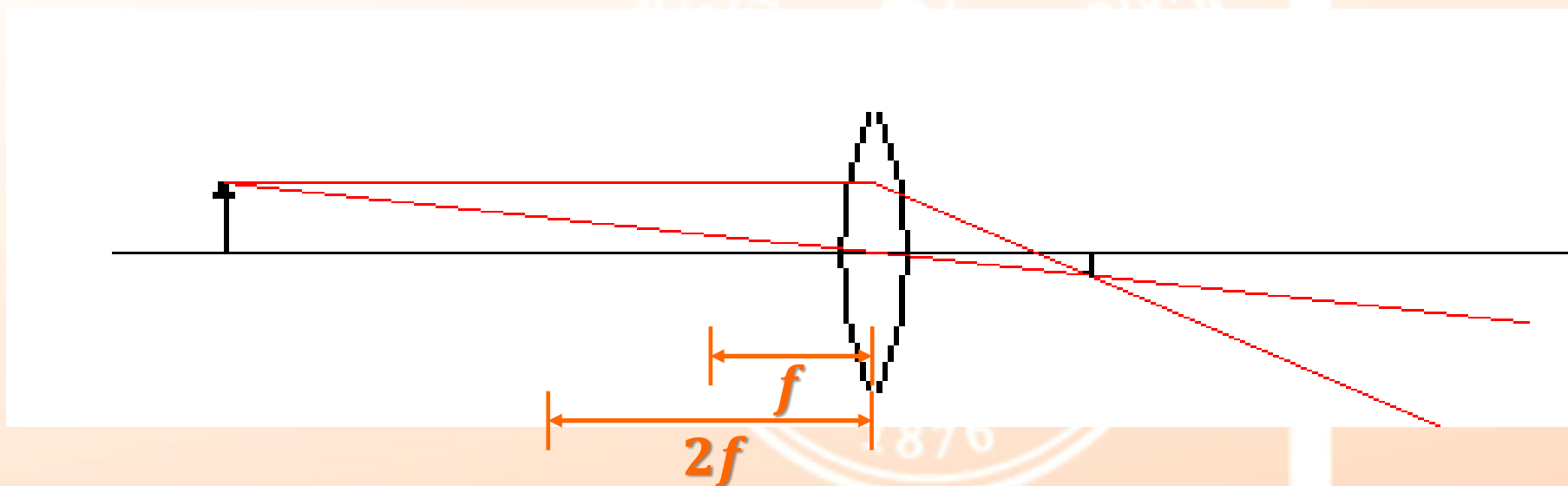
$p = 2f$ la imagen es real, invertida y de igual tamaño que el objeto

Imagen
virtual

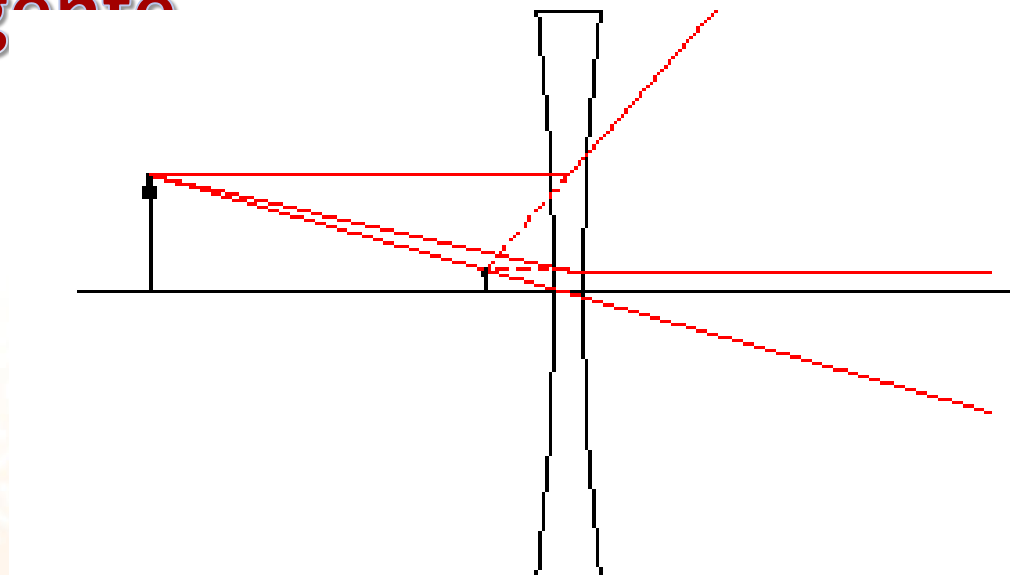
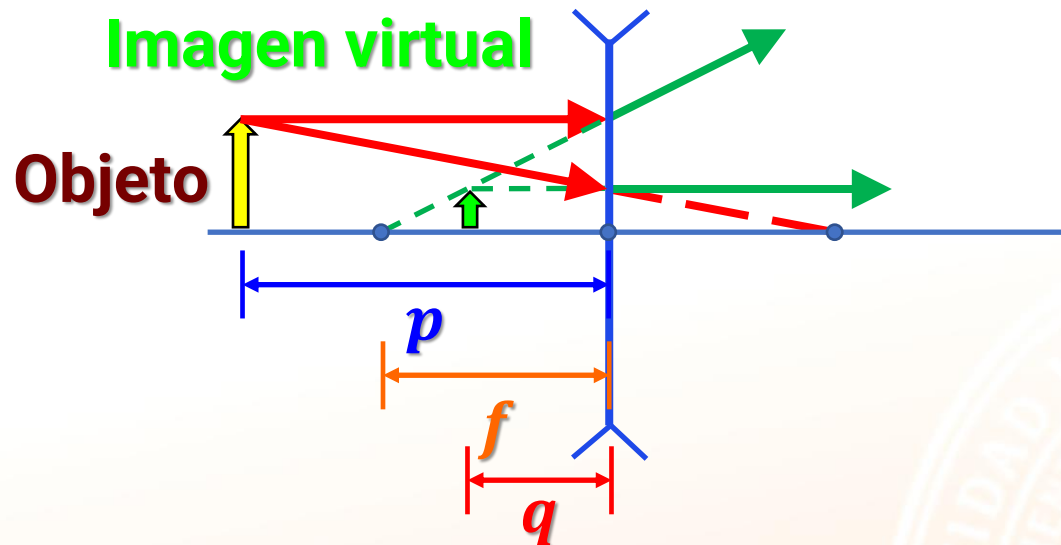


$p < f$ la imagen es virtual, derecha y de mayor tamaño que el objeto

Si para $p < f$ la imagen es virtual y para $p > f$ la imagen es real, entonces para $p = f$ no se forma imagen.



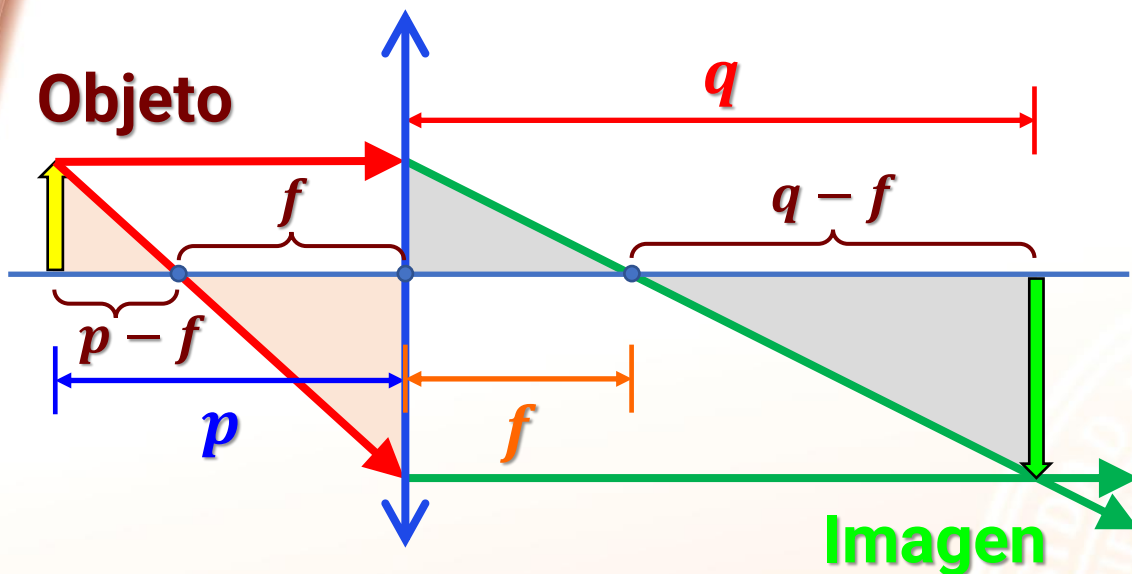
Formación de imágenes en lente divergente



Independientemente de la ubicación del objeto, la imagen es virtual, derecha y de menor tamaño que el objeto.

Vemos que todos los casos de imágenes del espejo cóncavo son los mismos que los de la lente convergente y el caso del espejo convexo es el de la lente divergente.

ECUACIÓN DE LENTES DELGADAS



$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{f} = \frac{\text{Tamaño del objeto}}{p - f}$$

$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{q - f} = \frac{\text{Tamaño del objeto}}{f}$$

$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}} = \frac{f}{p - f} = \frac{q - f}{f} \Rightarrow f^2$$

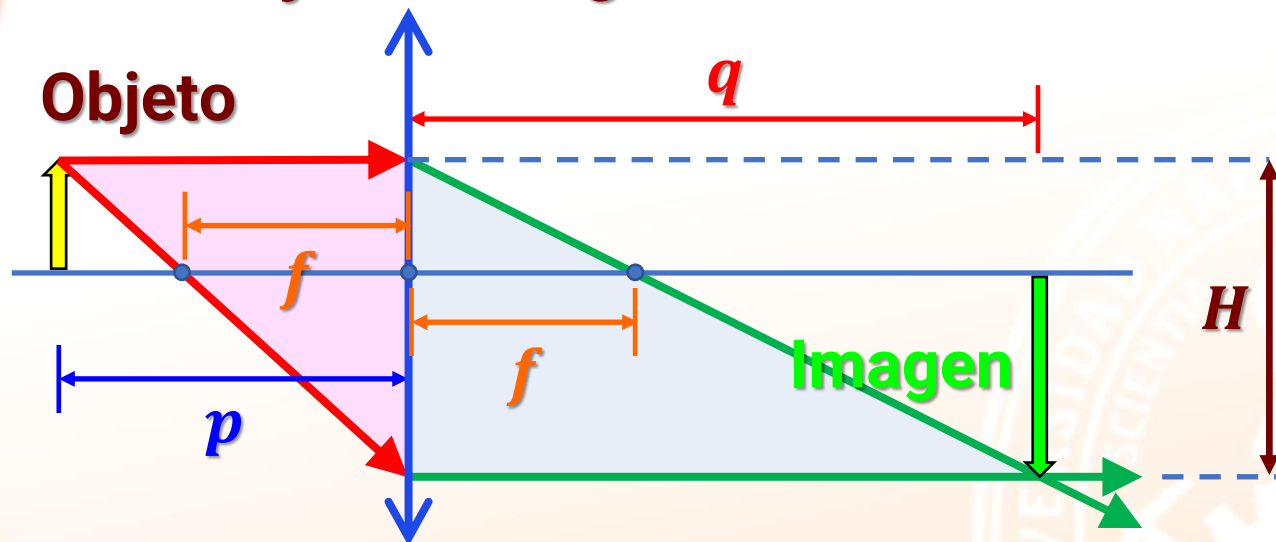
$$= pq - pf - qf + f^2$$

$$\Rightarrow qf + pf = pq \text{ dividiendo todo entre } pqf \therefore$$

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f}$$

MAGNIFICACIÓN O AUMENTO (M)

El valor de M es el cociente entre el tamaño de la imagen y el tamaño del objeto. Su signo nos indica si la imagen es derecha (+) o invertida (-)



$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{f} = \frac{H}{p}$$

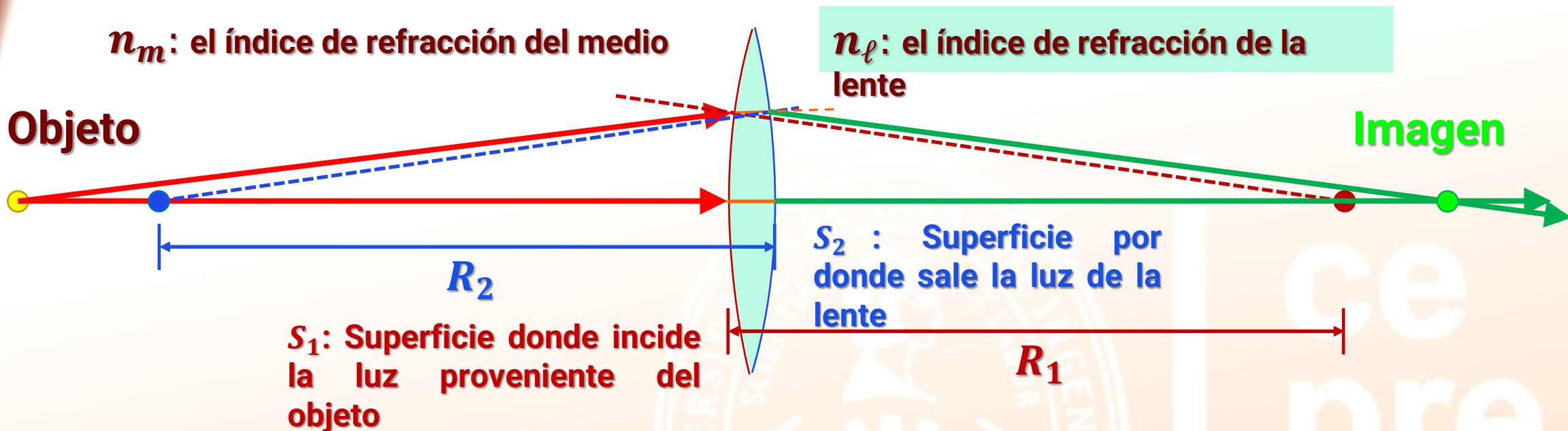
$$\frac{\text{Tamaño del objeto}}{f} = \frac{h}{q}$$

$$\frac{\text{Tamaño de la imagen}}{\text{Tamaño del objeto}} = \frac{q}{p} \Rightarrow |M| = \frac{|q|}{p}$$

Y, como toda imagen real ($q > 0$) es invertida ($M < 0$) y toda imagen virtual ($q < 0$) es derecha ($M > 0$)

$$M = -\frac{q}{p} = \frac{f}{f - p} = 1 - \frac{q}{f}$$

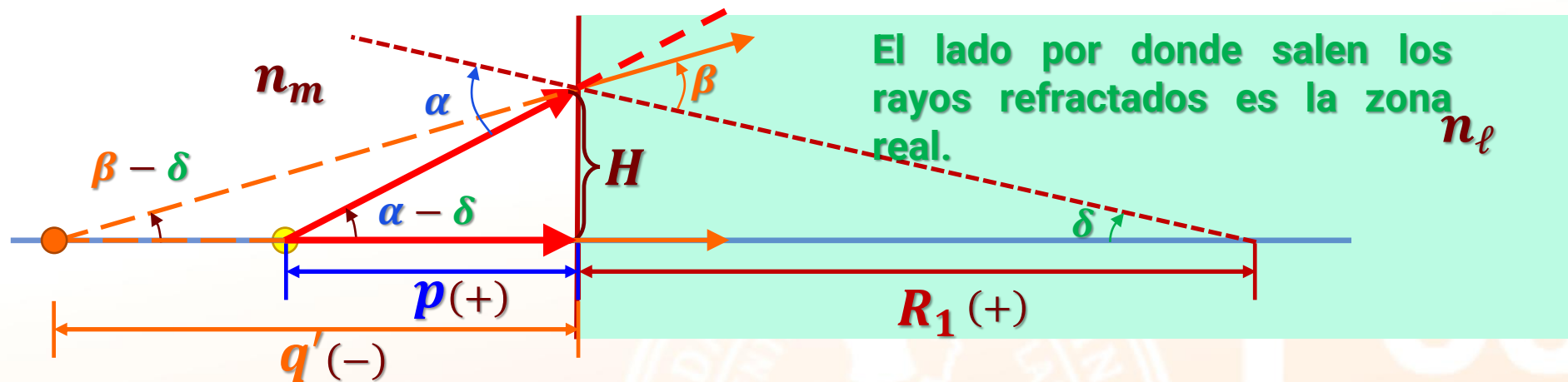
ECUACIÓN DEL FABRICANTE DE LENTES



En la aproximación de lentes delgadas vamos a considerar el grosor de la lente insignificante comparado con los rayos de curvatura.

Considerando los rayos provenientes del objeto como paraxiales, podemos asumir que las superficies son planas y los ángulos pequeños.

Excepto p que siempre es positiva, las posiciones y radios de curvatura tendrán signo positivo si están en la zona real o negativo si están en la zona virtual. Para el caso donde $n_\ell > n_m$



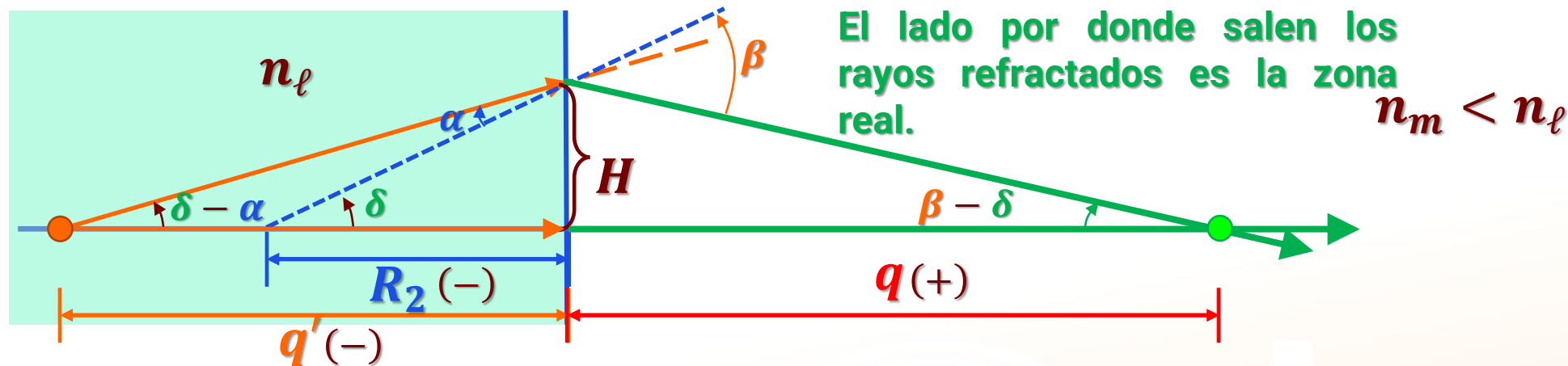
$$n_m \text{Sen} \alpha = n_\ell \text{Sen} \beta \Rightarrow n_m \alpha \approx n_\ell \beta \quad \text{Tg} \delta = \frac{H}{R_1} \approx \delta \quad \text{Tg} [\beta - \delta] = \frac{H}{-q'} \approx \beta - \delta$$

$$\text{Tg}(\alpha - \delta) = \frac{H}{p} \approx (\alpha - \delta) = \frac{n_\ell \beta}{n_m} - \delta = \frac{n_\ell \beta}{n_m} - \frac{n_\ell \delta}{n_m} + \frac{n_\ell \delta}{n_m} - \delta = \frac{n_\ell}{n_m} (\beta - \delta) + \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \delta$$

$$\frac{H}{p} = \frac{n_\ell}{n_m} \times \frac{H}{-q'} + \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \frac{H}{R_1}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{p} + \frac{n_\ell}{n_m q'} = \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \frac{1}{R_1}$$

ecuación 1



$$n_l \text{Sen} \alpha = n_m \text{Sen} \beta \Rightarrow n_l \alpha \approx n_m \beta \quad Tg \delta = \frac{H}{-R_2} \approx \delta \quad Tg [\beta - \delta] = \frac{H}{q} \approx \beta - \delta$$

$$Tg(\delta - \alpha) = \frac{H}{-q'} \approx (\delta - \alpha) = \delta - \frac{n_m \beta}{n_l} = \delta - \frac{n_m \beta}{n_l} + \frac{n_m \delta}{n_l} - \frac{n_m \delta}{n_l} = -\frac{n_m}{n_l} (\beta - \delta) + \left(1 - \frac{n_m}{n_l}\right) \delta$$

$$\frac{H}{-q'} = -\frac{n_m}{n_l} \times \frac{H}{q} + \left(1 - \frac{n_m}{n_l}\right) \frac{H}{-R_2} \Rightarrow \left[\frac{1}{-q'} + \frac{n_m}{n_l q} = \left(1 - \frac{n_m}{n_l}\right) \frac{1}{-R_2} \right] \times \frac{n_l}{n_m}$$

$$\boxed{-\frac{n_l}{-q' n_m} + \frac{1}{q} = \left(\frac{n_l}{n_m} - 1\right) \frac{1}{-R_2}} \quad \text{ecuación 2}$$

ecuación 1

$$\frac{1}{p} + \frac{n_\ell}{n_m q'} = \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \frac{1}{R_1}$$

ecuación 2

$$-\frac{n_\ell}{-q' n_m} + \frac{1}{q} = \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \frac{1}{-R_2}$$

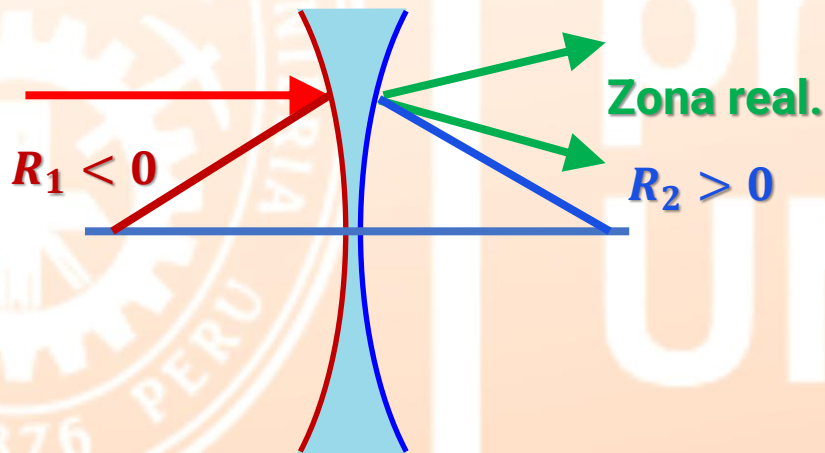
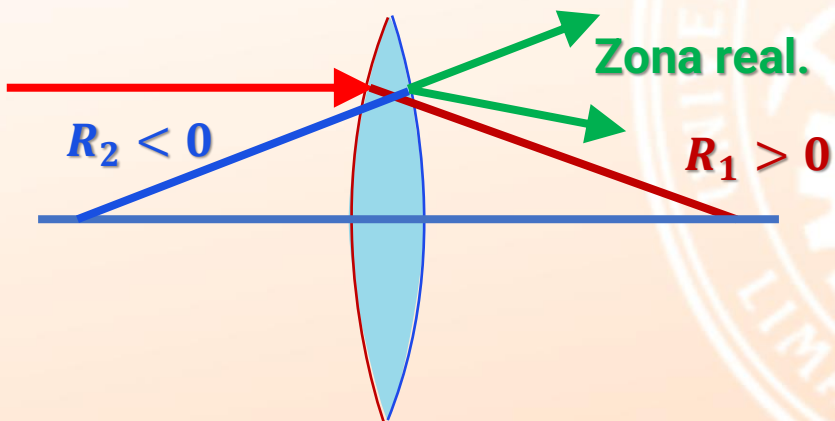
Sumando ambas expresiones
tenemos

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = \frac{1}{f} = \left(\frac{n_\ell}{n_m} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Ecuación del fabricante de lentes

R_1 : Radio de la superficie donde incide la luz

R_2 : Radio de la superficie por donde sale la luz



POTENCIA DE UNA LENTE

Magnitud física que mide la capacidad de una lente para hacer converger o divergir un haz de luz incidente. Es igual al inverso de la distancia focal del elemento medida en metros, es decir

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

Al igual que ocurre con la distancia focal, la potencia es positiva para lentes convergentes y negativa para las divergentes. Suele medirse en dioptrías, unidad igual al inverso del metro (m^{-1}).

Como la distancia focal de una lente, de acuerdo a la ecuación del fabricante, cambia si la lente se coloca en diversos medios, la potencia de la lente también cambiará.