

# TEMA 3: IMÁGENES FORMADAS POR EL OJO

---

# IMÁGENES FORMADAS POR EL OJO

- 3.1.- Imagen dióptrica e imagen retiniana
  - 3.2.- Tamaño de la imagen retiniana
  - 3.3.- Grado de borrosidad de la imagen retiniana
  - 3.4.- Profundidad de campo y de foco
  - 3.5.- Imágenes catadióptricas (imágenes de Purkinje)
-



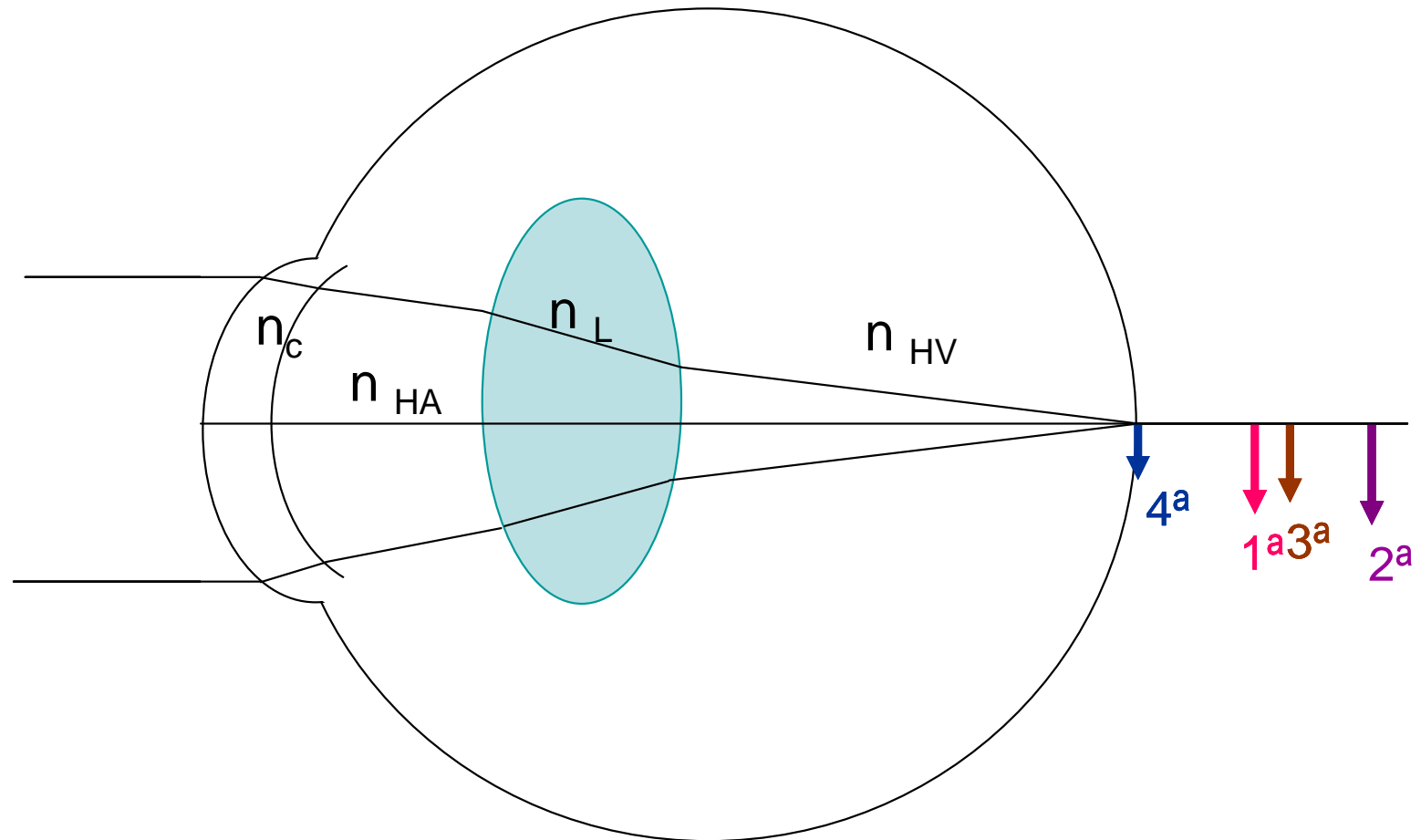
## **IMÁGENES ÓPTICAS:**

- ✓ **Imágenes por refracción y reflexión**
- ✓ **Imagen retiniana (proyección de la imagen sobre la retina. Lo que percibimos es lo que se proyecta en retina)**

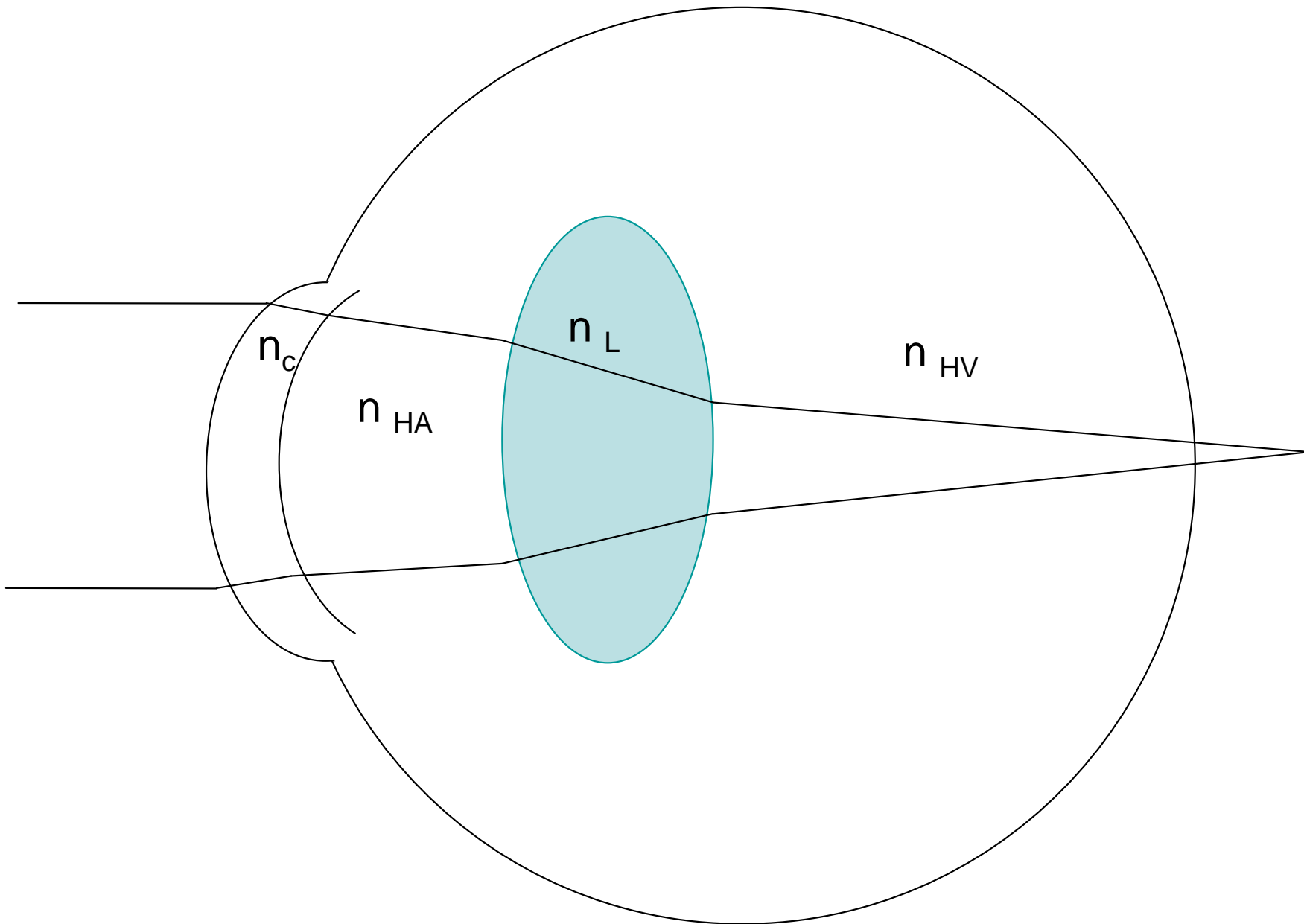
**IMÁGENES ENTÓPTICAS:** son el resultado de luz difusa en el ojo o de fenómenos perceptivos.

- ✓ **Postimágenes**
  - ✓ **Halos**
  - ✓ **Miodesopsias**
  - ✓ **Fosfenos**
-

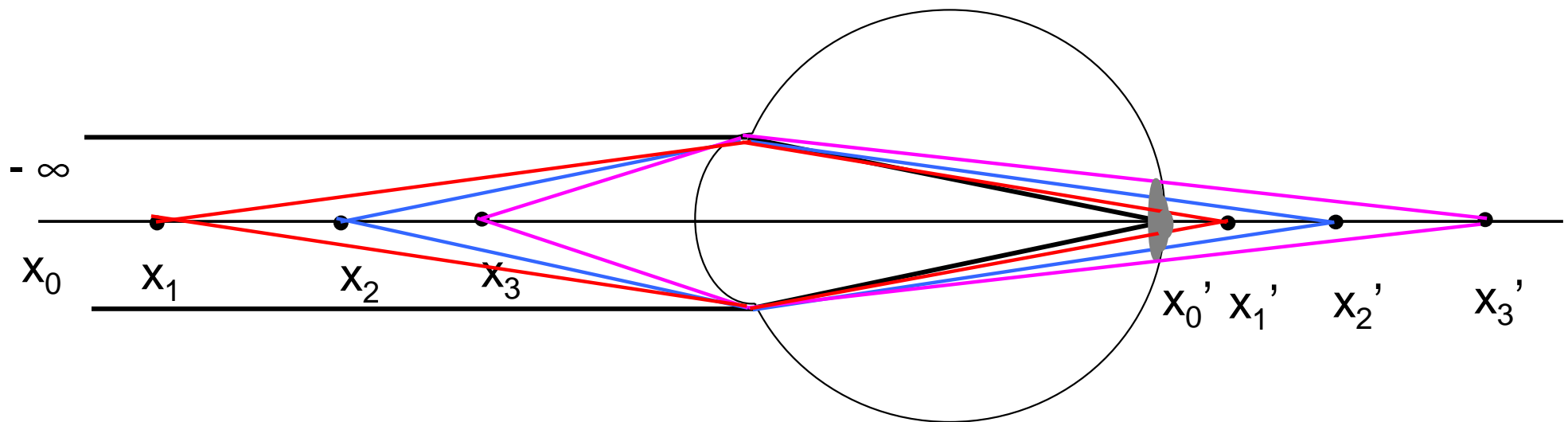
# IMÁGENES POR REFRACCIÓN



A partir del modelo de Legend, podemos calcular de manera teórica las imágenes a través de las dos superficies de córnea y las dos de cristalino ( $1^a$ ,  $2^a$ ,  $3^a$  y  $4^a$ ).

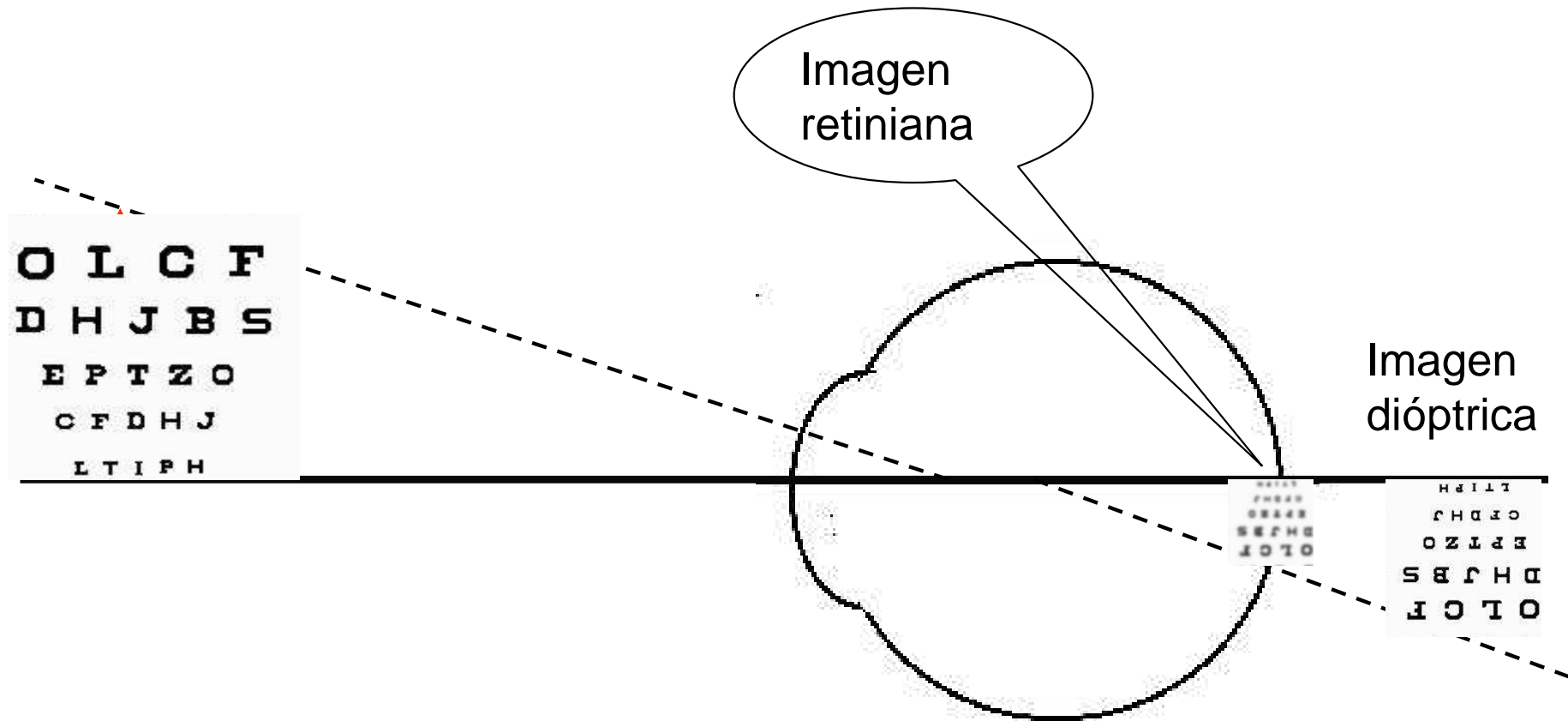


# IMÁGENES POR REFRACCIÓN

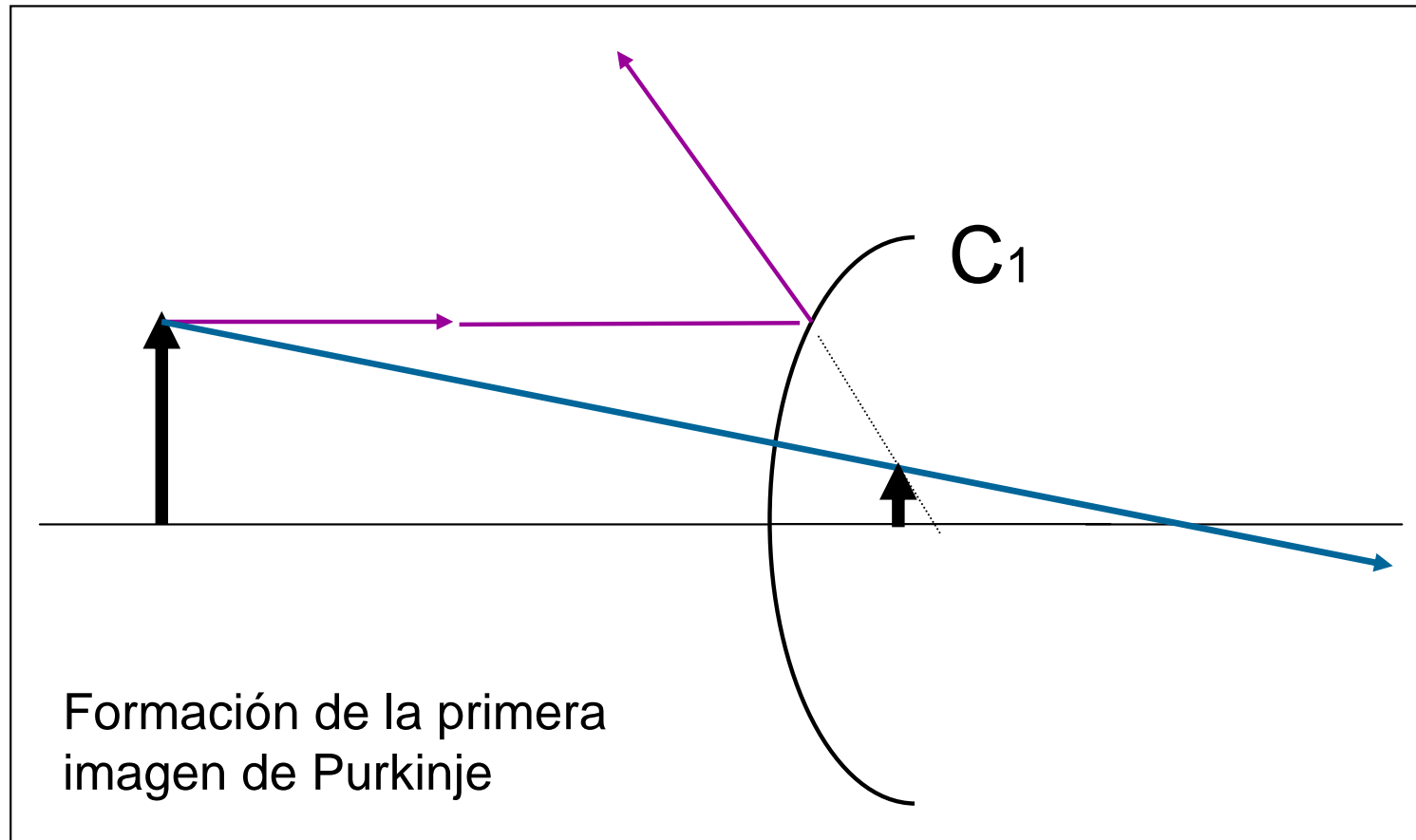


La imagen de un punto sobre la retina, puede estar enfocado ( $x'_0$ ) o no ( $x'_1, \dots, x'_3$ ). Cuando está desenfocado, lo que se proyecta en la retina es un círculo de luz, el círculo de desenfoco.

# IMAGEN RETINIANA



# IMÁGENES POR REFLEXIÓN (CATÓPTRICAS)

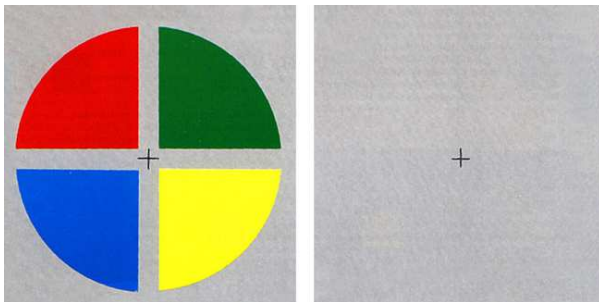


No toda la luz que alcanza al ojo acaba llegando a la retina. En las cuatro superficies refractivas, una pequeña parte de la luz se refleja, dando lugar a imágenes especulares (imágenes por reflexión o de Purkinje)



# IMÁGENES ENTÓPTICAS

## Postimágenes



Por blanqueo de los fotorreceptores  
Después de ver una luz intensa se percibe una imagen luminosa

## Halos



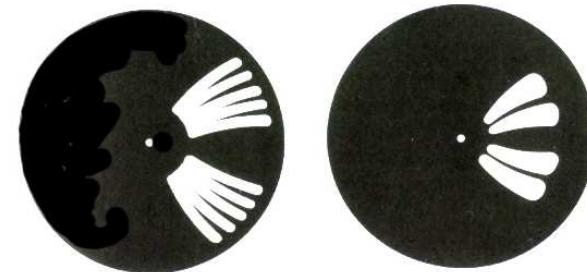
Provocados por luz difusa como consecuencia de un edema corneal

## Miodesopsias



Sombras provocadas por restos de tejido embrionario que flotan en el humos vitreo

## Fosfenos



Al desprenderse la retina hay estimulación mecánica de los fotorreceptores, y se percibe una luz tipo "chispazo"

# IMAGEN RETINIANA

## CASO A.- Imagen enfocada

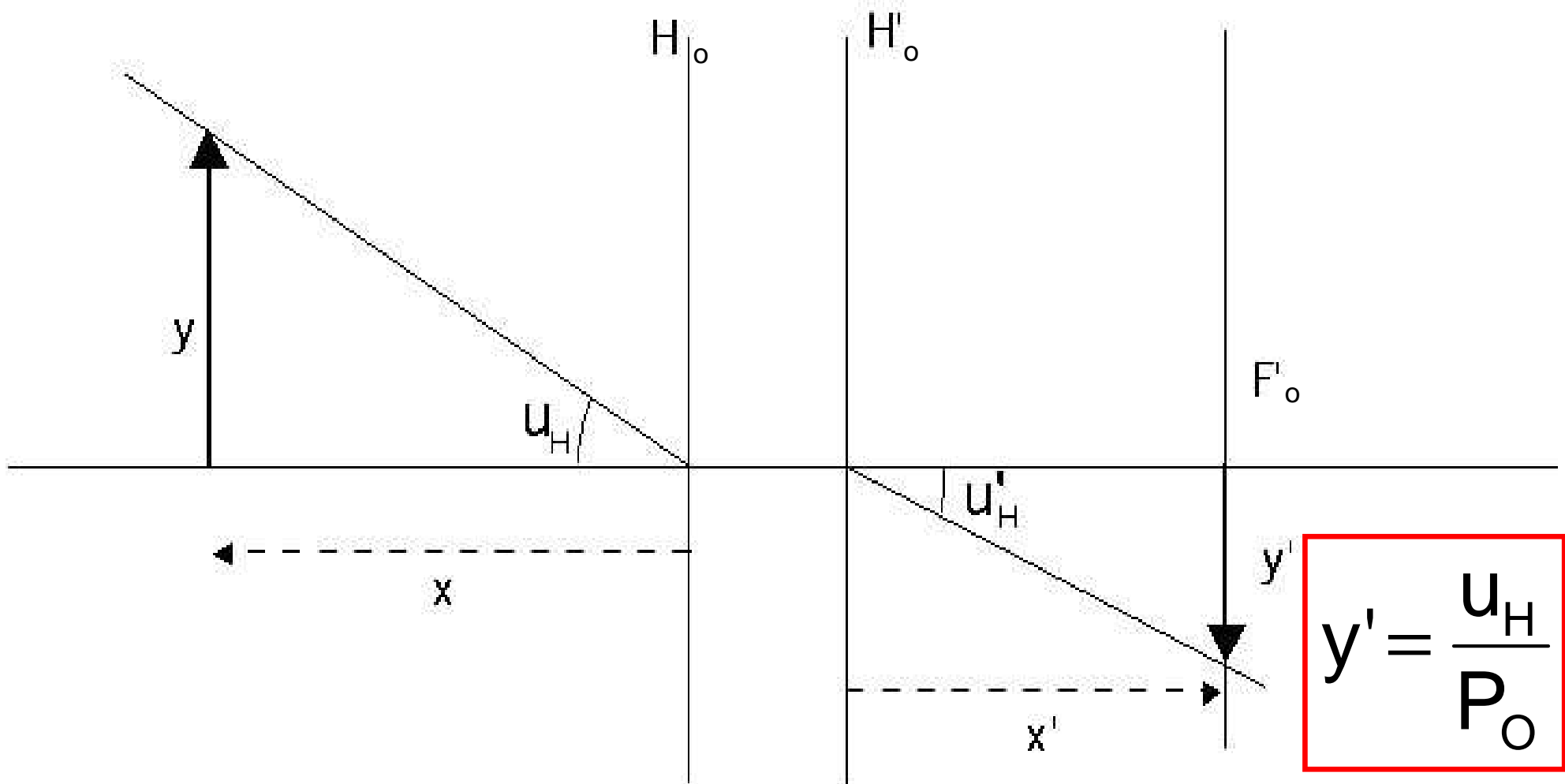
## CASO B.- Imagen desenfocada

B.1.- Objeto puntual

B.2.- Objeto extenso

**El cálculo del tamaño de la imagen retiniana, depende de que la imagen esté o no esté correctamente enfocada.**

# CASO A.- IMAGEN ENFOCADA



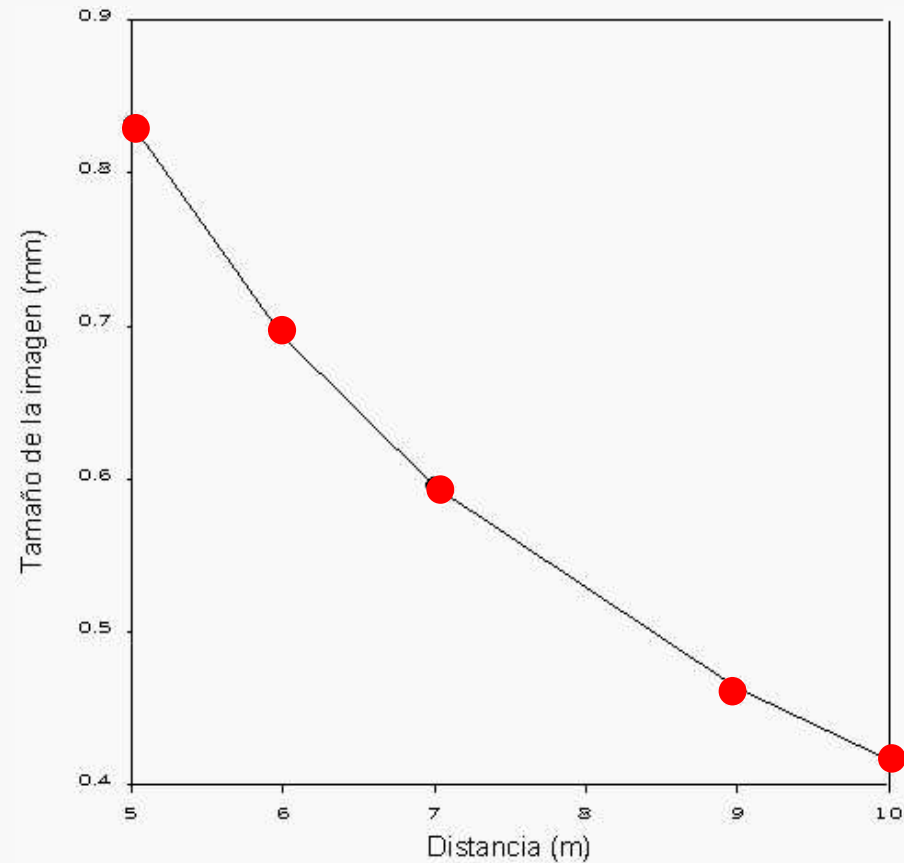
# CASO A.- IMAGEN ENFOCADA

$$y' = \frac{u_H}{P_o}$$

**DATOS**

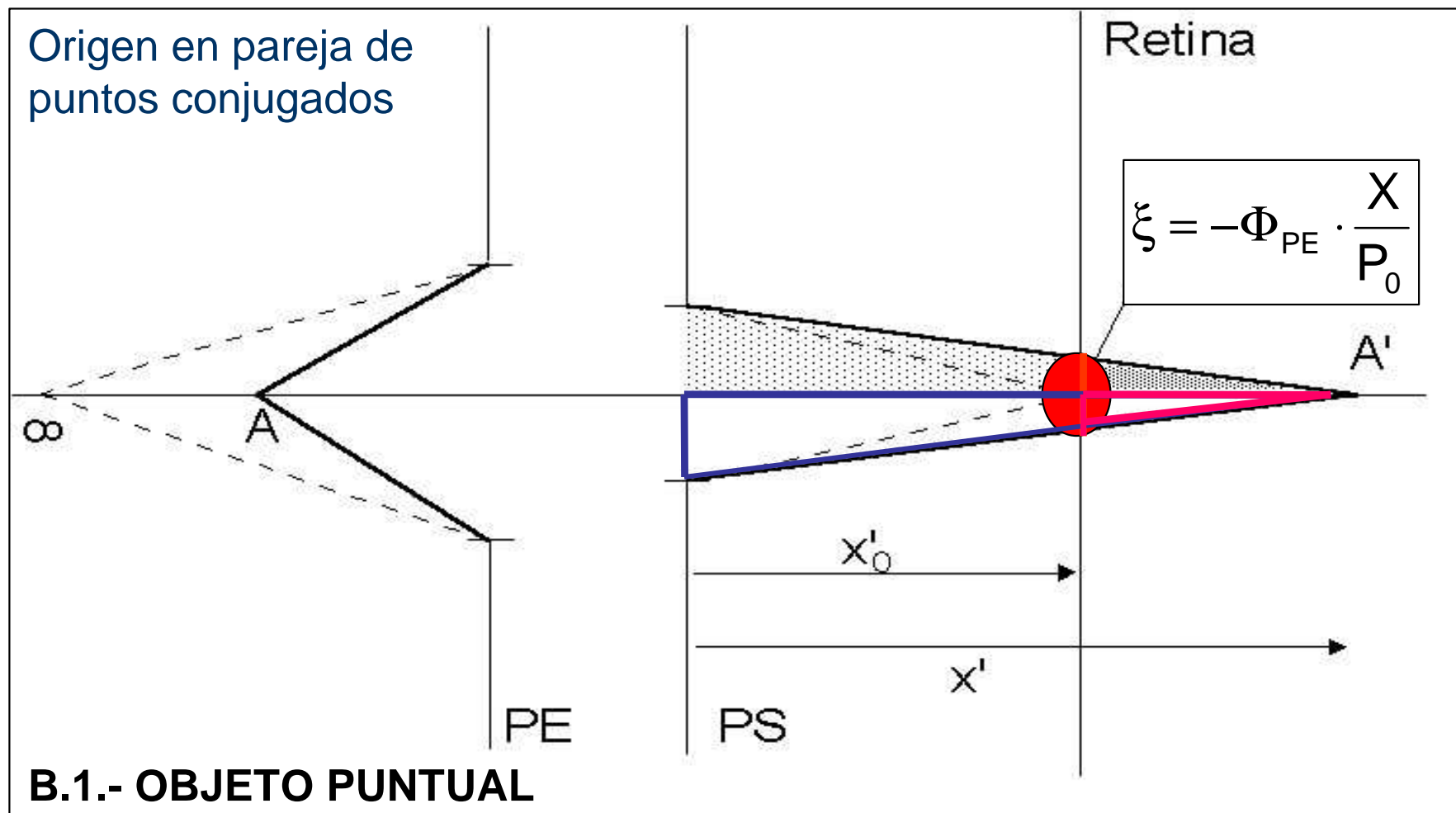
$$P_o = 60 D$$

$$y = 25 \text{ cm}$$



Al aplicar la ecuación para diferentes distancias crecientes, se comprueba cómo al alejar el objeto la imagen es cada vez más pequeña.

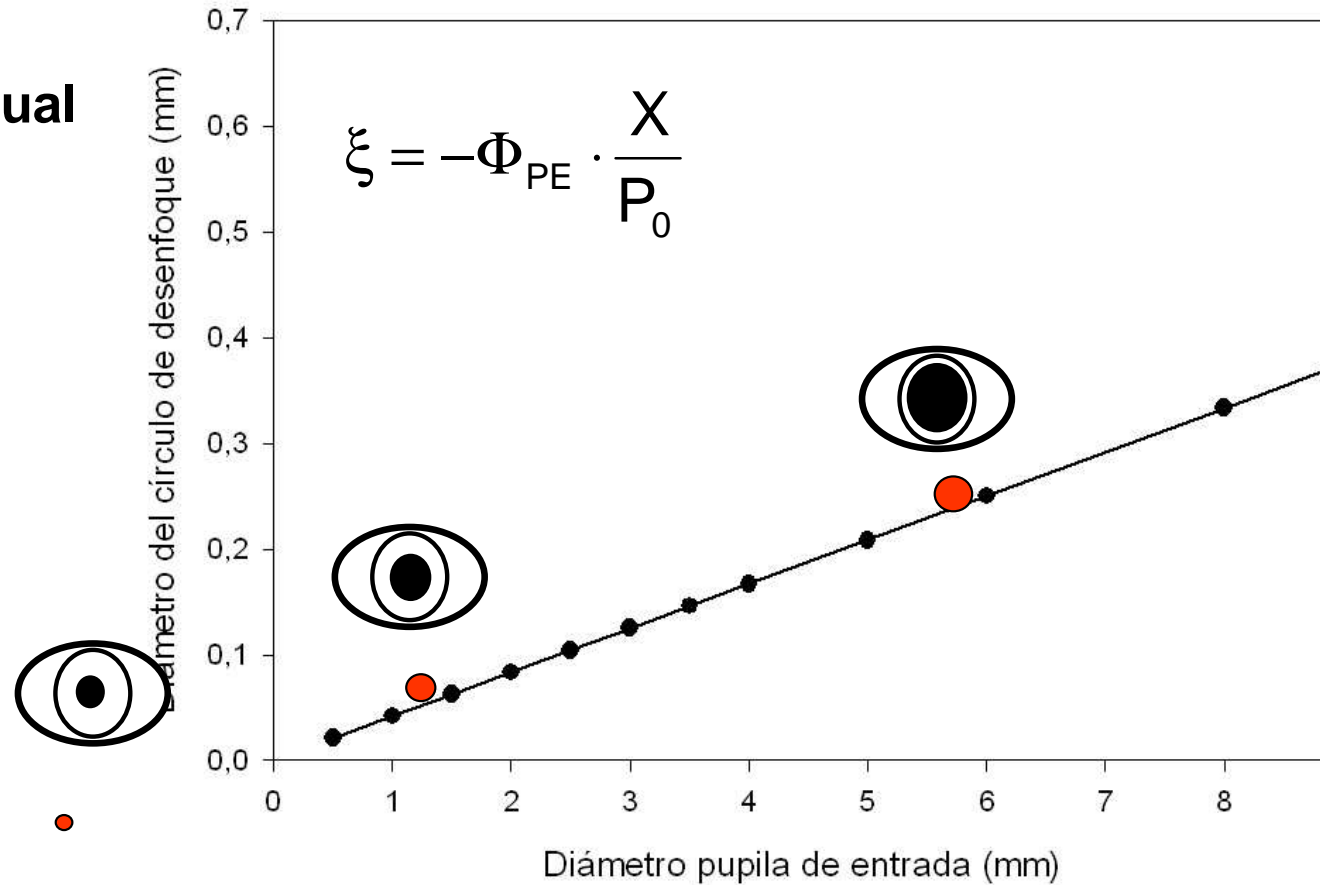
# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA



Sobre la retina se forma una mancha circular, el círculo de desenfoco. Su tamaño varía con el diámetro pupilar, la distancia objeto y la potencia del ojo

# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA

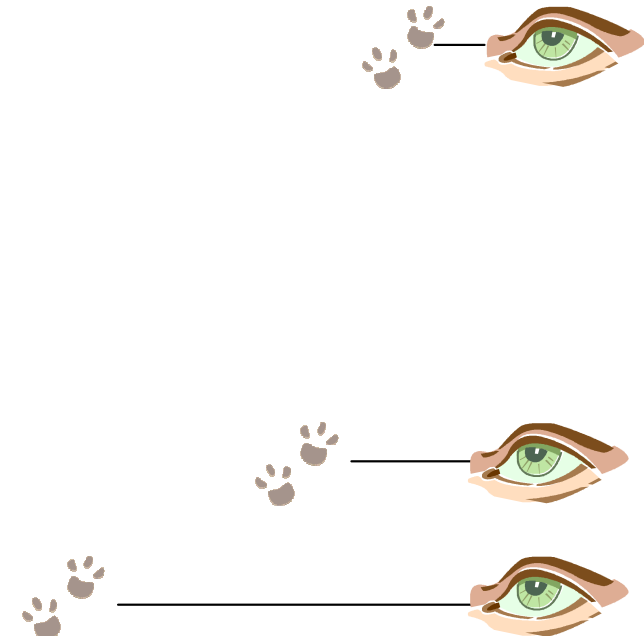
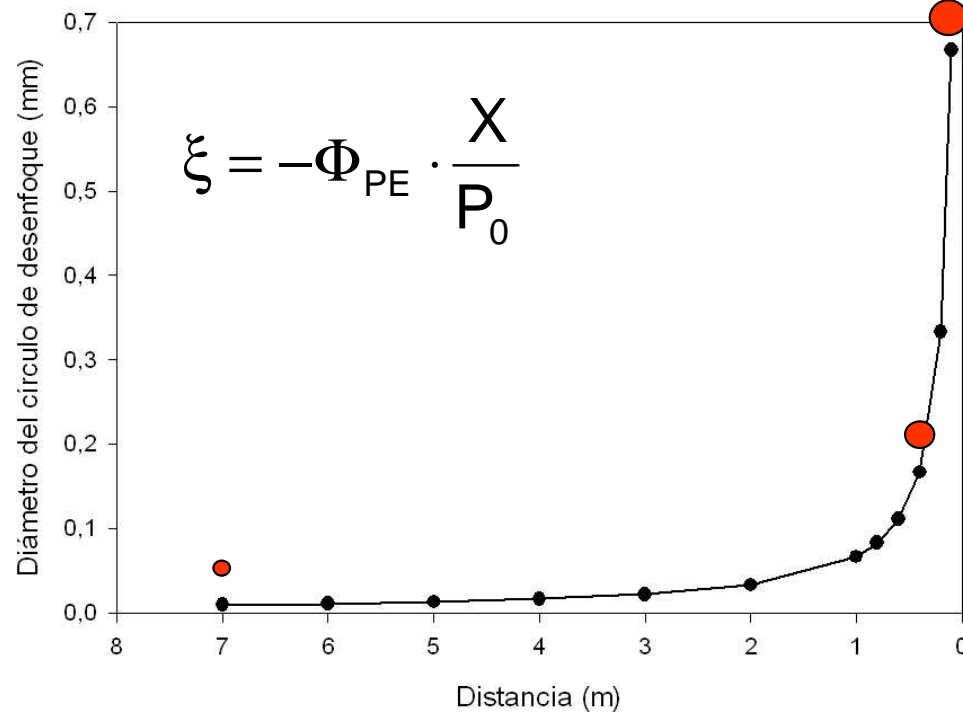
## B.1.- Objeto puntual



**Al aumentar el tamaño de la pupila, aumenta linealmente el desenfoco de la imagen.**

# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA

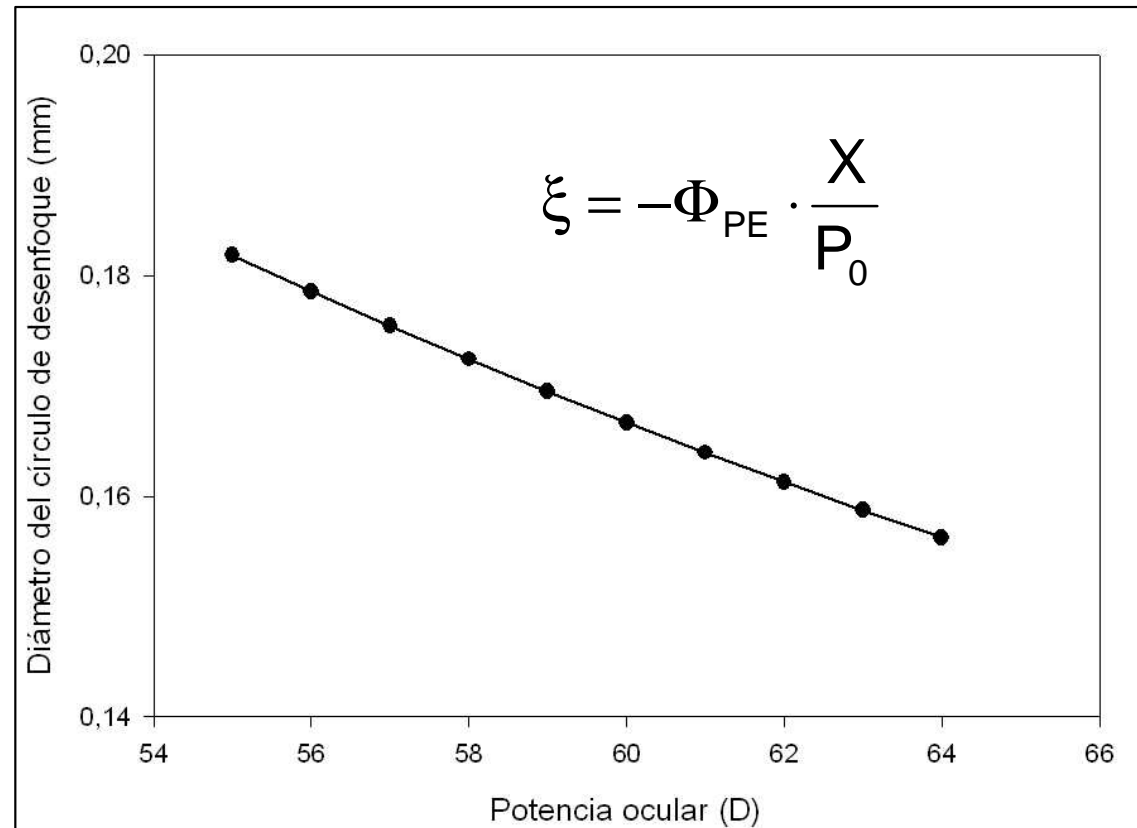
## B.1.- Objeto puntual



**Al aumentar la distancia disminuye el desenfoque de la imagen.**

# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA

## B.1.- Objeto puntual

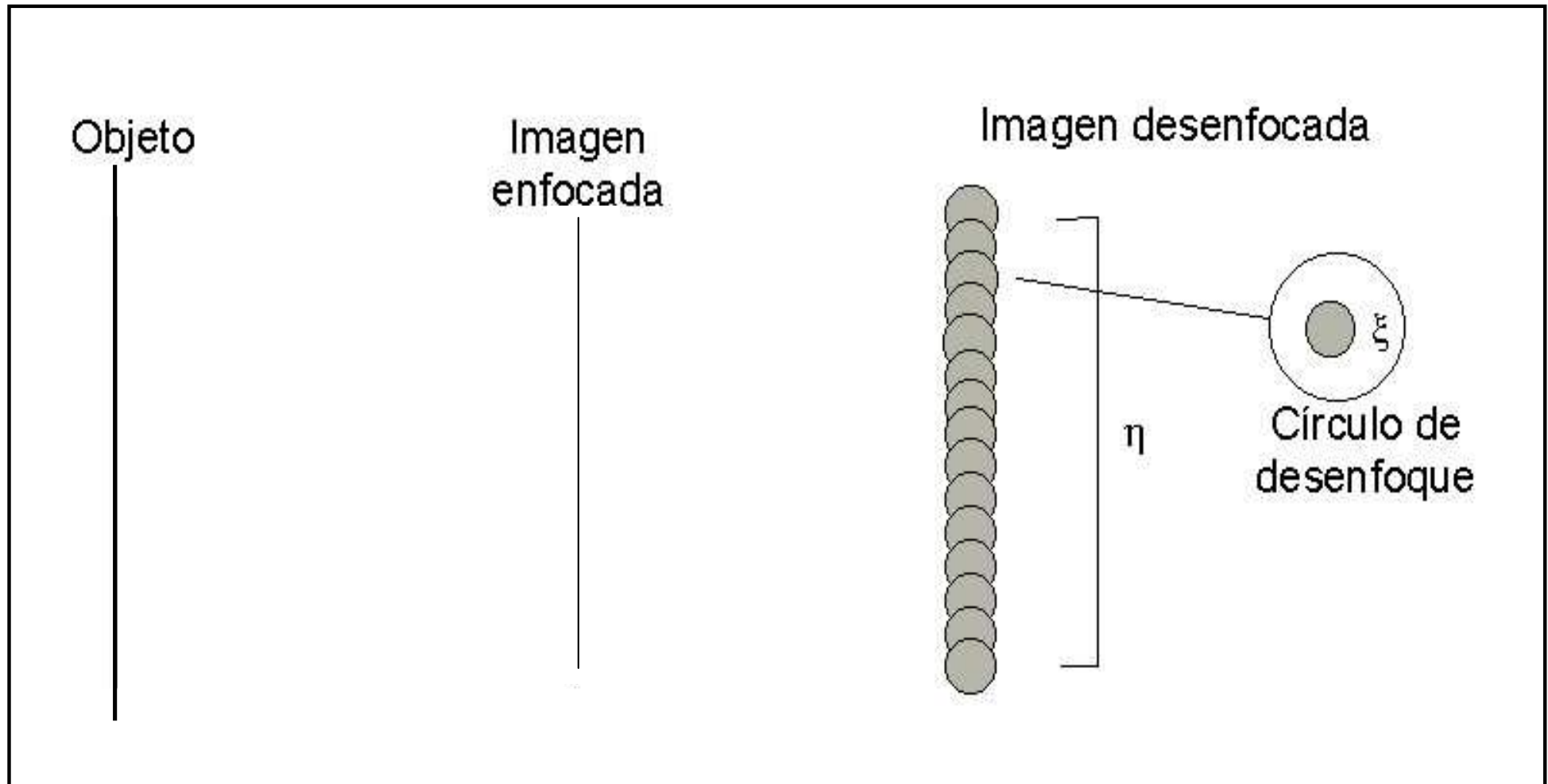


Los ojos con mayor potencia tienen menos desenfoco para las mismas condiciones de observación



# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA

## B.2.- Objeto extenso



# CASO B.- IMAGEN DESENFOCADA

## B.2.- Objeto extenso

Pseudoimagen

$$\eta = \frac{u}{P_o}$$

Tamaño de la imagen retiniana

$$y' = \eta + \xi$$

---

## TABLA RESUMEN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DEL TAMAÑO DE IMAGEN EUN UN OJO TEÓRICO EMÉTROPE

Objeto	Posición	Imagen	Tamaño de la imagen
<b>Objeto puntual</b>	Lejano	Nítida	Punto
	Cercano	Borrosa	$\xi = -\Phi_{PE} \cdot \frac{X}{P_0}$
<b>Objeto extenso</b>	Lejano	Nítida	$y' = \frac{u}{P_0}$
	Cercano	Borrosa	$y' =  \eta  +  \xi  = \left  \frac{u}{P_0} \right  + \Phi_{PE} \left  \frac{X}{P_0} \right $

# GRADO DE BORROSIDAD $\Psi$

Objeto

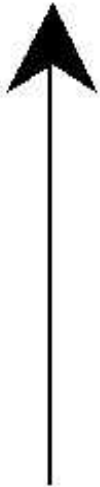


Imagen 1

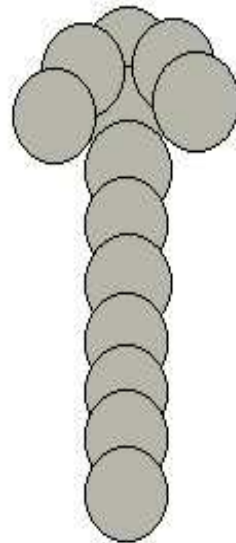
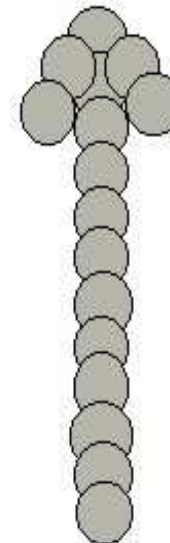


Imagen 2

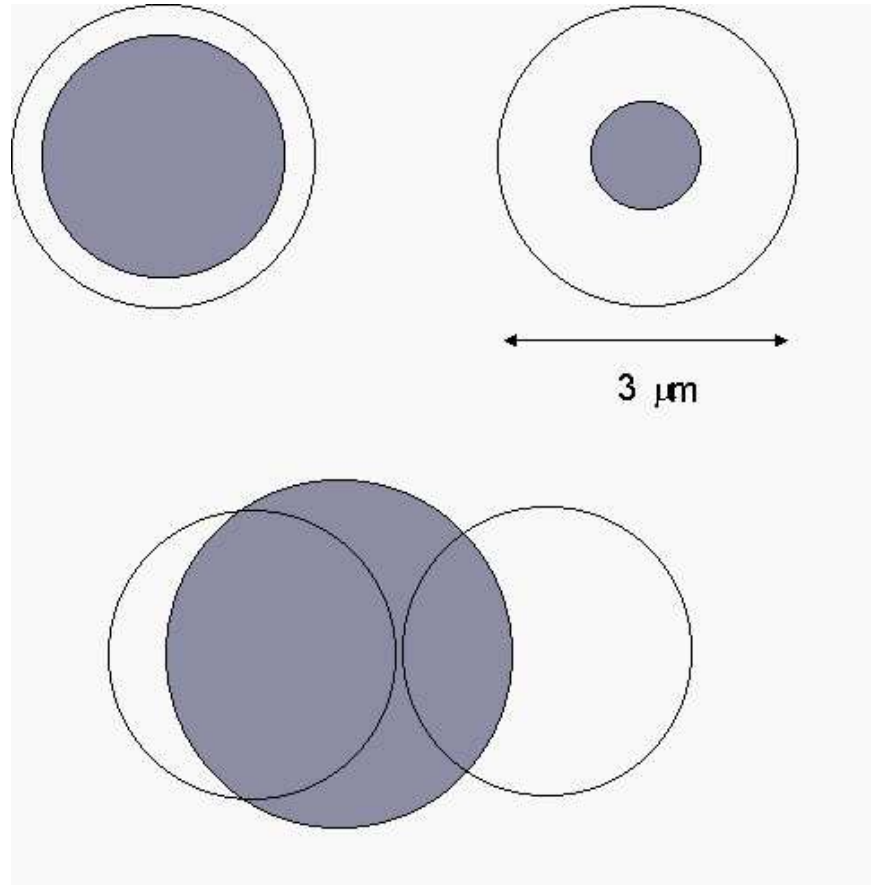


$$\Psi = \frac{\xi}{\eta}$$

Se define el grado de borrosidad como el cociente entre el tamaño del círculo de desenfoque y el tamaño de la pseudoimagen. Cuanto mayor sea, mayor desenfoque tiene la imagen retiniana.

# AGUDEZA VISUAL Y DESENFUQUE

**Enfocado**



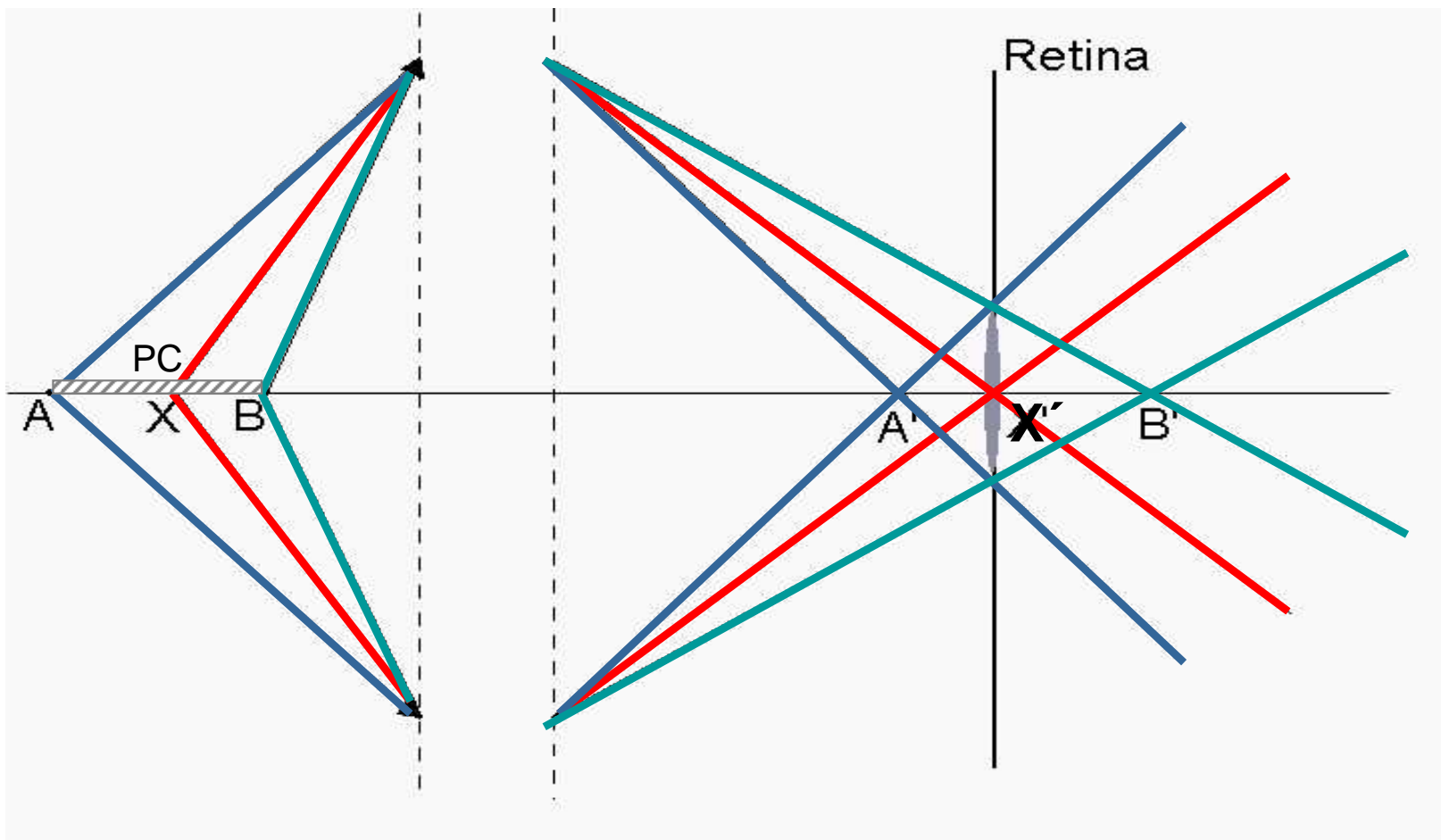
**Enfocado**

**Desenfocado**

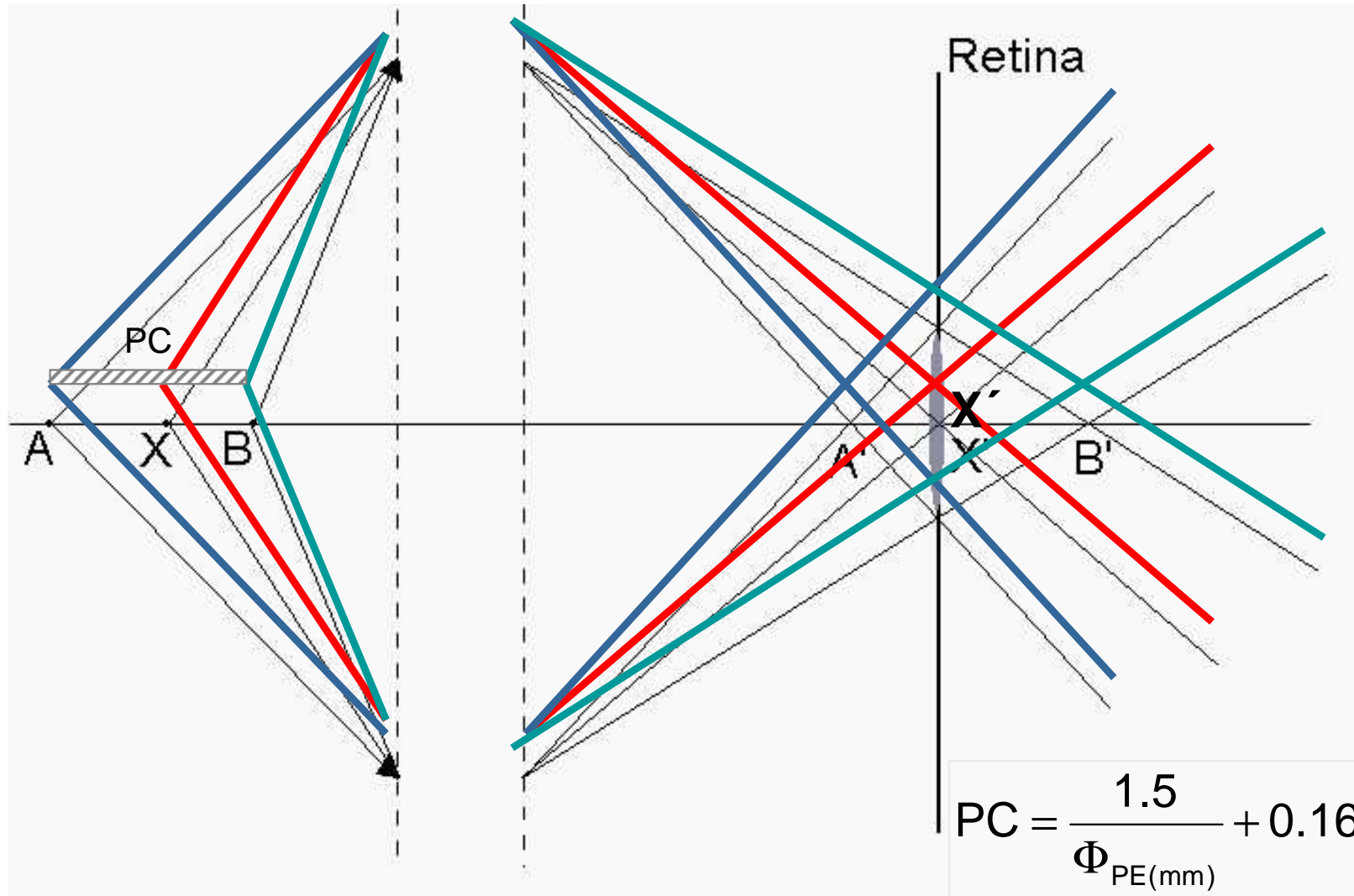
La Agudeza visual se puede explicar a partir de la relación de tamaños entre el círculo de desenfoco y un cono de la retina. Si el círculo de desenfoco es menor que el tamaño de un cono, la imagen es nítida. De lo contrario, estará desenfocada.

# PROFUNDIDAD DE CAMPO.

Rango de distancias dentro del cual la imagen se considera nítida.



# PROFUNDIDAD DE CAMPO



La imagen de X es X'; el desenfoque en A y B es aceptable para el ojo y el observador considera que están enfocados

# PROFUNDIDAD DE CAMPO.

Se puede demostrar que el valor teórico de la profundidad de campo es aproximadamente,

$$P.C. = \frac{2 \xi_{\text{tol}} P_{\text{oc}}}{\phi_{\text{pe}} \beta'}$$

Tomado  $\beta' = 0.92$  (ojo de LeGrand), un tamaño de fotorreceptor de 3 micras de diámetro y una pupila de 3 mm, para un ojo de 60 D, se obtiene:

$$P.C. = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 60}{3 \cdot 10^{-3} \cdot 0.92} = 0.13 D$$

Campbell determinó experimentalmente el valor de la P.C. para varios observadores, y encontró la siguiente relación empírica,

$$P.C. = \frac{1.50}{\phi_{\text{pe(mm)}}} + 0.16$$

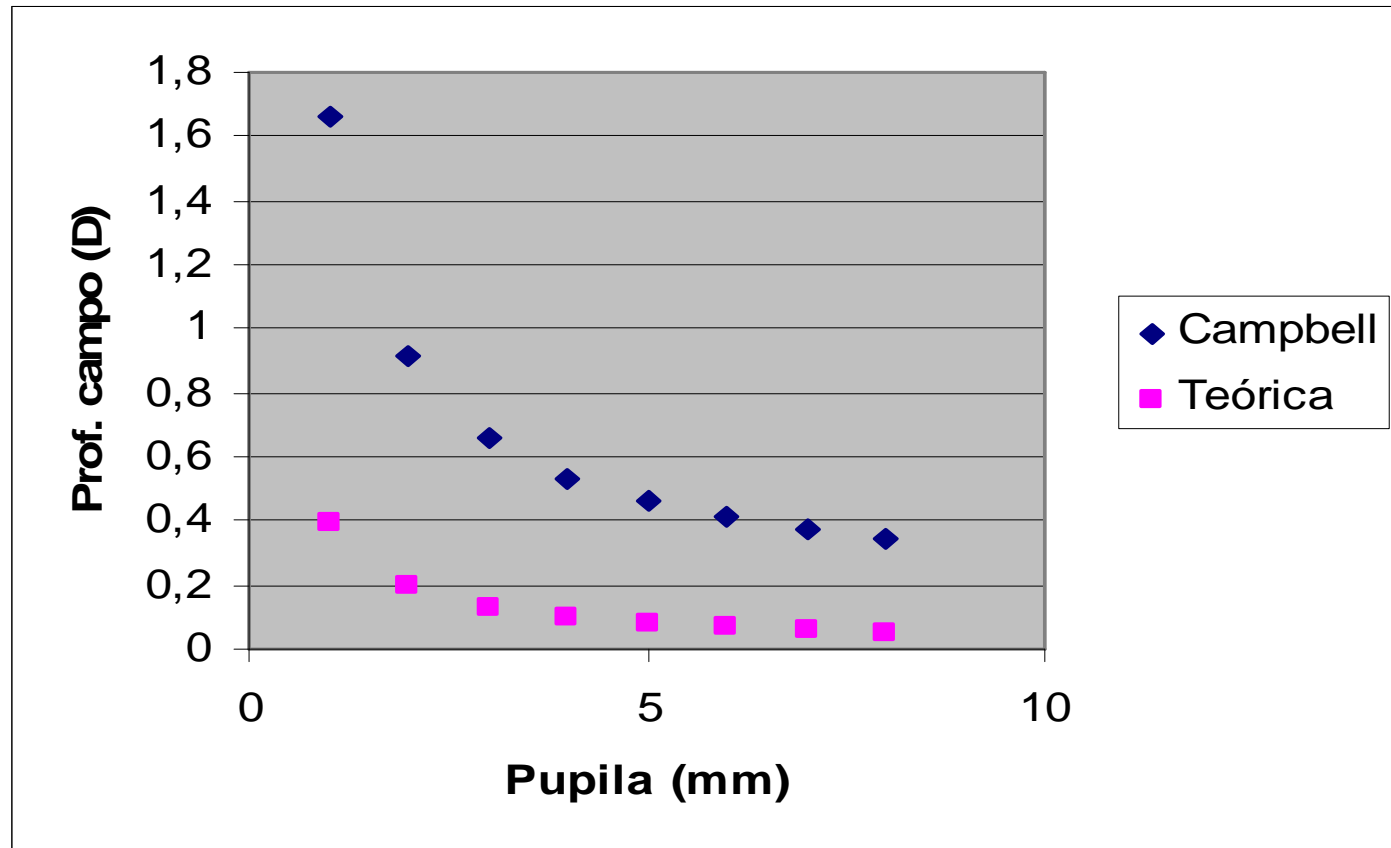
Para los datos anteriores se obtiene,

$$P.C. = \frac{1.50}{3} + 0.16 = 0.66 D$$

La profundidad de campo medida en laboratorio es netamente superior a la teórica

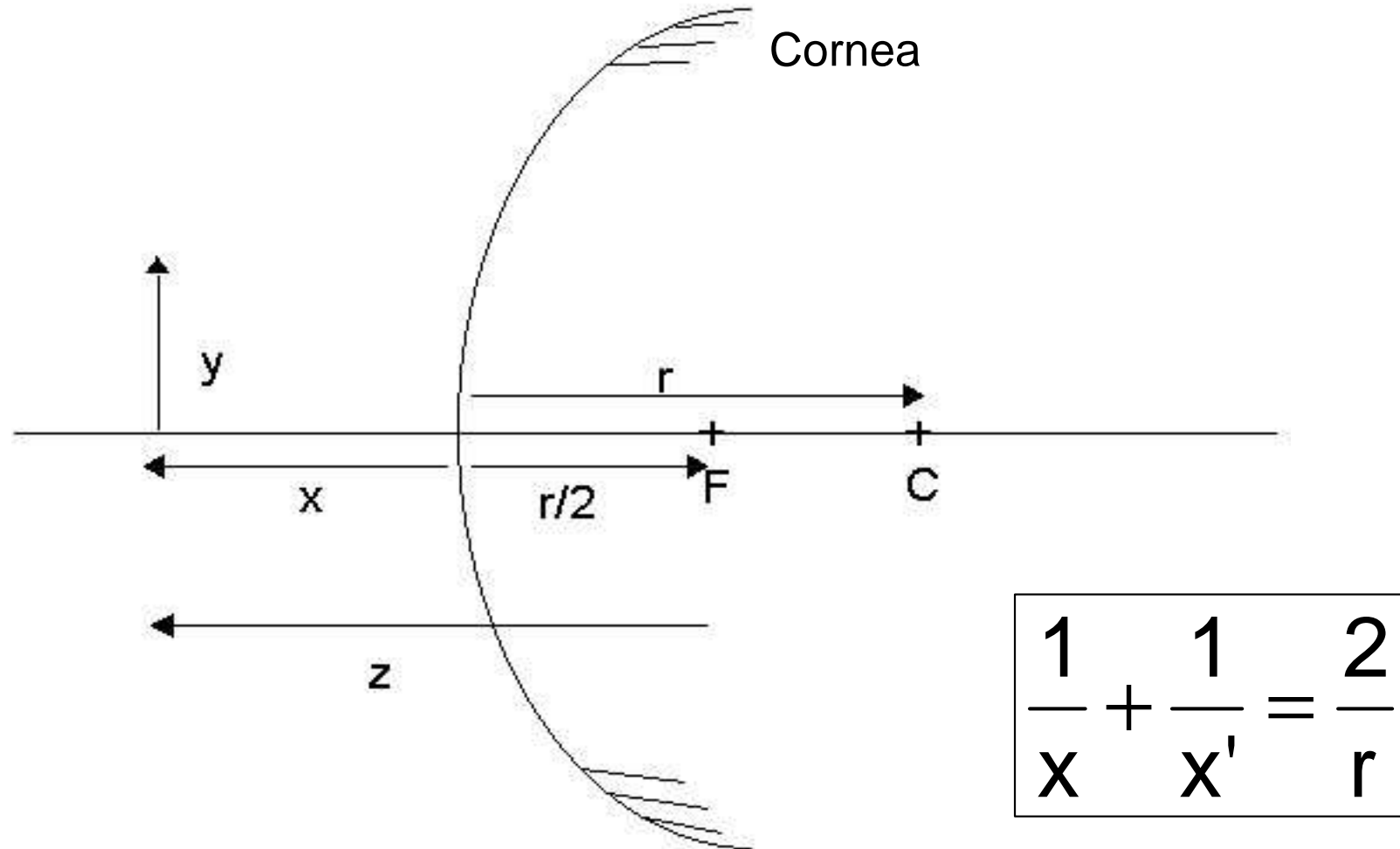


# PROFUNDIDAD DE CAMPO.



La profundidad de campo medida en laboratorio es netamente superior a la teórica

# CÁLCULO DE LA PRIMERA IMAGEN DE PURKINJE



La primera superficie de la córnea actúa como un espejo; se aplica la ecuación correspondiente

# CÁLCULO DE LA SEGUNDA IMAGEN DE PURKINJE

La luz se refracta en la primera superficie corneal (PASO 1), seguidamente se refleja en la segunda superficie corneal (PASO 2), y finalmente se refracta de vuelta en la primera superficie corneal, (PASO 3) pero ahora la luz viaja en sentido contrario:

1. refracción  $X' = X+P$   $y'/y = X/X'$

2. Espejo  $\frac{1}{x'} + \frac{1}{x} = \frac{2}{r}$   $\frac{y'}{y} = \frac{X}{X'}$

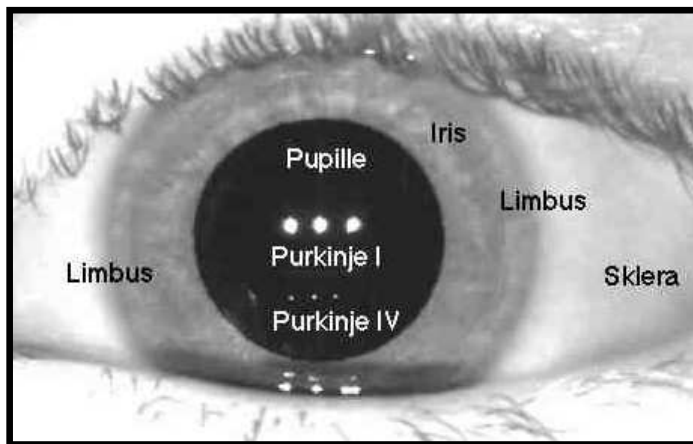
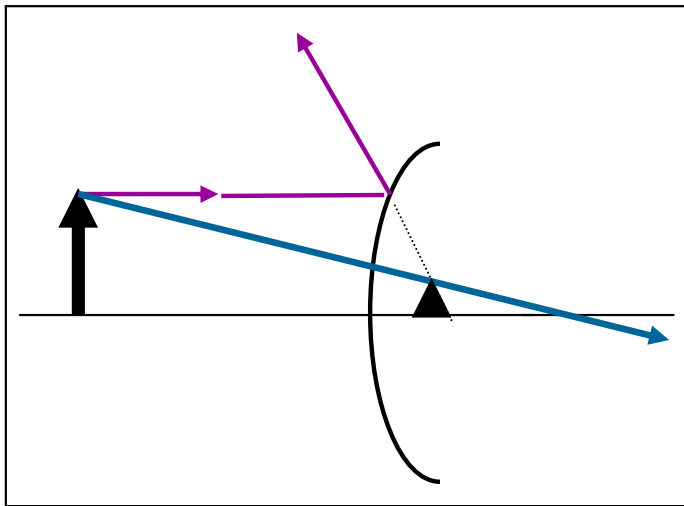
3. refracción sentido inverso  $X' = X+P$   $y'/y = X/X'$

Este último paso no suele variar mucho la posición de la imagen y no siempre se calcula.

IMPORTANTE: Entre paso y paso hay que considerar el cambio de origen para X y X'

La segunda superficie de la córnea actúa como un espejo; se aplica la ecuación correspondiente

# POSICIÓN DE LAS IMÁGENES DE PURKINJE EN EL OJO TEÓRICO DE LEGRAND



Primera y cuarta imagen de Purkinje correspondiente a un objeto formado por tres puntos luminosos.

Imagen	Posición (mm)	Tamaño normalizado
primera	+3.87	1
segunda	+3.582	0.821
tercera	+10.610	1.945
cuarta	+4.325	-0.762