



## TEMA 4.- PODER SEPARADOR DE LOS INSTRUMENTOS ÓPTICOS

- **Definición.**
- **Factores que influyen en el Poder separador.**
- **Poder separador de los Instrumentos Ópticos.**

**Capacidad de los Instrumentos Ópticos para proporcionar imágenes nítidas de los detalles más pequeños de un objeto**



## 4.1.- Definición

### PODER SEPARADOR o PODER RESOLUTIVO DE UN INSTRUMENTO ÓPTICO

- Capacidad para proporcionar imágenes discernibles de dos puntos muy próximos entre sí, es decir, su capacidad para distinguir los detalles más finos del objeto.

### LÍMITE DE RESOLUCIÓN

- Distancia mínima que puede existir entre dos puntos del plano objeto para que sus imágenes sean discernibles.
- Se expresa:
  - En unidades angulares para objetos lejanos ( $\psi$ ).
  - En unidades angulares o espaciales para objetos próximos ( $\eta$ ).

Desde el punto de vista matemático

**PODER SEPARADOR = 1/ LÍMITE DE RESOLUCIÓN**

## 4.2.- Factores que influyen en el Poder separador

- Los Sistemas perfectos (según la definición de la Óptica Geométrica) no presentan limitación alguna en su capacidad de resolución y, por tanto, su Poder separador sería infinito.
- Los Sistemas ópticos reales (como los Instrumentos Ópticos) no se comportan de este modo ideal y, por tanto, su capacidad de resolución está limitada.
- Los principales factores que contribuyen a limitar el Poder separador de un Instrumento son:
  - Las aberraciones.
  - La estructura discreta del fotorreceptor.
  - La difracción.

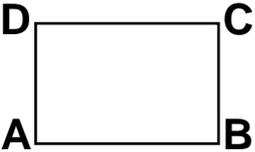
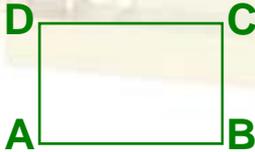
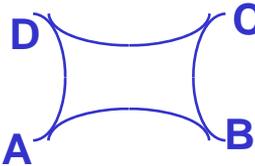


# Las aberraciones

Formación de imágenes en ÓPTICA GEOMÉTRICA

Teoría de primer orden:  $\text{sen}\theta \approx \tan \theta \approx \theta \rightarrow$  ÓPTICA PARAXIAL

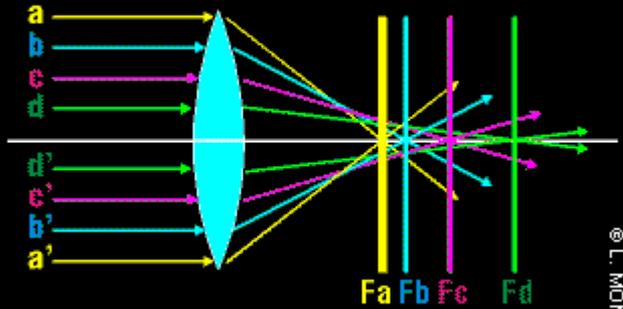
Teoría de tercer orden  $\left\{ \begin{array}{l} \text{sen}\theta \approx \theta - \frac{\theta^3}{3!} \\ \cos \theta \approx 1 - \frac{\theta^2}{2} \end{array} \right\} \rightarrow$  ABERRACIONES PRIMARIAS

OBJETO	<div style="border: 1px solid green; padding: 5px; display: inline-block;">SISTEMAS IDEALES</div> <b>ÓPTICA PARAXIAL</b>	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;">SISTEMAS REALES</div> Con <b>ABERRACIONES</b>
PUNTO PLANO OBJETO EXTENSO 	PUNTO PLANO EXISTE razón de SEMEJANZA 	NO es un PUNTO SUPERFICIE CURVA NO EXISTE razón de SEMEJANZA 





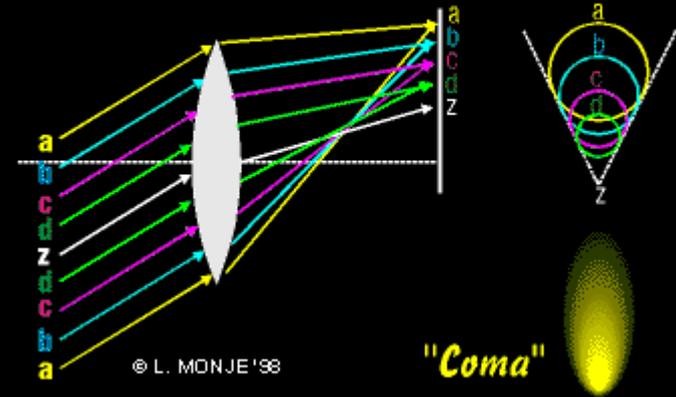
## ABERRACIÓN ESFÉRICA



Objetivos corregidos: **ASFÉRICOS**

© L. MONJE '98

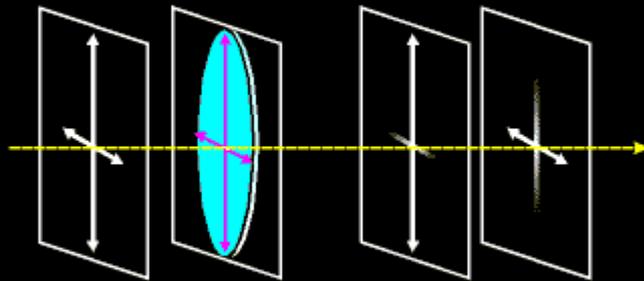
## ABERRACIÓN DE COMA



© L. MONJE '98

"Coma"

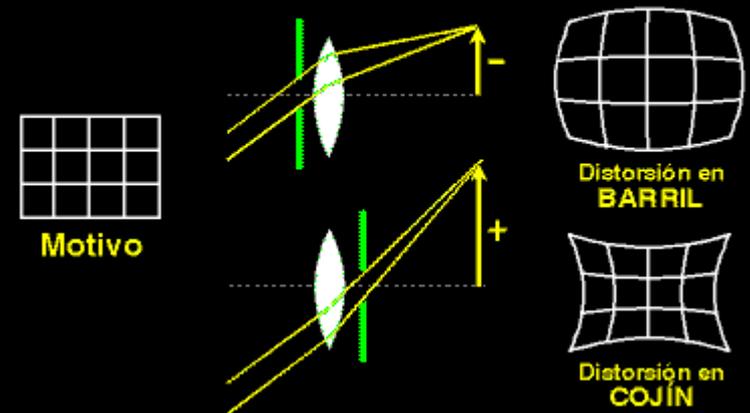
## ABERRACIÓN DE ASTIGMATISMO



Objetivos corregidos: **ANASTIGMÁTICOS**

© L. MONJE '98

## ABERRACIÓN DE DISTORSIÓN



Motivo

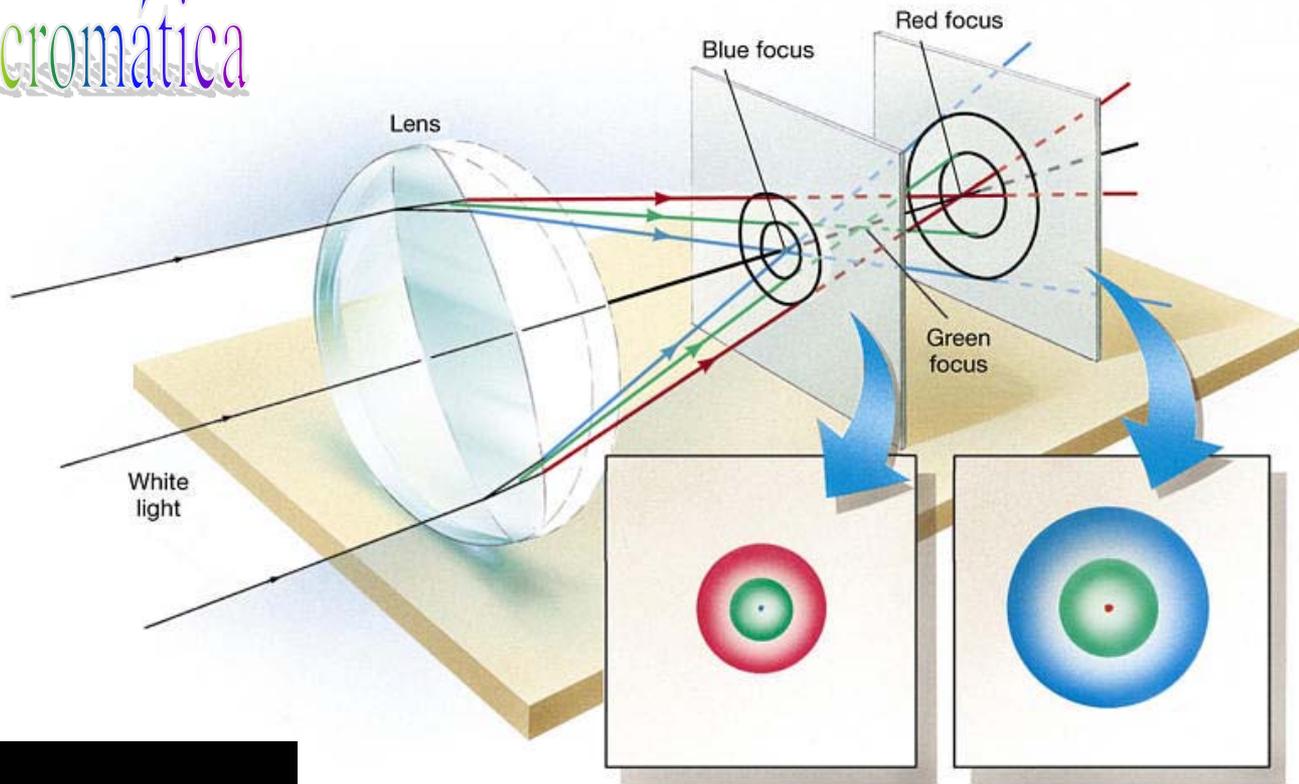
Distorsión en  
BARRIL

Distorsión en  
COJÍN

© L. MONJE '98



# Aberración cromática



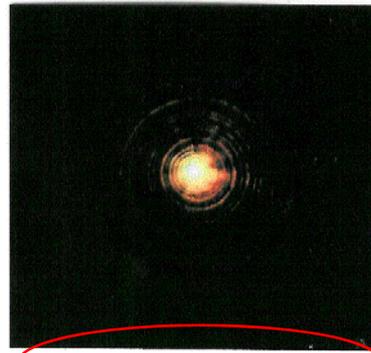
AH-76 ©



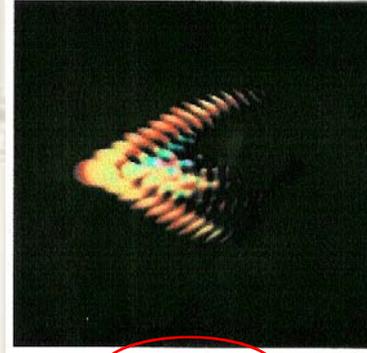
## Aspecto de la imagen de un punto proporcionada por un sistema óptico con aberraciones



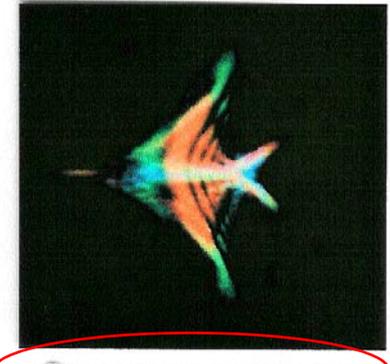
Imagen ideal



Con aberración esférica



Con coma



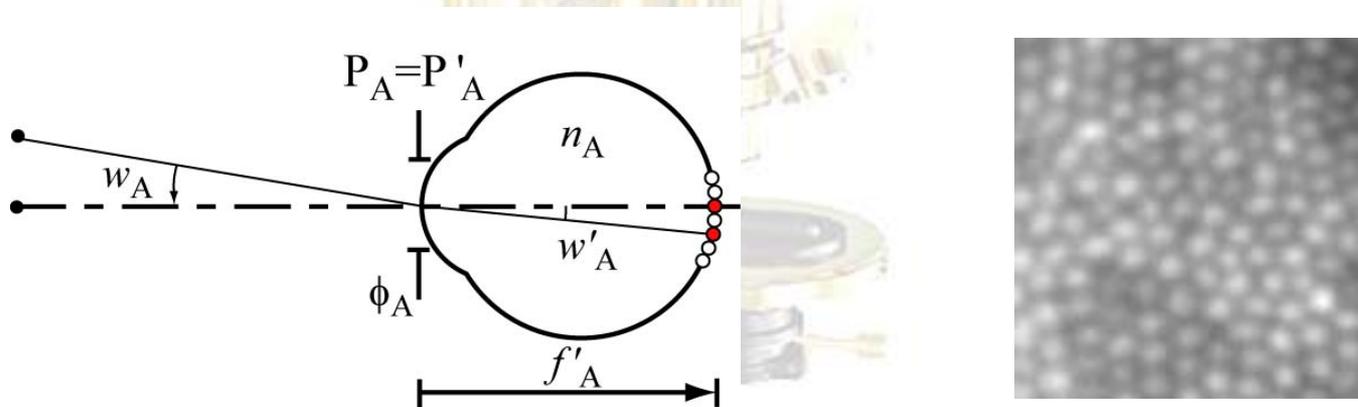
Con coma y astigmatismo

La imagen deja de un punto es una mancha luminosa extensa y este hecho empeora el Poder separador del sistema

Sin embargo, en nuestro estudio, supondremos que el diseño de los Instrumentos se ha hecho minimizando el efecto de las aberraciones (así sucede en los Instrumentos de alta calidad) de modo que no será necesario considerar su influencia sobre el poder separador.

## Estructura discreta del fotorreceptor

- En todos los Instrumentos (Objetivos y Subjetivos) el receptor final de la imagen presenta una estructura discreta (los fotorreceptores tienen tamaño finito) y esto limita el poder separador.
- Para que las imágenes de dos puntos sean distinguibles han de caer en dos fotorreceptores distintos y, además, ha de quedar al menos un fotorreceptor intermedio sin excitar.



- Instrumentos Subjetivos: Para que dos puntos puedan ser resueltos, sus imágenes a través del instrumento han de subtender, desde el centro de la pupila de entrada del ojo un ángulo superior a  $w_A = 1.3'$  (Agudeza visual de un ojo estándar).

# La difracción

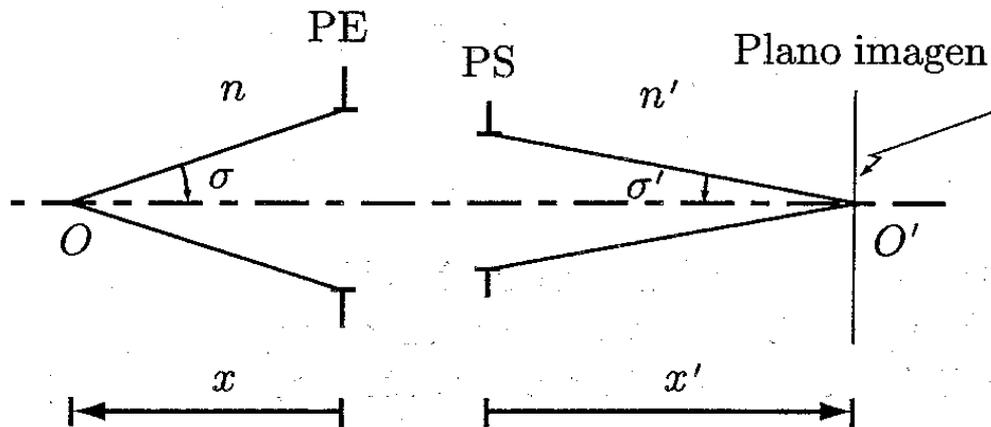
- El estudio de los Instrumentos desde el punto de vista de la Óptica Geométrica (propagación de rayos) describe bien la estructura macroscópica de las imágenes proporcionada por ellos.

Sin embargo:

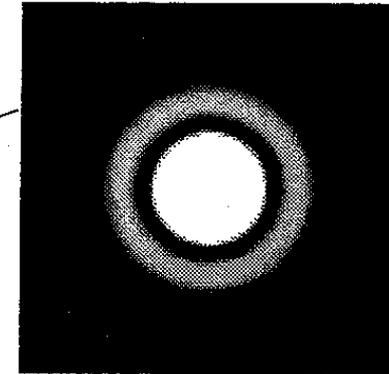
- Para describir de modo preciso la estructura real de las imágenes es necesario considerar la naturaleza ondulatoria de la luz y, debido a ella, el efecto de la difracción en la formación de la imagen de cada punto del objeto.



# Sistema con Pupila de Entrada circular: Respuesta a un objeto puntual debida a la difracción

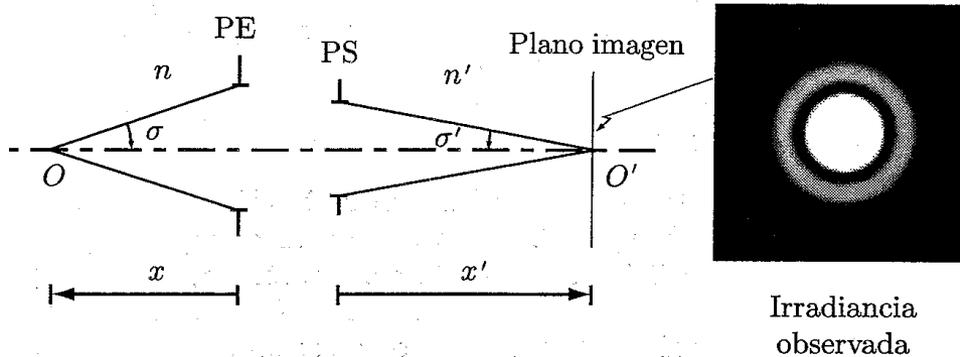


Disco de Airy



Irradiancia  
observada

$$\rho_1 = \frac{0,61\lambda}{n' \sin \sigma'}$$



Disco de Airy

$$\rho_1 = \frac{0,61\lambda}{n' \sin \sigma'}$$

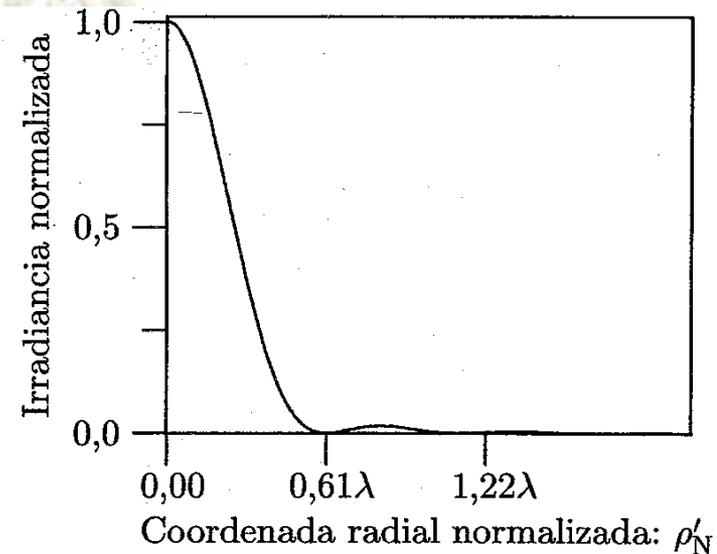
Irradiancia  
observada

## Expresión matemática del Disco de Airy

$$E(\rho') = \left| \frac{J_1 \left( 2\pi \frac{n' \sin \sigma'}{\lambda} \rho' \right)}{\pi \frac{n' \sin \sigma'}{\lambda} \rho'} \right|^2$$

$J_1(\ ) \equiv$  Función de Bessel  
de primera especie y orden uno

En general,  $\lambda=550\text{nm}$



$$\rho'_N = (n' \sin \sigma') \rho'$$

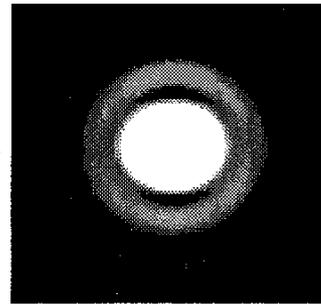
## 4.3.- Poder separador de los Instrumentos Ópticos

- La influencia de la difracción en el poder separador se puede analizar de modo simultáneo para los Instrumentos Objetivos y Subjetivos, ya que para estos últimos el acoplamiento Ojo-Instumento *equivale* a un *Instrumento Objetivo* caracterizado por sus *Pupilas de Entrada y de Salida efectivas*.
- Para **calcular el Límite de resolución** hay que establecer bajo qué condiciones se considera que las imágenes de dos puntos diferentes del objeto (dos discos de Airy) son discernibles.

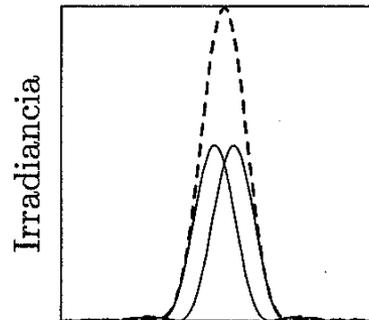
El criterio de resolución de Lord Rayleigh establece que dos discos de Airy son discernibles cuando la separación entre sus centros es mayor o igual que  $\rho'_1$

# Criterio de resolución de Lord Rayleigh

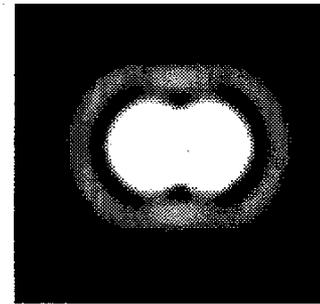
Imagen  
no resuelta



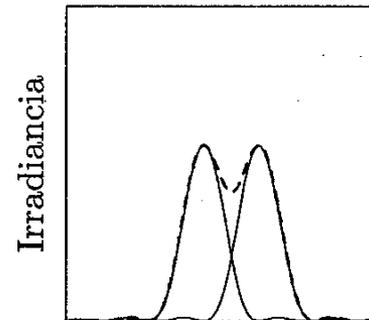
a)



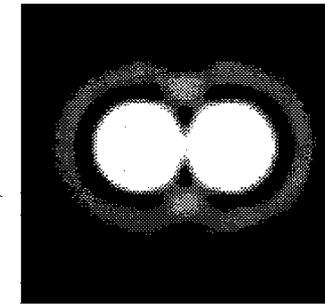
Coordenada  
transversal



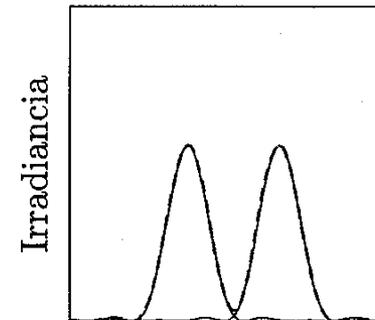
b)



Coordenada  
transversal



c)



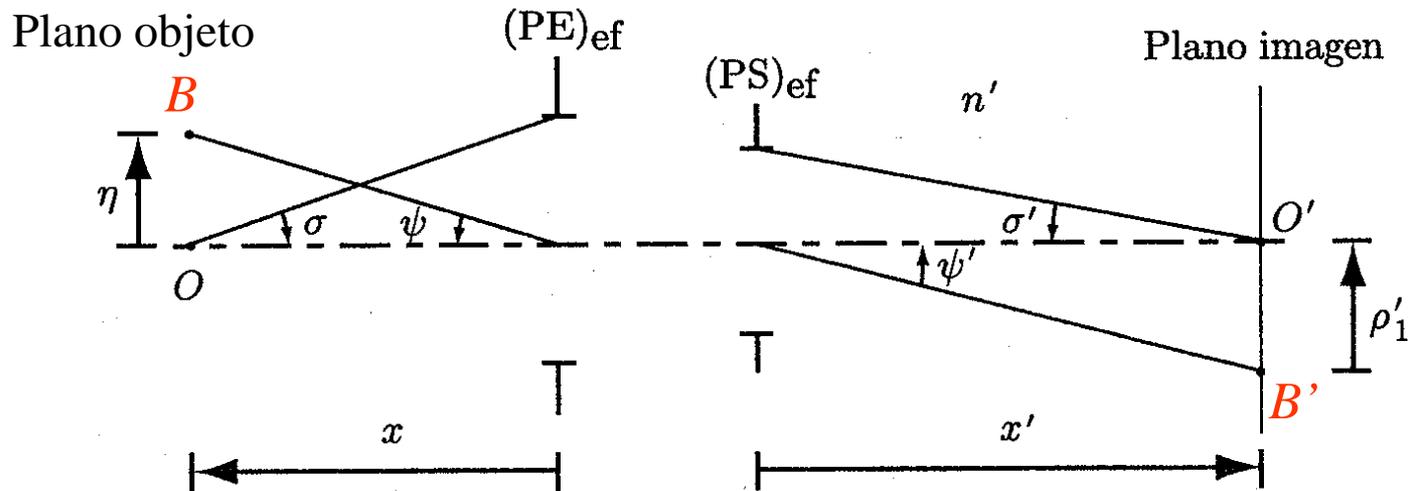
Coordenada  
transversal

Imagen  
resuelta

Límite de Rayleigh

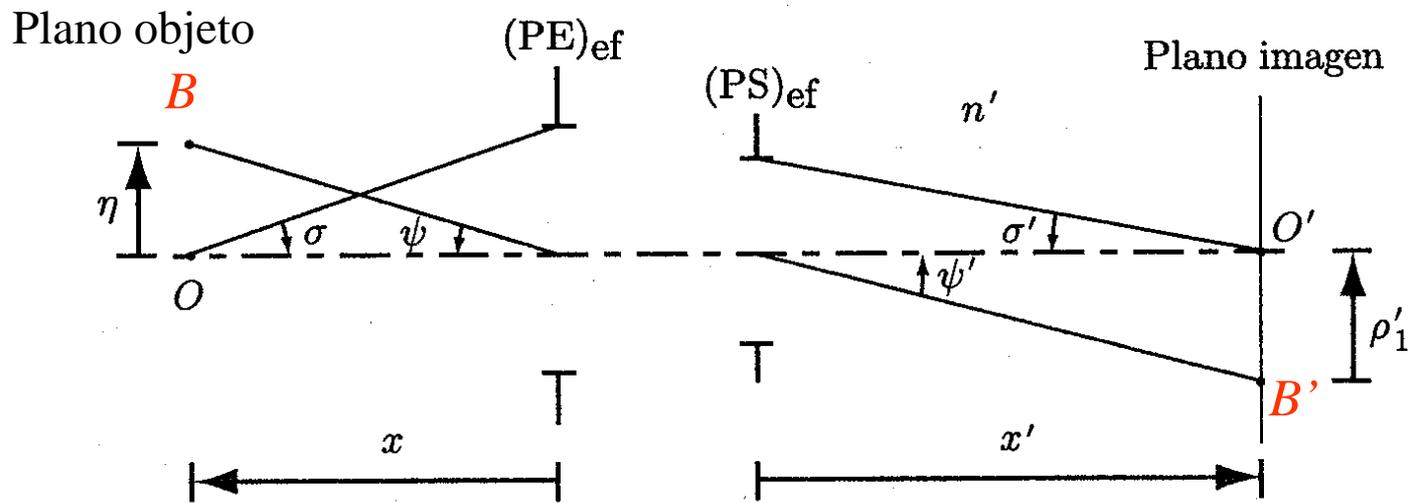


Aplicando el criterio de Rayleigh es fácil calcular el Límite de resolución tanto en unidades angulares como espaciales



En el espacio imagen

$$\psi' \approx \frac{\rho'_1}{x'} = \frac{0,61\lambda}{x' n' \sin \sigma'} = \frac{1,22\lambda}{n' \phi_{PS}^{ef}}$$

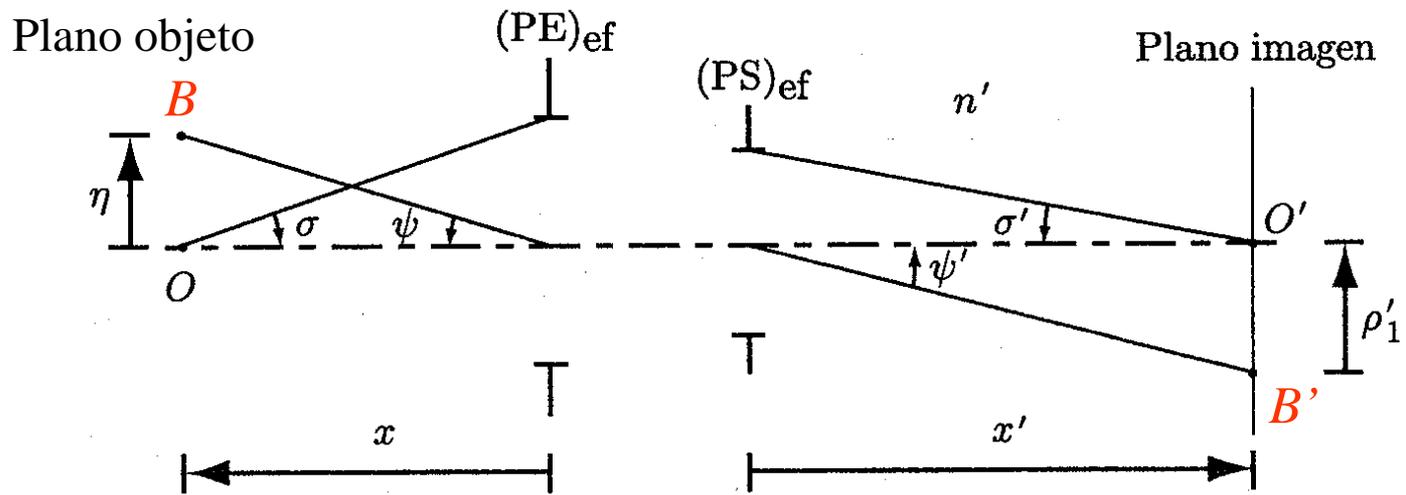


En el espacio objeto

- En unidades espaciales (útil para objetos próximos)

(Condición de Abbe)  $n \eta \sin \sigma = n' \eta' \sin \sigma' = -n' \rho_1' \sin \sigma'$

$$\eta = -\frac{n' \sin \sigma'}{n \sin \sigma} \rho_1' = -\frac{0,61\lambda}{n \sin \sigma} = -x \frac{1,22\lambda}{n \phi_{PE}^{ef}}$$



En el espacio objeto

- En unidades angulares

$$\psi = \frac{\eta}{-x} = \frac{1,22\lambda}{n\phi_{PE}^{ef}} \quad (\text{radianes})$$

$$\psi = \frac{70''}{xn \sin \sigma} = \frac{140''}{n\phi_{PE}^{ef} (mm)} \quad (\text{segundos de arco})$$

(para  $\lambda=550\text{nm}$ )

# LÍMITE DE RESOLUCIÓN DE UN INSTRUMENTO ÓPTICO

- En unidades espaciales

$$\eta = -x \frac{1,22\lambda}{n\phi_{PE}^{ef}}$$

- En unidades angulares

$$\psi = \frac{\eta}{-x} = \frac{1,22\lambda}{n\phi_{PE}^{ef}} \quad (\text{radianes})$$

$$\psi = \frac{70''}{xn \sin \sigma} = \frac{140''}{n\phi_{PE}^{ef} (mm)} \quad \begin{array}{l} (\text{segundos de arco}) \\ (\text{para } \lambda=550\text{nm}) \end{array}$$

A tener en cuenta:

- El análisis de los diferentes factores que limitan el Poder separador de un Instrumento óptico se puede realizar por separado para cada uno de ellos.

Sin embargo

- El factor que determina finalmente el Poder separador del Instrumento es el que proporciona unos resultados más desfavorables, es decir, el que provoca una mayor merma en el Poder separador.