

# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

- Introducción
- Aberración esférica
- Coma
- Astigmatismo radial
- Curvatura de la imagen
- Distorsión



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Introducción*

Un **sistema óptico perfecto** debe cumplir las siguientes **condiciones** establecidas por **Maxwell**:

- Condición de **estigmatismo** (aproximado).
- **Correspondencia plano a plano**: Si los puntos objeto están contenidos en un plano perpendicular al eje, los puntos imagen también están contenidos en un plano perpendicular.
- Razón de **semejanza transversal** invariable: Si dos puntos objeto contenidos en un plano transversal distan una cantidad  $y$ , sus puntos imagen distan una cantidad  $y'$  que no varía independientemente de la posición de los puntos objeto.

$$\beta' = \frac{y'}{y}$$



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Introducción*

- Las **aberraciones** en un sistema óptico aparecen cuando alguna (o varias) de las condiciones establecidas por Maxwell no se satisface.
- Las **aberraciones monocromáticas** en un sistema óptico centrado son aquellas que se observan con luz monocromática (longitud de onda  $D$  de Fraunhofer).
- Tipos de aberraciones monocromáticas:
  - No se cumple la condición de estigmatismo: Aberración esférica, coma meridional, astigmatismo radial.
  - No existe correspondencia plano a plano: Curvatura.
  - No existe una razón de semejanza invariable: Distorsión.



# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

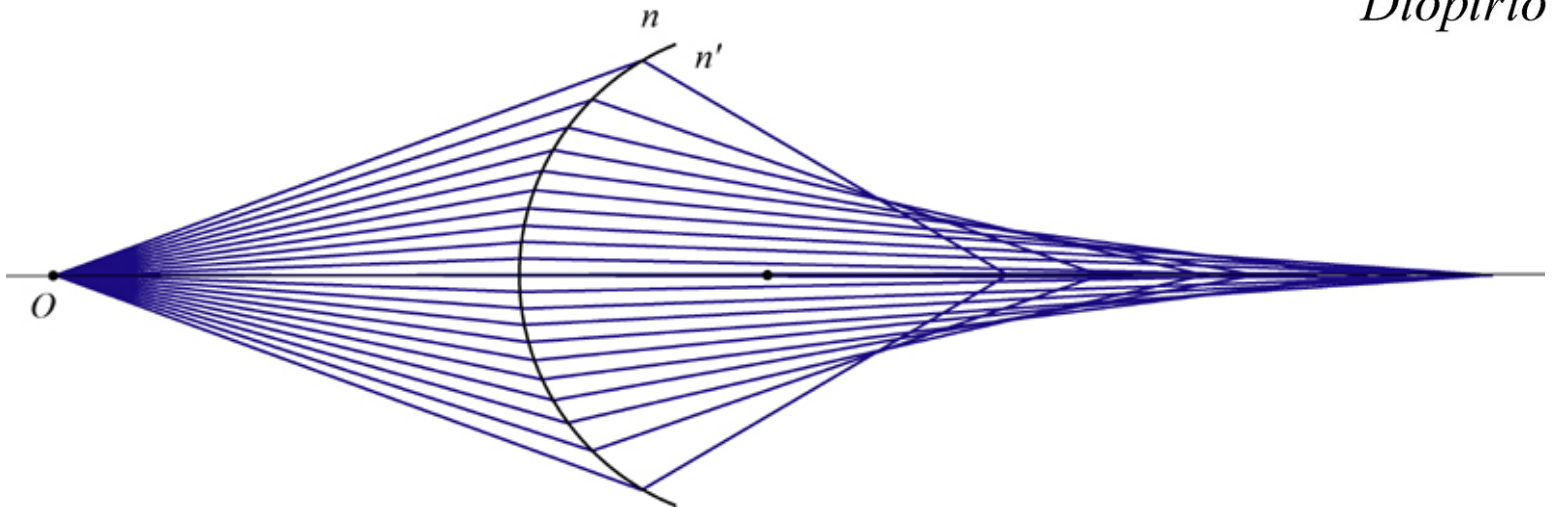
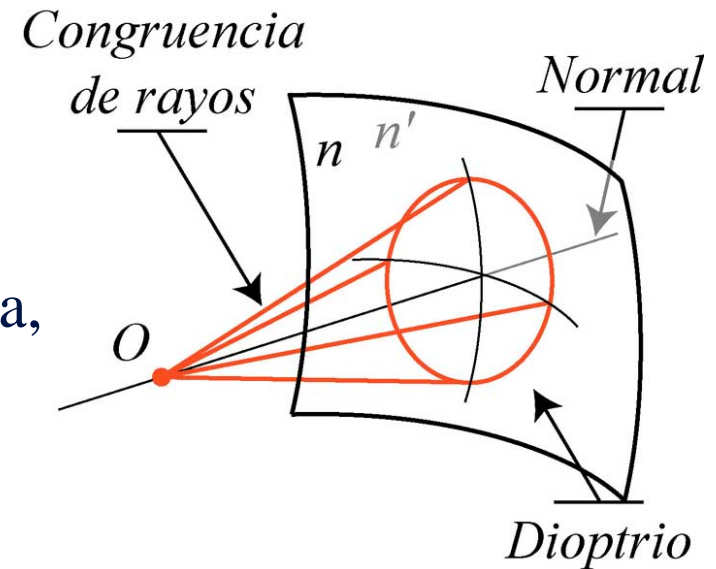
- Introducción
- **Aberración esférica**
- Coma
- Astigmatismo radial
- Curvatura de la imagen
- Distorsión



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

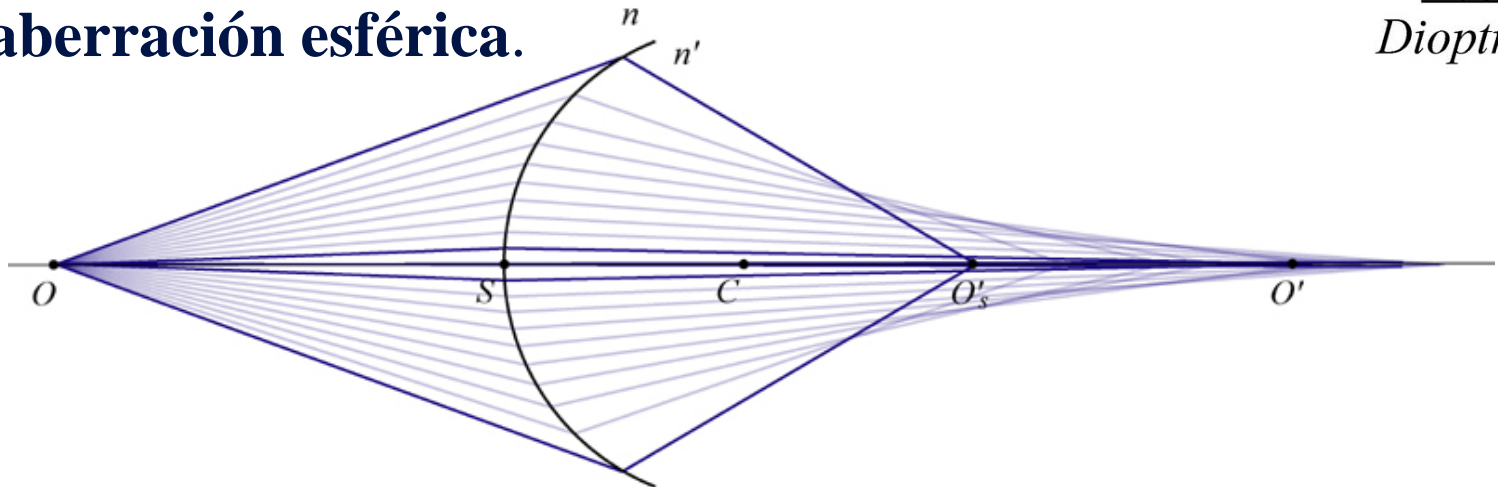
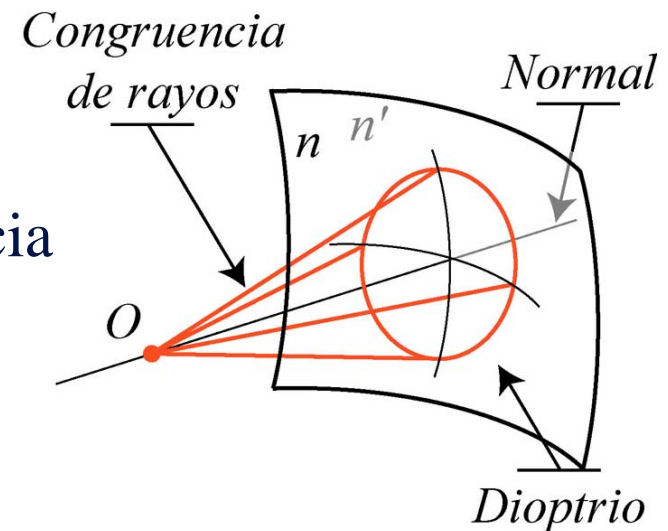
- Tipos de aberraciones monocromáticas:
  - No se cumple la condición de estigmatismo: Aberración esférica, coma meridional, astigmatismo radial.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

- Los rayos que emergen de  $O$  e inciden cerca del vértice  $S$  de la superficie convergen a la imagen paraxial  $O'$ , pero aquellos que inciden con gran ángulo de incidencia  $\varepsilon$  convergen al punto  $O'_s$ .
- Este fenómeno constituye la **aberración esférica**.

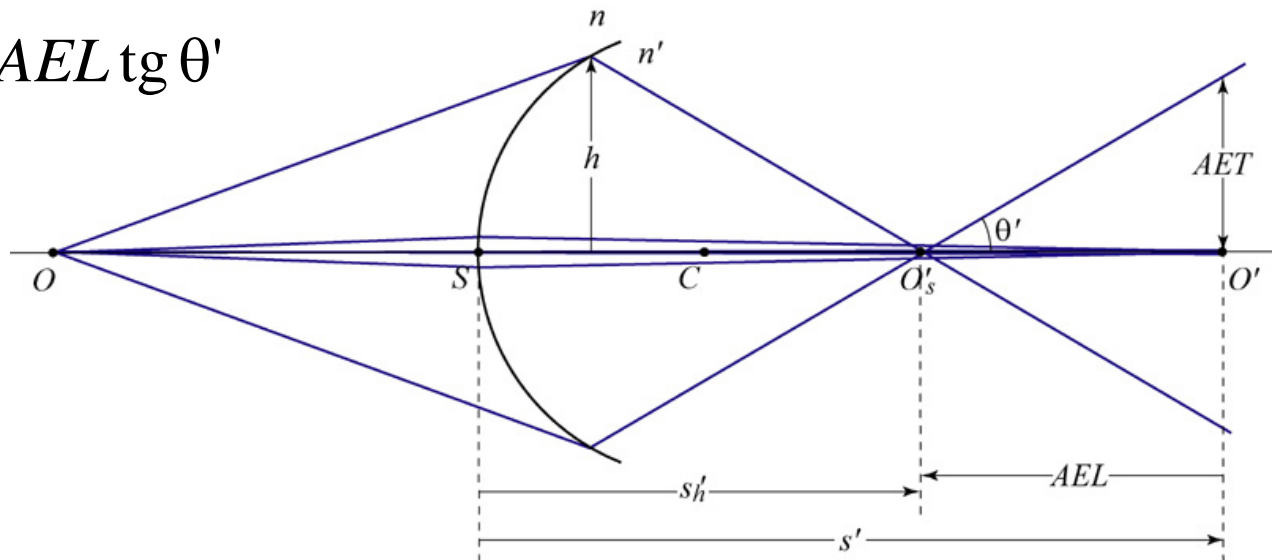


# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

- Se define la **aberración esférica longitudinal** (*AEL*) de un rayo que emerge de  $O$ , cuyo conjugado en el espacio imagen corta al eje en  $O'_s$ , al segmento  $O'O'_s$ .
- Estos rayos cortan al plano imagen paraxial en un círculo, cuyo radio recibe el nombre de **aberración esférica transversal** (*AET*).

$$AET = AEL \operatorname{tg} \theta'$$



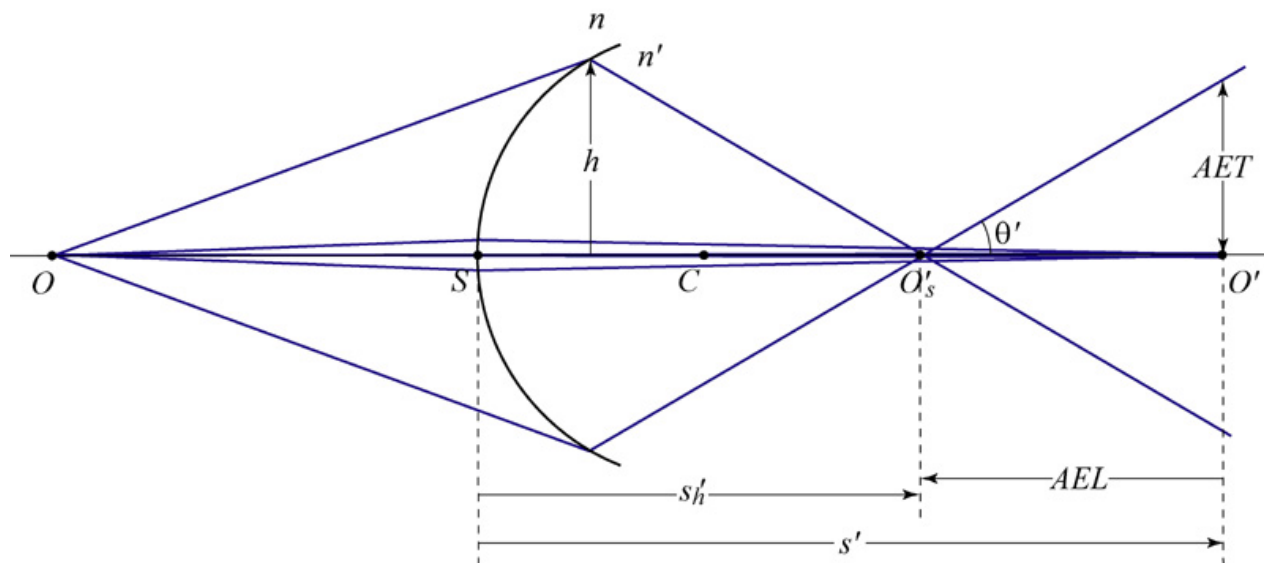
# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

- **Aberración esférica** en un dioptrio esférico.

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'} = \frac{n - n'}{r} \qquad f' = \frac{n'}{n' - n} r$$

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'_h} = \frac{n - n'}{r} - \frac{h^2 n^2 r}{2 f' n'} \left( \frac{1}{r} - \frac{n + n'}{ns} \right) \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{r} \right)^2$$





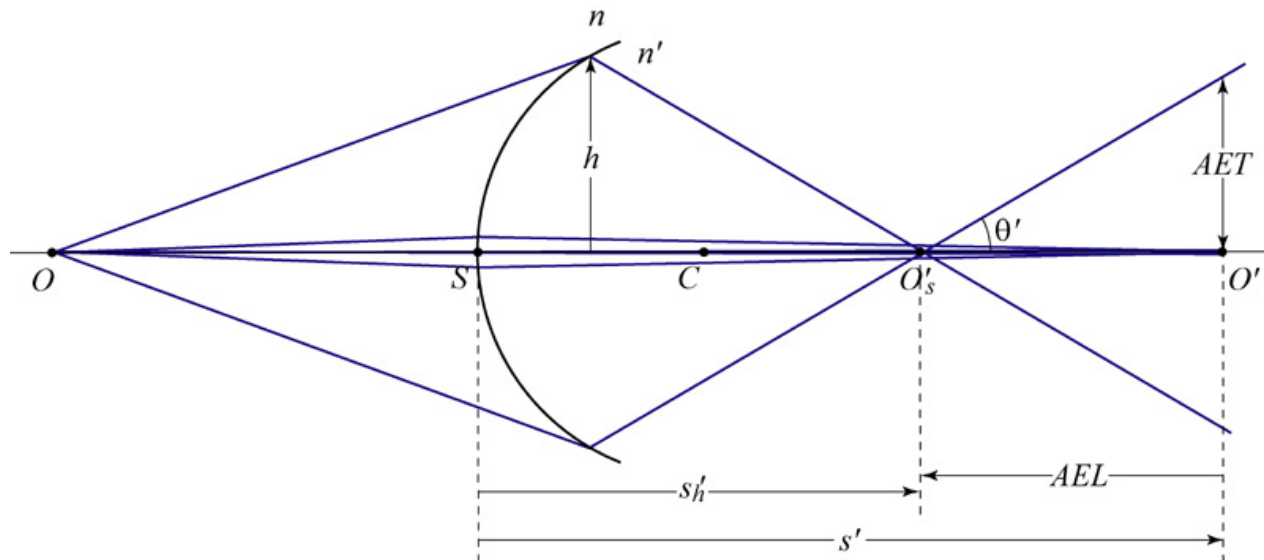
# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

- **Aberración esférica** en un dioptrio esférico:

- es proporcional a  $h^2$ .
- depende del radio de curvatura  $r$ .

$$\frac{h^2 n^2 r}{2 f' n'} \left( \frac{1}{r} - \frac{n+n'}{ns} \right) \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{r} \right)^2 = -\frac{n'}{s'} + \frac{n'}{s'_h} \cong \frac{n'(s'-s'_h)}{s'^2}$$

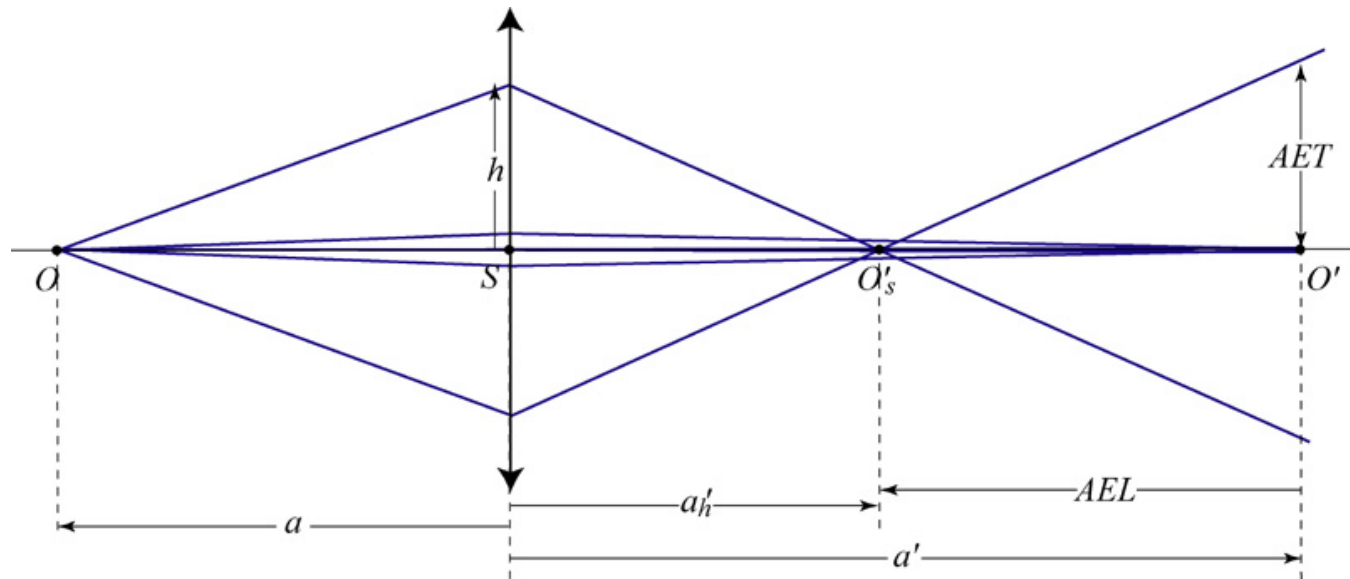


# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

- **Aberración esférica** en una lente delgada.

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} \quad \frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

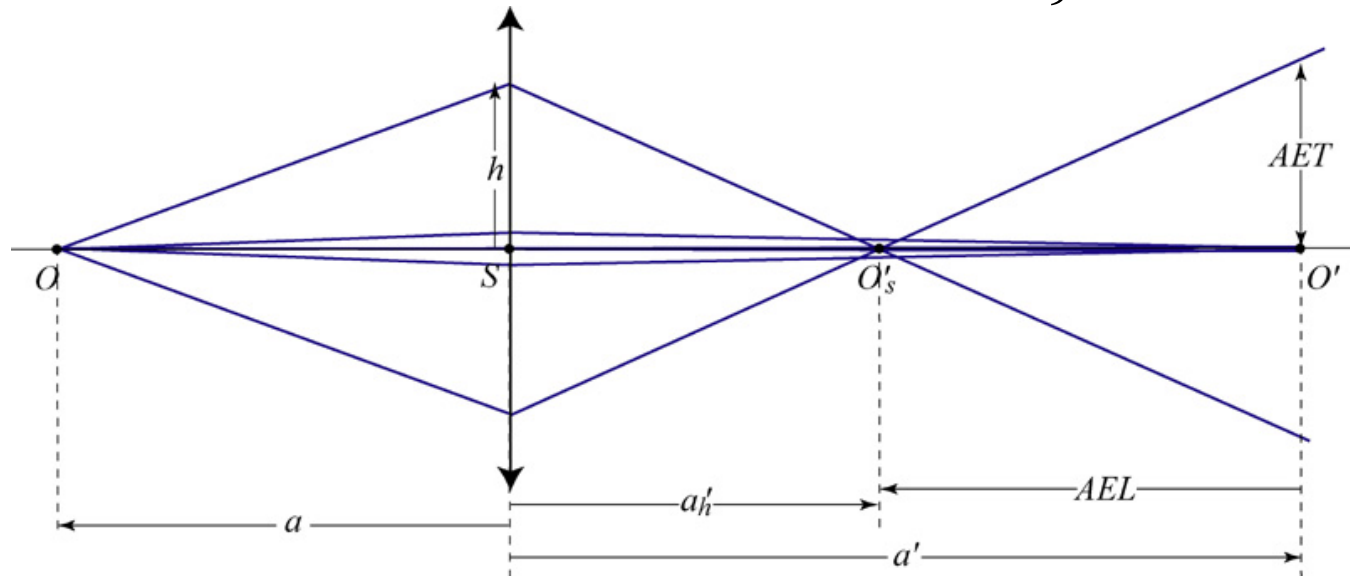
- **Aberración esférica** en una lente delgada.

$$L_s = \frac{1}{a'_h} - \frac{1}{a'} = \frac{h^2}{8f'^3} \frac{1}{n(n-1)} \times$$

$$q = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1}$$

$$\times \left\{ \frac{n+2}{n-1} q^2 + 4(n+1)pq + (3n+2)(n-1)p^2 + \frac{n^3}{n-1} \right\}$$

$$p = \frac{a'+a}{a'-a}$$



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Aberración esférica*

### - **Aberración esférica** en una lente delgada:

- depende del factor de forma,  $q$ , y del factor de posición,  $p$ , de Coddington.
- la  $AEL$  es proporcional a  $h^2$ .
- la  $AET$  es proporcional a  $h^3$ .

$$q = \frac{r_2 + r_1}{r_2 - r_1} \quad p = \frac{a' + a}{a' - a}$$



# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

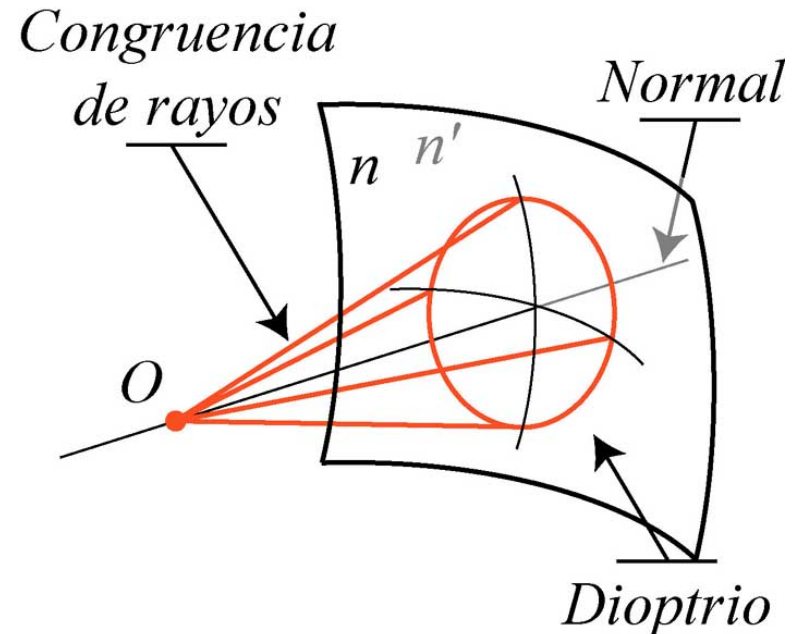
- Introducción
- Aberración esférica
- **Coma meridional**
- Astigmatismo radial
- Curvatura de la imagen
- Distorsión



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

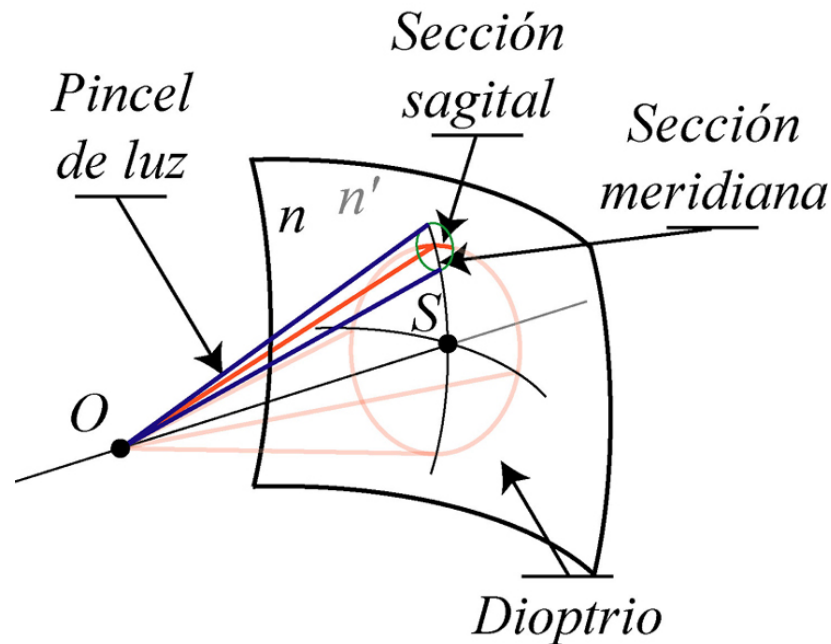
- El **rayo principal** de un pincel (cónico) de luz es aquel que se propaga a lo largo del eje de revolución del cono.
- Los **rayos paraprincipales** son aquellos que se propagan en regiones cercanas al rayo principal.
- Los **rayos marginales** son aquellos que, pudiendo atravesar el sistema óptico, se propagan más alejados del rayo principal.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

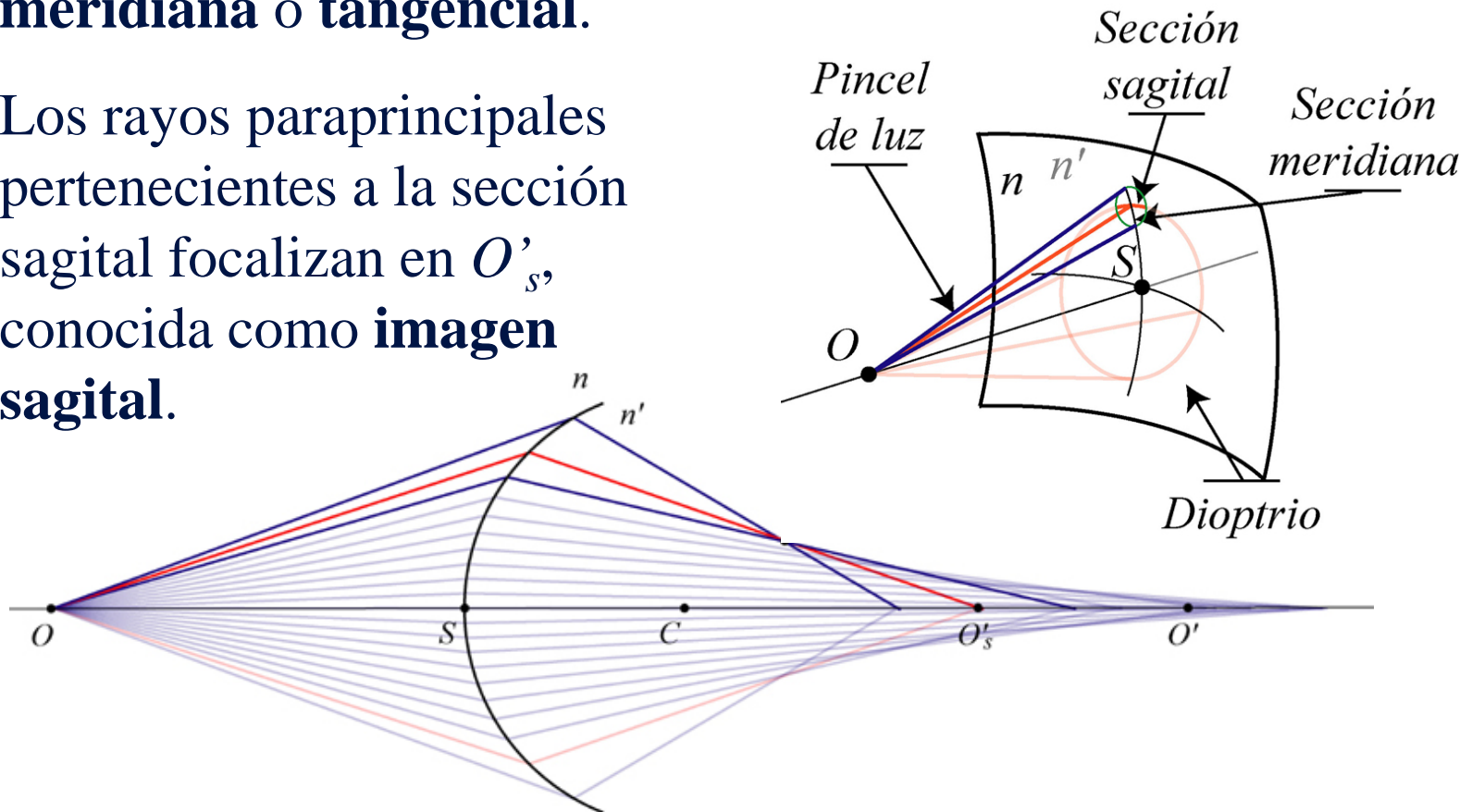
- El plano que contiene al rayo principal y al eje óptico del sistema se denomina **sección meridiana** o **tangencial**.
- La **sección sagital** del pincel de luz contiene al rayo principal y es normal a las sección meridiana.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

- Los rayos paraprincipales pertenecientes a la sección meridiana focalizan en  $O'_m$ , conocida como **imagen meridiana o tangencial**.
- Los rayos paraprincipales pertenecientes a la sección sagital focalizan en  $O'_s$ , conocida como **imagen sagital**.

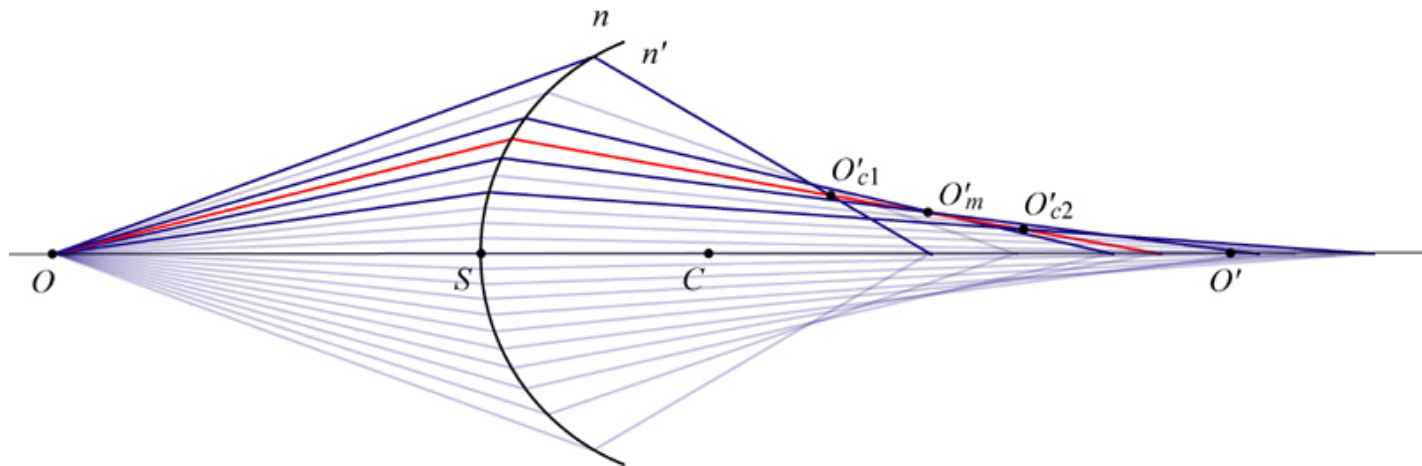




# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

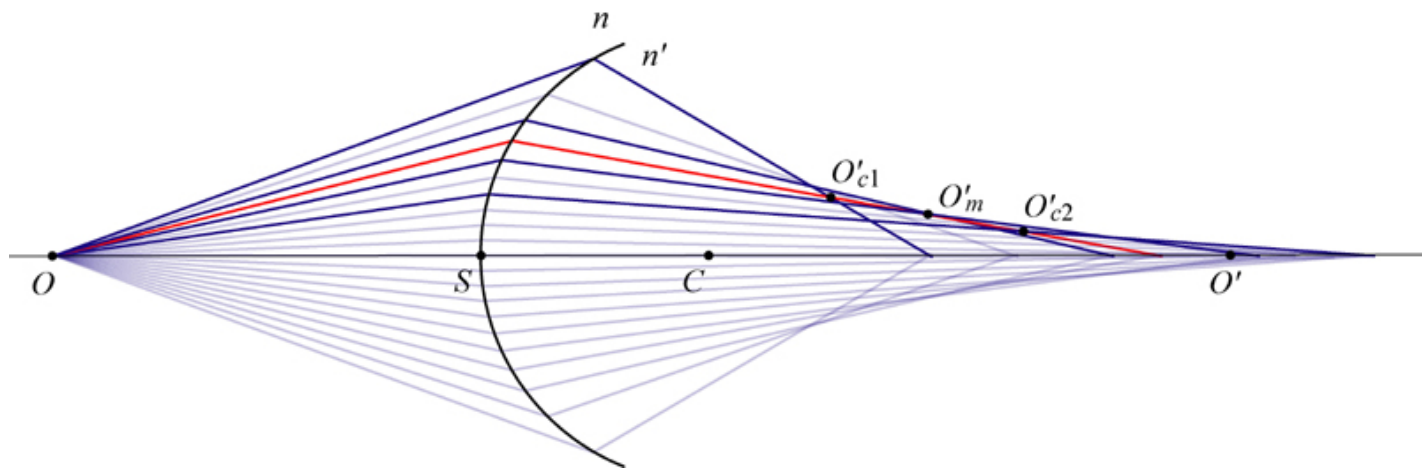
- En la sección meridiana de un pincel de luz, los rayos paraprincipales focalizan en la imagen meridiana  $O'_m$ .
- Los rayos marginales no focalizan en  $O'_m$ , sino que cruzan el rayo principal por los puntos  $O'_{c1}$  y  $O'_{c2}$ .
- Esta aberración se denomina **coma meridional**, y se cuantifica con la distancia  $O'_m O'_{c1}$  y  $O'_m O'_{c2}$ , resp.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

- Esta aberración se denomina **coma meridional**, y se cuantifica con la distancia  $O'_m O'_{c1}$  y  $O'_m O'_{c2}$ , resp.
- El coma meridional es **negativo** cuando los rayos marginales cruzan el plano transversal de la imagen meridiana  $O'_m$  en puntos todavía más cercanos al eje óptico (como en la figura).



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Coma*

- **Otra definición** de coma:  
Cuando el sistema óptico no cumple la condición de estigmatismo, si sucede que la mancha de luz producida en el plano imagen (paraxial) tiene sólo un plano de simetría (plano meridiano determinado por el rayo principal y el eje óptico), el sistema está afectado de **coma**.



# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

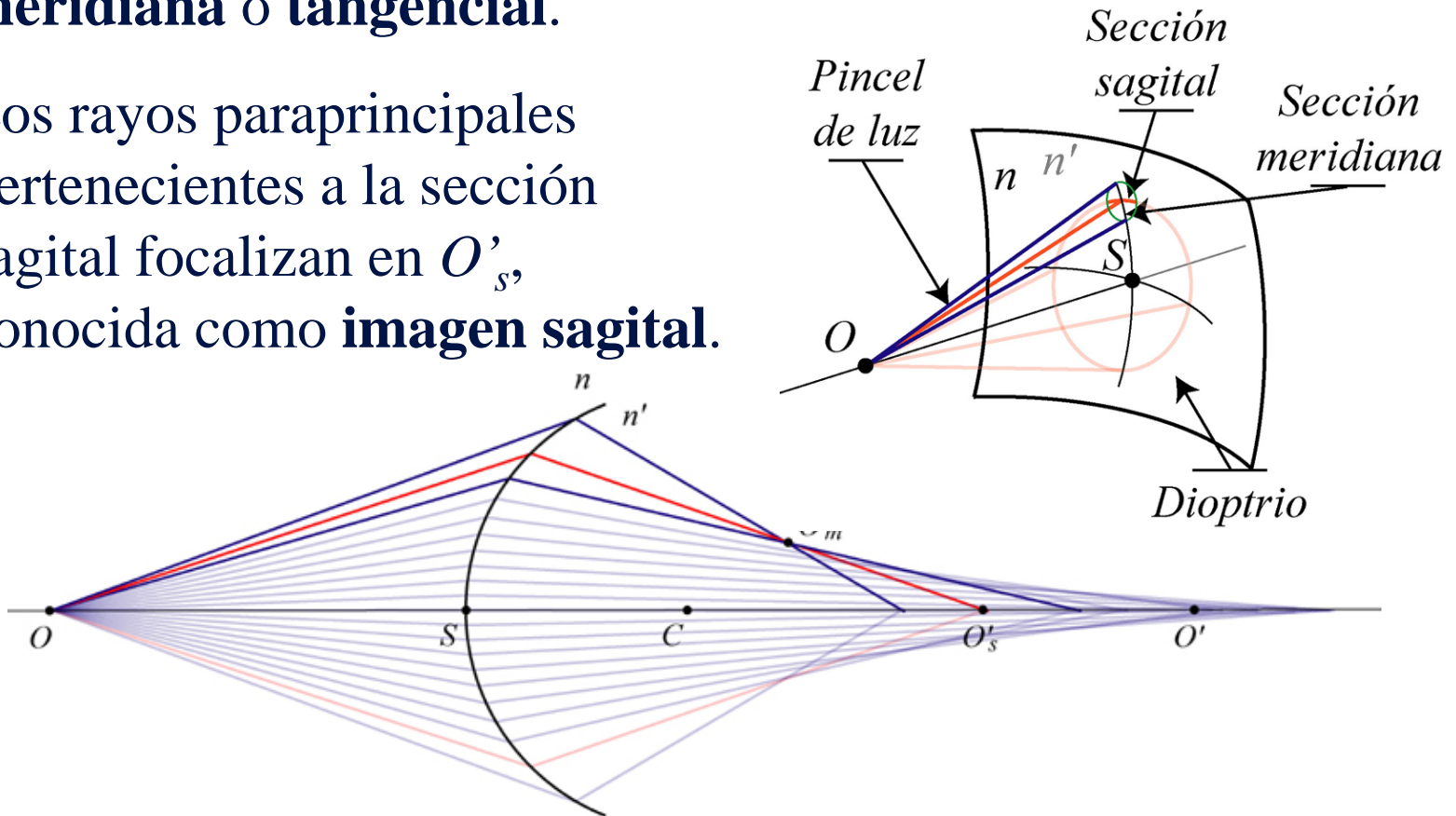
- Introducción
- Aberración esférica
- Coma
- **Astigmatismo radial**
- Curvatura de la imagen
- Distorsión



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Astigmatismo*

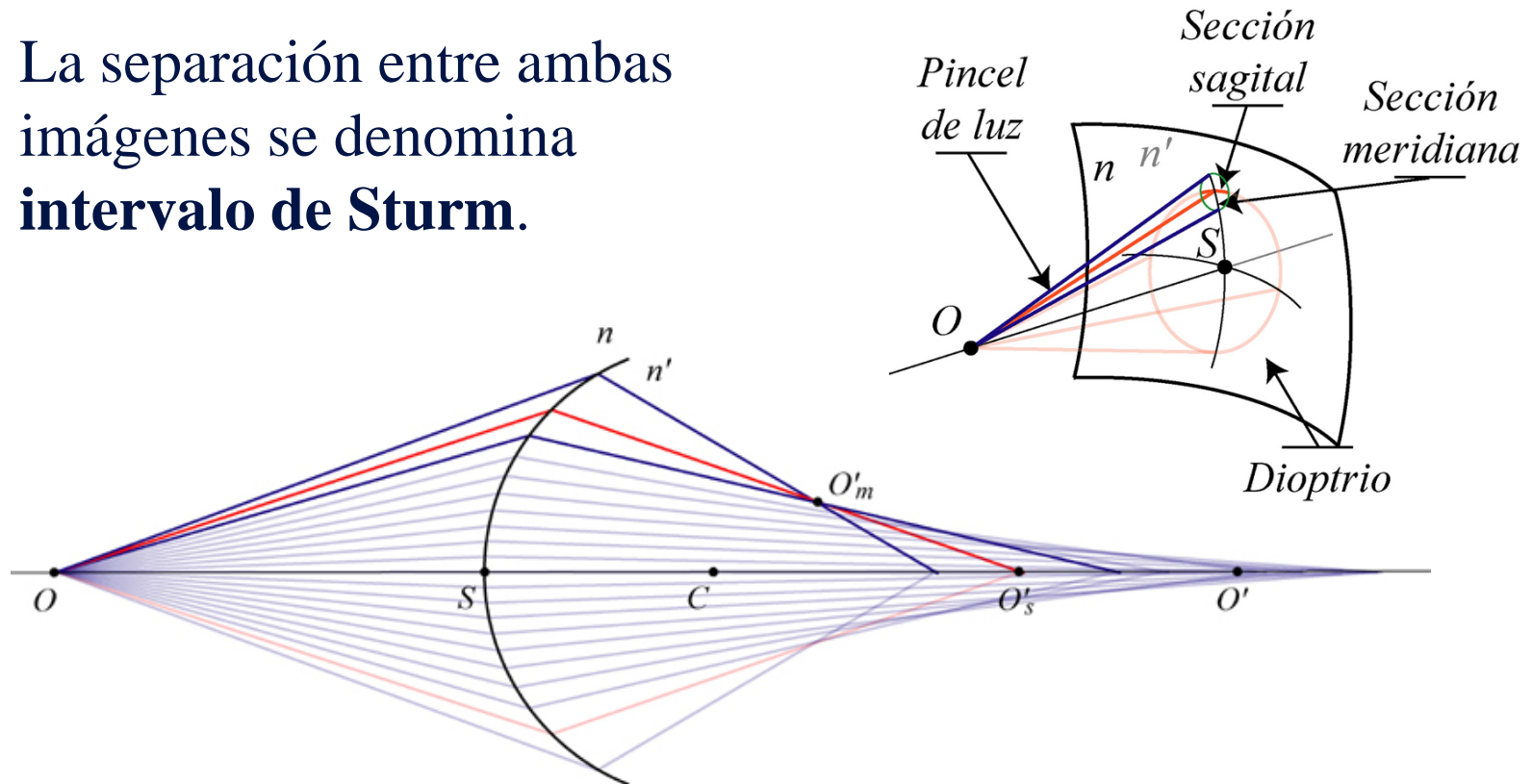
- Los rayos paraprincipales pertenecientes a la sección meridiana focalizan en  $O'_m$ , conocida como **imagen meridiana o tangencial**.
- Los rayos paraprincipales pertenecientes a la sección sagital focalizan en  $O'_s$ , conocida como **imagen sagital**.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Astigmatismo*

- El fenómeno de la aparición de la imagen meridiana y la imagen sagital separadas, llamadas genéricamente **imágenes astigmáticas**, se denomina **astigmatismo radial**.
- La separación entre ambas imágenes se denomina **intervalo de Sturm**.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

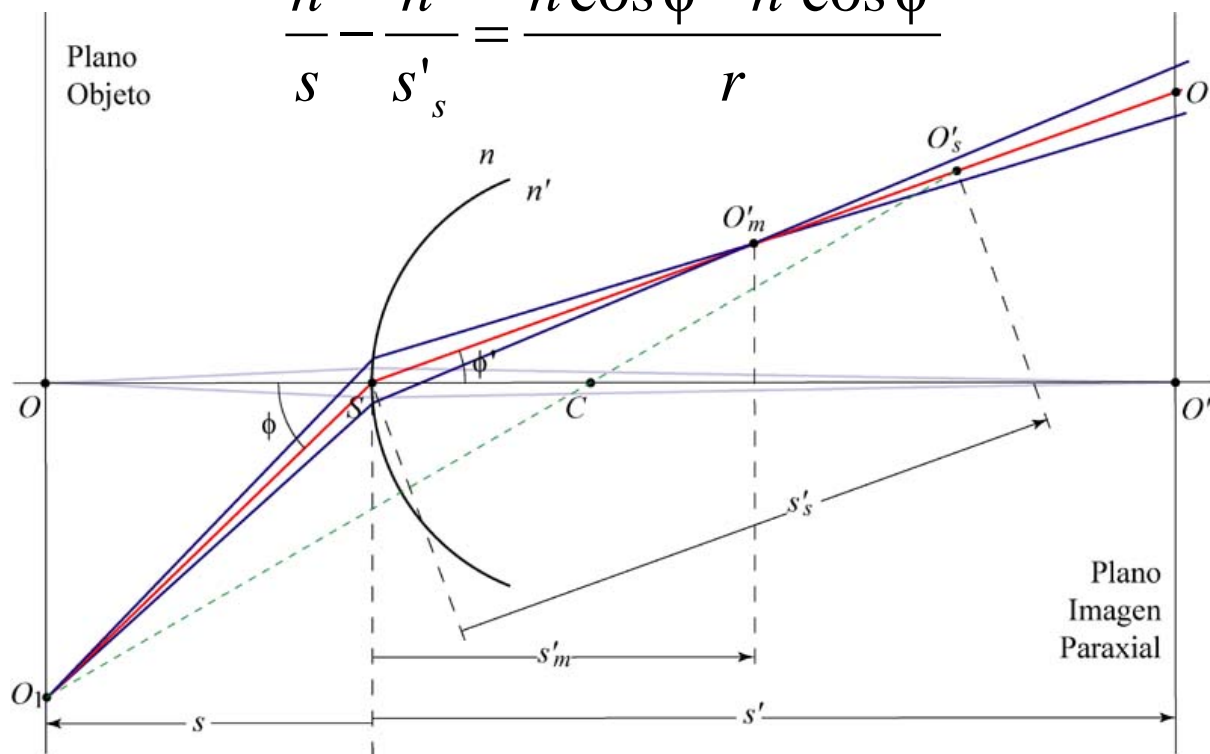
## *Astigmatismo*

- **Imágenes astigmáticas** en un dioptrio esférico.

$$\frac{n \cos^2 \phi}{s} - \frac{n' \cos^2 \phi'}{s'_m} = \frac{n \cos \phi - n' \cos \phi'}{r}$$

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

$$\frac{n}{s} - \frac{n'}{s'_s} = \frac{n \cos \phi - n' \cos \phi'}{r}$$

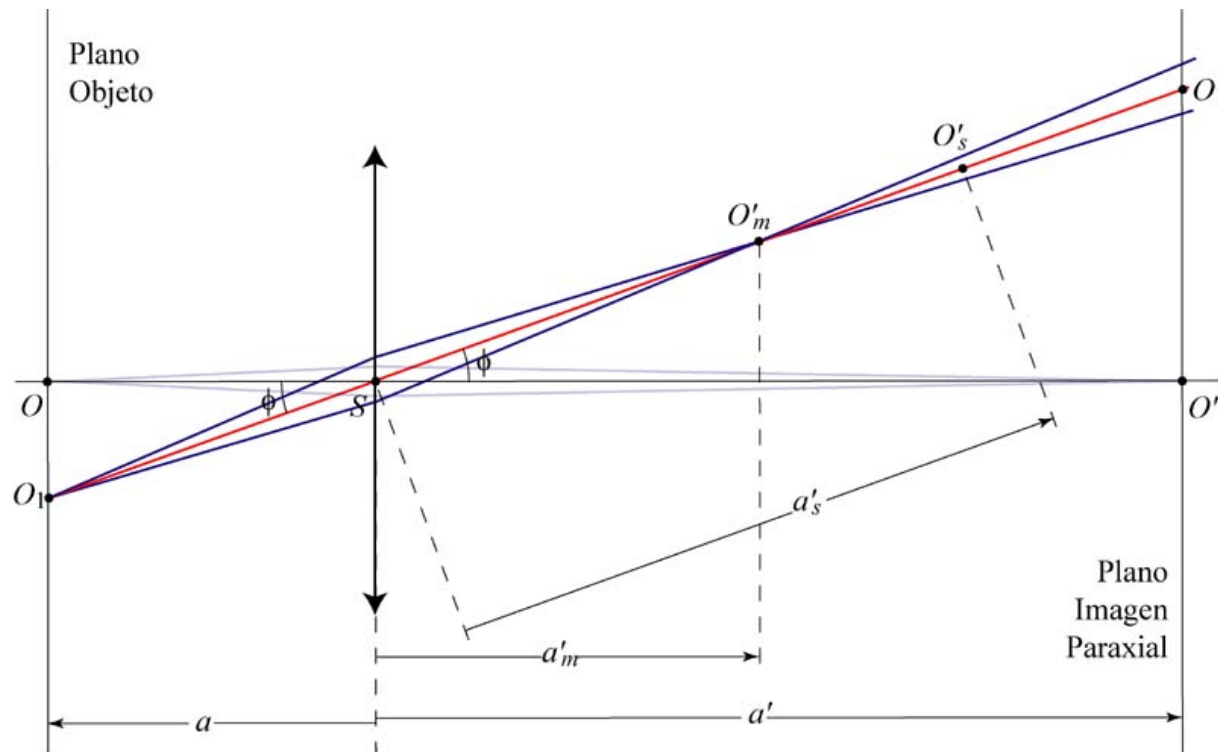


# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Astigmatismo*

- Imágenes astigmáticas en una lente delgada.

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$





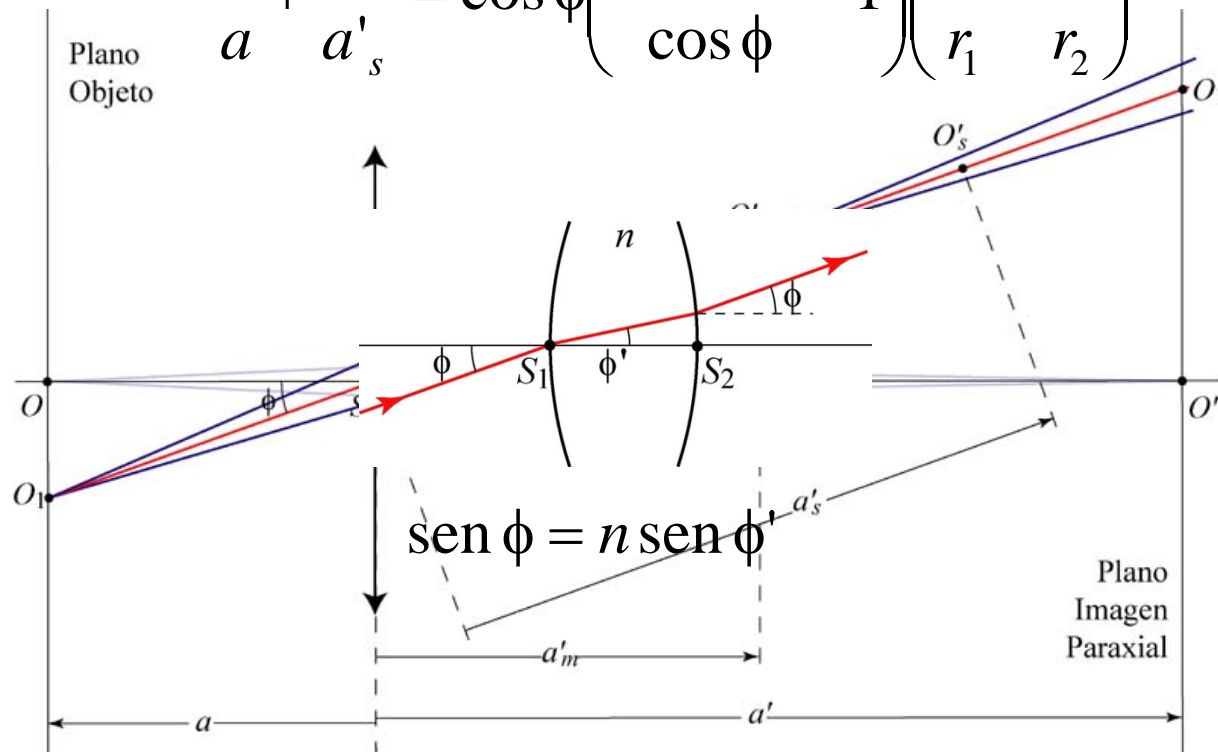
# Aberraciones de los sistemas ópticos

## Astigmatismo

- Imágenes astigmáticas en una lente delgada.

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'_m} = \frac{1}{\cos \phi} \left( \frac{n \cos \phi'}{\cos \phi} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'_s} = \cos \phi \left( \frac{n \cos \phi'}{\cos \phi} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

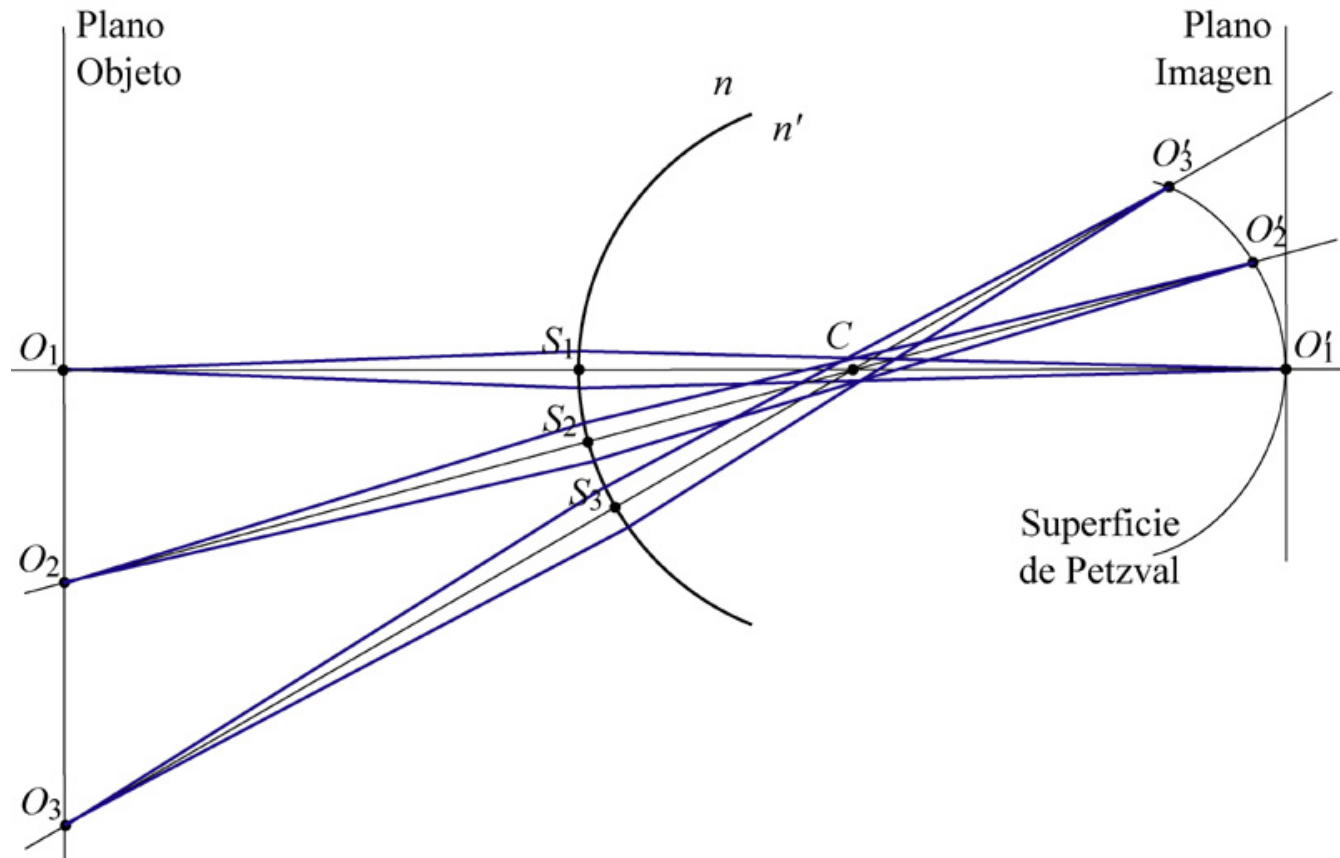
- Introducción
- Aberración esférica
- Coma
- Astigmatismo radial
- **Curvatura de la imagen**
- Distorsión



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Curvatura de la imagen*

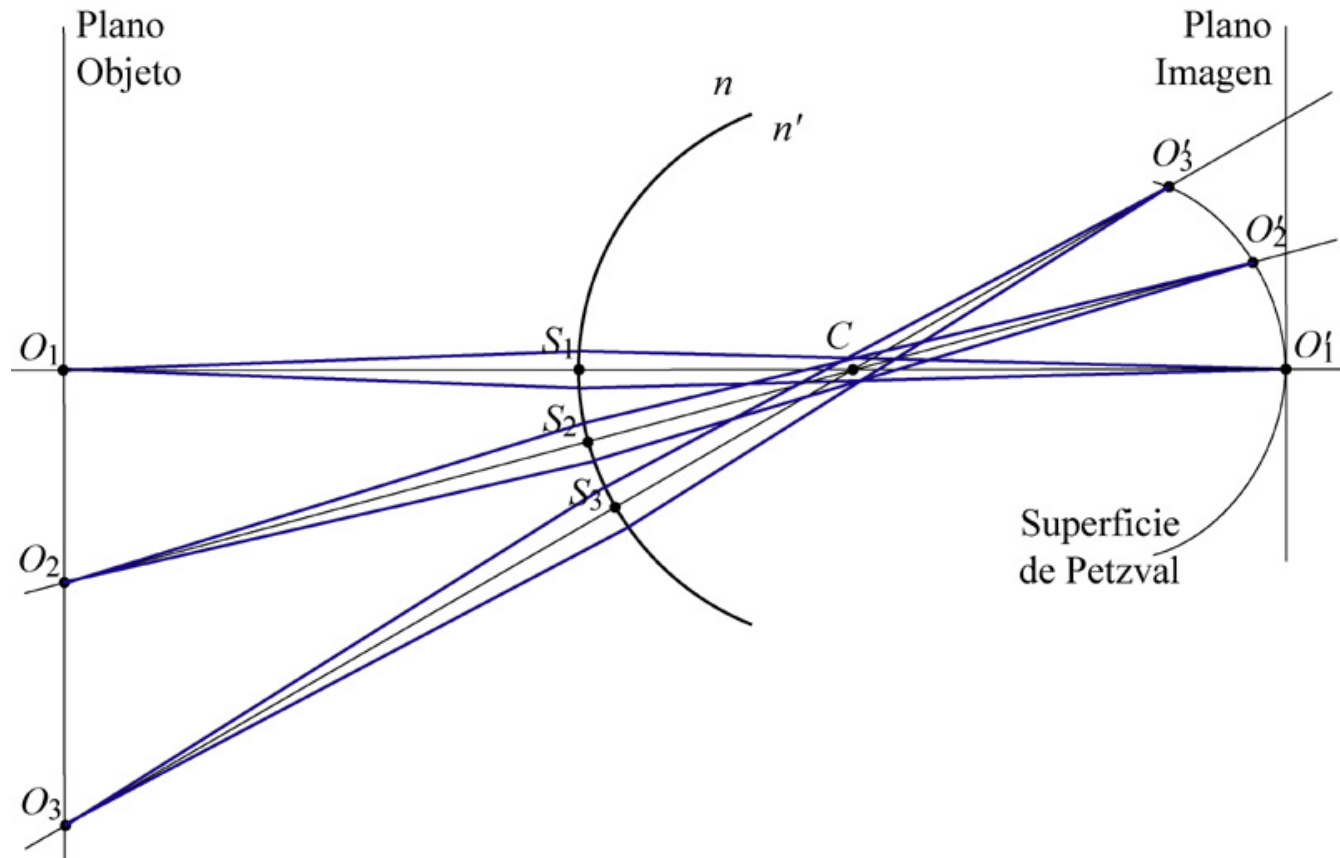
- Considerando los rayos que pasan cerca de  $C$ , la superficie imagen meridional y sagital se confunden en una única superficie llamada **superficie imagen de Petzval**.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Curvatura de la imagen*

- El hecho de que la superficie imagen de Petzval no sea plana constituye la aberración conocida como **curvatura de la imagen**.



# Tema VII. Aberraciones de los sistemas ópticos

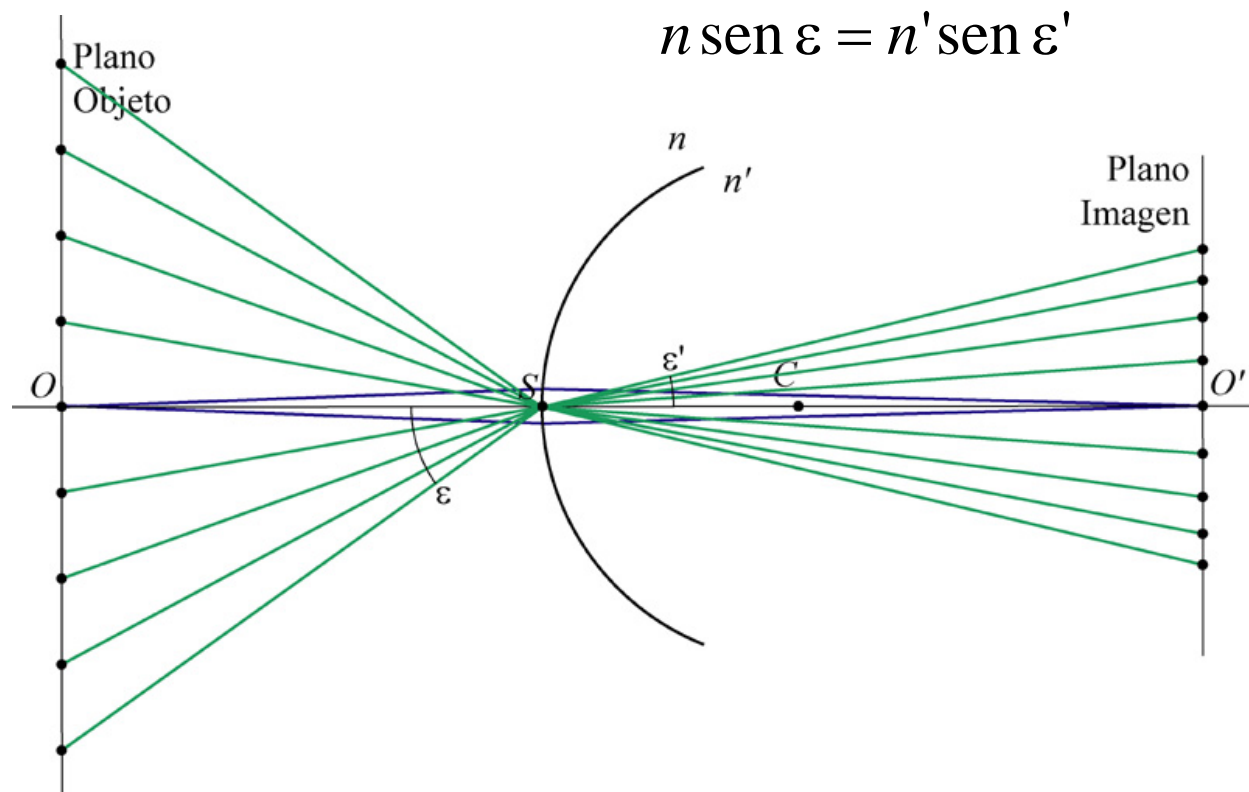
- Introducción
- Aberración esférica
- Coma
- Astigmatismo radial
- Curvatura de la imagen
- **Distorsión**



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Distorsión*

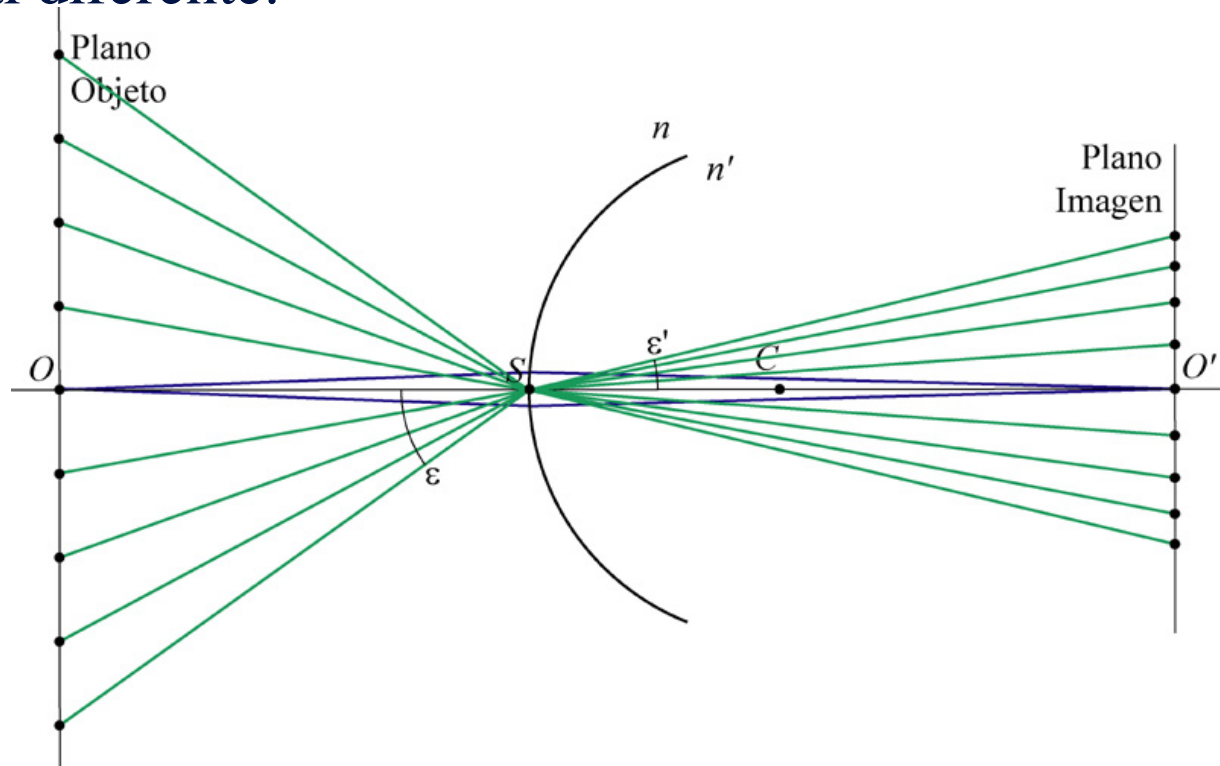
- Considerando los rayos que pasan cerca de  $S$ , puntos objeto equiespaciados producen puntos imagen que no se sitúan a la misma distancia.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Distorsión*

- La **distorsión** es una aberración que designa la condición por la cual un objeto plano produce una imagen plana que, dependiendo de su distancia al eje óptico, tiene un tamaño lateral diferente.



# Aberraciones de los sistemas ópticos

## *Distorsión*

- La **distorsión de corsé** tiene aumentos mayores para puntos extraaxiales.
- La **distorsión de barril** tiene aumentos menores para puntos extraaxiales.

