

# Aberración Cromática

Índice de refracción depende de  $\lambda$ .

Inclusive en la aproximación paraxial el material de la lente dispersa la luz. La distancia focal es diferente para distintos colores.

## Poder de dispersión

• Longitudes de onda de referencia (visible): tres líneas de absorción en el espectro del sol (Fraunhofer).

- Rojo  $\lambda_C = 656 \text{ nm}$

- Amarillo  $\lambda_D = 589 \text{ nm}$

- Azul  $\lambda_F = 486 \text{ nm}$

• Poder de dispersión,  $\nu = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$

• Índice de dispersión (número de Abbe),  $V = 1/\nu$

## Una solución: par acromático



• Construir un juego de lentes de tal manera que la combinación tenga la misma distancia focal efectiva para los colores extremos.

• Para cada lente:

$$\frac{1}{f_i} = (n_i - 1) \left( \frac{1}{R_{i1}} - \frac{1}{R_{i2}} \right) = (n_i - 1) \rho_i$$

• Tomando diferencias respecto a  $n$ :

$$\Delta \left( \frac{1}{f_i} \right) = \rho_i \Delta n_i = \nu_i (n_{iD} - 1) \rho_i = \frac{\nu_i}{f_{iD}}$$

## Par acromático

• La distancia focal del par (lentes pegadas)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (1)$$

• El cambio en la distancia focal con longitud de onda es:

$$\Delta \left( \frac{1}{f} \right) = \frac{\nu_1}{f_1} + \frac{\nu_2}{f_2}$$

• Que se anula cuando  $\nu_1 f_2 = -\nu_2 f_1$  (2)

• Par acromático: solución de (1) y (2).

# Más allá de la aproximación paraxial

- \* Supusimos que los ángulos que hacen los rayos que inciden sobre un sistema óptico son pequeños

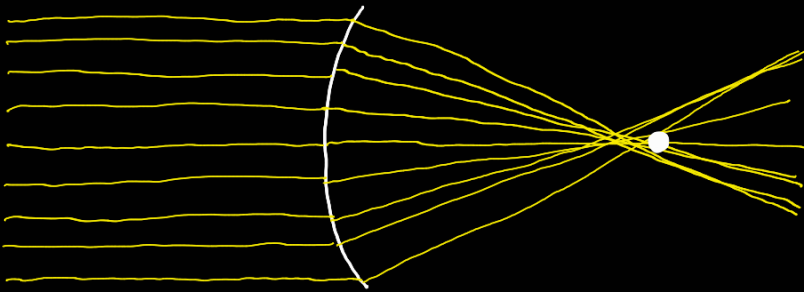
$$\sin\theta \approx \theta$$

- \* El tratamiento consistirá en continuar la expansión en serie de seno

$$\sin\theta \approx \theta - \frac{\theta^3}{3!}$$

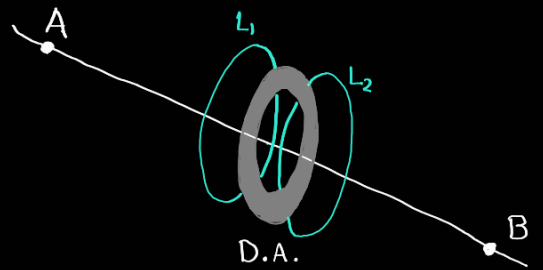
## Trazado exacto

Rayos paralelos NO se enfocan en un punto. La imagen se ve borrosa.



## ... pero antes

- \* El paso de los rayos por un sistema óptico está limitado
- \* Pupila de Entrada: imagen del D.A. vista por el objeto (A).
- \* Pupila de Salida: imagen del D.A. vista por la imagen (B).



## Aberraciones

- \* Formación de imagen paraxial origina un frente de ondas esférica
- \*
- \*

## Cambio de R al mover P.

- \* Dif. entre la imagen paraxial Q y el punto Q se debe al cambio de curv. del frente a medida que  $\vec{p}$  se mueve sobre la superficie de la pupila de salida

$$\delta x \propto \frac{\partial R}{\partial x'}, \quad \delta y \propto \frac{\partial R}{\partial y'}$$

- \* Coord. sobre la pupila son:

$$\frac{\partial R}{\partial x'} = \frac{\partial R}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial x'} + \frac{\partial R}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial x'}, \quad \frac{\partial R}{\partial y'} = \frac{\partial R}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial y'} + \frac{\partial R}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial y'}$$

# CINCO ABERRACIONES (3er orden)

## • Esférica

después de mucha talacha...

$$\delta x \propto \underbrace{4b_1 \rho^3 \cos \theta}_{\text{Esférica}} + \underbrace{b_2 \rho^2 h (2 + \cos 2\theta)}_{\text{Coma}} + 2\rho h^2 (b_3 + b_4) \cos \theta + b_5 h^3$$

$$\delta y \propto \underbrace{4b_1 \rho^3 \sin \theta}_{\text{Esférica}} + \underbrace{b_2 \rho^2 h \sin(2\theta)}_{\text{Coma}} + 2b_3 \rho h^2 \sin \theta$$

Astigmatismo:  $\delta x_3 = 3b_4 \rho h^2 \cos \theta$   
 $\delta y_3 = b_4 \rho h^2 \sin \theta$

Distorsión:  $\delta x_5 = b_5 h^3$   
 $\delta y_5 = 0$

Curvatura de campo:  $\delta x_4 = (2b_3 - b_4) \rho h^2 \cos \theta$   
 $\delta y_4 = (2b_3 - b_4) \rho h^2 \sin \theta$


## ABERRACIÓN ESFERICA

- \* Ocurre para puntos sobre el eje óptico.
- \* Depende de la forma del lente.

## COMA

- \* Al recorrer un círculo en la P.S. se recorre dos veces un círculo en el plano de la imagen.
- \* Centro  $\in$  P.T. y depende del radio del círculo en la pupila.

## CURVATURA DE CAMPO

- \* Mov. de focos (tangencial y sagital) es en la misma dirección y crece como  $h^2$ .
- \* La imagen se forma en una superficie curvada  superficie de Petzval
- \* Si hay astigmatismo las sup. tan. y sag. se curvan de forma dif.

Suponga se tiene un punto P fuera del eje óptico.

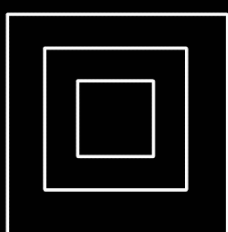
- \* Plano tangencial: contiene a P y al eje óptico.
- \* Plano sagital: contiene a P y es  $\perp$  plano tangencial.

## ASTIGMATISMO

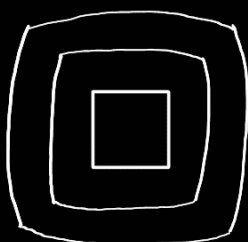
\*

## DISTORSIÓN

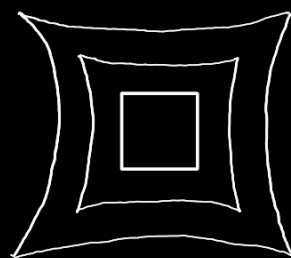
- \* No depende de la pupila de salida.
- \* Proporcional a  $h^3$  y solo actúa en la dirección x (tangencial).
- \* Amplifica de manera diferente a medida que el punto se aleja del eje óptico.
- \* Coeficiente positivo  $\rightarrow$  alfiletero, aleja más puntos lejanos.
- \* Negativo  $\rightarrow$  barril, aleja menos puntos más lejanos.



Objeto



Barril



Alfiletero