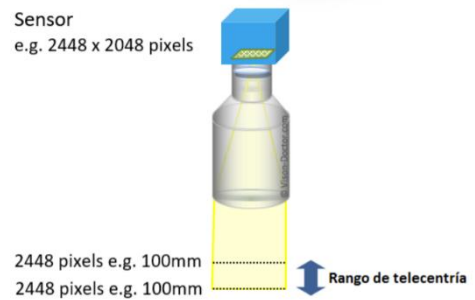


Lentes telecéntricas

- Ángulo de apertura $\sim 0^\circ$ (Objetos de = tamaño dentro del rango telecéntrico)
- Utilización en aplicaciones de medición:
 - ❖ Cuando se midan distancias en \neq planos
 - ❖ Cuando la distancia entre objeto y lente cambie
 - ❖ Cuando la posición de la pieza varíe mucho en X,Y
 - ❖ Necesidad de no tener errores de perspectiva

En el rango de telecentría todas las cosas están en foco.

Como no tiene ángulo de apertura, no tengo errores de perspectiva.



Tipos de telecentría

Lado objeto: Para la mayoría de las aplicaciones.

Evitan el error de perspectiva hacia el objeto.

Se logra con una lente convergente en un diafragma de apertura en el plano focal del lado imagen.

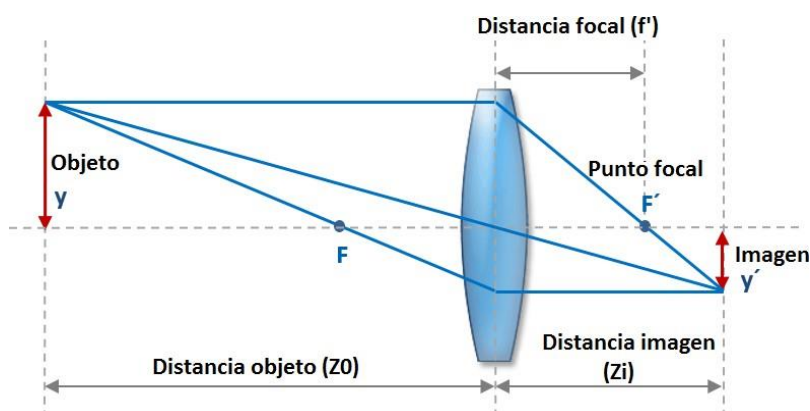
Lado imagen: Los rayos paralelos hacia el sensor evitan el viñeteado debido a incidencia oblicua en las micro-lentes, especialmente en CCD.

Se logra con una lente convergente en un diafragma de apertura en el plano focal del lado objeto.

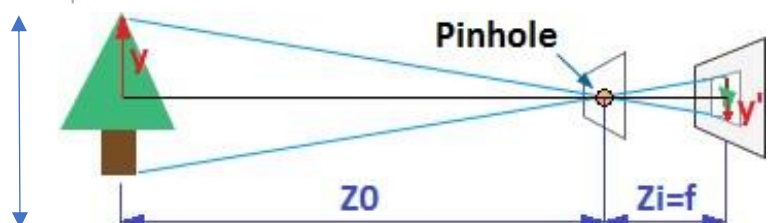
Doble cara: Combinación de los dos casos anteriores.

Excelente calidad. Alto costo. Profundidad de campo elevada del lado objeto.

Óptica Geométrica Básica



FOV: Field of view



Apertura de la lente

Limitación radial de los rayos que llegan al sensor -> Brillo de la imagen

Consecuencias:

1. Cambio del tiempo de exposición: si tengo menos luz ingresando a la lente y por ende llegando hasta el sensor. Voy a tener que dejar expuesto al sensor más tiempo para lograr valores de intensidad similares al caso cuando la apertura este mas abierta.
2. Cambio de la profundidad de campo



Al recortar rayos marginales (a medida que voy cerrando, voy cortando los rayos marginales)
-> disminuye: errores cromáticos, esféricos, coma, astigmatismo.

Mejora la calidad de imagen.

Los resultados óptimos de estas lentes suelen estar entre f#5.6 a f#8.

Profundidad de campo

Distancia lejos de la lente y la cámara que parece lo suficientemente nítida.

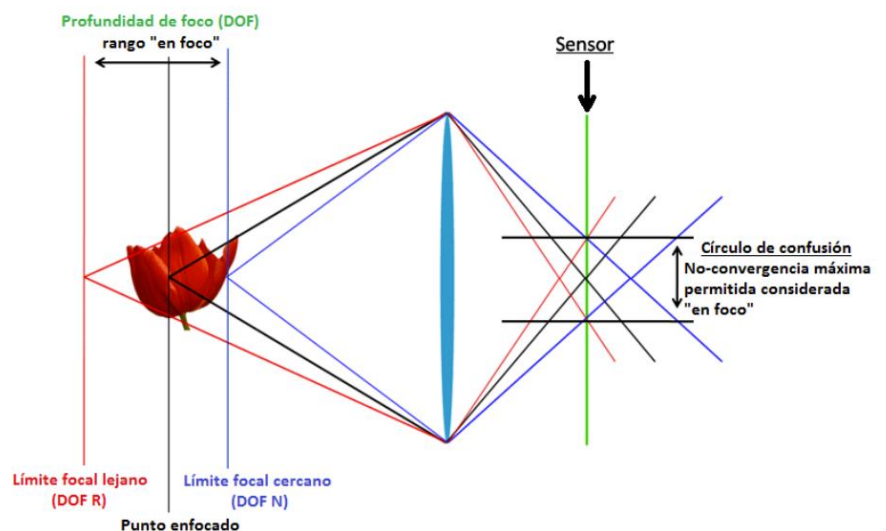
Queremos hacer foco en la flor

Trazo rayos

Un punto en la imagen se traduce en un punto en el sensor.

Círculo de confusión

Si el diámetro es tan chico como lo que defino que es estar en foco => estoy en foco

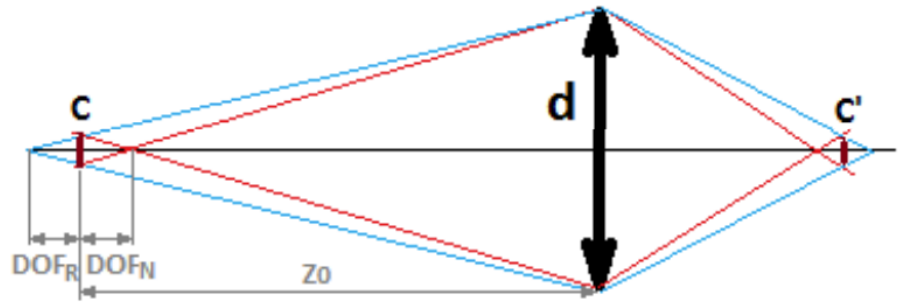


D diámetro de la lente

DOF N: near

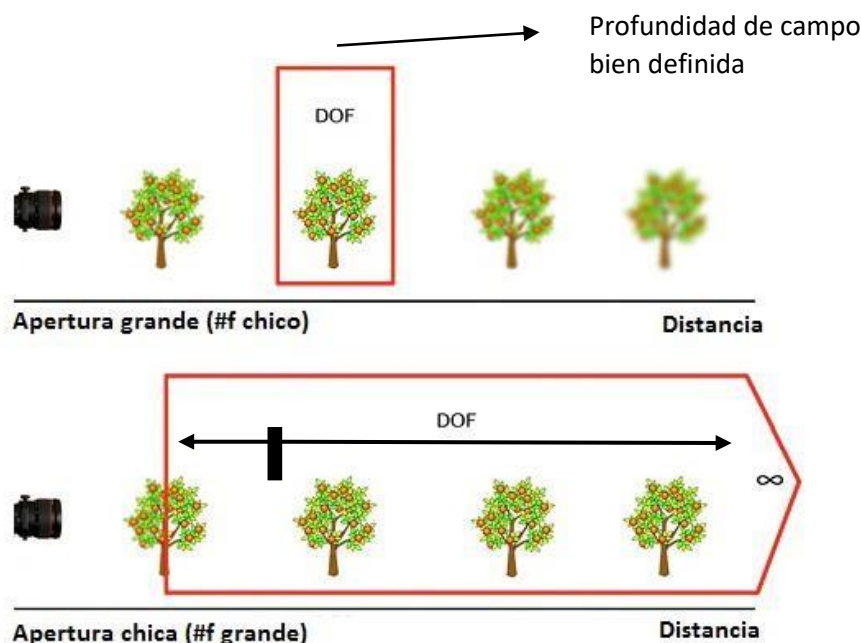
DOF R: rear

Calculo los dos triángulos rojos que se forman como semejanza de triángulos.



- $\frac{c}{DOF_N} = \frac{d}{Z_0 - DOF_N} \Rightarrow Z_0 - DOF_N = \frac{d}{c} \cdot DOF_N \Rightarrow DOF_N = \frac{Z_0}{\frac{d}{c} + 1}$
- $DOF_N = \frac{c \cdot Z_0}{d + c}$ y $c \cong \frac{Z_0}{f} \cdot c' \Rightarrow DOF_N = \frac{c' \cdot Z_0^2}{d \cdot f + Z_0 \cdot c'}$
- $f_{\#} = \frac{f}{d} \Rightarrow DOF_N = \frac{c' \cdot Z_0^2 \cdot f_{\#}}{f^2 + Z_0 \cdot c' \cdot f_{\#}}$ Modelo pin-hole
- De forma equivalente $DOF_R = \frac{c' \cdot Z_0^2 \cdot f_{\#}}{f^2 - Z_0 \cdot c' \cdot f_{\#}}$
- $DOF = c' \cdot Z_0^2 \cdot f_{\#} \left[\frac{1}{f^2 + Z_0 \cdot c' \cdot f_{\#}} + \frac{1}{f^2 - Z_0 \cdot c' \cdot f_{\#}} \right] \cong 2 \cdot c' \cdot \left(\frac{Z_0}{f} \right)^2 \cdot f_{\#}$

DOF total = DOFN + DOFR
- Para DOF_R si $f^2 = f_{\#} \cdot c \cdot Z_0 \Rightarrow DOF_R = \infty$
- Además $Z_0 = \frac{f^2}{f_{\#} \cdot c'}$: Distancia hiperfocal



Monturas y distancia de registro

Back focal distance (longitud focal posterior) desde el último grupo de lentes al sensor

Flange back (longitud focal de brida) desde el frente de la cámara al sensor

C-mount es la más usada en visión industrial.

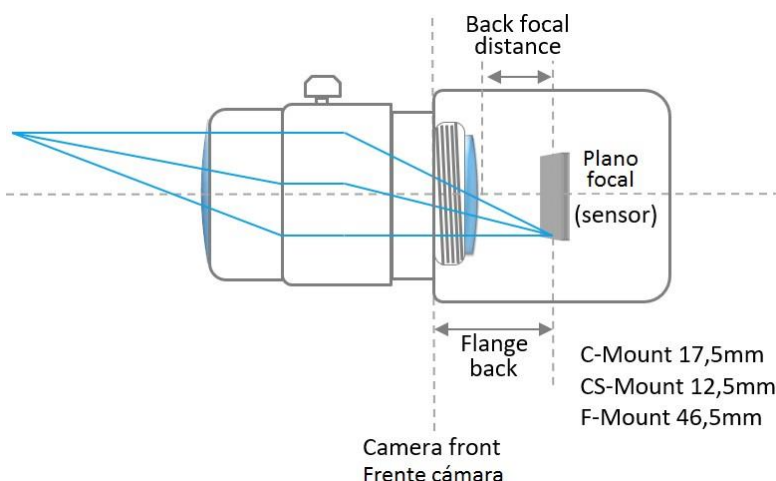
CS-mount, en general en cámaras de vigilancia y CCTV.

Ambas tienen especificada una rosca 1-32UN-2A (M25.5 x 0.75)

El uso de lentes CS-mount en cámaras C-mount no es posible. Sí al revés con anillos adaptadores.

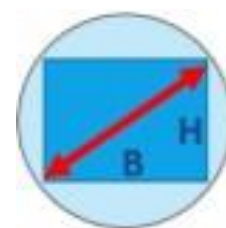
S-mount (M12 x 0.5) Cámaras Web, OEM

F-mount Nikon, sistema de bayoneta.



Diámetro de imagen

Un fabricante diseña una lente para hacer imagen en un determinado diámetro del círculo.



Puede diseñarla para hacer un círculo imagen que cubra a un sensor de formato x"

Formato:	1"	2/3"	1/1,8"	1/2"	1/2.5"	1/3"	1/4"
Diagonal:	16 mm	11 mm	9mm	8mm	7mm	6mm	4mm
	12,8 x 9,3mm	8,8 x 6,6mm	7,2 x 5,4mm	6,4 x 4,8mm	5,8 x 4,3mm	4,8 x 3,6mm	3,2 x 2,4mm
	119mm ²	58mm ²	39mm ²	32mm ²	25mm ²	17mm ²	8mm ²

¿Qué sucede cuando una óptica de 2/3" o 1" con la misma distancia focal se conecta a un sensor de 1/3" o 1/2"?

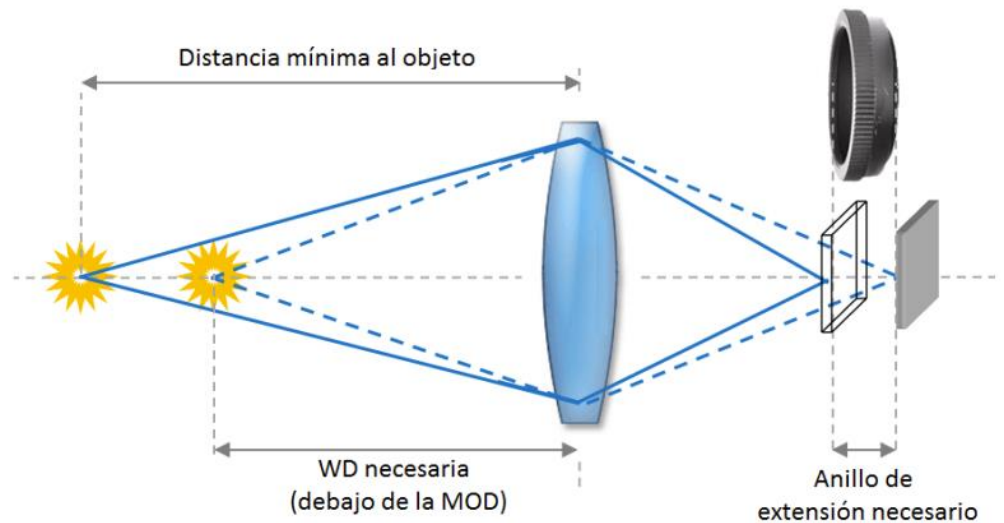
No va a pasar nada. Si puede iluminar 2/3" o 1", va a poder iluminar tranquilamente tanto 1/2" como 1/3".

MOD – Anillos de enfoque

MOD: Distancia Mínima al Objeto (o distancia mínima de enfoque)

A mayor cantidad de anillos de enfoque menos potencia luminosa

Pueden hacer foco sobre distintos objetos moviendo el anillo de foco, pero tienen una distancia mínima. Pueden hacer foco hasta cierto punto. Cosas que están muy cerca de la lente, ya no se pueden ajustar en foco.



Calidad de la lente – Recubrimientos

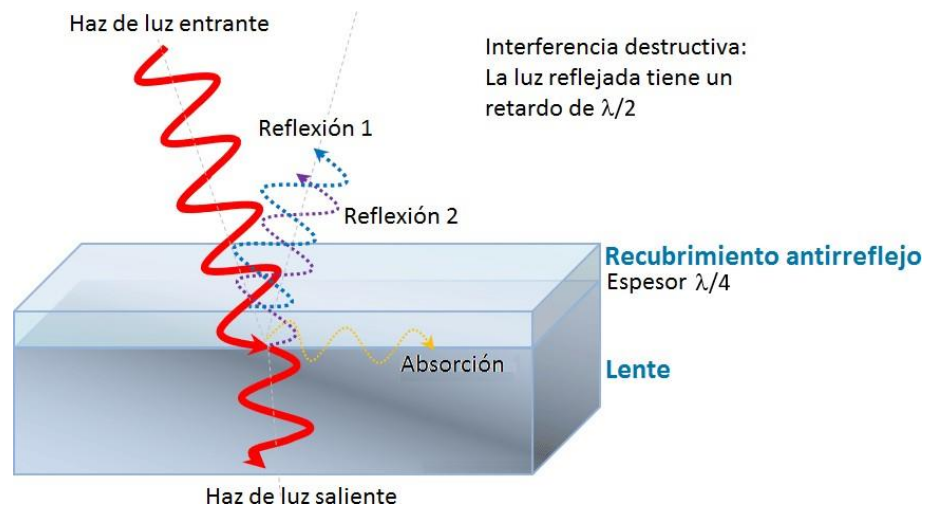
Al ingresar la luz en los cristales de la lente se puede dar:

1. **Reflejos en la superficie de entrada**
2. **Absorción**
3. **Reflejos en la superficie de salida**

Esto depende de las propiedades del cristal y de la longitud de onda de la luz

El material del cristal se diseña (en general) para 400~700nm

Ej: vidrios antireflex -> eliminan algunos reflejos



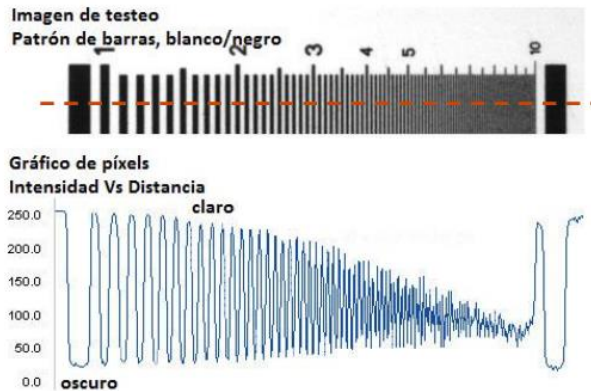
Para inspección UV los vidrios comunes no sirven. Disminuyen la transmisión a partir de 350nm (llega a 5% para $\lambda=310\text{nm}$).

UV: Lentes de cuarzo fundido / IR: Lentes de Fluoruro de Cuarzo

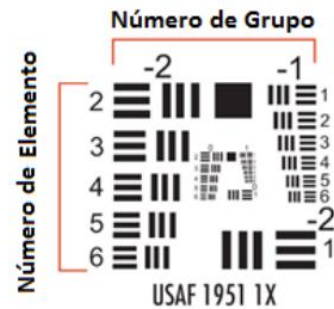
Resolución óptica – MTF

Modulation Transfer Function: Diagramas puestos a disposición por el fabricante (en el mejor de los casos). Proporcionan información sobre cuántos pares de líneas paralelas en blanco y negro se representan de forma diferenciada y con qué contraste.

Cuanto más pares de líneas por mm que tengan el mayor contraste posible, mejor será la lente.



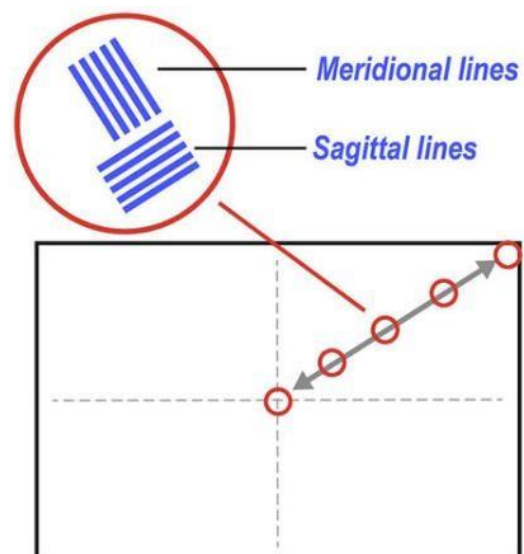
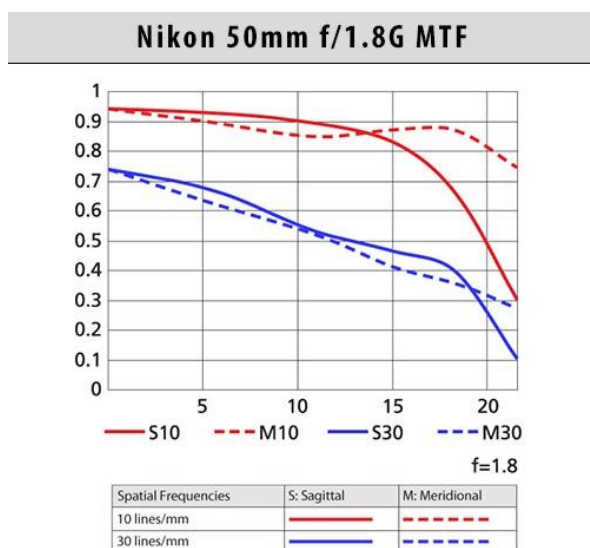
$$\% \text{ Contraste} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



$$\text{Resolución} = 2^{\left(Nro \text{ grupo} + \frac{Nro \text{ elemento} - 1}{6}\right)}$$

De las curvas de MTF se pueden extraer:

1. Resolución (de centro a extremo)
2. Contraste (de centro a extremo)
3. Astigmatismo y aberración lateral cromática (Separación entre sagital y meridional)
4. Curvatura de campo (por imagen hemi- esférica)
5. Corrimiento de foco (por aberración esférica). Se ve a $\neq f\#$.

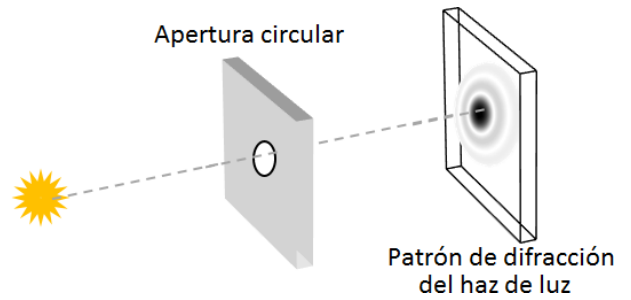


Resolución óptica – Difracción

El efecto es una reducción de contraste por difracción en la apertura de la lente

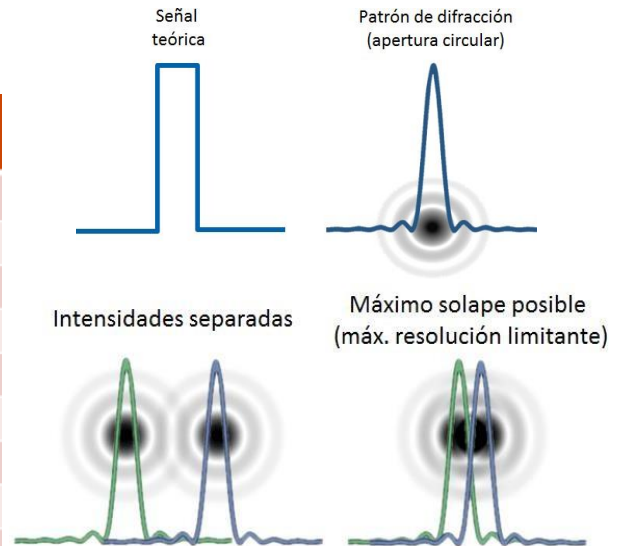
El patrón de difracción es una función de Bessel de 1er orden.

Se lo conoce como “disco de airy”.



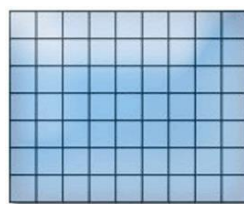
$$d = 2 * 1.22 * \lambda * f\#$$

f#	Azul $\lambda=470\text{nm}$	Verde $\lambda=530\text{nm}$	Rojo $\lambda=650\text{nm}$	IR $\lambda=890\text{nm}$
	Disco de Airy [μm]			
2	2.3	2.6	3.2	4.3
2.8	3.2	3.6	4.5	6.1
3.5	4.0	4.5	5.6	7.6
4	4.6	5.2	6.4	8.7
5.6	6.4	7.2	9.0	12.2
8	9.2	10.3	12.9	17.4
11	12.6	14.2	17.7	23.9
16	18.3	20.7	25.8	34.7
22	25.2	28.5	35.4	47.8



Errores ópticos

- Distorsiones geométricas** (curvatura asimétrica / compresión de imagen)



Sin distorsión

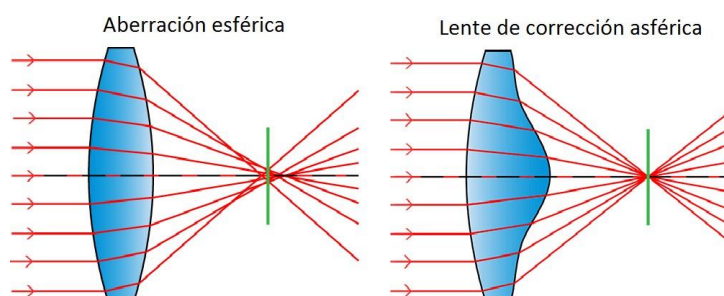


Distorsión de almohadon (pincushion)

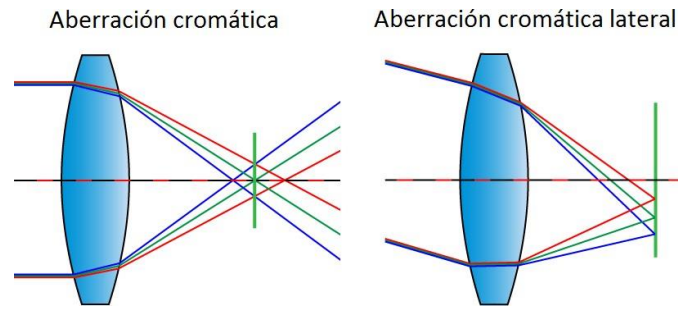


Distorsión de barril (barrel)

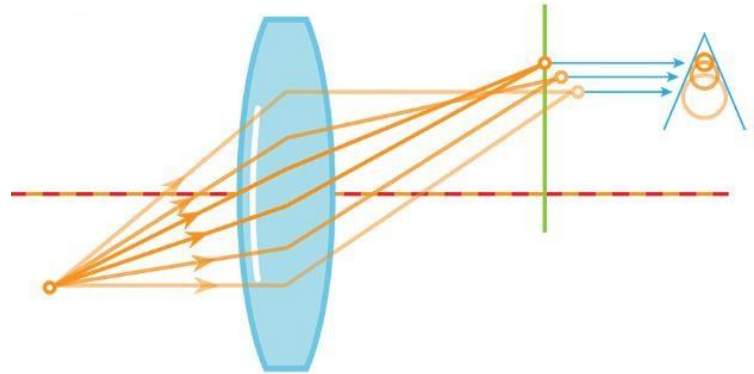
- Aberración esférica** (rayos paralelos que no se cruzan en un mismo punto)



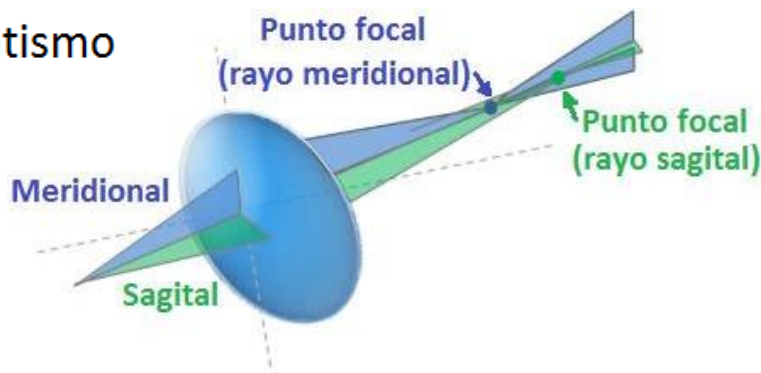
- **Aberración cromática** (rayos que se cruzan en $\neq Z$ para $\neq \lambda$)



- **Coma** (rayos que inciden oblicuos y se cruzan en $\neq y$)



Astigmatismo



(diferente punto de enfoque según cada eje meridional)

- **Viñetas** (Oscurecimiento por luz parásita debida a falta de recubrimientos o bajo MTF)

