

TEMA 4

REGISTRO Y PROCESADO DE IMÁGENES CLÍNICAS

Grado en Óptica y Optometría
Curso 2010-2011

Pas García Martínez

Amparo Pons Martí

UNIDAD 1

FORMACIÓN Y REGISTRO DE LA IMAGEN

- **Elementos básicos de la cámara fotográfica**
- **Óptica fotográfica**

Obtención de una imagen controlada en cuanto tamaño, nitidez e intensidad

Tema 4.- Diseño básico de los diferentes tipos de objetivos.

- **Importancia de las aberraciones.**
- **Teleobjetivo.**
- **Teleobjetivo invertido (gran angular).**
- **Objetivos zoom (focal variable).**
- **Complementos de los objetivos.**

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

Formación de imágenes en ÓPTICA GEOMÉTRICA

Teoría de primer orden: $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta \rightarrow$ ÓPTICA PARAXIAL

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

IMAGEN

OBJETO	ÓPTICA PARAXIAL	Con ABERRACIONES
PUNTO PLANO OBJETO EXTENSO 	PUNTO PLANO EXISTE razón de SEMEJANZA 	NO es un PUNTO SUPERFICIE CURVA NO EXISTE razón de SEMEJANZA 

DISEÑO DE OBJETIVOS. IMPORTANCIA DE LAS ABERRACIONES

❖ ABERRACIONES MONOCROMÁTICAS, GEOMÉTRICAS (ó de SEIDEL)

- ABERRACIÓN ESFÉRICA
- COMA
- ASTIGMATISMO

Son aberraciones de punto

Afectan a la calidad de la imagen de un punto

- CURVATURA DE CAMPO
- DISTORSIÓN

Son aberraciones de campo

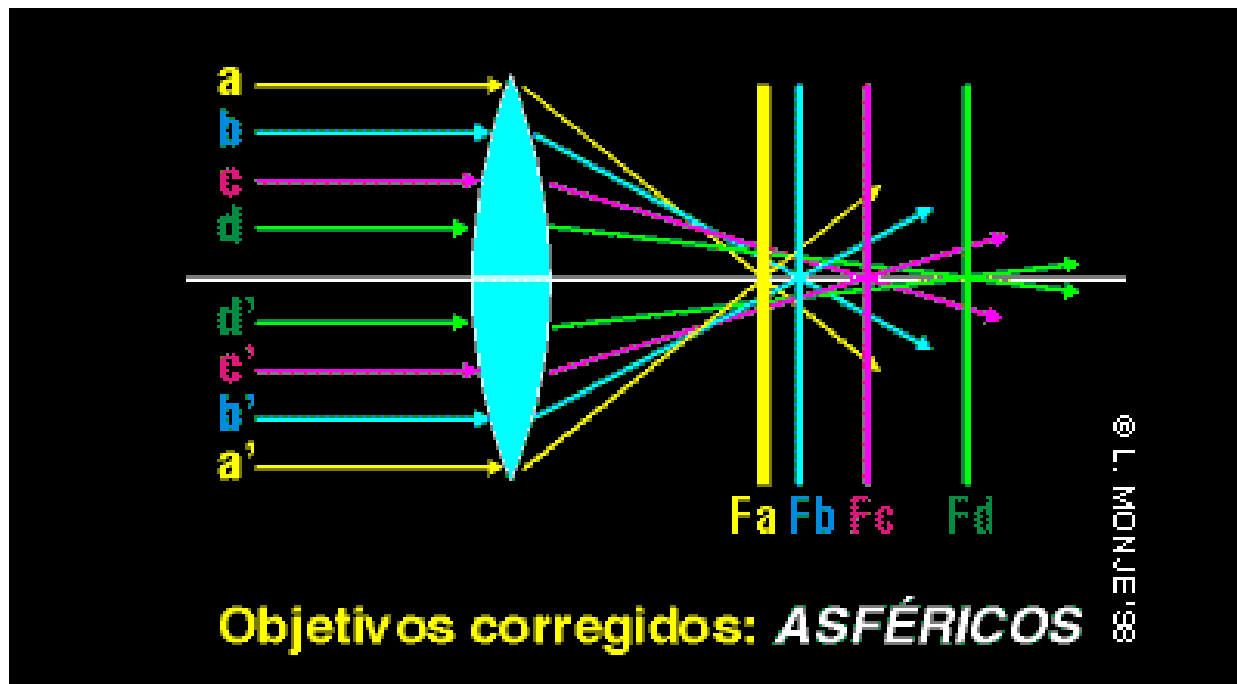
Rompen la razón de semejanza entre el objeto y la imagen

❖ ABERRACIÓN CROMÁTICA

El índice de refracción depende de λ

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

ABERRACIÓN ESFÉRICA



¿Cómo afecta a la calidad de la imagen?

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

¿Cómo afecta a la calidad de la imagen?

En un sistema con aberración esférica la imagen está desenfocada



Imagen ideal

Imagen de un punto

Punto brillante
rodeado de un halo

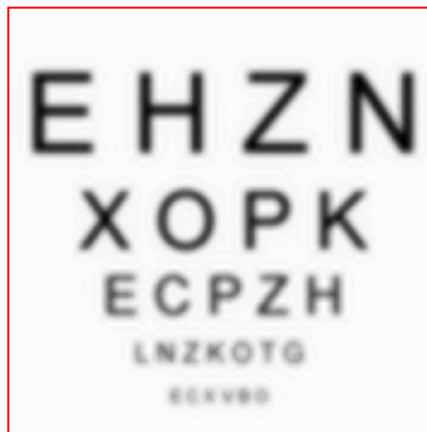


Con aberración esférica



Existe pérdida
de contraste

Imagen de un
objeto extenso

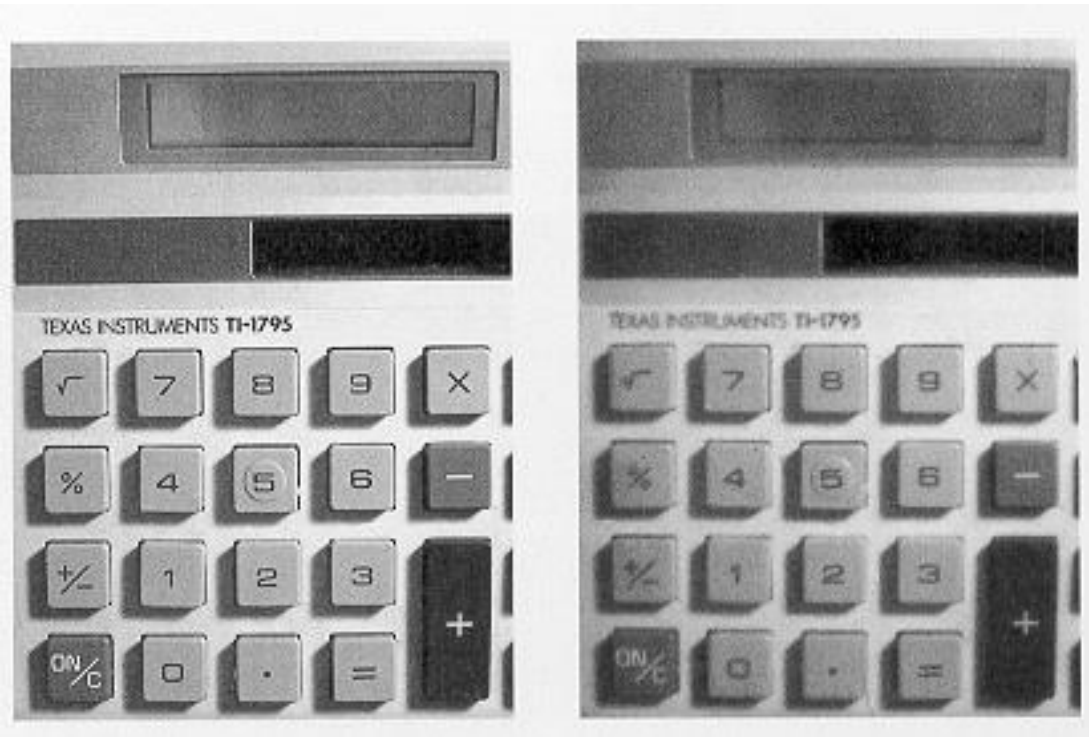


Es la aberración menos importante en fotografía

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

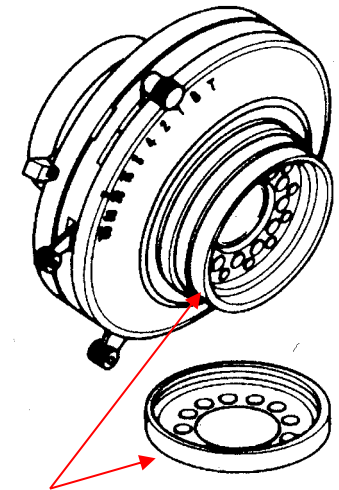
Para algunas aplicaciones se utilizan objetivos con cierto grado de aberración esférica

OBJETIVOS *SOFT FOCUS*

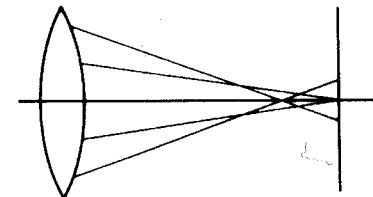


Objetivo normal

Objetivo *soft focus*



Anillos para controlar el grado de aberración esférica

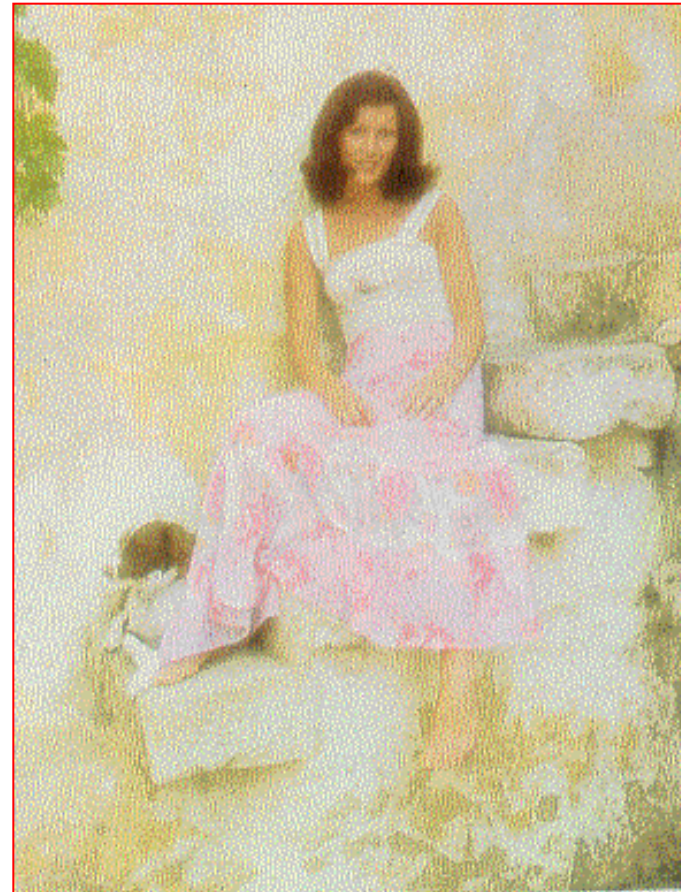


DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

Los OBJETIVOS *SOFT FOCUS* se utilizan sobre todo para retratos ya que proporcionan imágenes de contraste suave (*Flou*)



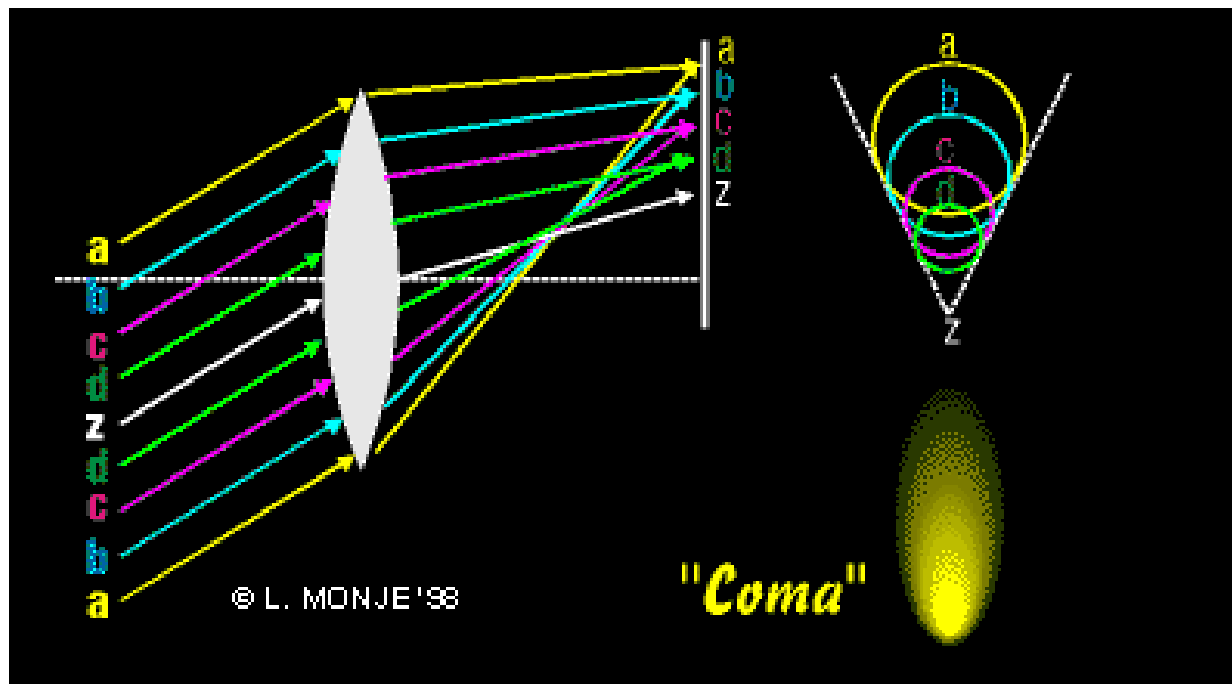
Objetivo normal



Objetivo *soft focus*

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

ABERRACIÓN DE COMA



¿Cómo afecta a la calidad de la imagen?

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

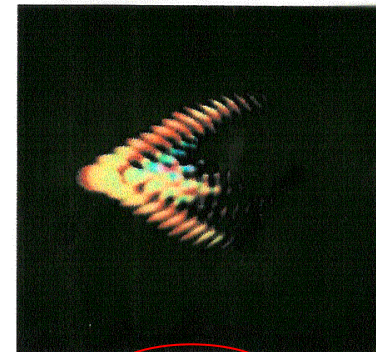
ABERRACIÓN DE COMA

La aberración de coma es la más perjudicial en fotografía. SISTEMAS APLANÁTICOS: Corregidos de aberración esférica y aberración de coma



Imagen ideal

Imagen de un punto



Con coma

El aspecto de la imagen es muy asimétrico

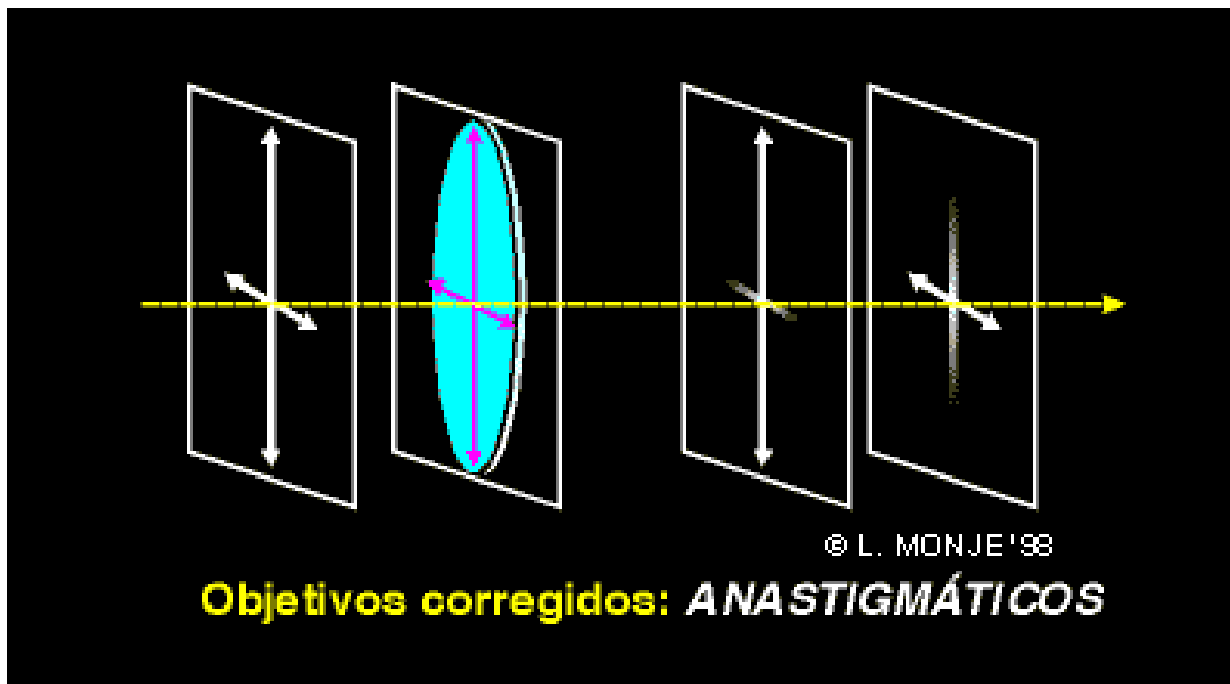
E H Z N
X O P K
E C P Z H
L N Z K O T G
F O X V B O

Imagen de un objeto extenso

E H Z N
X O P K
E C P Z H
L N Z K O T G
F O X V B O

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

ASTIGMATISMO



¿Dónde situar el sensor de imagen?

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

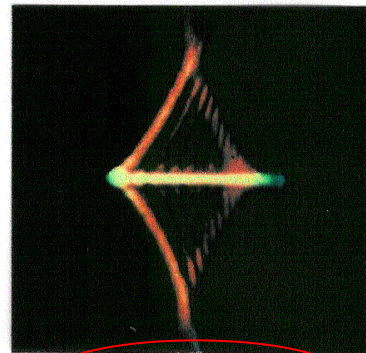
ASTIGMATISMO

Los objetivos fotográficos deben estar corregidos de astigmatismo. SISTEMAS ANASTIGMÁTICOS

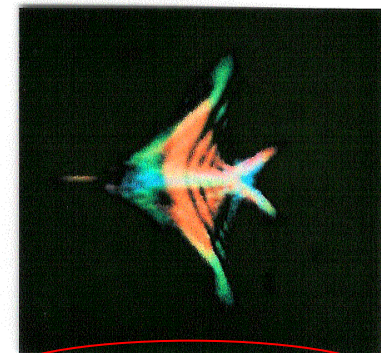
Imagen de un punto



Imagen ideal



Con astigmatismo



Con coma y astigmatismo

objeto extenso

EHZN
XOPK
ECPZH
LNZKOTG
FOXVRO

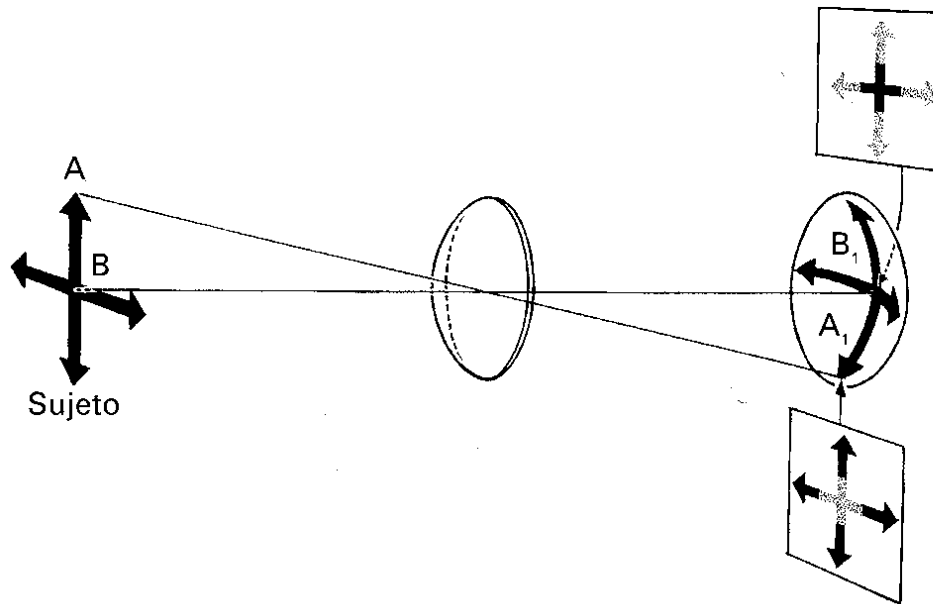
Imagen en dos planos distintos

EHZN
XOPK
ECPZH
LNZKOTG
FOXVRO

EHZN
XOPK
ECPZH
LNZKOTG
FOXVRO

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE CAMPO

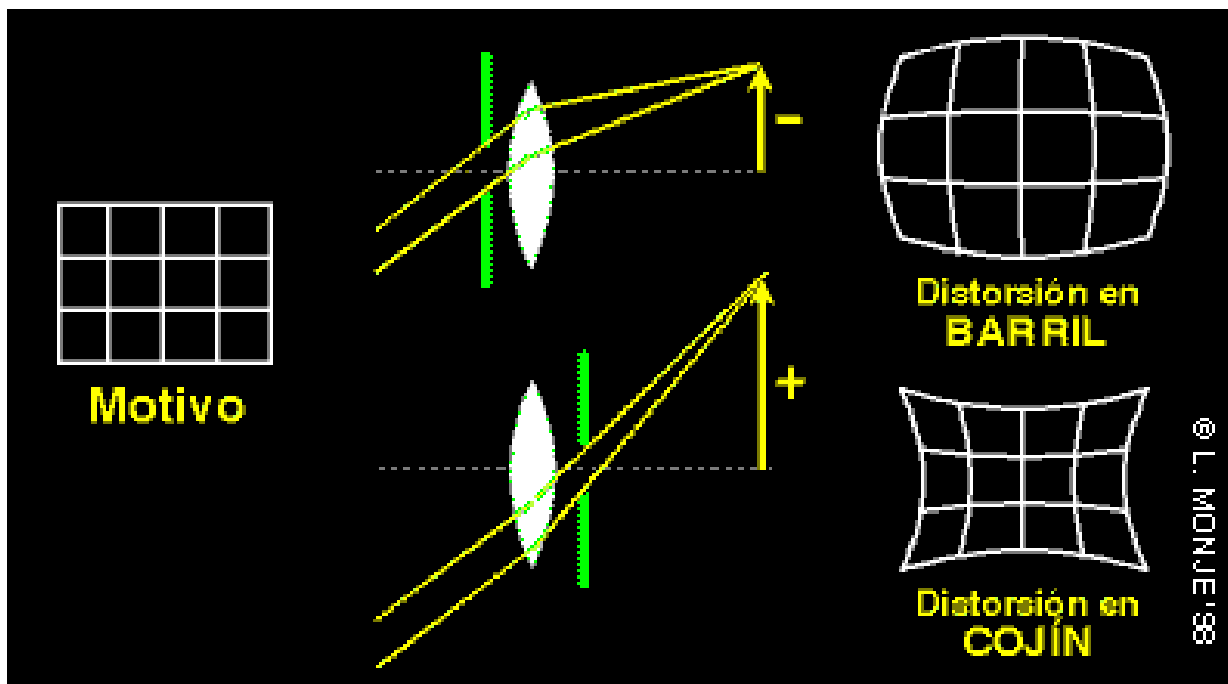
CURVATURA DE CAMPO



- En fotografía debe corregirse ya que la placa fotográfica es plana y sobre ella se obtiene una imagen parcialmente desenfocada (en el centro ó en los bordes).
- Para ciertas aplicaciones especiales (Telescopios) se utilizan placas curvas.

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE CAMPO

DISTORSIÓN



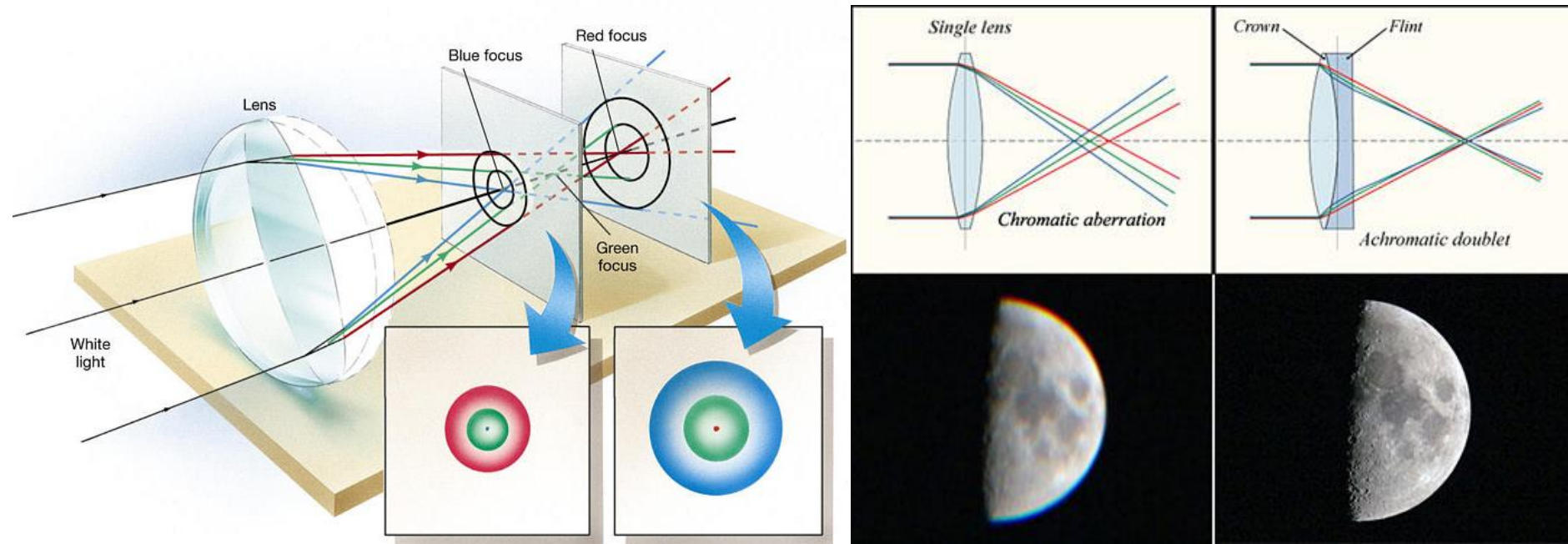
DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

- Los objetivos fotográficos deben estar corregidos de distorsión, sobre todo si se van a realizar medidas sobre las imágenes(ejemplo: fotografía aérea).
- Es muy difícil eliminar la distorsión para campos grandes (Objetivos GRAN ANGULAR)



DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

Aberración cromática



Los objetivos fotográficos deben estar corregidos de aberración cromática ya que, en general se trabaja con luz blanca.
SISTEMAS ACROMÁTICOS y APOCROMÁTICOS

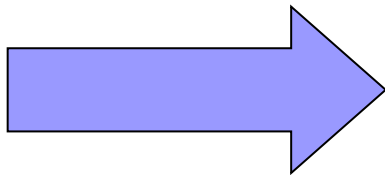
DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS



APERTURA MÁXIMA

DISTANCIA FOCAL

APERTURA



CAMPO

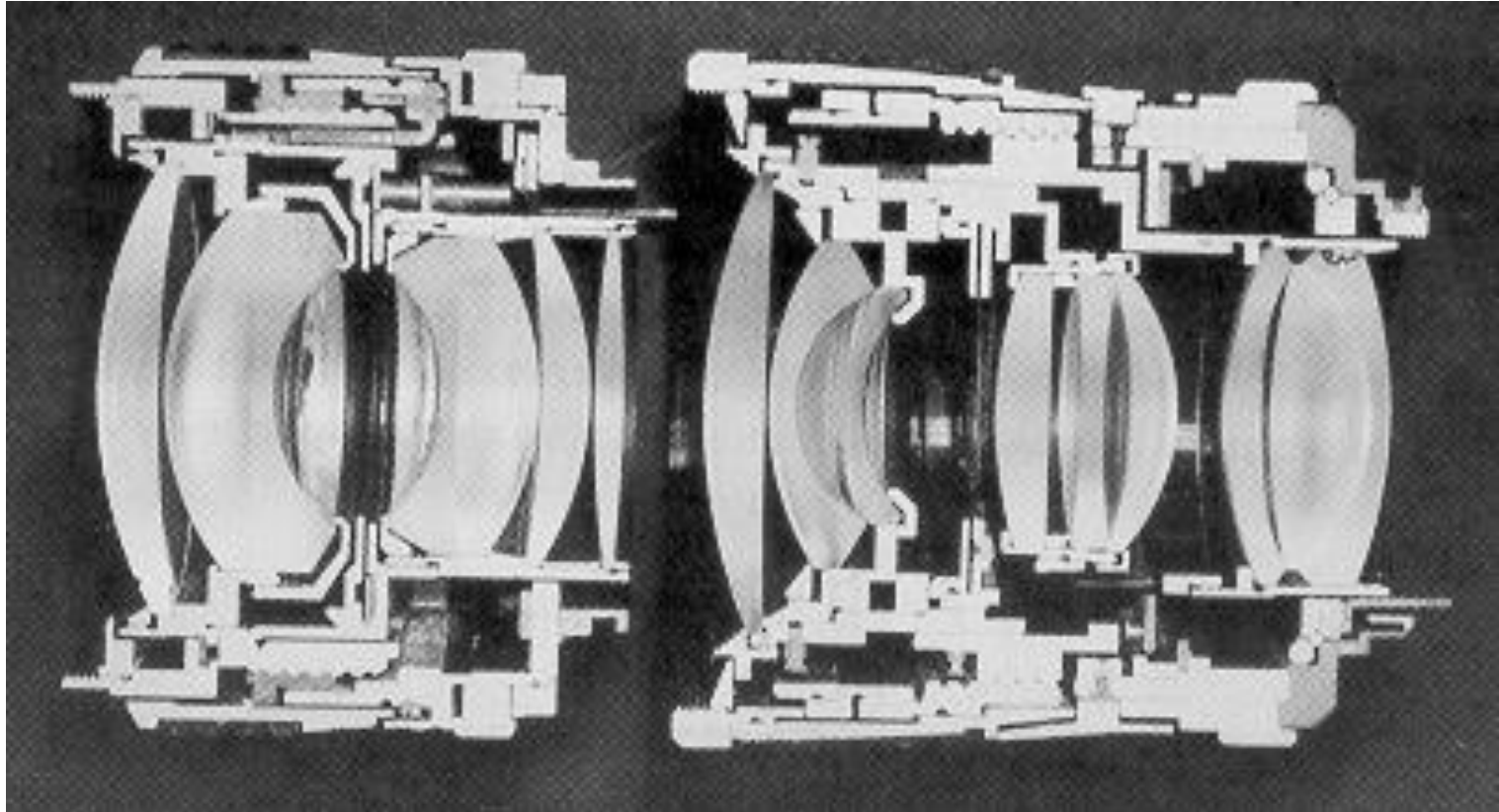
TIPOS DE OBJETIVO

BAJA APERTURA
APERTURA MEDIA
GRAN APERTURA

TELEOBJETIVOS
GRAN ANGULAR
ZOOM

CATADIÓPTRICOS

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

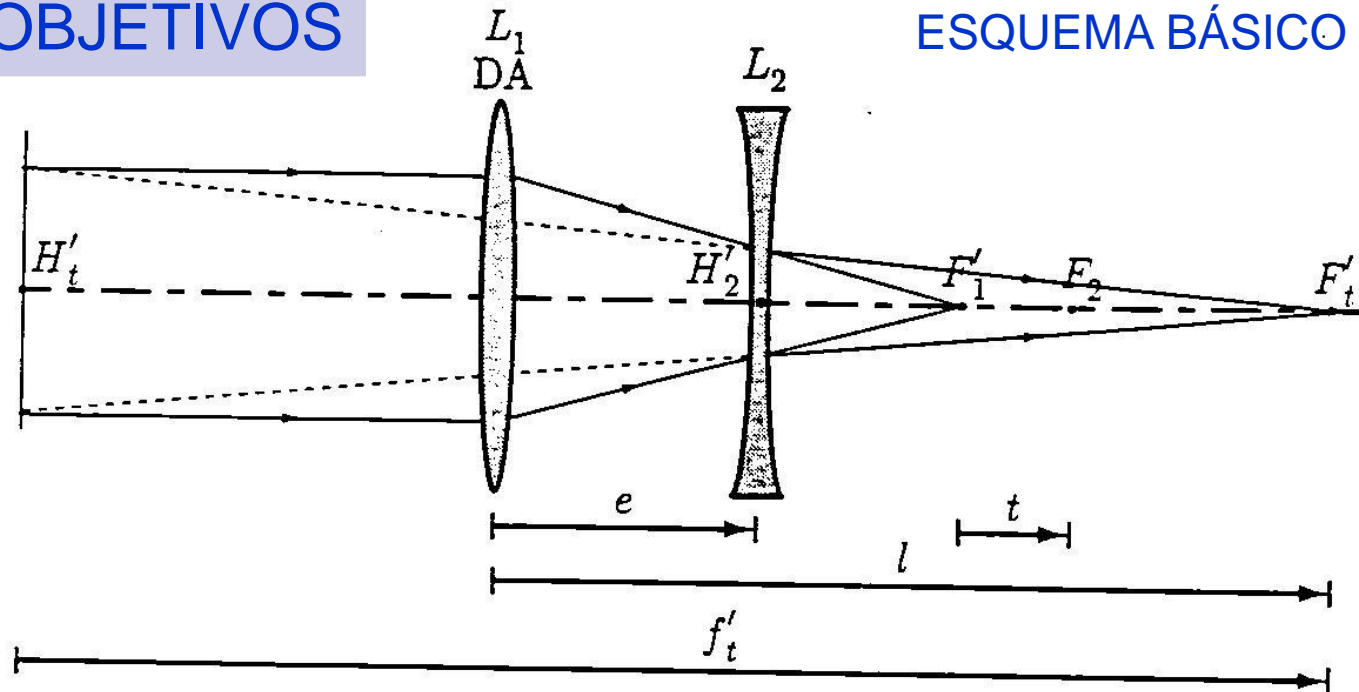


SECCIÓN DE DOS OBJETIVOS FOTOGRÁFICOS

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

TELEOBJETIVOS

ESQUEMA BÁSICO



DISTANCIA FOCAL TOTAL : $f'_t = -\frac{f'_1 \cdot f'_2}{t}$

Para que $f'_t > 0 \rightarrow t = \overline{F'_1 F_2} = e - (f'_1 + f'_2)$ ha de ser > 0

TAMAÑO TOTAL DEL DISPOSITIVO : $l = e + \overline{H'_2 F'_t}$

$$l = e + \frac{f'_2(e - f'_1)}{t} = f'_t + e \left(1 + \frac{f'_2}{t} \right)$$

$$l < f'_t$$

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

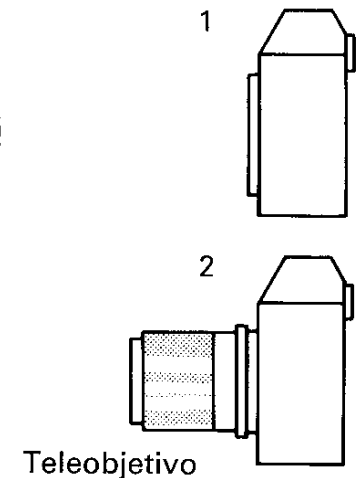
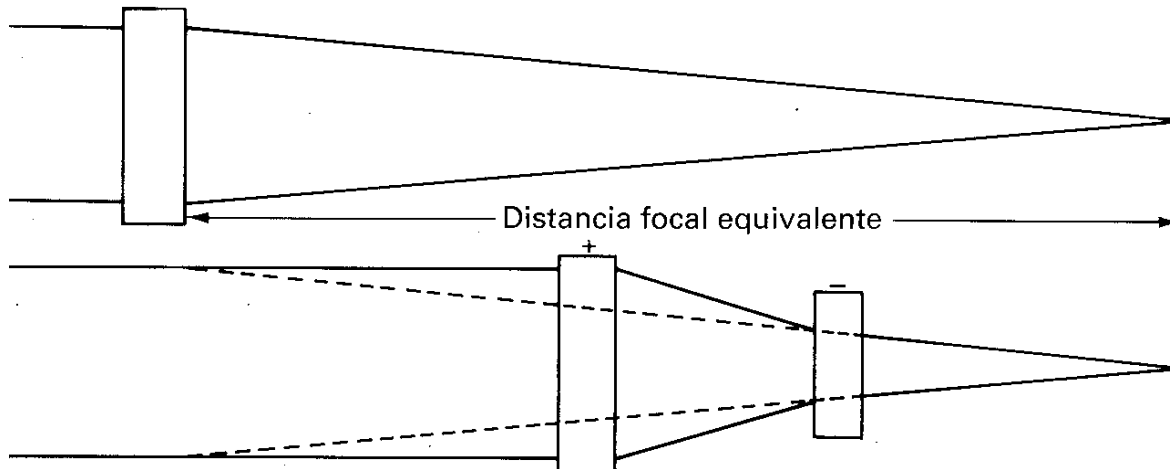
$$l < f'_t$$

$$\text{FACTOR DE REDUCCIÓN : } K = \frac{l}{f'_t} < 1$$

$$\text{EFECTO DE TELEOBJETIVO : } K_t = \frac{f'_t}{H'_2 F'_t} > 1$$

$$K_t = \frac{f'_1 \cdot f'_2 / -t}{f'_2 (f'_1 - e) / -t} = \frac{f'_1}{f'_1 - e} > 1$$

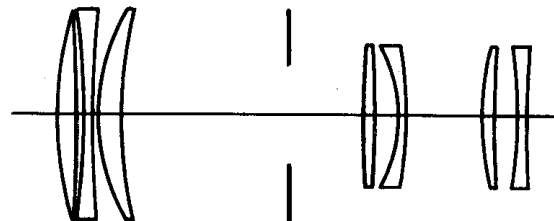
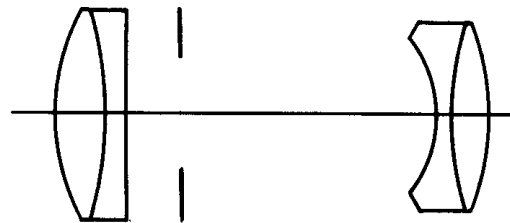
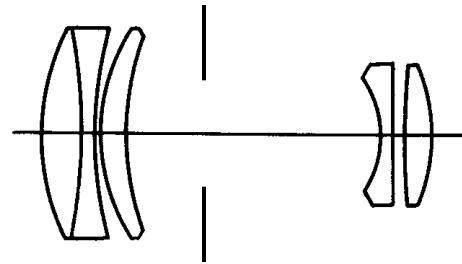
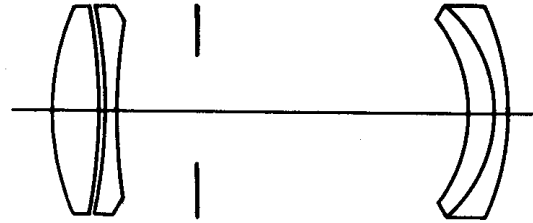
(Foco largo simple)



DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

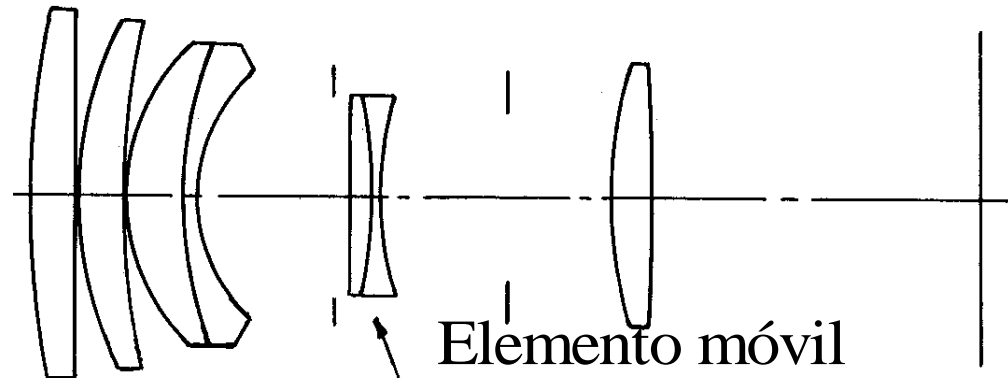
PRIMEROS DISEÑOS DE TELEOBJETIVOS

Elemento + (D.A) Elemento -

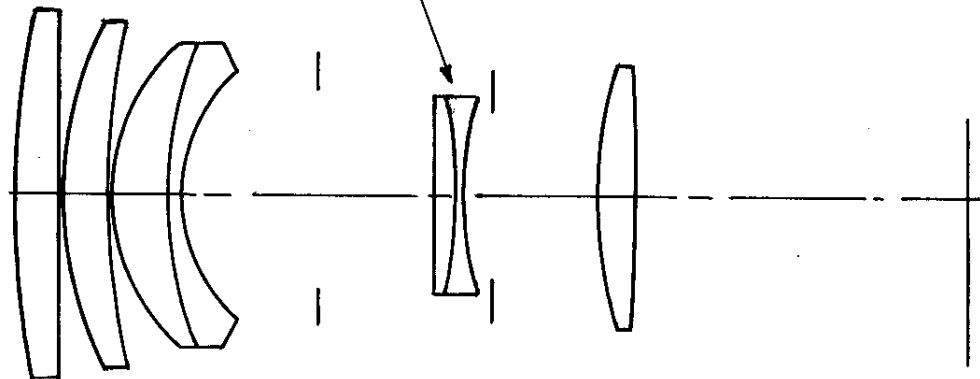


DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

Enfoque a ∞



Enfoque a 1m

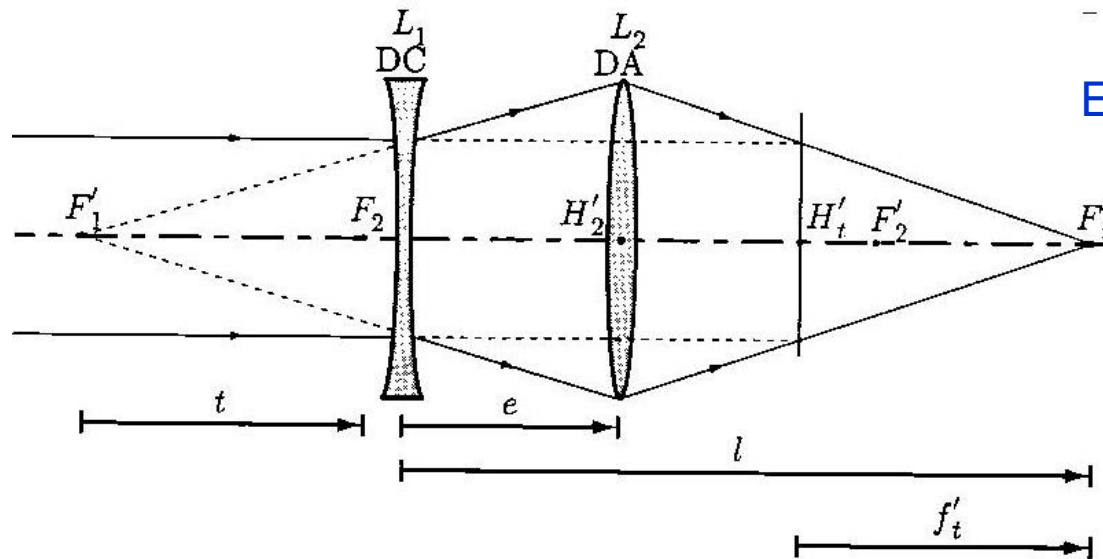


DISEÑO ACTUAL

Objetivo MINOLTA 135 mm f/2,5, con sistema interno de enfoque, para cámara de paso universal

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

TELEOBJETIVO INVERTIDO (GRAN ANGULAR)



ESQUEMA BÁSICO

DISTANCIA FOCAL TOTAL : $f'_t = -\frac{f'_1 \cdot f'_2}{t}$

Para que $f'_t > 0 \rightarrow t = \overline{F'_1 F_2} = e - (f'_1 + f'_2)$ ha de ser > 0

$$t = e - f'_1 - f'_2 = e + |f'_1| - f'_2 \rightarrow t > 0 \text{ si } e + |f'_1| > f'_2$$

TAMAÑO TOTAL DEL DISPOSITIVO : $l = e + \overline{H'_2 F'_t}$

$$l = e + \frac{f'_2(e - f'_1)}{t} = f'_t + e \left(1 + \frac{f'_2}{t} \right)$$

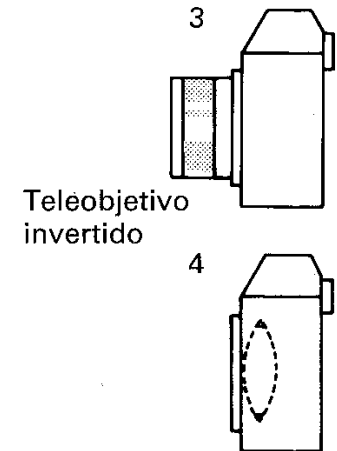
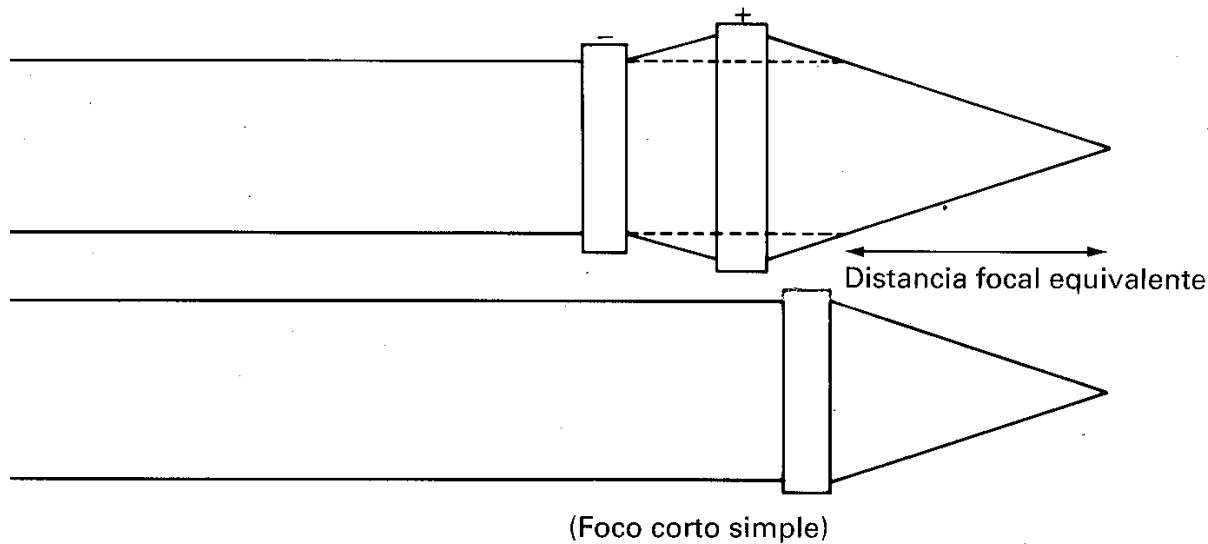
$$l > f'_t$$

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

$$l > f'_t$$

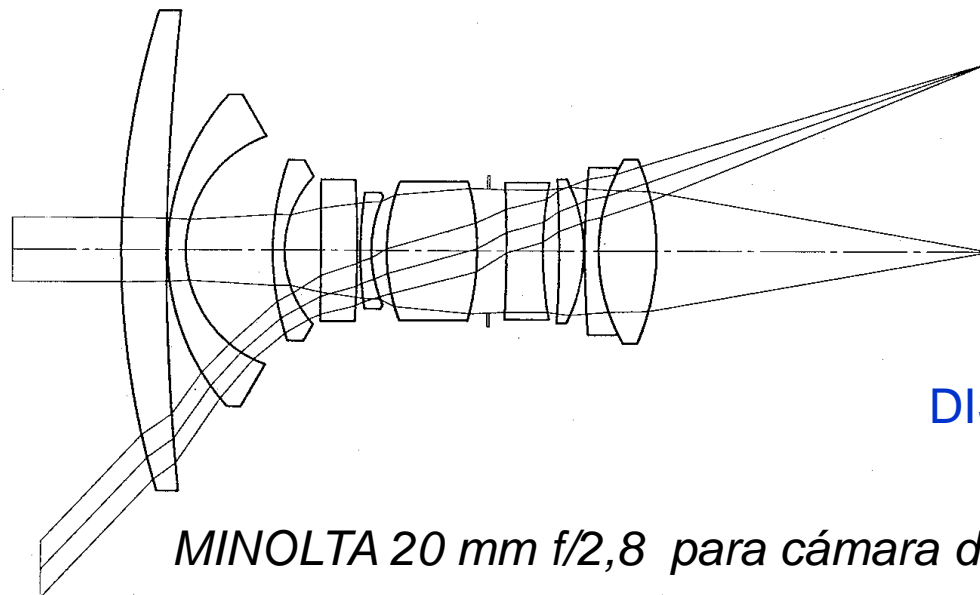
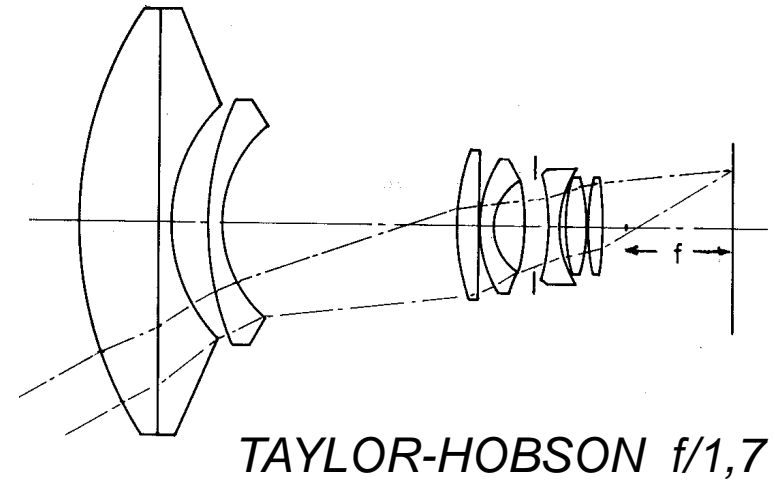
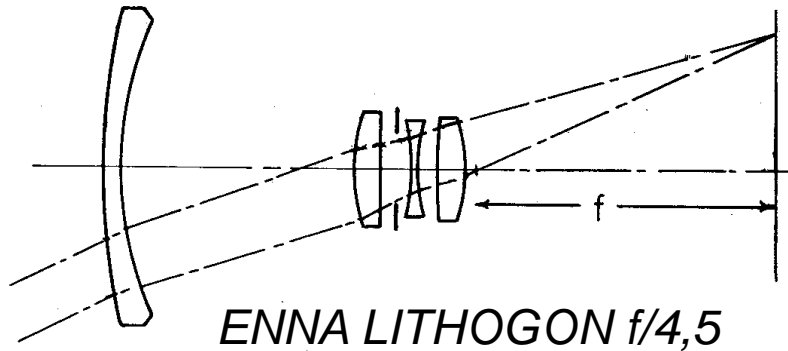
FACTOR DE "REDUCCIÓN" : $K = \frac{l}{f'_t} > 1$

EFFECTO DE "TELEOBJETIVO" : $K_t = \frac{f'_t}{H'_2 F'_t} < 1$



DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

PRIMEROS DISEÑOS

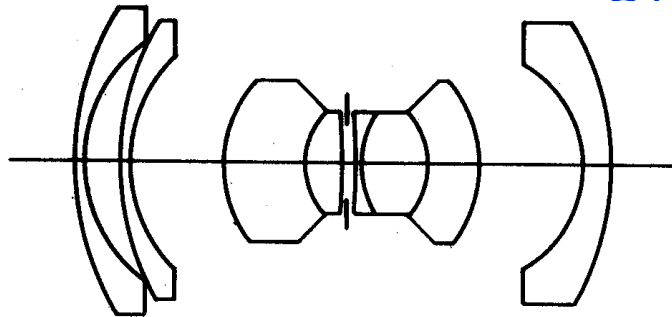


DISEÑO ACTUAL

$$2\omega = 94^\circ$$

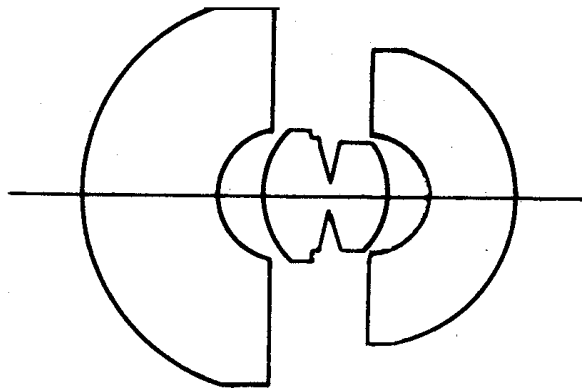
DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

OTROS DISEÑOS

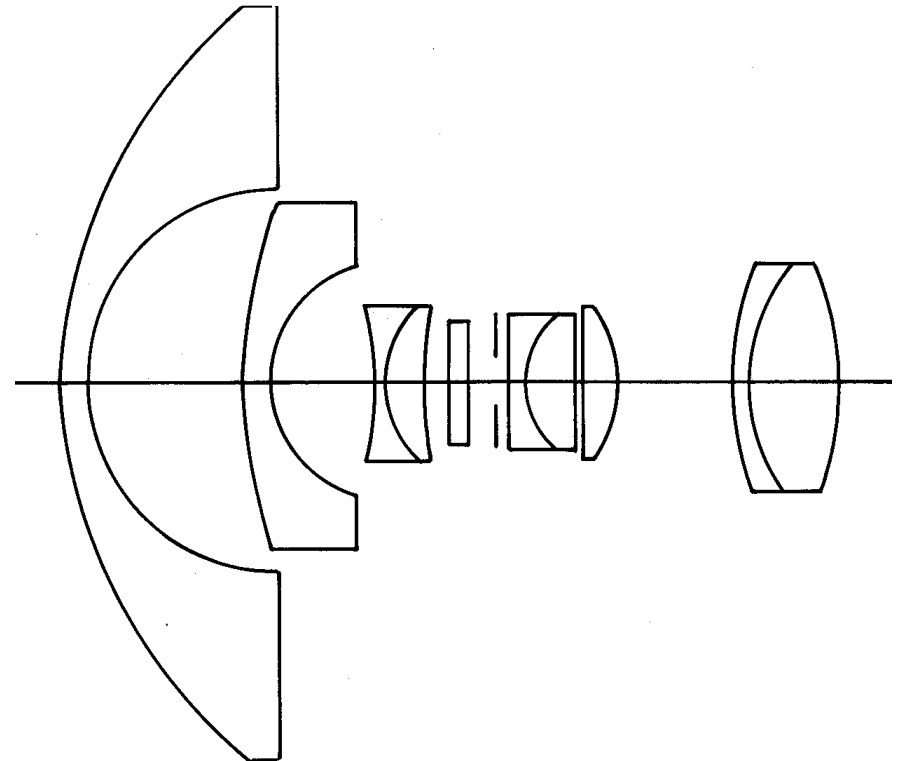
*ZEISS BIOGON f/4,5*

$$2\omega = 90^\circ$$

Objetivos para fotografía aérea

*ZEISS HOLOGON f/8*

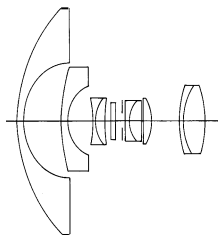
$$2\omega = 110^\circ$$



NIKON 6 mm f/5,6
tipo "ojo de pez" para
cámara de paso universal

$$2\omega = 220^\circ$$

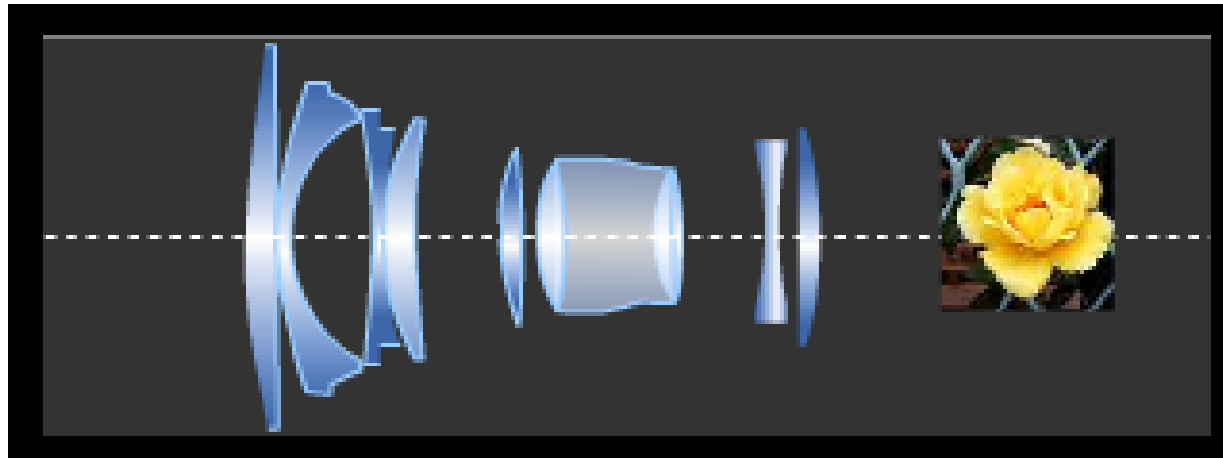
DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS



Imágenes obtenidas con un objetivo tipo “ojo de pez”

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

OBJETIVO ZOOM (FOCAL VARIABLE)



- Según la posición relativa de sus elementos el valor de la distancia focal f' cambia y, por tanto, varía el campo angular.
- Un Zoom puede ser Gran angular, Objetivo Normal o Teleobjetivo para un formato dado.
- La posición del plano imagen se mantiene fija sobre el plano de la película (ó varía dentro de los límites de la profundidad de foco).
- TIPOS de ZOOM:
 - de COMPENSACIÓN ÓPTICA
 - de COMPENSACIÓN MECÁNICA

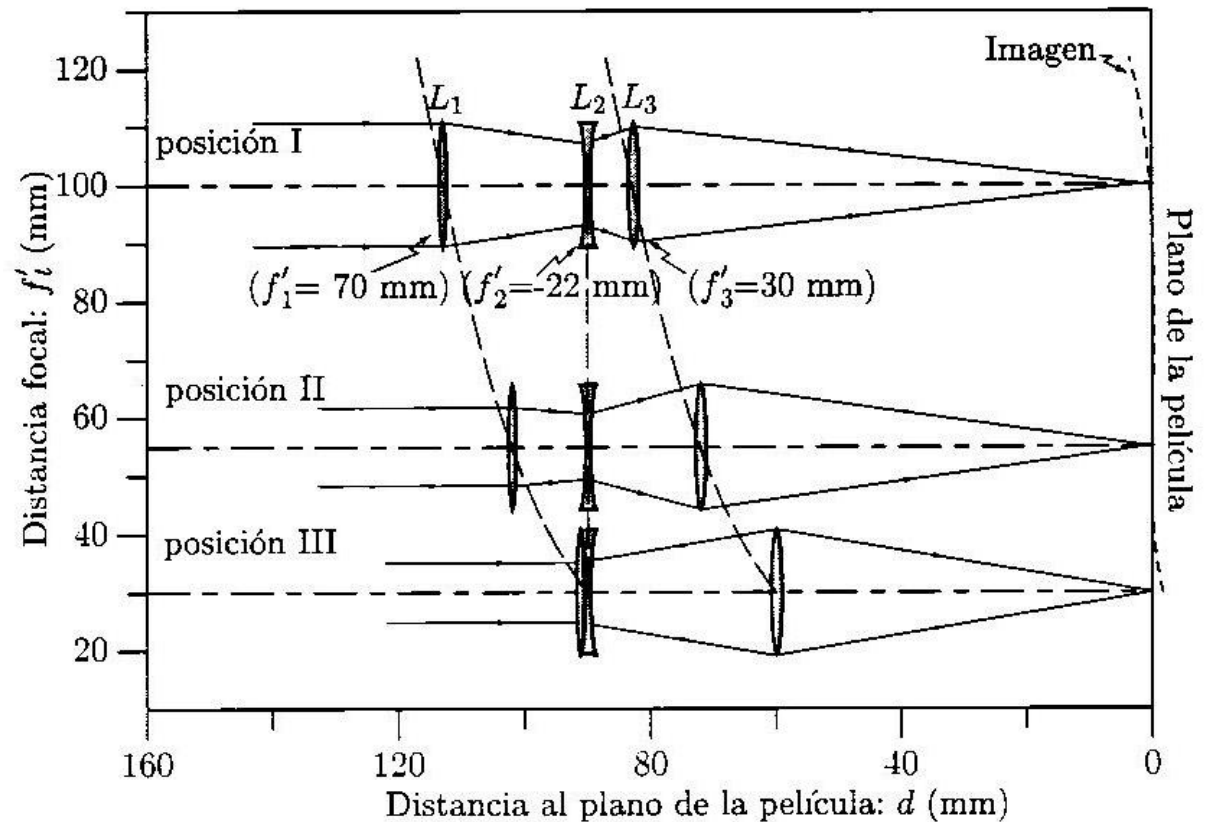
DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

ZOMM (FOCAL VARIABLE)

Para
paso universal
↓
(I) Teleobjetivo

(II) Normal

(III) Gran Angular



ZOOM de TRES ELEMENTOS SENCILLOS (LENTES DELGADAS)
con COMPENSACIÓN ÓPTICA

- L_1 y L_3 : Movimiento solidario
- L_2 : Elemento fijo

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

Para
paso universal

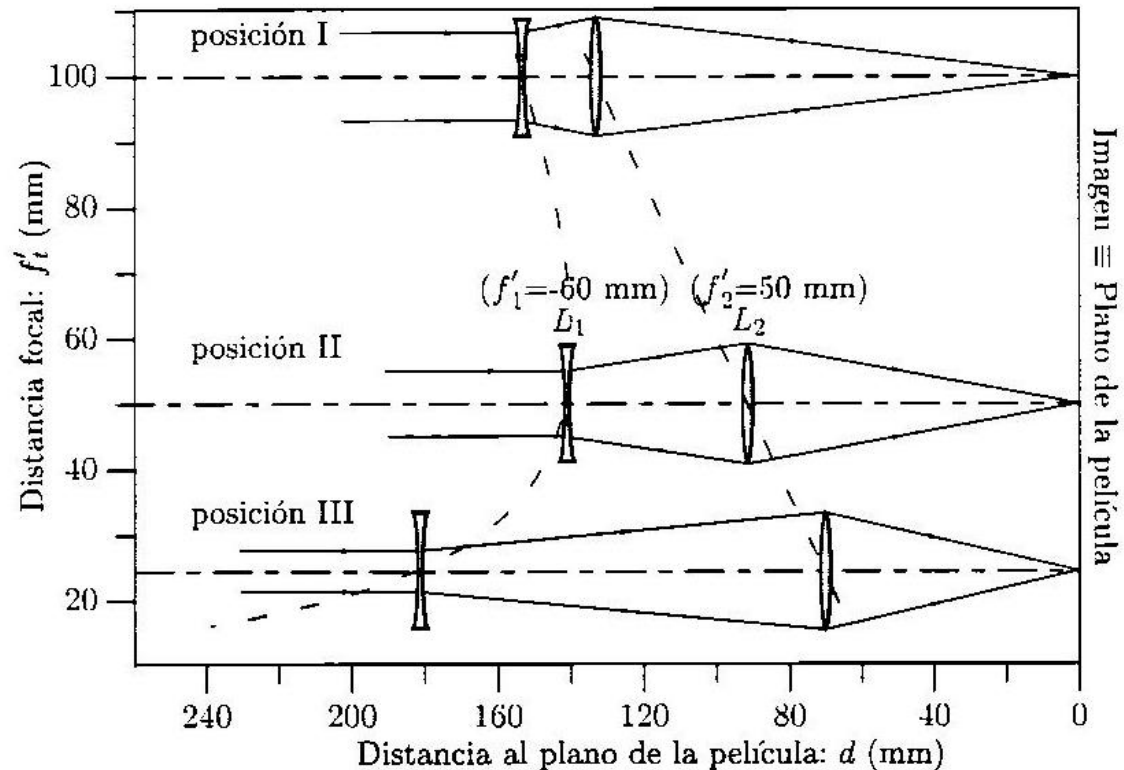


(I) Teleobjetivo

(II) Normal

(III) Gran Angular

ZOOM (FOCAL VARIABLE)

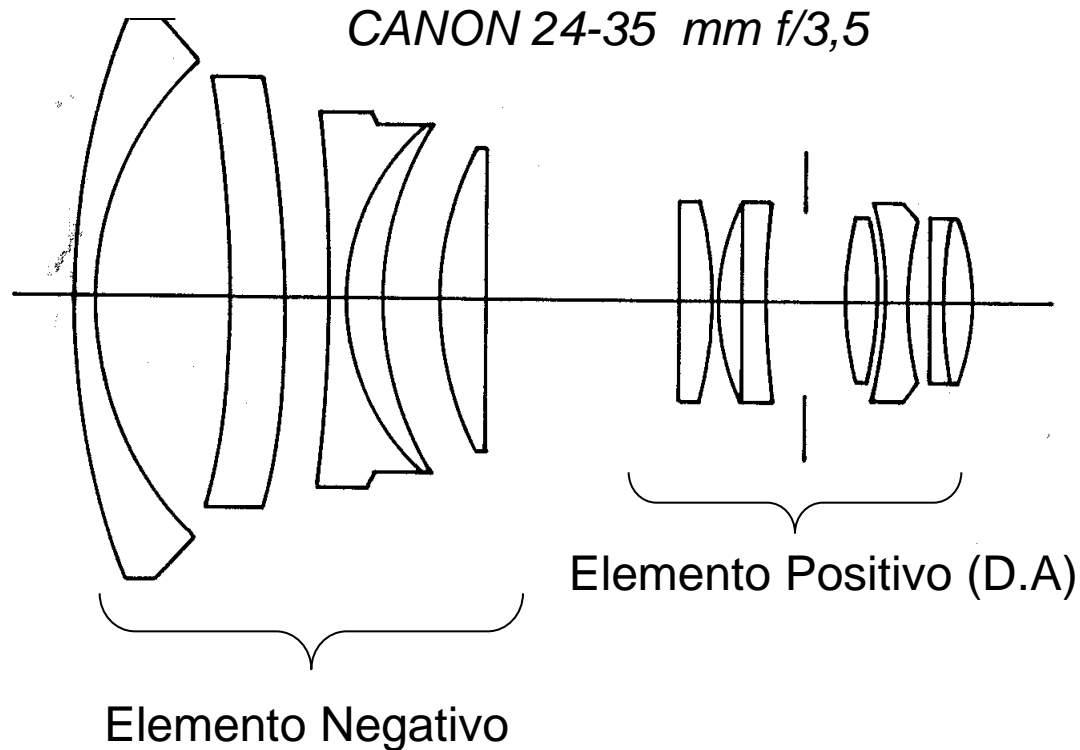


ZOOM de DOS ELEMENTOS SENCILLOS (LENTES DELGADAS)
con *COMPENSACIÓN MECÁNICA*

- Tipo Teleobjetivo invertido
- L_1 y L_2 : *Movimiento independiente*

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

DISEÑO ACTUAL

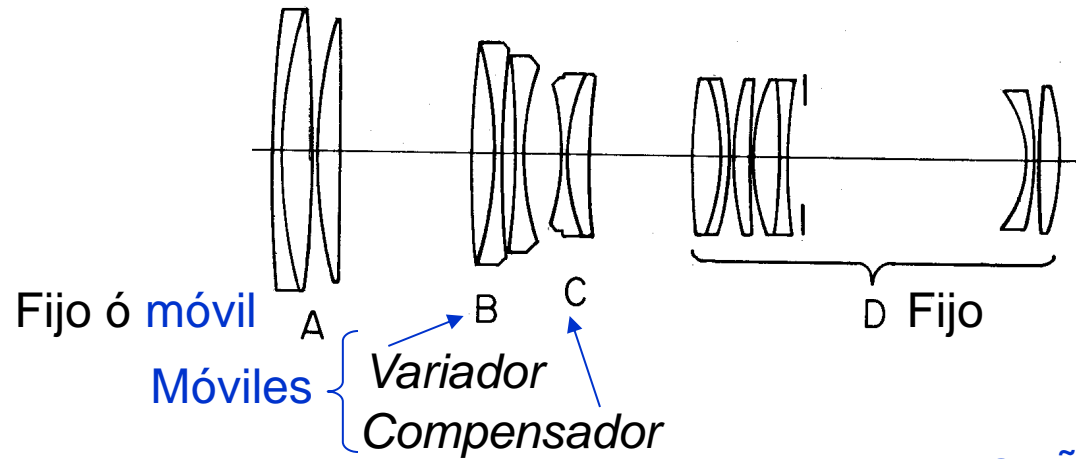


ZOOM de DOS ELEMENTOS COMPUESTOS con *COMPENSACIÓN MECÁNICA*

- Gran Angular para paso universal
- *Movimiento independiente de los dos elementos*

DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

ZOOM con DOS ó MÁS ELEMENTOS INDEPENDIENTES



DISEÑO ACTUAL

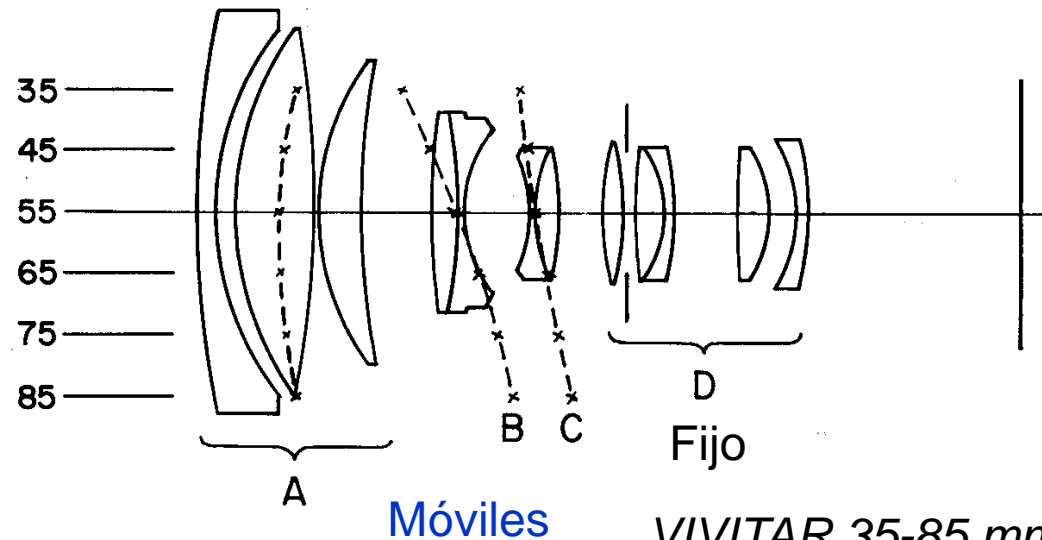
Gran Angular

Normal

Teleobjetivo



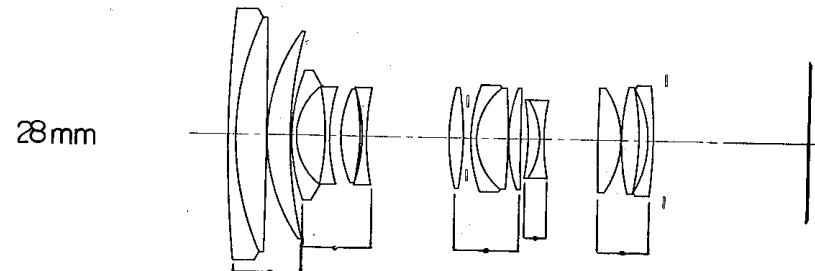
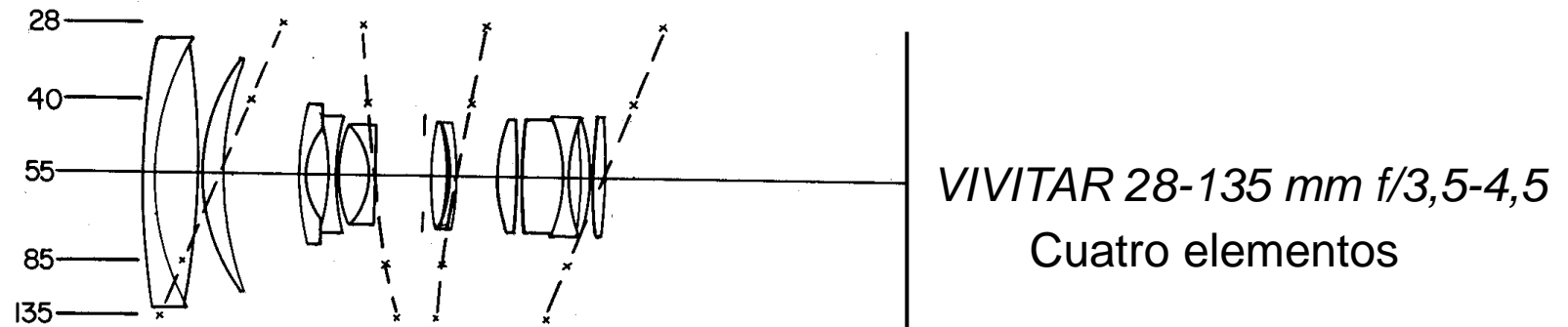
Para paso universal



VIVITAR 35-85 mm f/2,8

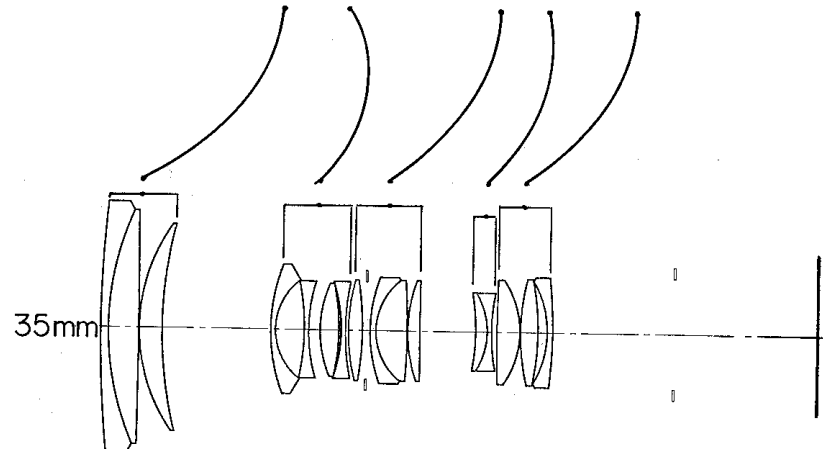
DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

DISEÑOS ACTUALES con TODOS los ELEMENTOS MÓVILES



MINOLTA 28-135 mm f/4-4,5

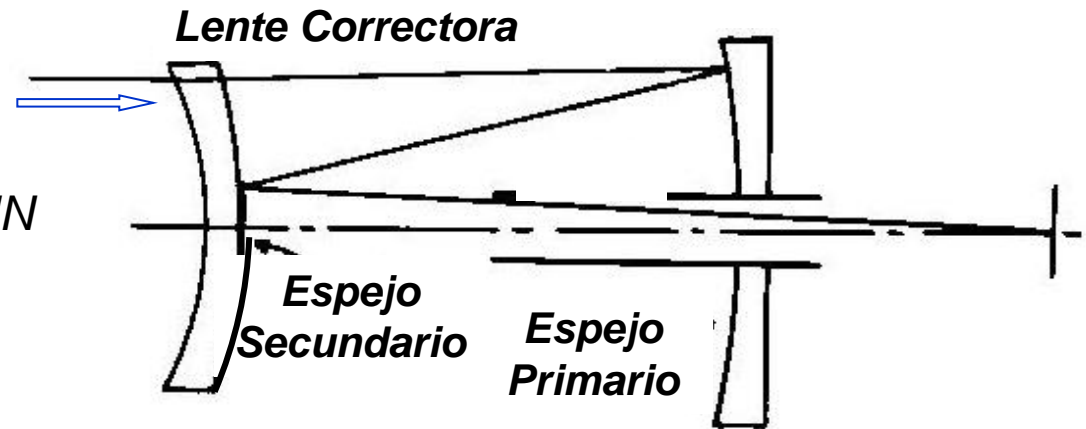
Cinco elementos



DISEÑO BÁSICO DE OBJETIVOS

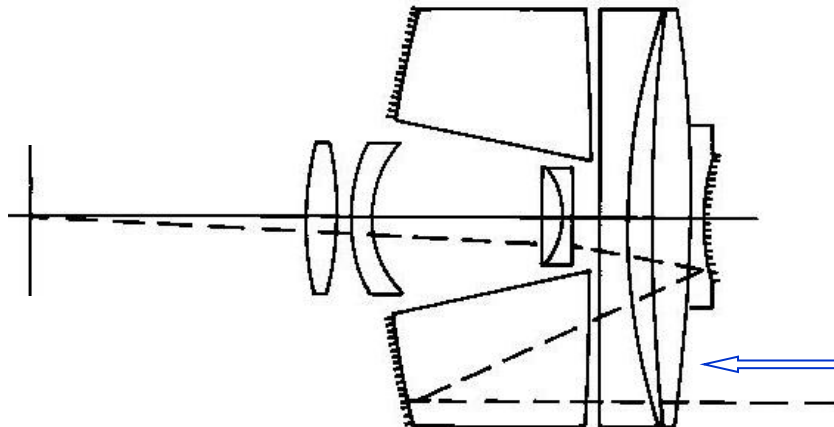
OBJETIVOS CATADIÓPTRICOS

*Objetivo tipo CASSEGRAIN
para Telescopio*



- Combinan LENTES y ESPEJOS
- $l \ll f'_T$
- Teleobjetivos con gran factor de reducción ($K : 0.25$ a $0,1$)

VIVITAR 600 mm f/8



500mm f/8 Reflex Nikkor

<http://www.canonistas.com/foros/teleobjetivos/>

*Objetivo catadióptrico de 2000 mm*

<http://foto.microsiervos.com/accesorios/telefoto-extremo-objetivo-catadioptrico.html>

COMPLEMENTOS DE LOS OBJETIVOS FOTOGRÁFICOS

Los complementos son dispositivos, compuestos por elementos ópticos y/o mecánicos, que se acoplan al objetivo de una cámara para modificar los límites de enfoque o el valor de la distancia focal

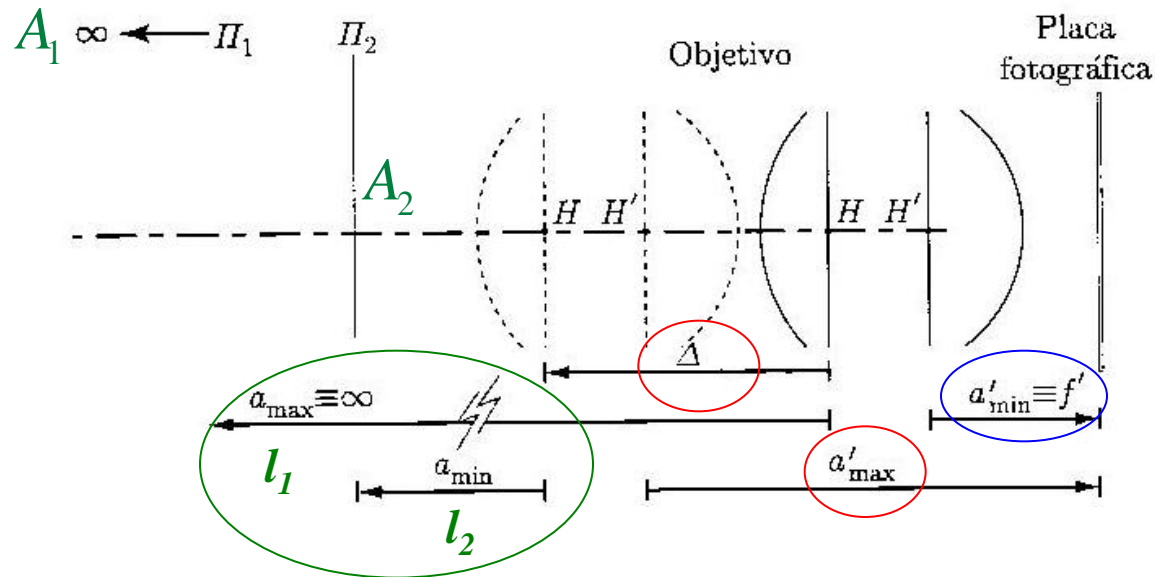
¿Para qué se utilizan?



¿Por qué son necesarios los complementos?

COMPLEMENTOS DE LOS OBJETIVOS FOTOGRÁFICOS

Intervalo de enfoque en una cámara de enfoque variable



$$-\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'} \rightarrow a = \frac{f' \cdot a'}{f' - a'} \left\{ \begin{array}{l} a'_{\min} \rightarrow a_{MÁX} \equiv l_1 \\ a'_{MÁX} \rightarrow a_{\min} \equiv l_2 \end{array} \right\}$$

Existen LÍMITES DE ENFOQUE (l_1 y l_2) que

DEPENDEN de $\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{MÁX} \text{ } (a'_{MÁX}) \\ f' \text{ } (a'_{\min}) \end{array} \right\}$

COMPLEMENTOS DE LOS OBJETIVOS FOTOGRÁFICOS

TIPOS DE COMPLEMENTOS

COMPLEMENTOS AFOCALES \rightarrow Varían $\Delta_{MÁX}$ ($a'_{MÁX}$)

Fuelles y Tubos (ó Anillos) de extensión

COMPLEMENTOS FOCALES \rightarrow Varían f' (a'_{\min})

Lentes de Aproximación

Convertidores {
Duplicadores, Triplicadores....
Afocales (Tipo Galileo)
Teleobjetivo
Gran Angular

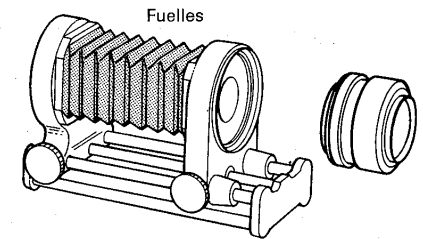
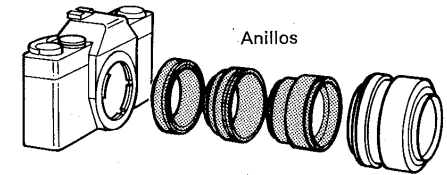
COMPLEMENTOS AFOCALES

Varían $\Delta_{MÁX}$ ($a'_{MÁX}$)

Longitud l $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fija} \rightarrow \text{TUBOS (ANILLOS) DE EXTENSIÓN} \\ \text{Variable} \rightarrow \text{FUELLE} \end{array} \right\}$

Cámara Réflex con Fuelle

Elementos mecánicos



COMPLEMENTOS AFOCALES

OBJETIVOS MACRO (para MACROFOTOGRAFÍA)

Diseño optimizado para fotografiar, con gran aumento, objetos cercanos



ESCALA DE AUMENTO (MACRO)

$$\text{Aumento} = \frac{1}{n^{\circ} \text{ Escala Macro}}$$



ESCALA DE ENFOQUE

COMPLEMENTOS FOCALES

Varían f' 

LENTES DE APROXIMACIÓN

CONVERTIDORES

 $f'_t = 2f'_{OB} \rightarrow$ DUPLICADOR $f'_t = 3f'_{OB} \rightarrow$ TRIPLICADOR

.....MULTIPLICADORES



*Cámara Réflex con Objetivo Normal
y Duplicador (Teleconvertidor)*

➤ Los Convertidores dan imágenes de mayor calidad que las Lentes de Aproximación

➤ El principal inconveniente es que su diseño es específico para un Objetivo determinado

CONVERTIDORES DE TIPO AFOCAL SISTEMAS TELESCÓPICOS DE TIPO GALILEO

Imagen sin convertidor



*Convertidor Tele x2
Acoplado a un Objetivo Zoom 8-24 mm*



Imagen con convertidor

CONVERTIDORES DE TIPO AFOCAL SISTEMAS TELESCÓPICOS DE TIPO GALILEO INVERTIDO

Imagen sin convertidor



*Convertidor Gran Angular
(tipo Ojo de Pez)
Acoplado a un Objetivo Zoom 8-24 mm*

Imagen con convertidor

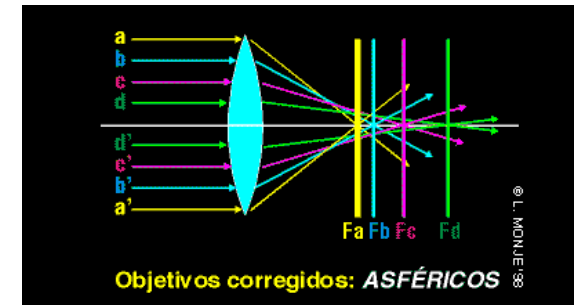
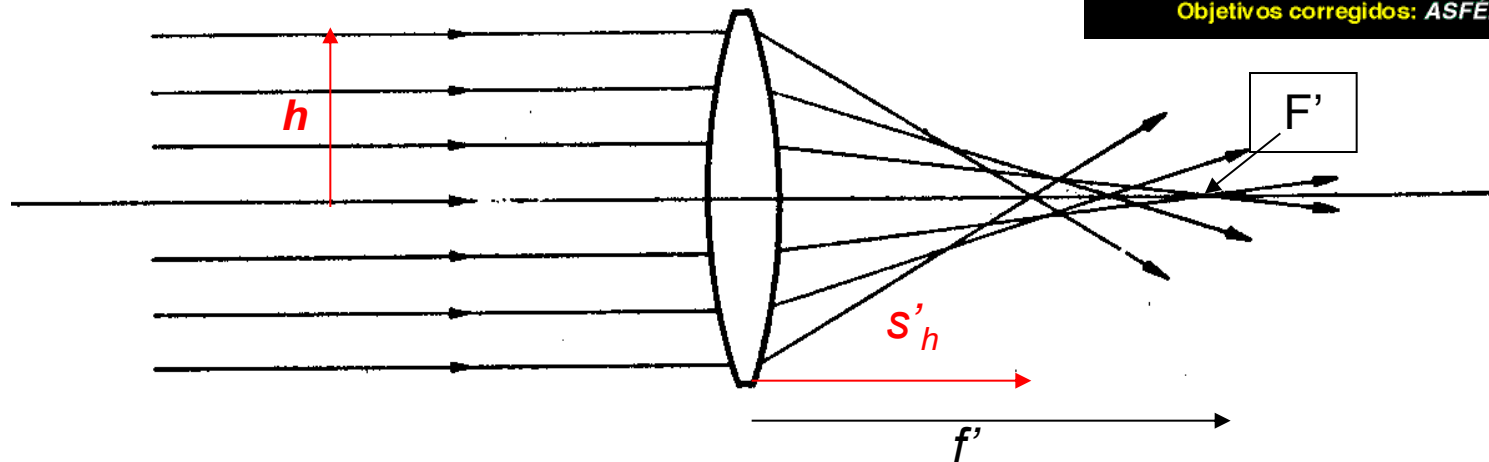


ANEXO:

- IMPORTANCIA DE LAS ABERRACIONES
- COMPLEMENTOS DE LOS OBJETIVOS FOTOGRÁFICOS

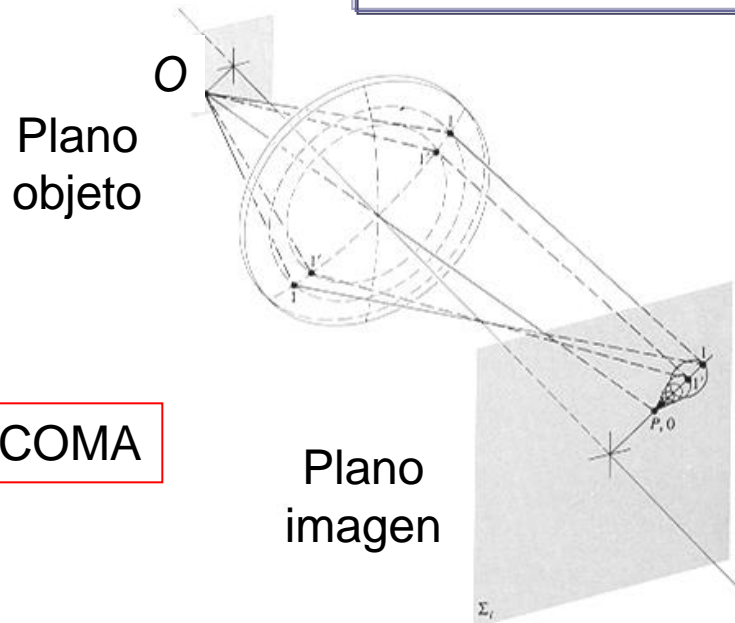
DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

ABERRACIÓN ESFÉRICA

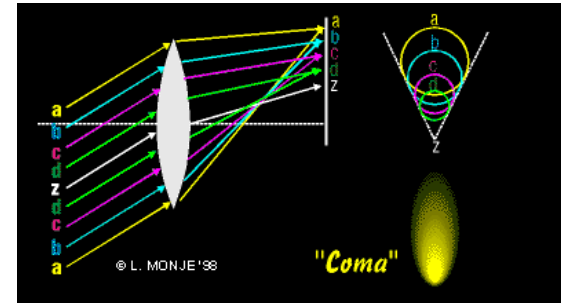


- ❖ Se produce para puntos en eje y fuera de eje
- ❖ Puede definirse como la variación de la focal con la apertura (h)
- ❖ Depende de:
 - Apertura (con h^2)
 - Forma de la lente
 - Posición del objeto
- ❖ Puede corregirse:
 - Para una h dada

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO



COMA



$$\beta' \neq cte$$

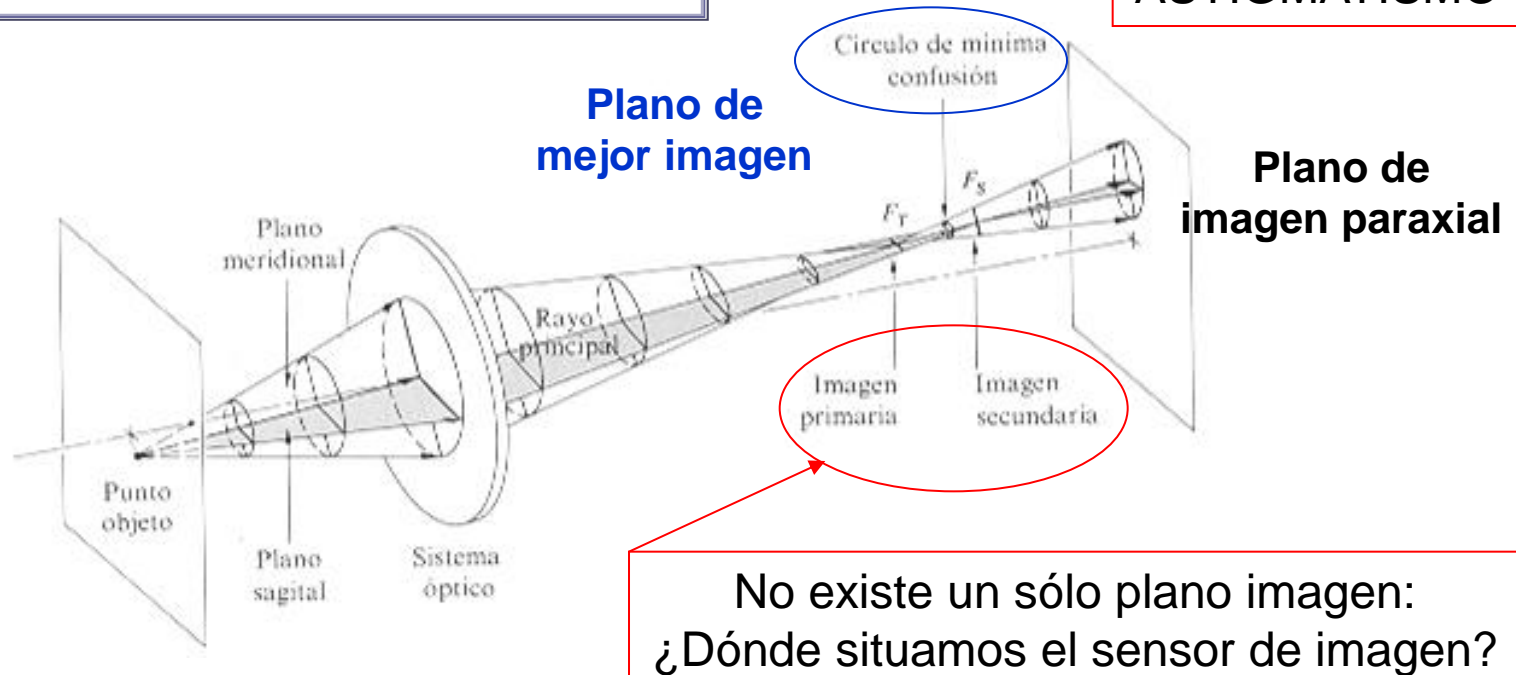


O' es un "punto" muy asimétrico

- ❖ Se produce para puntos fuera de eje
- ❖ Puede definirse como la variación del aumento β' con la apertura (h)
- ❖ Depende de:
 - Apertura (con h^2)
 - Campo total
- ❖ Puede corregirse variando:
 - Forma de las lentes
 - Posición del Diafragma de Apertura

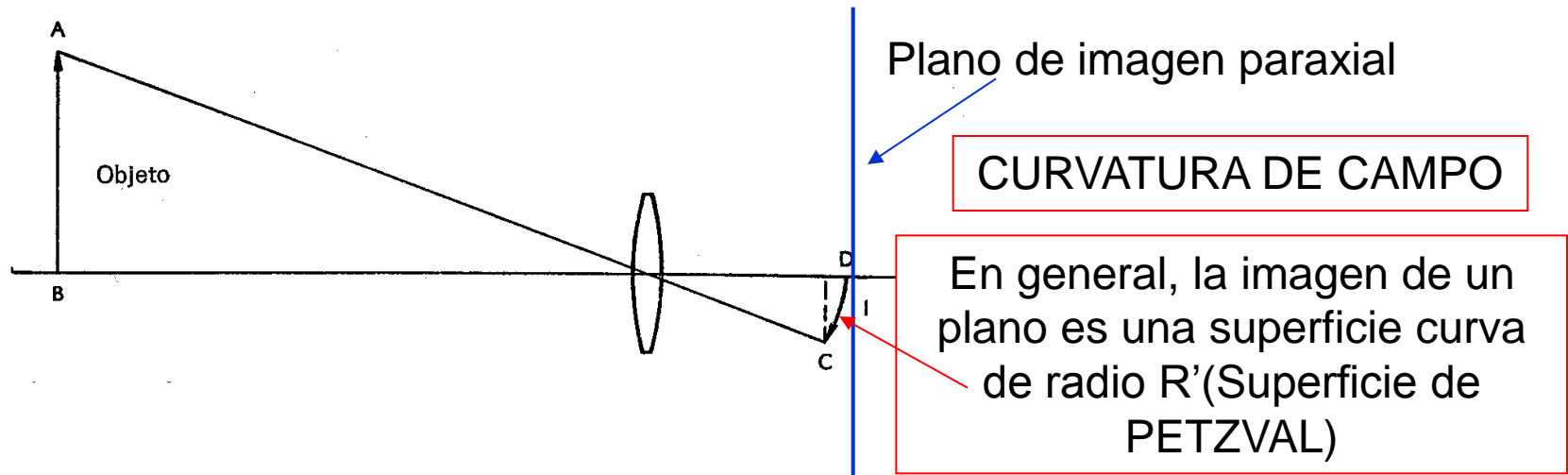
DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE PUNTO

ASTIGMATISMO



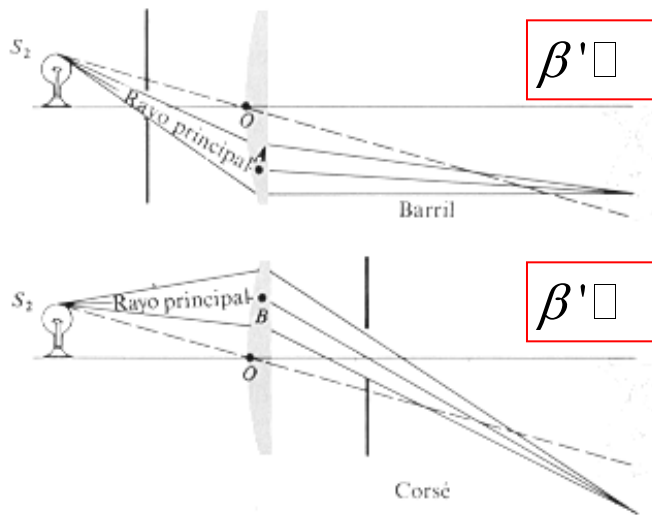
- ❖ Se produce para puntos fuera de eje
- ❖ El plano de mejor imagen no coincide con la imagen paraxial
- ❖ Depende de:
 - Distancia focal f'
 - Campo total (puntos muy alejados del eje)
- ❖ Puede corregirse variando:
 - Espaciado entre lentes
 - Posición del Diafragma de Apertura

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE CAMPO



- ❖ Depende de:
 - Distancia focal f'
 - $R' = nf'$ para una lente delgada
- ❖ Para disminuirla hay que aumentar f' y n
- ❖ NO puede corregirse variando:
 - La forma de las lentes
 - Espaciado entre lentes
 - Posición del objeto

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE CAMPO

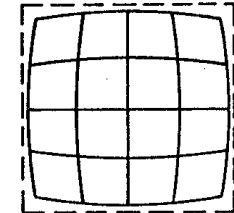
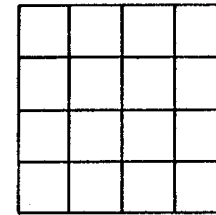


Negativa
(en BARRIL)

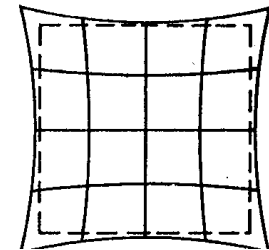
DISTORSIÓN

Positiva
(en CORSÉ ó
ALMOHADÓN)

Objeto



Imágenes



- ❖ β' no es constante en todo el plano imagen
- ❖ Se rompe la razón de semejanza Objeto-Imagen
- ❖ No existe pérdida de nitidez
- ❖ Depende de:
 - Posición del objeto
 - Campo total
 - Posición del Diafragma de Apertura
- ❖ Puede controlarse variando la posición del Diafragma de Apertura:
Un sistema simétrico respecto del D.A. no presenta distorsión

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES DE CAMPO

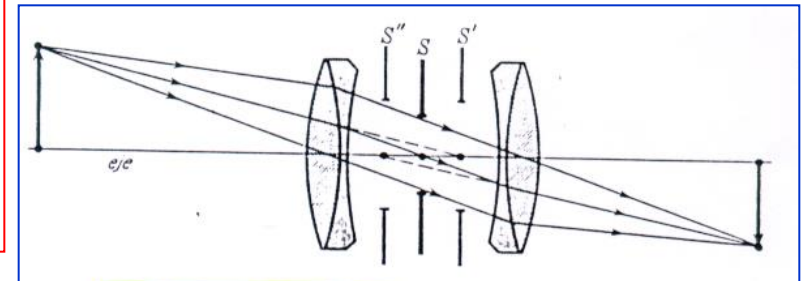
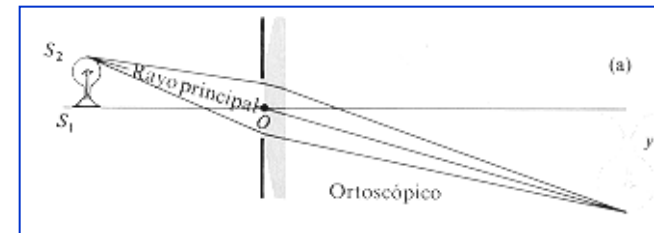
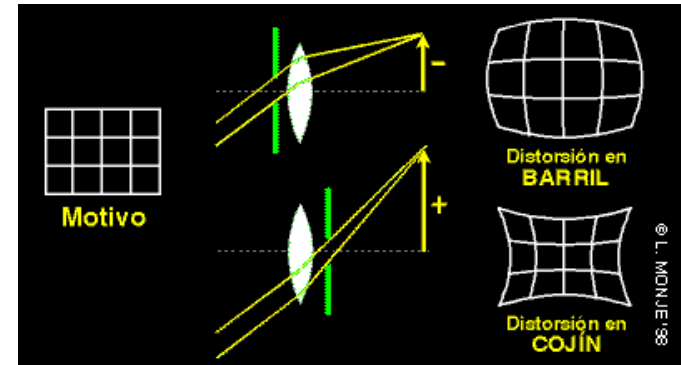
- ❖ Una misma lente convergente puede producir imágenes con distorsión en *Corsé* (Lupa: imágenes virtuales; y en *Barril* (Objetivo fotográfico: imágenes reales).
- ❖ Un diafragma situado delante ó detrás de una lente convergente produce distorsión en *Barril* ó en *Corsé*.

SISTEMAS ORTOSCÓPICOS (SIN DISTORSIÓN)

- ❖ Un diafragma situado sobre la propia lente convergente elimina casi por completo la distorsión.
- ❖ Sistemas simétricos respecto del Diafragma de Apertura.
- ❖ Cámara estenopeica.



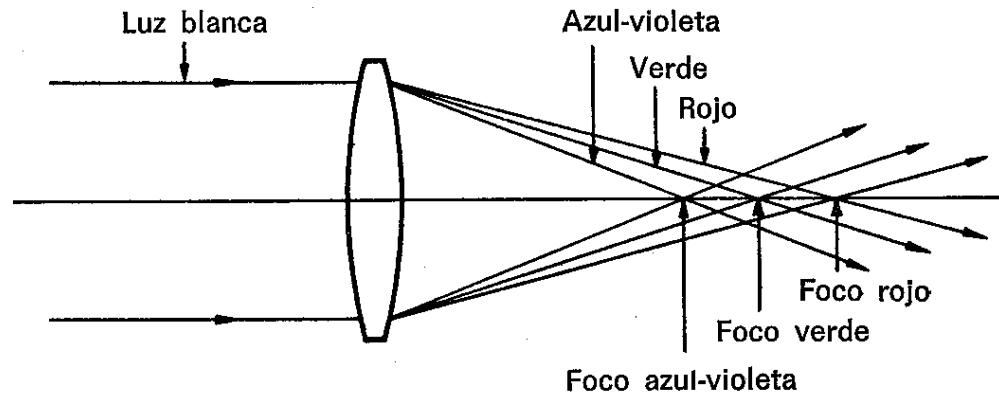
Imagen virtual proporcionada por una lupa



DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

Aberración cromática

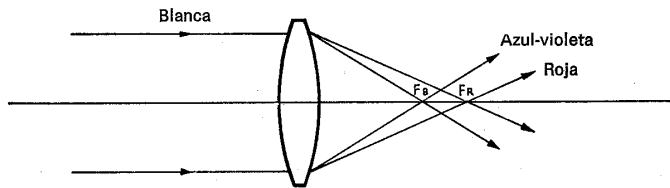
$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots$$



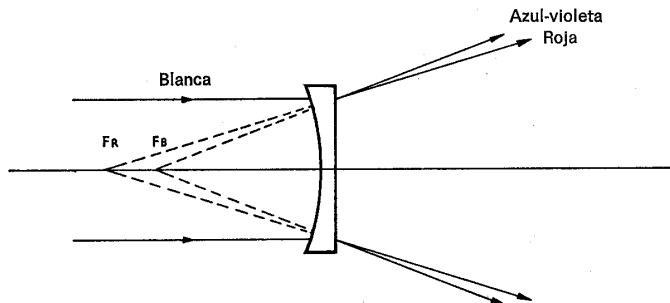
- ❖ La posición y el tamaño de la imagen depende de λ
- ❖ Se producen tantas imágenes como λ_i existen en el haz de iluminación
- ❖ La imagen presenta un *halo cromático*
- ❖ Depende de:
 - Posición relativa de las lentes
 - Dispersión $n(\lambda)$ de las lentes
- ❖ Puede controlarse combinando lentes de distinto índice con una separación adecuada. SISTEMAS ACROMÁTICOS y APOCROMÁTICOS

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

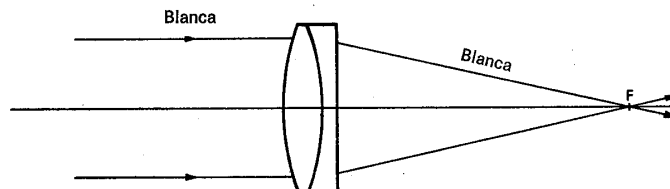
Los objetivos fotográficos deben estar corregidos de aberración cromática ya que, en general se trabaja con luz blanca.
SISTEMAS ACROMÁTICOS y APOCROMÁTICOS



(a) Elemento convergente de vidrio crown



(b) Elemento divergente de vidrio flint



(c) Combinación acromática

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots$$

Una sola lente siempre
presenta aberración
cromática

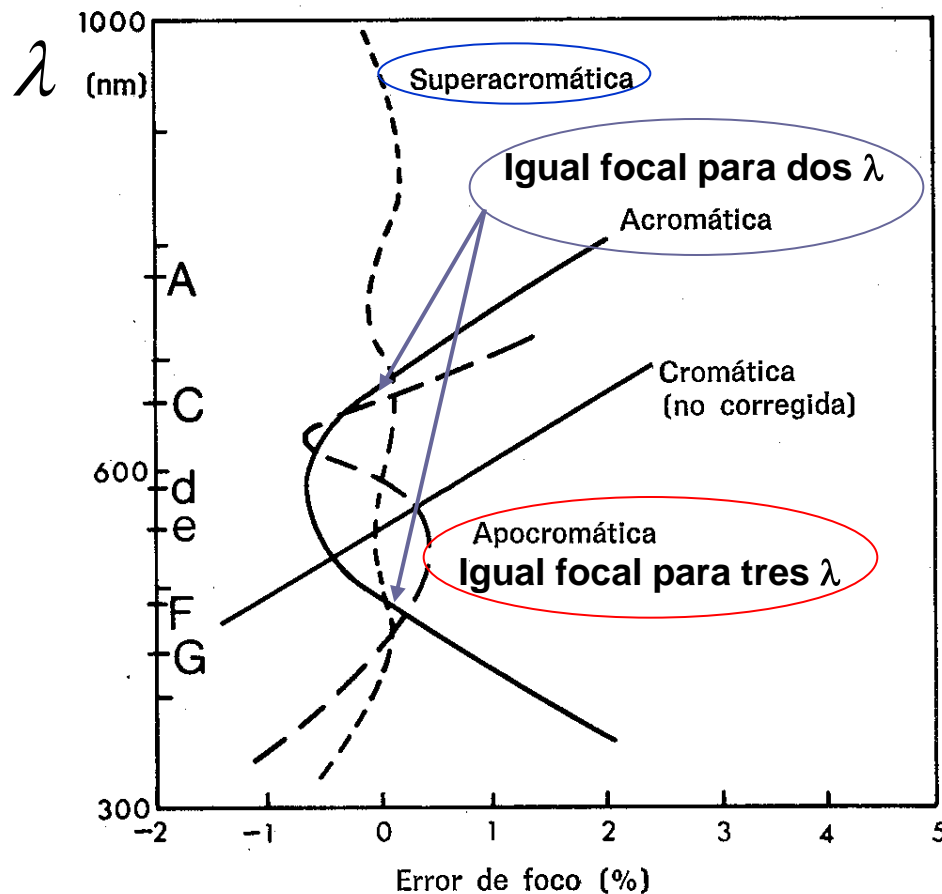
$$n^{\circ} \text{ de ABBE} \equiv \nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$

$$\text{Vidrios} \left\{ \begin{array}{l} \text{CROWN} \rightarrow n_d < 1,55 \text{ y } \nu_d > 50 \\ \text{FLINT} \rightarrow n_d > 1,55 \text{ y } \nu_d < 50 \end{array} \right\}$$

Combinando dos lentes de
diferente índice se puede
compensar la aberración
cromática

DISEÑO DE OBJETIVOS. ABERRACIONES

CORRECCIÓN DE LA ABERRACIÓN CROMÁTICA

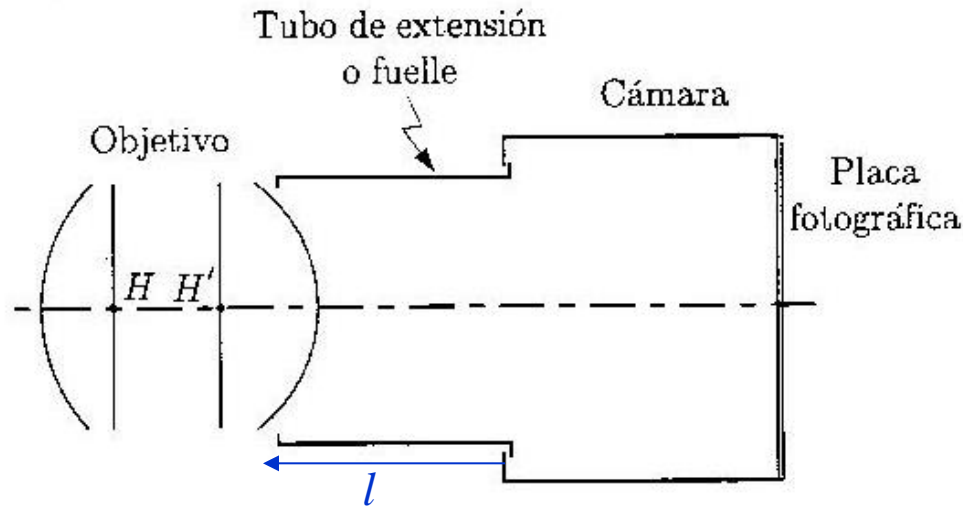


$$n^{\circ} \text{ de ABBE} \equiv \nu_d = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$

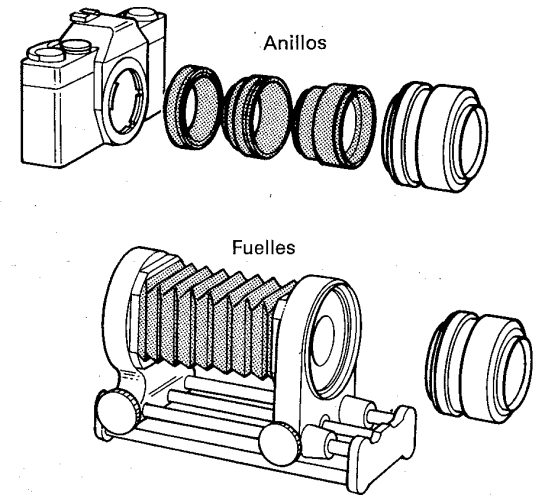
Línea	λ (nm)
F (H)	486,1
d (He)	587,6
D (Na)	589,3
C (H)	656,3

COMPLEMENTOS AFOCALES

Varían $\Delta_{MÁX}$ ($a'_{MÁX}$)



Elementos mecánicos



Longitud l $\left\{ \begin{array}{l} \text{Fija} \rightarrow \text{TUBOS (ANILLOS) DE EXTENSIÓN} \\ \text{Variable} \rightarrow \text{FUELLE} \end{array} \right\}$

CAMBIAN LOS LÍMITES DE ENFOQUE l_1 y l_2

$$a'_{\min} = l + f' \rightarrow \text{Varía } l_1 \equiv a_{MÁX}$$

$$a'_{MÁX} = l + (f' + \Delta) \rightarrow \text{Varía } l_2 \equiv a_{\min}$$

CAMBIA EL VALOR MÁXIMO DE $\beta' = \frac{a'}{a}$

COMPLEMENTOS AFOCALES

CAMBIAN LOS LÍMITES DE ENFOQUE l_1 y l_2

$$a'_{\min} = l + f' \rightarrow l_1 \equiv a_{MÁX} = \frac{f'(l + f')}{f' - (l + f')} = -\frac{f'(l + f')}{l} \neq \infty$$

$$a'_{MÁX} = l + (f' + \Delta) \rightarrow l_2 \equiv a_{\min} = \frac{f'(l + f' + \Delta)}{f' - (l + f' + \Delta)} = -\frac{f'(l + f')}{(l + \Delta)}$$

CAMBIA EL VALOR MÁXIMO DE $\beta' = \frac{a'}{a}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta'_1 = \frac{a'_{\min}}{a_{MÁX}} = -\frac{l}{f'} \equiv \beta'_{\min} \\ \beta'_2 = \frac{a'_{MÁX}}{a_{\min}} = -\frac{l + \Delta}{f'} \equiv \beta'_{MÁX} \end{array} \right\}$$

Ejemplo: Objetivo de $f' = 50mm$ y $\Delta = 5mm$ con Fuelle de $l = 20mm$

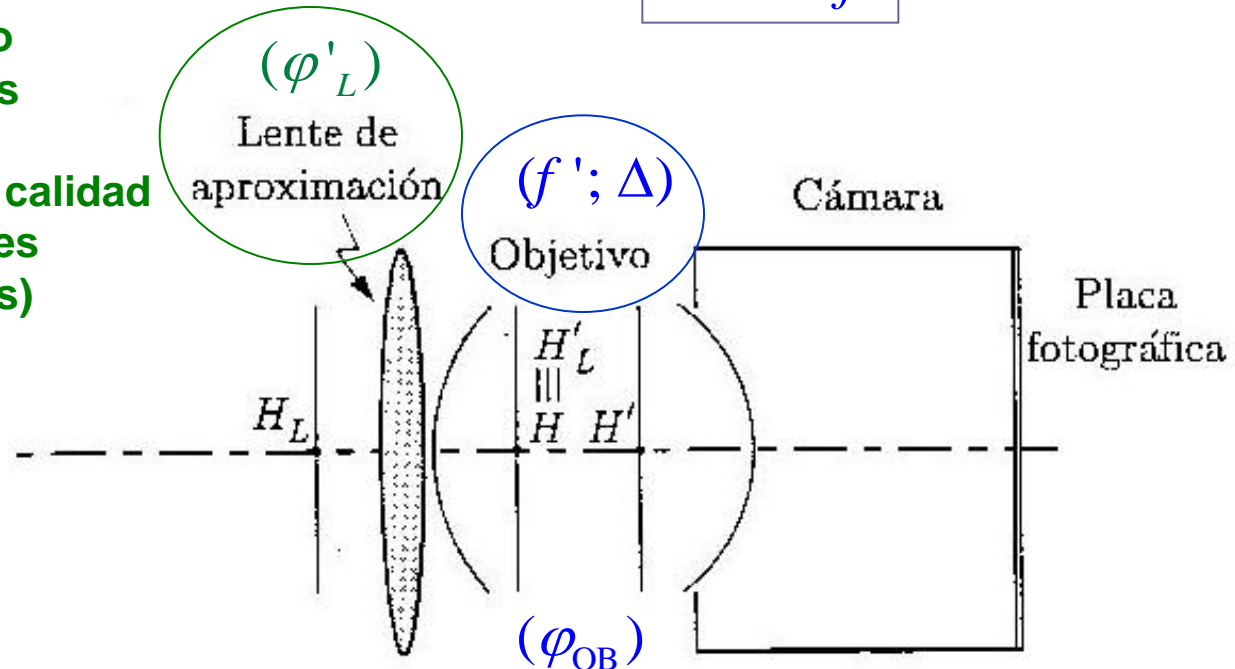
LÍMITES DE ENFOQUE $\left\{ \begin{array}{l} \text{sin Fuelle} \rightarrow (\infty; -55cm) \\ \text{con Fuelle} \rightarrow (-17,5cm; -15cm) \end{array} \right\}$

VALOR MÁXIMO DE β' $\left\{ \begin{array}{l} \text{sin Fuelle} \rightarrow \beta'_{MÁX} = -0,1 \\ \text{con Fuelle} \rightarrow \beta'_{MÁX} = -0,5 \end{array} \right\}$

COMPLEMENTOS FOCALES. LENTES DE APROXIMACIÓN

- Lentes delgadas
- Tipo menisco
- Convergentes
- +1D a +4D
- Empeoran la calidad de las imágenes (Aberraciones)

Varían f'

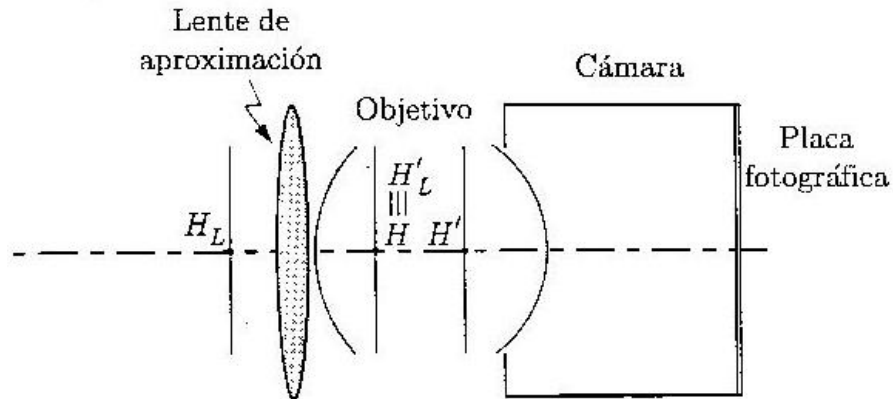


$$\varphi'_t = \varphi'_L + \varphi'_{OB} - e \cdot \varphi'_L \cdot \varphi'_{OB} = \varphi'_L + \varphi'_{OB}$$

$$\square \quad \overline{H'_L H} = 0$$

Cambia $f'_t = \frac{1}{\varphi'_t} \rightarrow$ Cambian los LÍMITES DE ENFOQUE

COMPLEMENTOS FOCALES. LENTES DE APROXIMACIÓN



Cambia $f'_t = \frac{1}{\varphi'_t} \rightarrow$ Cambian los LÍMITES DE ENFOQUE y β'

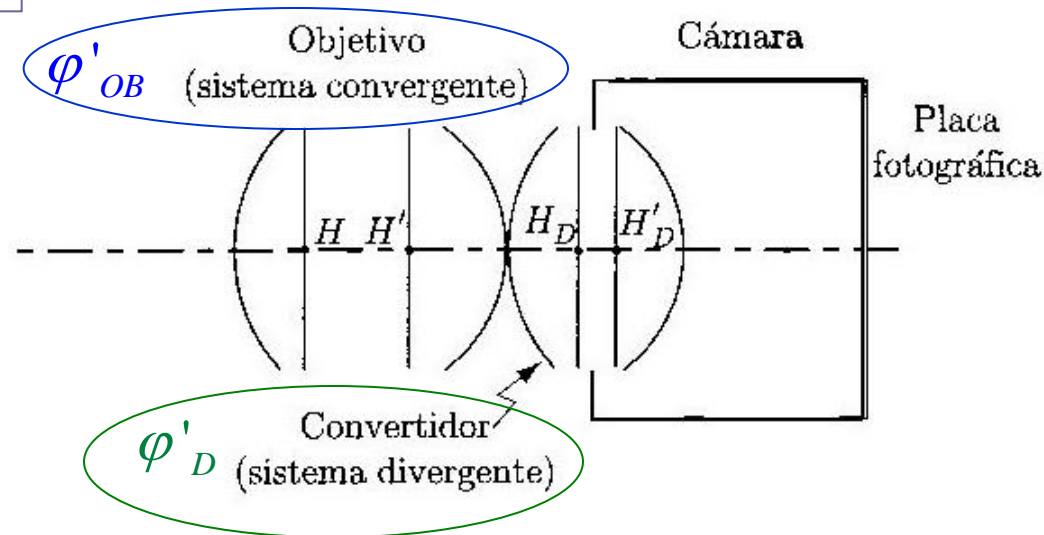
Ejemplo: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Objetivo de } f' = 50\text{mm y } \Delta = 5\text{mm} \\ \text{con Lente de Aproximación de } \varphi'_L = 4D \end{array} \right\} \rightarrow f'_T = 41,66\text{mm}$

LÍMITES DE ENFOQUE $\left\{ \begin{array}{l} \text{sin Lente de Aproximación} \rightarrow (\infty; -55\text{cm}) \\ \text{con Lente de Aproximación} \rightarrow (-25\text{cm}; -17,2\text{cm}) \end{array} \right\}$

$\beta' \left\{ \begin{array}{l} \text{sin Lente de Aproximación} \rightarrow \beta'_{OB} \\ \text{con Lente de Aproximación} \rightarrow \beta'_T = \beta'_L \cdot \beta'_{OB} \end{array} \right\} \beta'_{MAX} = 0,32$

COMPLEMENTOS FOCALES. CONVERTIDORES

Varían f'



$$\varphi'_t = \varphi'_{OB} + \varphi'_D - e \cdot \varphi'_{OB} \cdot \varphi'_D$$

$$\square \overline{H'H_D}$$

Es necesario conocer el valor de e

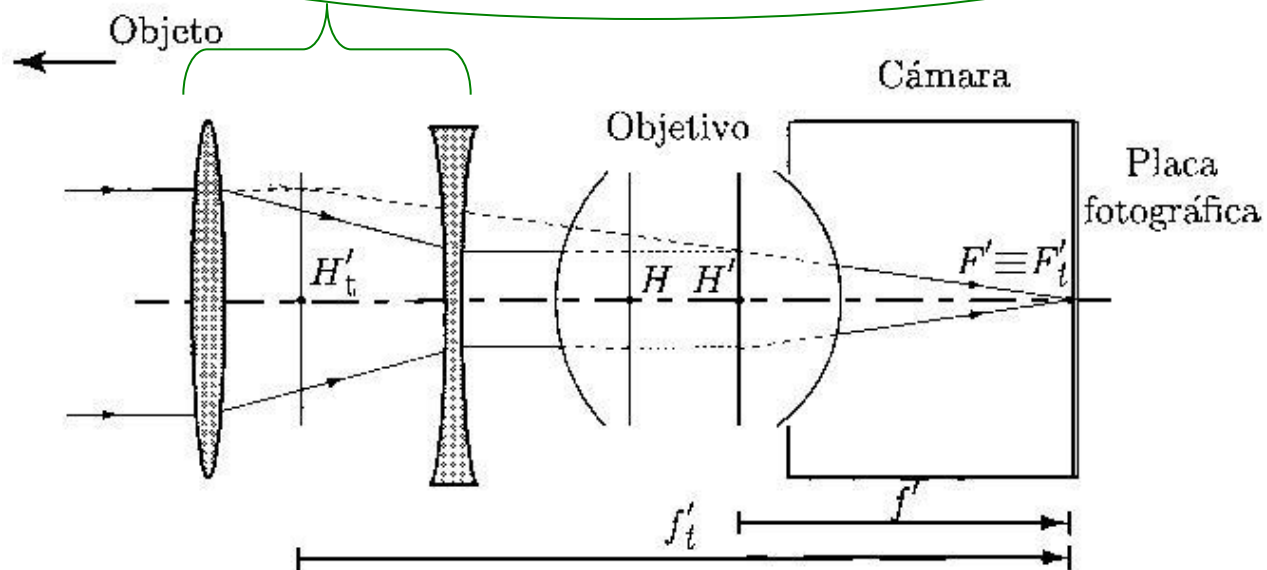
$$f'_t = 2f'_{OB} \rightarrow \text{DUPLICADOR}$$

$$f'_t = 3f'_{OB} \rightarrow \text{TRIPLICADOR}$$

.....MULPTIPLICADORES

COMPLEMENTOS FOCALES. CONVERTIDORES

CONVERTIDOR de *TIPO AFOCAL*:
Sistema telescópico (AFOCAL) de tipo GALILEO



$F'_t \equiv F' \rightarrow$ El Plano Focal imagen se mantiene
sobre la Placa fotográfica

$f'_t > f' \rightarrow$ Teleobjetivo

COMPLEMENTOS FOCALES. CONVERTIDORES

Si al convertidor se le da la vuelta: $f'_t < f' \rightarrow$ Gran Angular

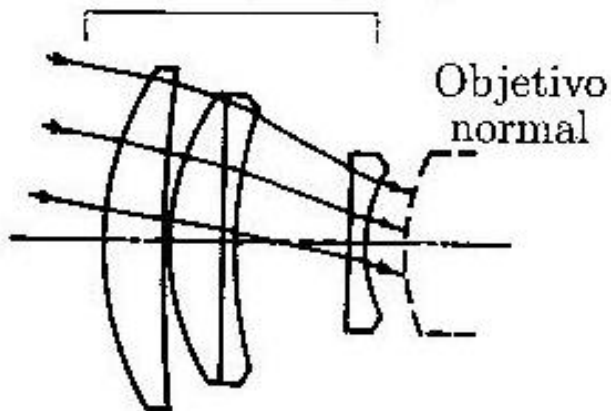
El mismo convertidor, acoplado a un Objetivo Normal, proporciona:

TELEOBJETIVO (Configuración DIRECTA)

GRAN ANGULAR (Configuración INVERSA)

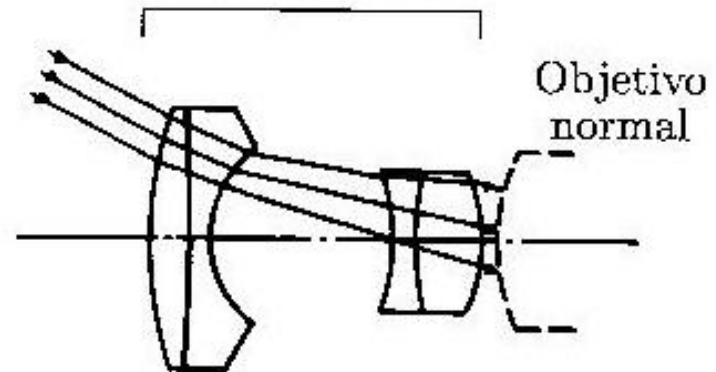
En la práctica se suelen utilizar sistemas distintos para optimizar el diseño

Convertidor tipo Galileo



Diseño para Teleobjetivo

Convertidor tipo Galileo invertido



Diseño para Gran Angular