

TEMA 2

REGISTRO Y PROCESADO DE IMÁGENES CLÍNICAS

Grado en Óptica y Optometría
Curso 2010-2011

Pas García Martínez

Amparo Pons Martí

UNIDAD 1

FORMACIÓN DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA

- La cámara fotográfica. Elementos básicos.
- Característica óptico-geométricas y fotométricas.
- Diseño básico de los diferentes tipos de objetivos.
- Cámaras digitales.

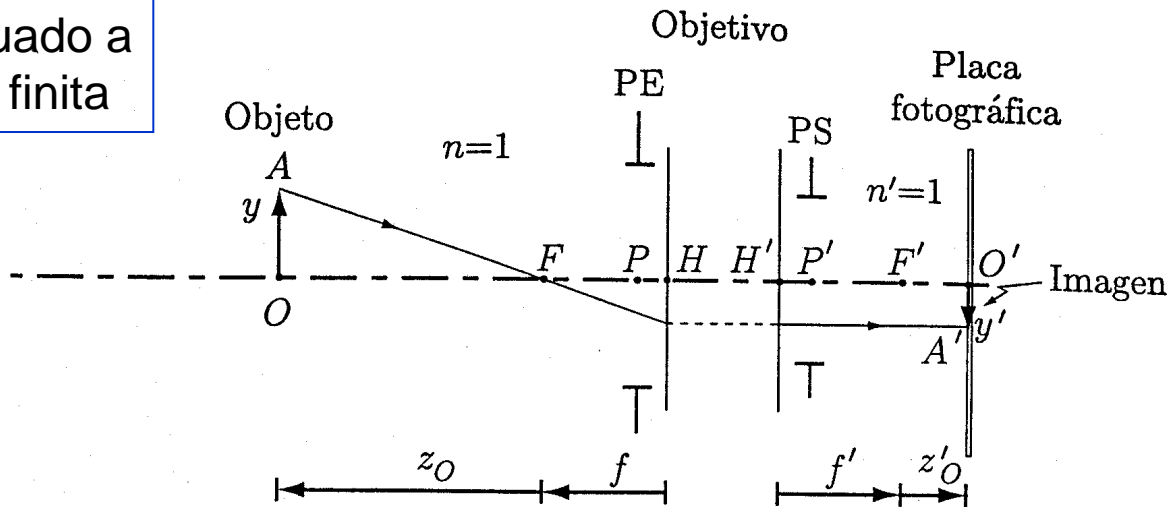
Obtención de una imagen controlada en cuanto tamaño, nitidez e intensidad

Tema 2.- Características óptico-geométricas de la imagen fotográfica.

- Posición y tamaño de la imagen fotográfica.
- Formato de la película. Campo transversal y campo angular.
- Focal principal. Tipos de objetivos.
- Resolución y nitidez de la imagen fotográfica. Círculo de confusión.
- Profundidad de campo y límites de nitidez.
- Distancia hiperfocal.
- Profundidad de foco.

Posición y tamaño de la imagen fotográfica

Objeto situado a distancia finita



POSICIÓN de la IMAGEN

$$z_0 z'_0 = -f'^2 \Rightarrow z'_0 = -\frac{f'^2}{z_0}$$

AUMENTO

$$\beta'_0 = \frac{f'}{z_0} = -\frac{z'_0}{f'}$$

Ejemplo: Objetivo de $f'=50\text{mm}$

Objeto situado a 3m de él

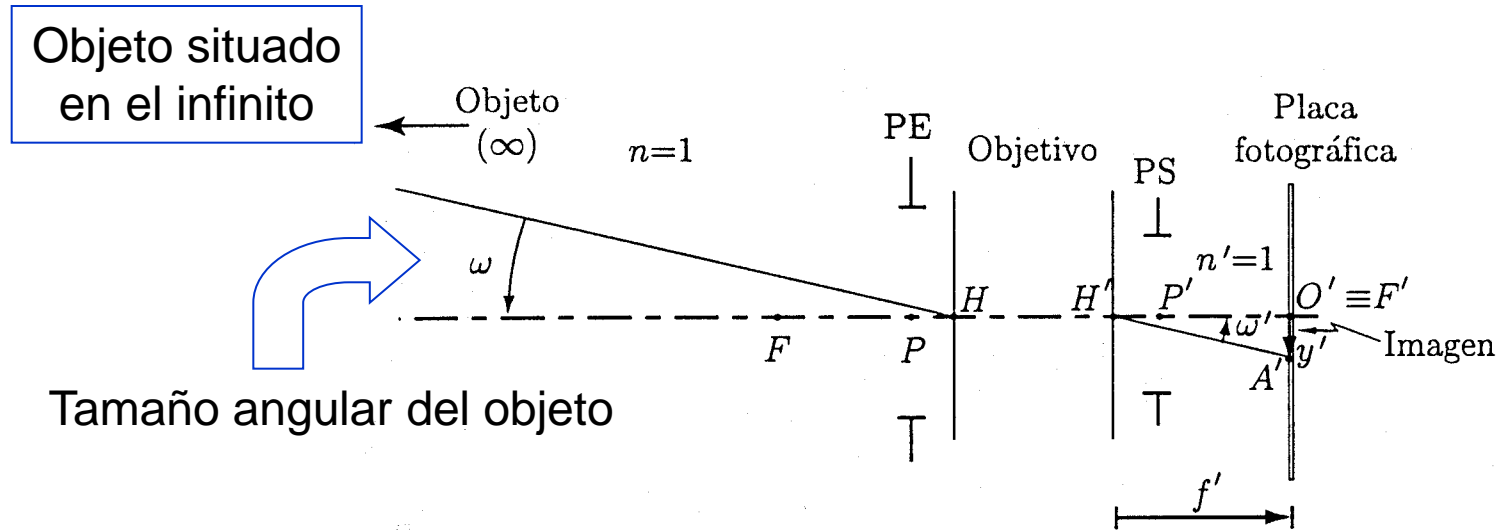
$$z_0 = (-3000 + 50)\text{mm} = -2950\text{mm}$$

$$z'_0 = 0,85\text{mm}$$

$$\beta'_0 = -0,017$$

IMAGEN REAL, INVERTIDA, MUY PEQUEÑA Y MUY PRÓXIMA A F'

Posición y tamaño de la imagen fotográfica



POSICIÓN de la IMAGEN $O \equiv \infty \rightarrow O' \equiv F'$

TAMAÑO LINEAL de la IMAGEN

$$y' = f' \tan \omega' = -f' \tan \omega$$

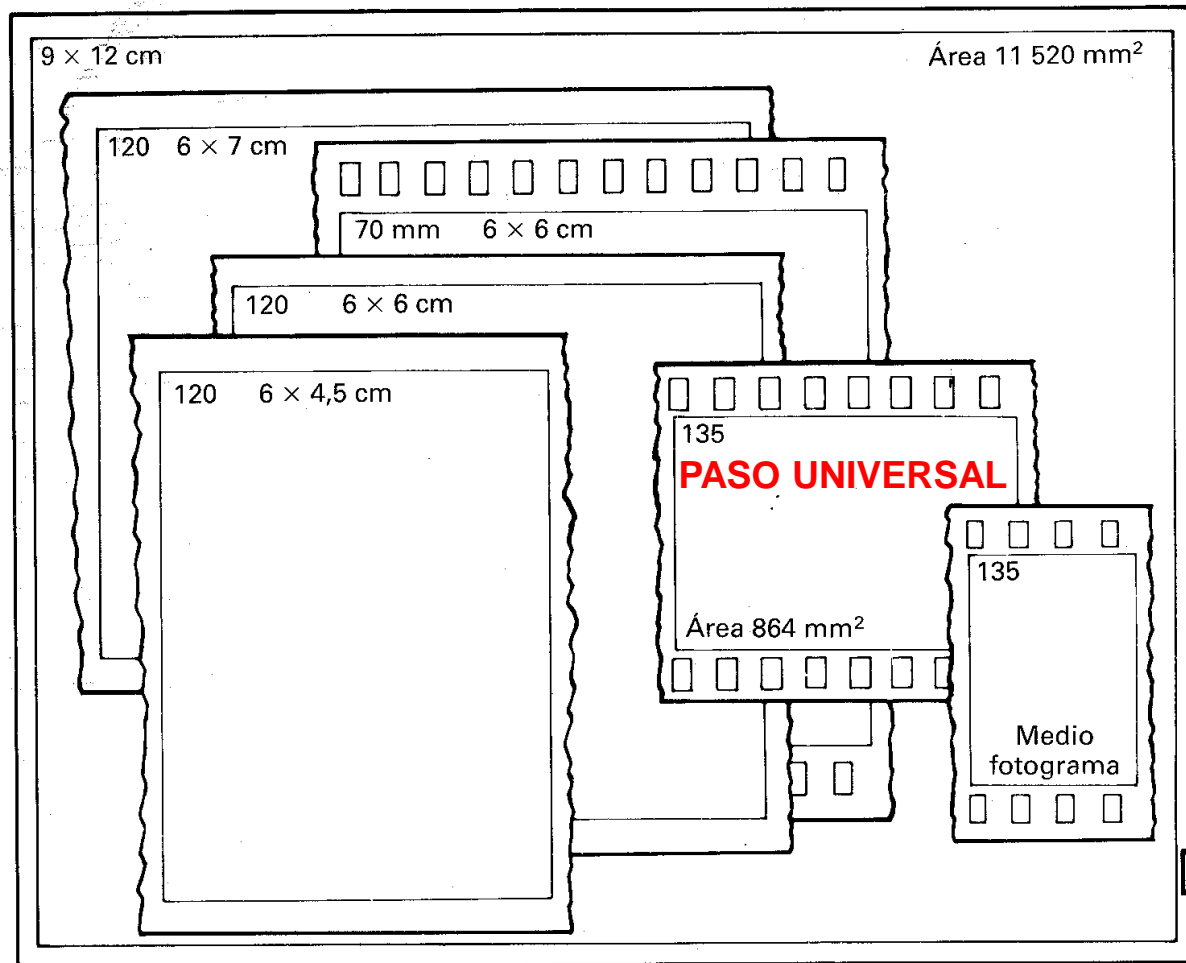
$$(N, N') \equiv (H, H') \rightarrow \omega = \omega'$$

FORMATO DE LA PELÍCULA

En la cámara fotográfica la abertura situada sobre el plano de la película actúa como **DIAFRAGMA DE CAMPO** limitando las dimensiones del plano imagen.



CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS FORMATOS DE PELÍCULA DE USO MÁS COMÚN

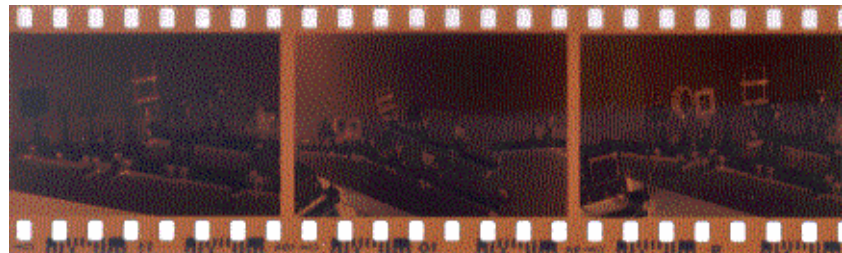


CARACTERÍSTICAS DE LOS FORMATOS DE PELÍCULA DE USO MÁS COMÚN

Denominación del formato	Ancho de la película (mm) ^a	Tamaño del fotograma (mm×mm)	Aplicación habitual
Cine 8 mm	8	3,7 × 4,9	Cinematografía
Super 8	8	4,1 × 5,8	Cinematografía
Cine 16 mm	16	7,5 × 10,3	Cinematografía
110 (Pocket)	16	13×17	Fotografía común
126 (Instamatic)	35	28×28	Fotografía común
136(Paso universal) medio formato	35	18×24	Fotografía común
135 (Paso universal)	35	24×36	Fotografía común
120 (Gran formato)	61	60×60	Fotografía profesional



^aIncluyendo la región de perforaciones de arrastre, no utilizada en la exposición fotográfica.



Ejemplos de CÁMARAS DE FORMATO MINI



CÁMARA MINOX, 1950 (Formato "ESPÍA")

Ejemplos de CÁMARAS DE MEDIO FORMATO



Ejemplos de CÁMARAS DE FORMATO DE PASO UNIVERSAL

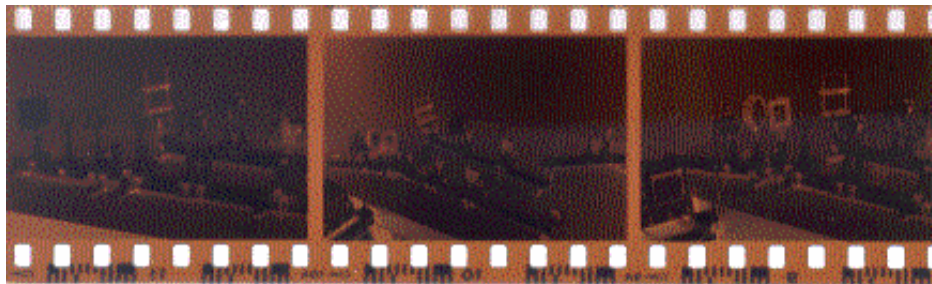


Ejemplos de CÁMARAS DE GRAN FORMATO



GEOMETRÍA DEL FORMATO FOTOGRÁFICO

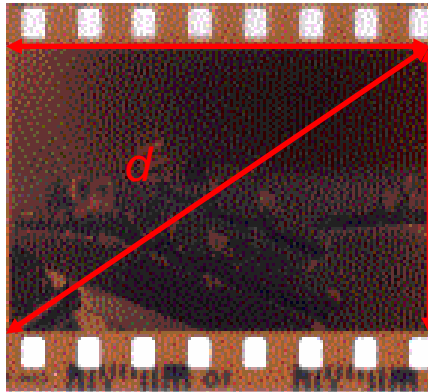
- En la cámara fotográfica el **Formato de la película** representa las **dimensiones del Diafragma de Campo** añadido al objetivo fotográfico.
- La abertura está situada sobre el **plano imagen** (plano de la película).
- El **campo** imagen de **iluminación límite coincide** con el de **plena iluminación**.
- El valor del **campo transversal es distinto en cada dirección** ya que el formato no es circular.



- El campo se define según las **direcciones principales** del formato, es decir, los dos **lados** y la **diagonal del rectángulo**.

GEOMETRÍA DEL FORMATO FOTOGRÁFICO

$$l_x \equiv d'_l(x)$$



$$l_y \equiv d'_l(y)$$

CAMPO TRANSVERSAL

Espacio imagen

$$\beta'_0 = \frac{d'_l(x)}{d_l(x)} = \frac{d'_l(y)}{d_l(y)} = \frac{d'_l}{d_l} = \frac{d}{d_0}$$

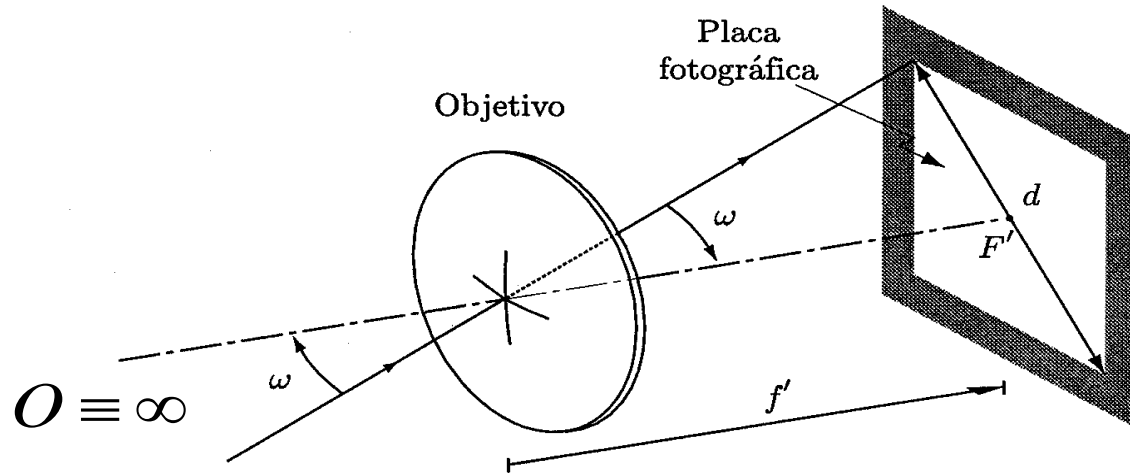
Espacio objeto

- El valor del CAMPO TRANSVERSAL es distinto en cada dirección y depende de la posición del objeto



- Para caracterizar a un objetivo, independientemente de la posición del objeto, suele indicarse el valor del CAMPO ANGULAR

CAMPO ANGULAR (o ÁNGULO VISUAL) asociado a un OBJETIVO para un FORMATO DETERMINADO



$$2\omega = 2 \arctan \left| \frac{d}{2f'} \right| \quad \longrightarrow$$

EL CAMPO ANGULAR depende de:

- f' (Distancia focal del objetivo)
- d (Formato de la película)

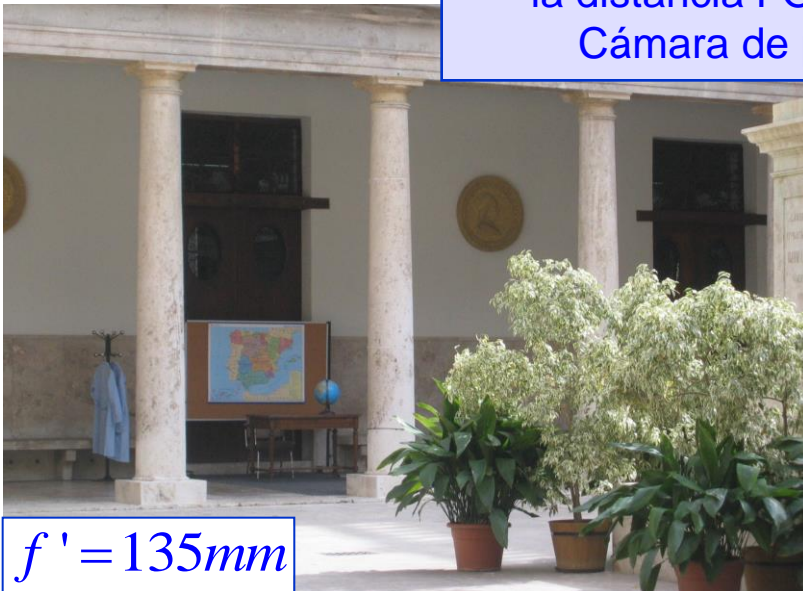
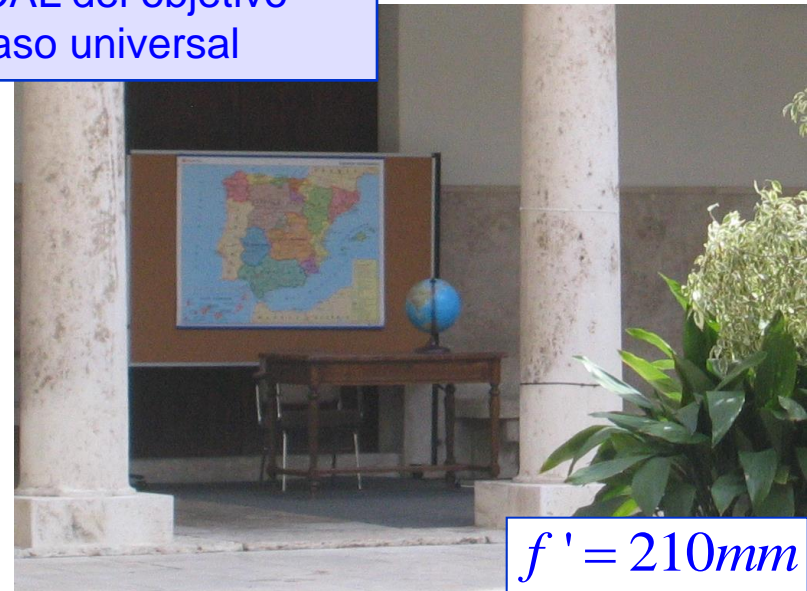
Objetivo Normal $2\omega' \approx 50^\circ$

Teleobjetivo $2\omega' \leq 35^\circ$

Gran angular $2\omega' \geq 70^\circ$

 $f' = 28mm$  $f' = 50mm$

Variación del CAMPO ANGULAR con
la distancia FOCAL del objetivo
Cámara de paso universal

 $f' = 135mm$  $f' = 210mm$

FORMATO y PERSPECTIVA FOCAL PRINCIPAL y TIPOS DE OBJETIVO

Objetivo Normal

Teleobjetivo *Gran angular*

¿Qué significa?



¿Qué ha cambiado?



¿Por qué se ven *tan diferentes*?



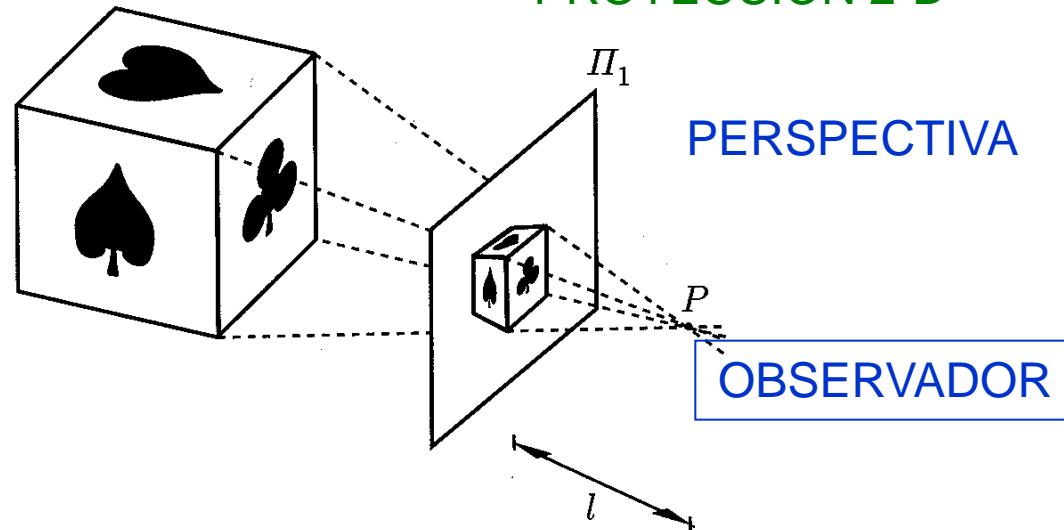
FORMATO Y PERSPECTIVA

La FOTOGRAFÍA es un REGISTRO 2-D de un OBJETO 3-D

PROYECCIÓN en un PLANO de un OBJETO TRIDIMENSIONAL

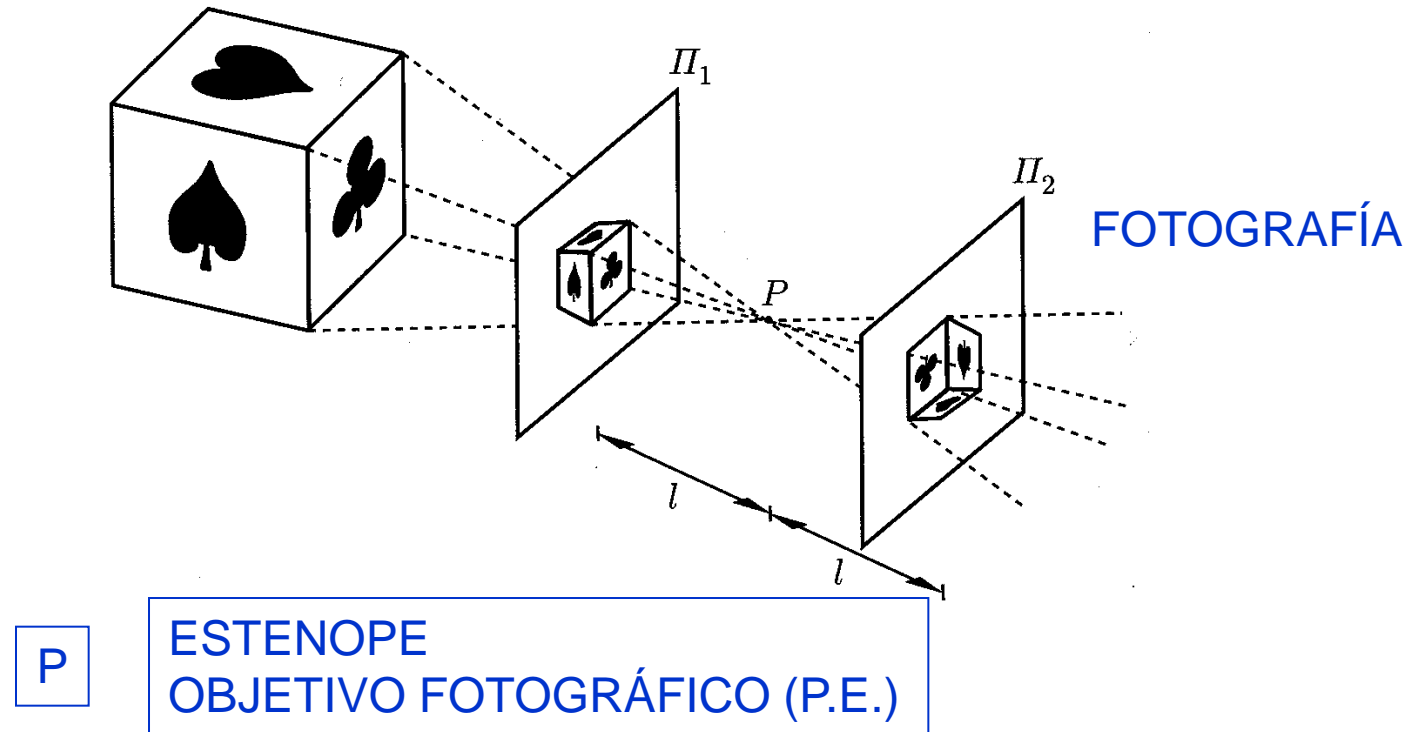
OBJETO 3-D

PROYECCIÓN 2-D



P es el CENTRO de PERSPECTIVA

SUSTITUCIÓN DEL OBSERVADOR POR EL OBJETIVO DE LA CÁMARA



La FOTOGRAFÍA es un REGISTRO 2-D de un OBJETO 3-D de modo que todas las líneas de proyección pasan por un punto común
CENTRO DE PERSPECTIVA (P)

FORMATO Y PERSPECTIVA

Ejemplo1

Posición de la cámara

$\approx 1,5m$

Perspectiva
MÁS PRONUNCIADA



EL ASPECTO DE LA IMAGEN DEPENDE DEL CENTRO DE PERSPECTIVA

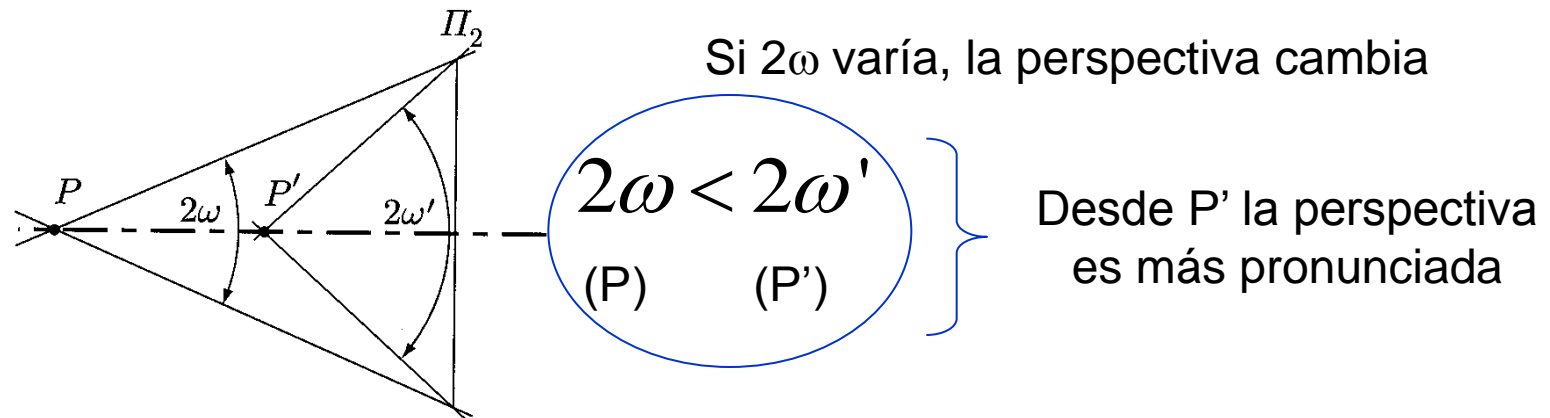
$\approx 8m$

Perspectiva
MENOS PRONUNCIADA

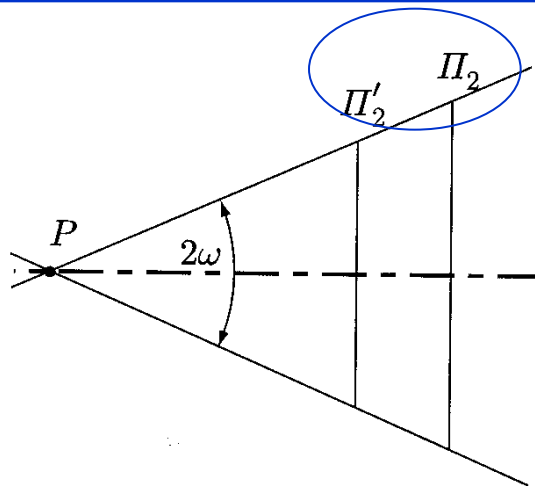


FORMATO Y PERSPECTIVA

EL ASPECTO DE LA IMAGEN DEPENDE DEL CENTRO DE PERSPECTIVA



Si la imagen es una FOTOGRAFÍA 2ω es el CAMPO ANGULAR



Si $2\omega = \text{cte}$, la perspectiva no cambia

Salvo el tamaño total, las proyecciones son idénticas

Las imágenes proyectadas tienen el mismo aspecto geométrico

El tamaño y posición relativa de los elementos no cambia

FORMATO Y PERSPECTIVA

Ejemplo 2

La Perspectiva NO CAMBIA



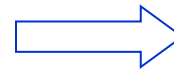
FOCAL PRINCIPAL. FORMATO Y TIPO DE OBJETIVO

Para un formato dado, el *objetivo de tipo normal* es el que proporciona una *perspectiva normal* (manteniendo el centro de perspectiva)

$$2\omega = 2 \arctan \left| \frac{d}{2f'} \right|$$

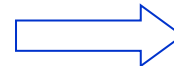
**FOCAL PRINCIPAL del
FORMATO de diagonal d**

Objetivo Normal $2\omega \approx 50^\circ$



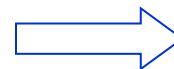
$$f' \approx 1,1 d \equiv f'_p$$

Teleobjetivo $2\omega \leq 35^\circ$



$$f'_{tel} \geq 1,6 d$$

Gran angular $2\omega \geq 70^\circ$



$$f'_{ang} \leq 0,7 d$$

**Para un formato dado, la focal principal
corresponde al objetivo de tipo normal**

FOCAL PRINCIPAL. FORMATO Y TIPO DE OBJETIVO

TIPO de OBJETIVO:

- GRAN ANGULAR
- NORMAL
- TELEOBJETIVO



TIPO de PERSPECTIVA:

- MÁS PRONUNCIADA
- NORMAL
- MENOS PRONUNCIADA

$$2\omega = 2\arctan \left| \frac{d}{2f'} \right|$$

Formato (mm×mm)	Focal principal (mm)	Campo angular y tipo de objetivo para		
		f'_{p1}	f'_{p2}	f'_{p3}
110 Pocket (13×17) ↓ $d = 21,4 \text{ mm}$	$f'_{p1} = 23,54$	50° (Normal)	25,3° (Teleob.)	13,09° (Teleob.)
135 Paso universal (24×36) ↓ $d = 43,3 \text{ mm}$	$f'_{p2} = 47,6$ ($\simeq 50$)	85,2° (G. ang.)	50° (Normal)	26,13° (Teleob.)
120 Gran formato (60×60) ↓ $d = 84,8 \text{ mm}$	$f'_{p3} = 93,28$	121,9° (G. ang.)	83,38° (G. ang.)	50° (Normal)

Relación entre focal del objetivo, formato y campo angular

FORMATO Y PERSPECTIVA

Ejemplo 3

Tipo de Objetivo

Gran Angular



Teleobjetivo



Un Objetivo tipo GRAN ANGULAR proporciona una perspectiva MÁS PRONUNCIADA que un TELEOBJETIVO

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA

En una fotografía la imagen correspondiente a un punto del objeto no es un punto sino una **mancha de cierto tamaño** que, en primera aproximación, puede considerarse como un círculo

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA

SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES

- Aberraciones
- Difracción

SISTEMA DETECTOR de la IMAGEN

- Proceso de registro: Emulsión fotográfica o sensor electrónico
- Proceso de visualización: Observador

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA. SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES. ABERRACIONES

IMAGEN DE UN PUNTO

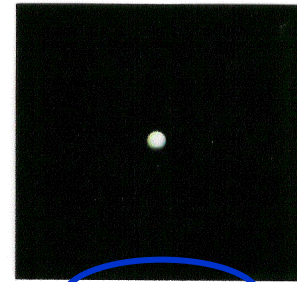
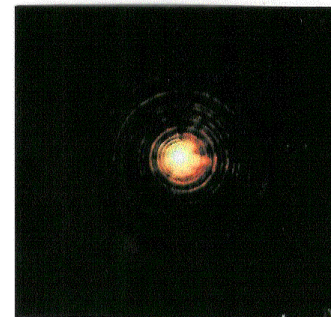


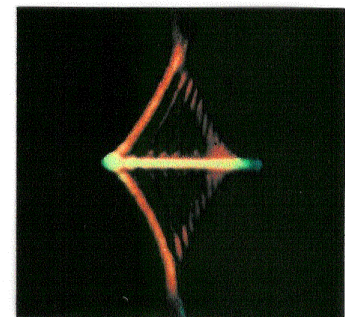
Imagen ideal

EFFECTO DE LAS ABERRACIONES

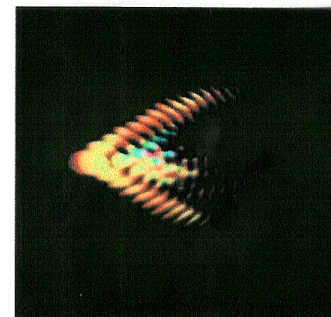
**LA IMAGEN DE UN
PUNTO ES UNA MANCHA
DE CIERTO TAMAÑO
SOBRE EL SENSOR**



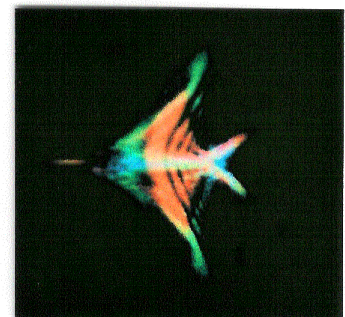
Con aberración esférica



Con astigmatismo

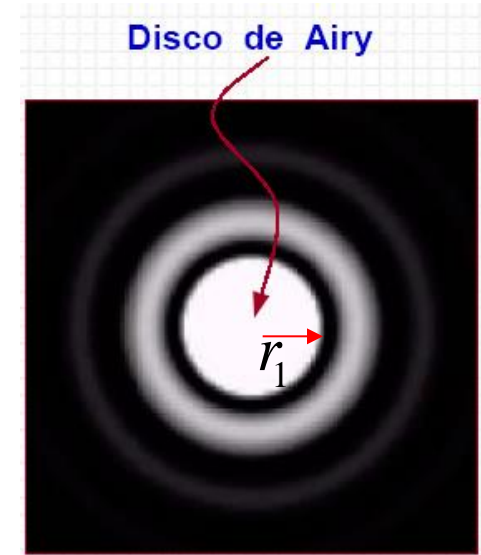
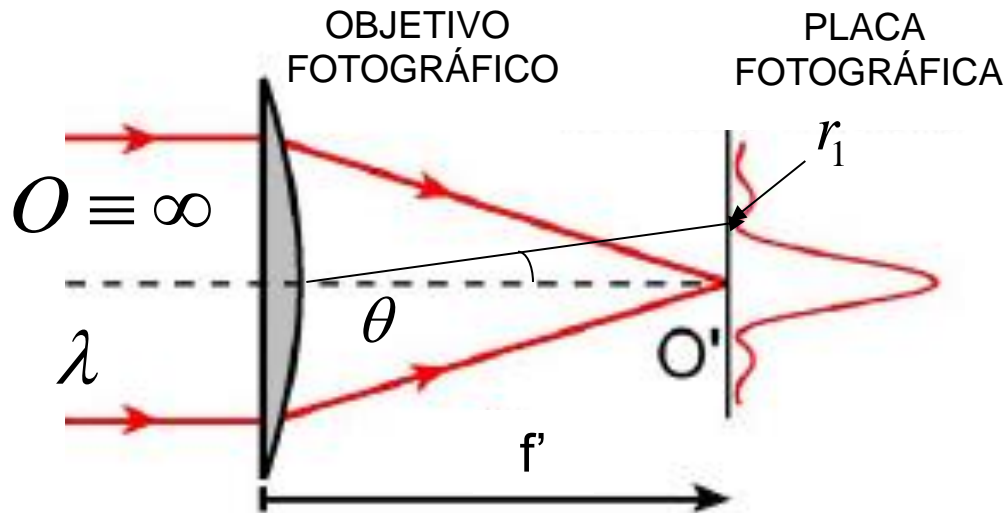


Con coma



Con coma y astigmatismo

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA. SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES. DIFRACCIÓN



nº de DIAFRAGMA
N, nº f ó f/

$$N = \frac{1}{A.R} = \frac{f'}{\phi_{PE}}$$

$$r_1 = f' \tan \theta \approx f' \theta \approx 1,22 \frac{\lambda}{\phi_{PE}} f'$$

$$r_1 = 1,22 \lambda N$$

La difracción puede ser importante para valores grandes de N

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA. SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES. DIFRACCIÓN

nº de DIAFRAGMA
nº f ó f/

$$N = \frac{1}{A.R} = \frac{f'}{\phi_{PE}}$$

$$r_1 = 1,22\lambda N$$

para
 $\lambda = 0,55\mu m$

$$r_1(\mu m) = 0,67N$$

La difracción puede ser importante para valores grandes de N

N	1,4	2	2,8	16	22	32
$r_1(\mu m)$	0,94	1,34	1,88		10,72	15,14	21,44

$$2r_1 = 42,88\mu m$$

$$c = 50\mu m = 0,05mm$$

Tamaño aceptable de la imagen de un punto para Paso Universal

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA. SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES. DIFRACCIÓN

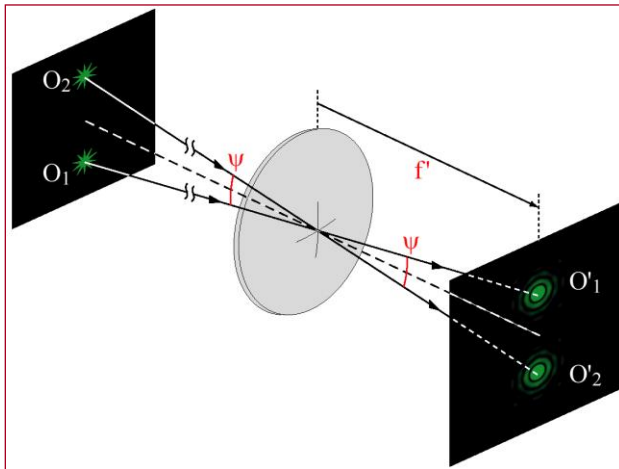
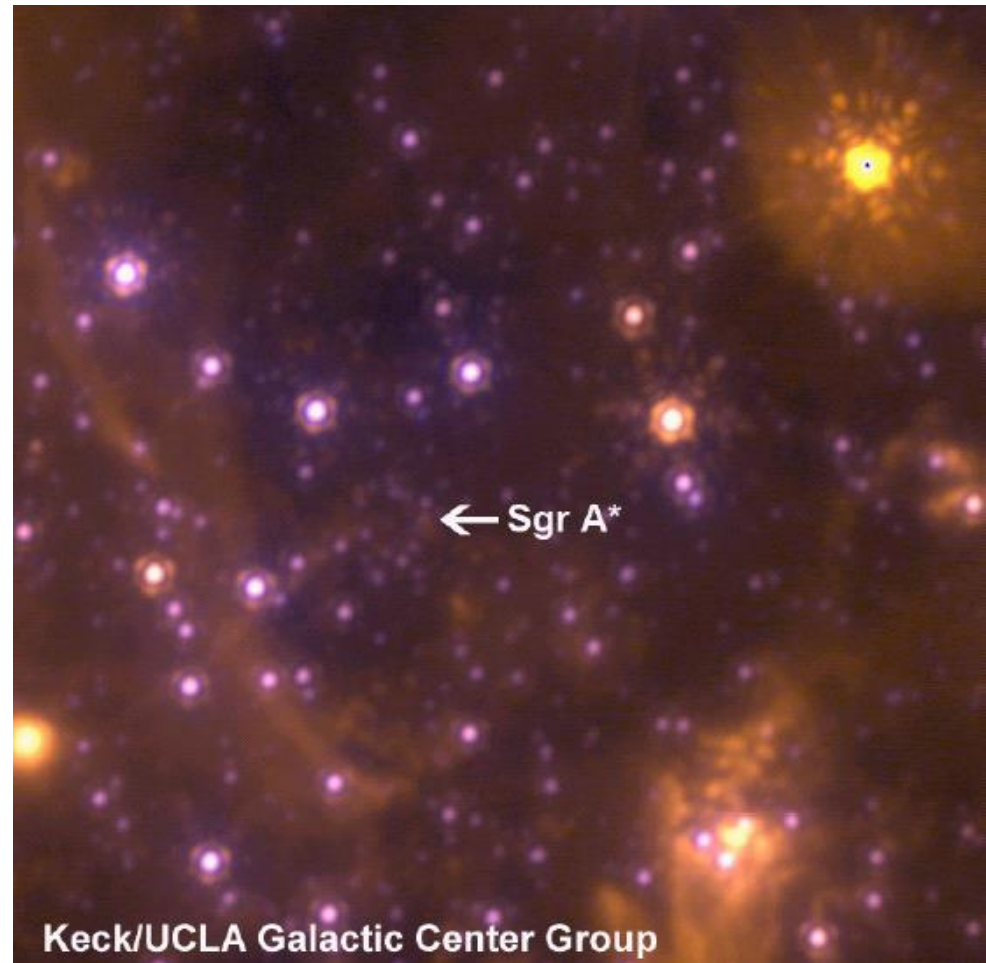


Imagen de dos puntos igual de intensos, localizados en el infinito y separados un ángulo ψ

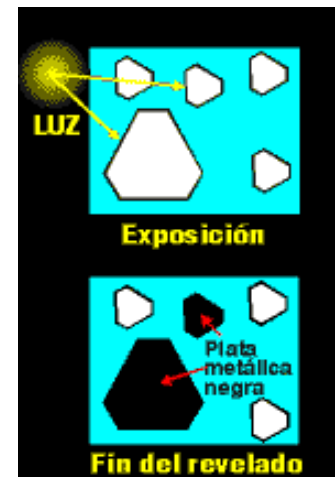
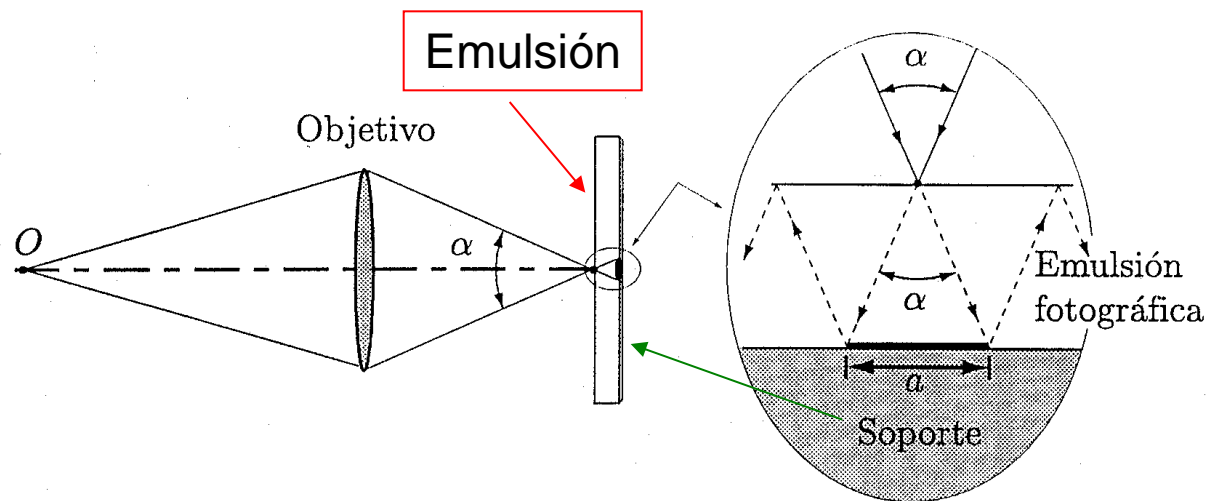


RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA. SISTEMA DETECTOR DE LA IMAGEN

EMULSIÓN FOTOGRÁFICA

Factores que contribuyen a formar una mancha como imagen de un punto

- Tamaño del grano de la emulsión
- Grosor de la emulsión
- Reflexiones internas. *Capa antihalo*
- Difusión fotográfica. El revelado es un proceso del tipo “*todo o nada*”



RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA.

SISTEMA FORMADOR DE IMÁGENES + DETECTOR

Círculo de confusión (c):

**REGISTRO DE
LA IMAGEN**

**imagen de un punto sobre la emulsión
resultado de todos los factores anteriores**

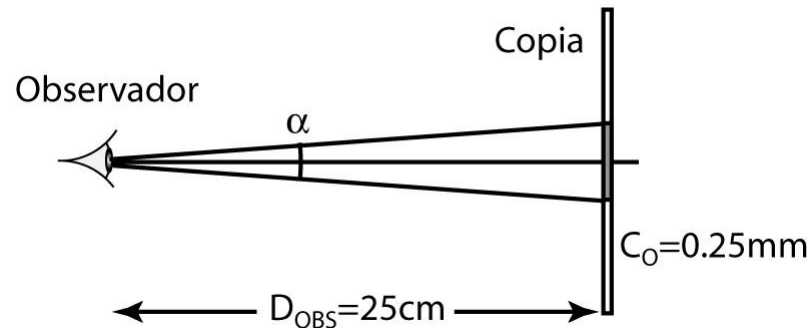
NITIDEZ ABSOLUTA

OBSERVACIÓN
DE LA IMAGEN

NITIDEZ APARENTE

FORMACIÓN
DE LA IMAGEN

Nitidez aceptable C_0



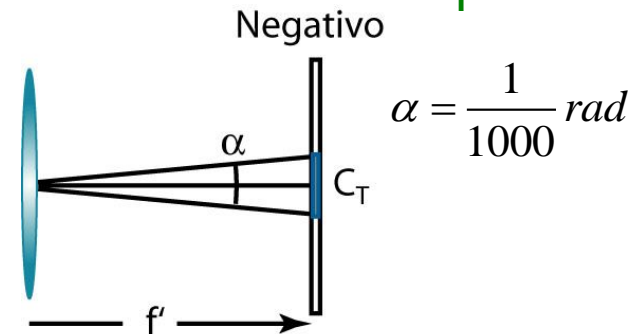
$$\tan \alpha = \frac{0,25}{250}$$

$$\alpha > 1,3'$$

$$\alpha = \frac{1}{1000} \text{ rad}$$

Agudeza visual

Círculo de tolerancia C_T



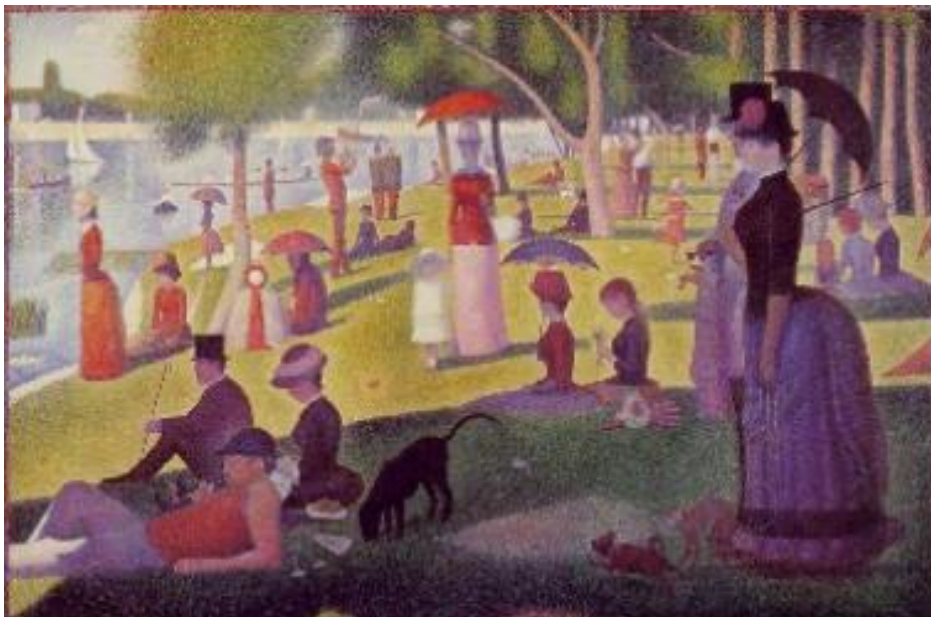
$$\tan \alpha \approx \frac{C_T}{f'}$$

$$C_T \approx \frac{f'_P}{1000} \approx \frac{d}{1000} \approx c$$

si $f' = f'_P$

Valor más usual : **c = 0,05 mm**

RESOLUCIÓN Y NITIDEZ DE LA IMAGEN FOTOGRÁFICA.



Técnica de Puntillismo

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



¿Por qué unos planos están enfocados y otros no?



CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



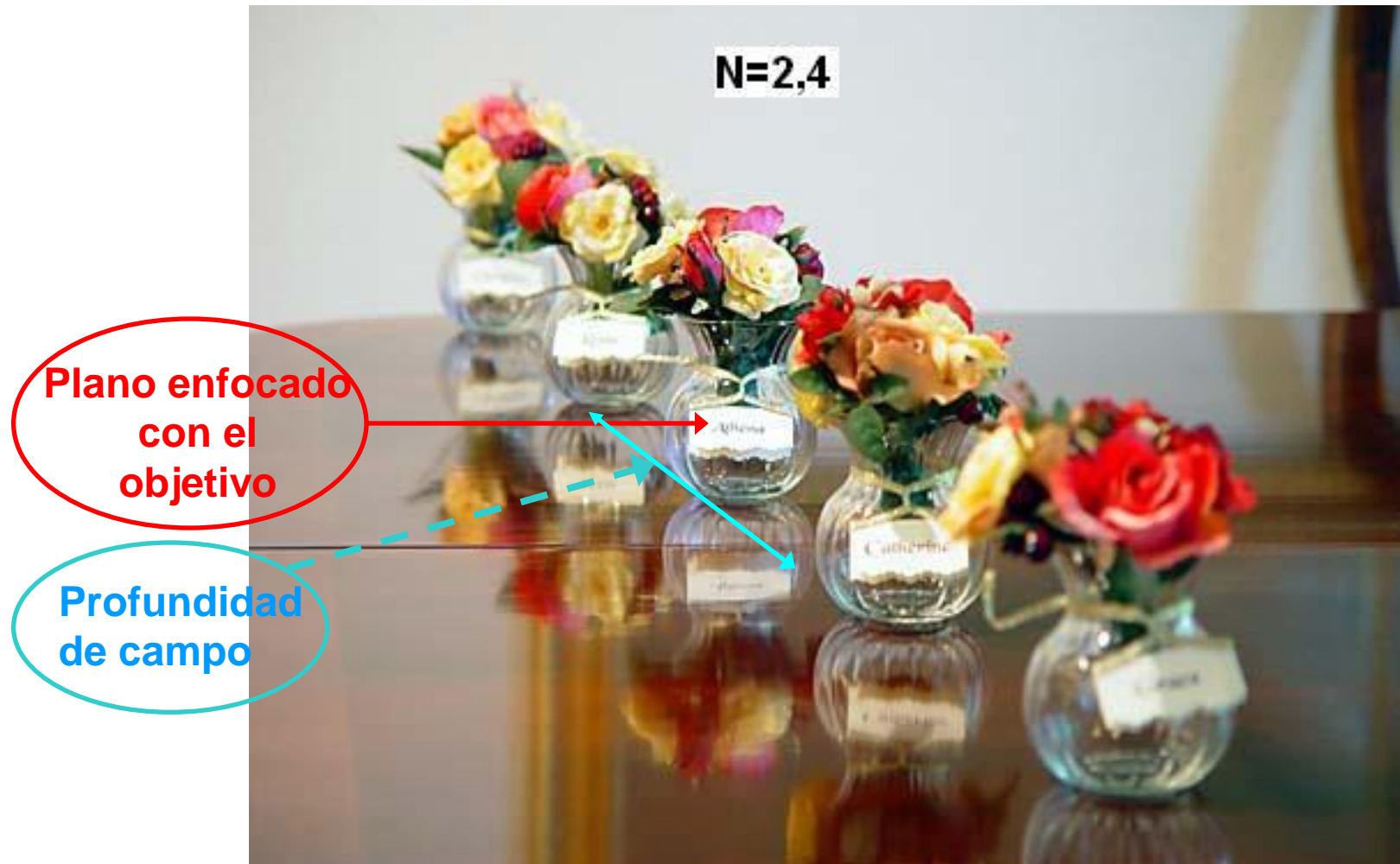
¿Qué cambia?



PROFUNDIDAD DE CAMPO

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

¿Qué es la PROFUNDIDAD DE CAMPO?

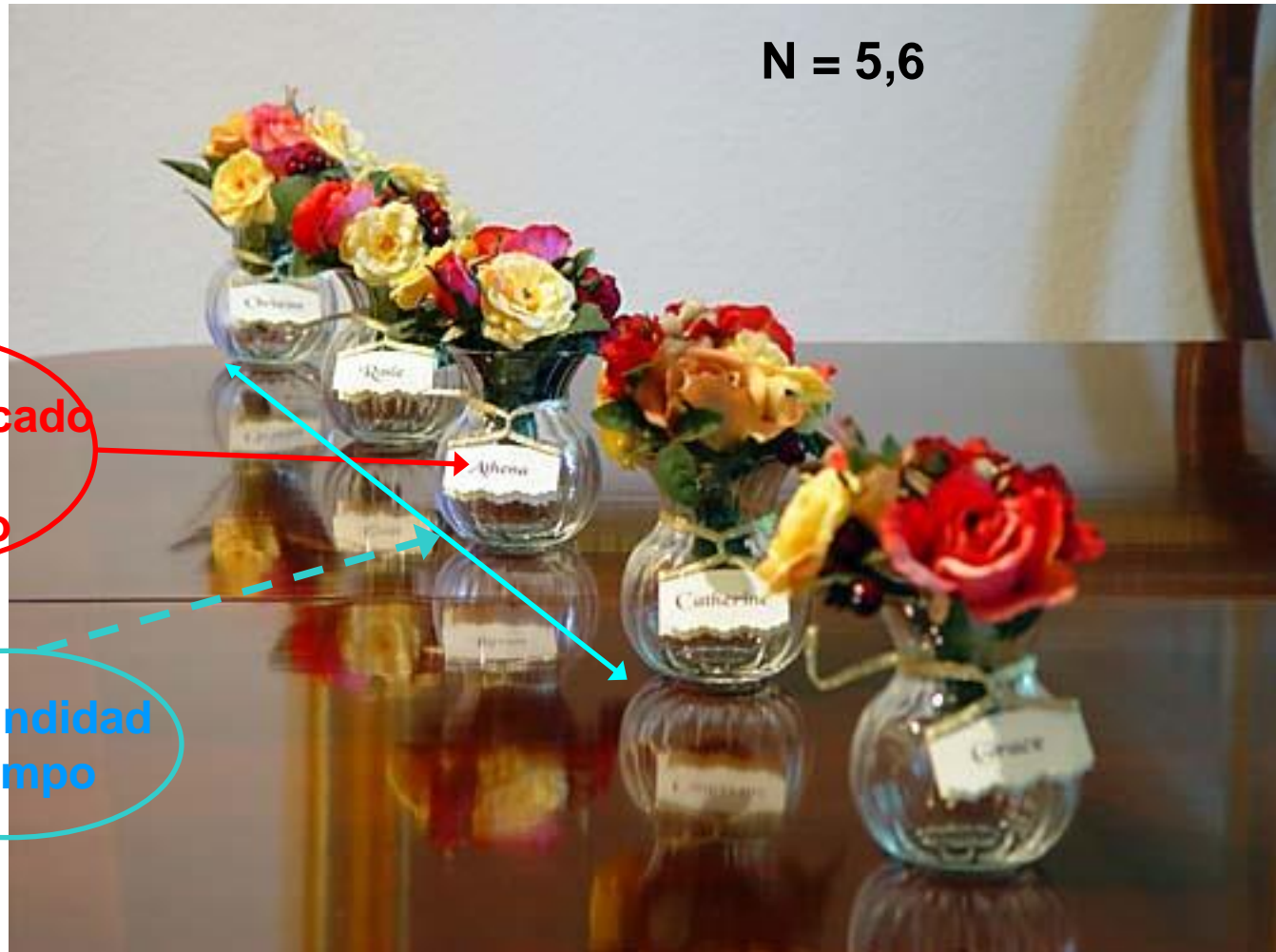


CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

$N = 5,6$

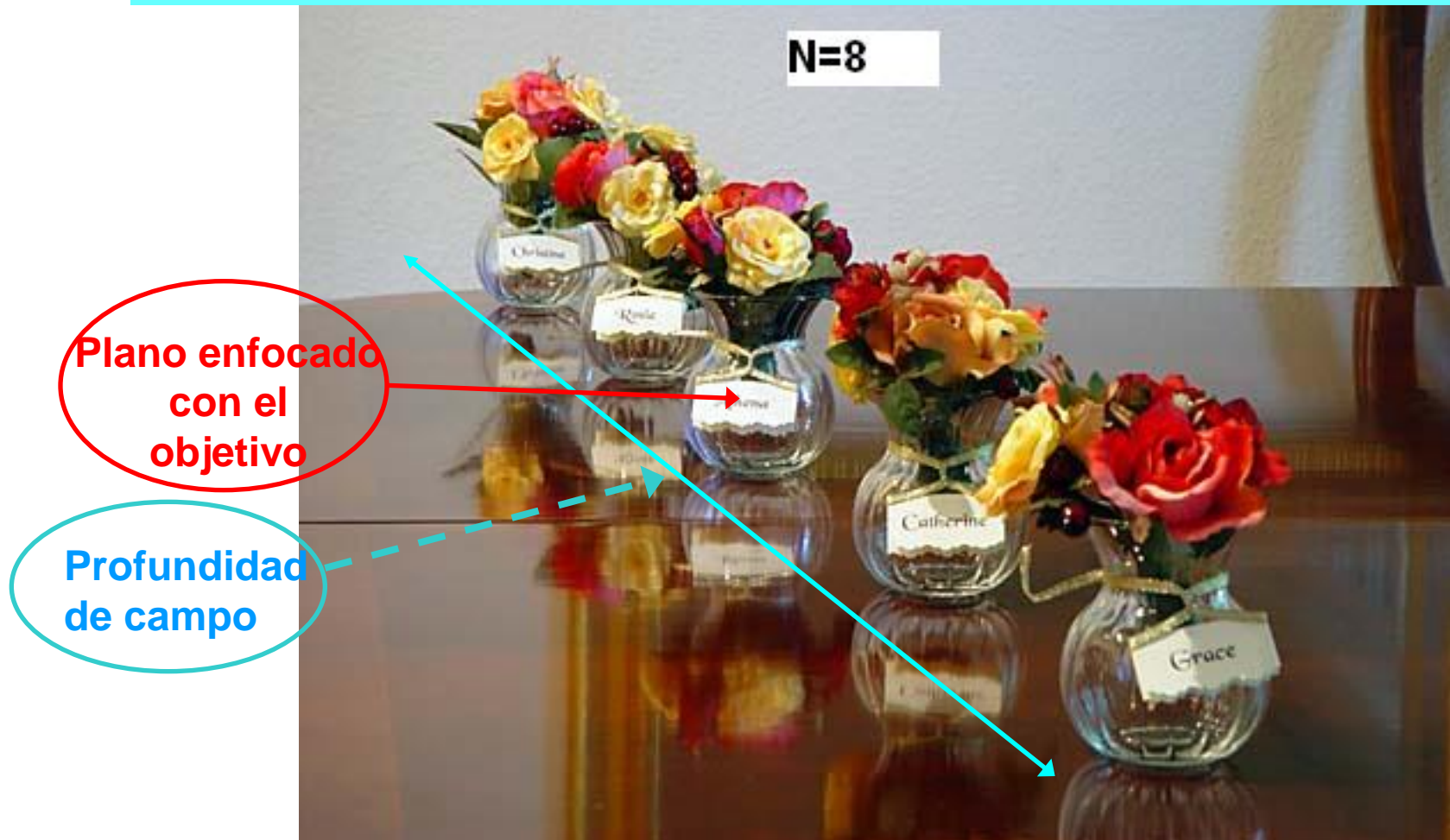
Plano enfocado
con el
objetivo

Profundidad
de campo

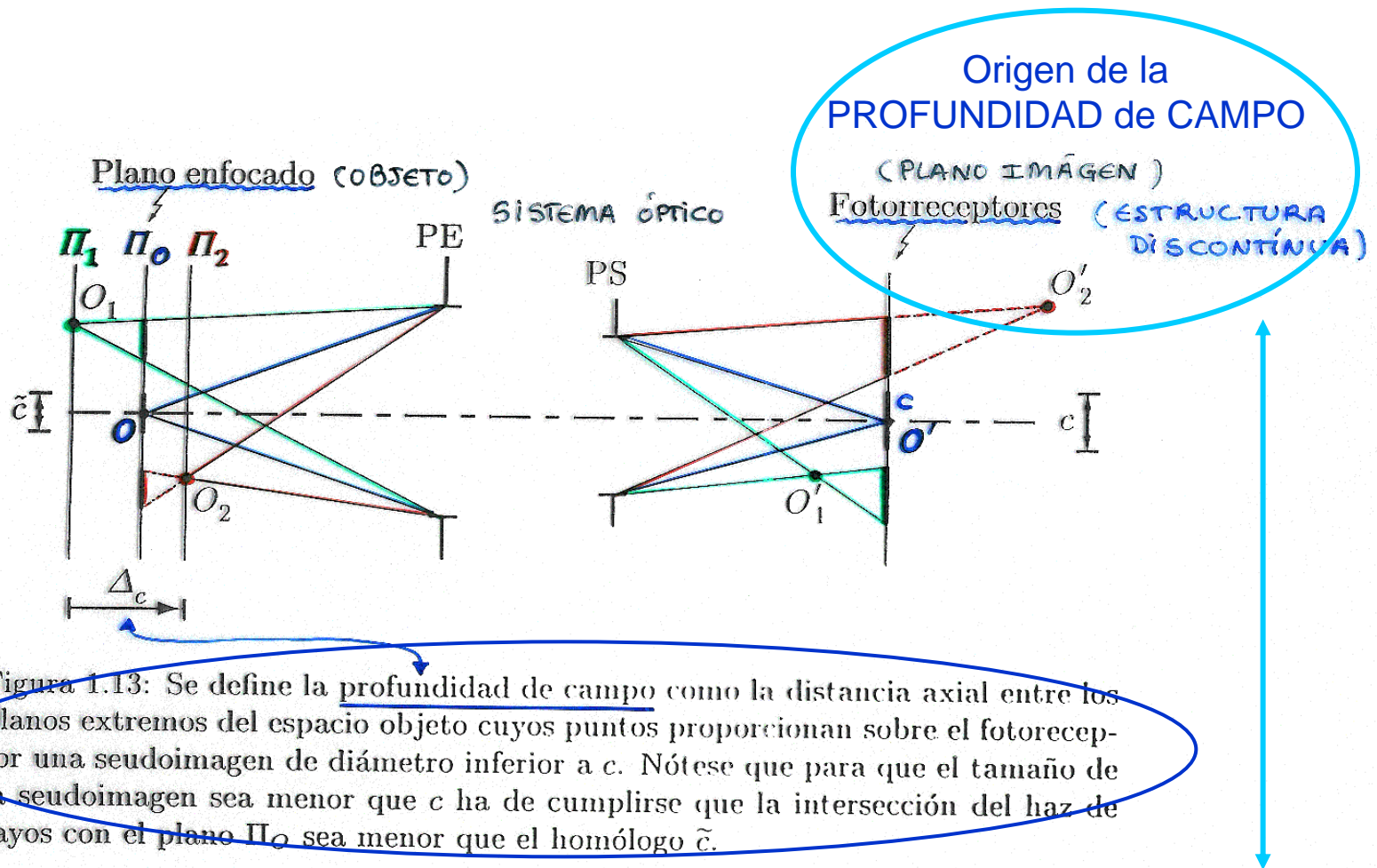


CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

Distancia comprendida entre los planos del objeto a fotografiar, más próximos y más lejanos a la cámara, que pueden ser reproducidos en la película con un enfoque aceptable.

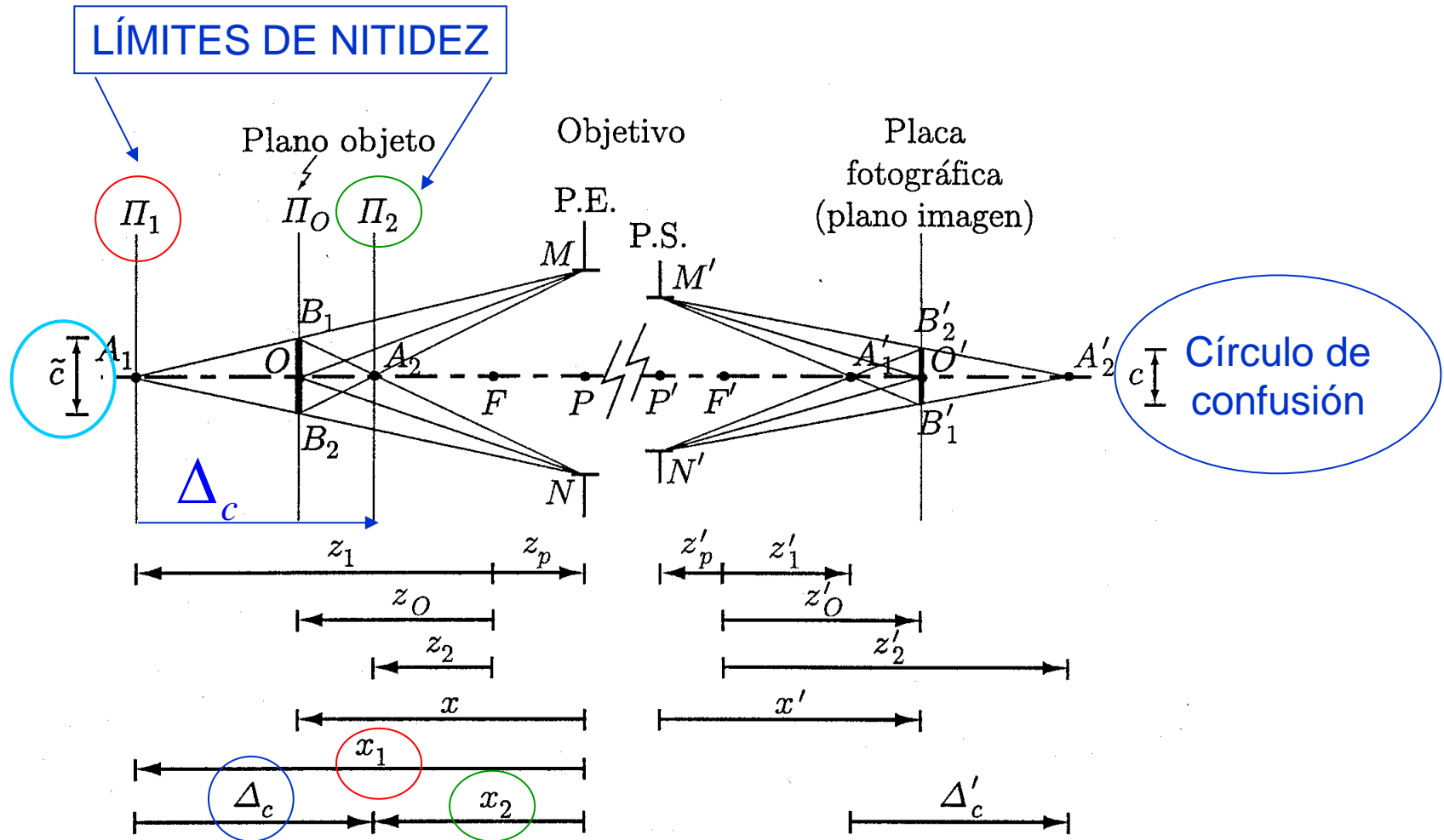


CAMPO AXIAL de los INSTRUMENTOS ÓPTICOS OBJETIVOS. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



C determina el valor de la profundidad de campo

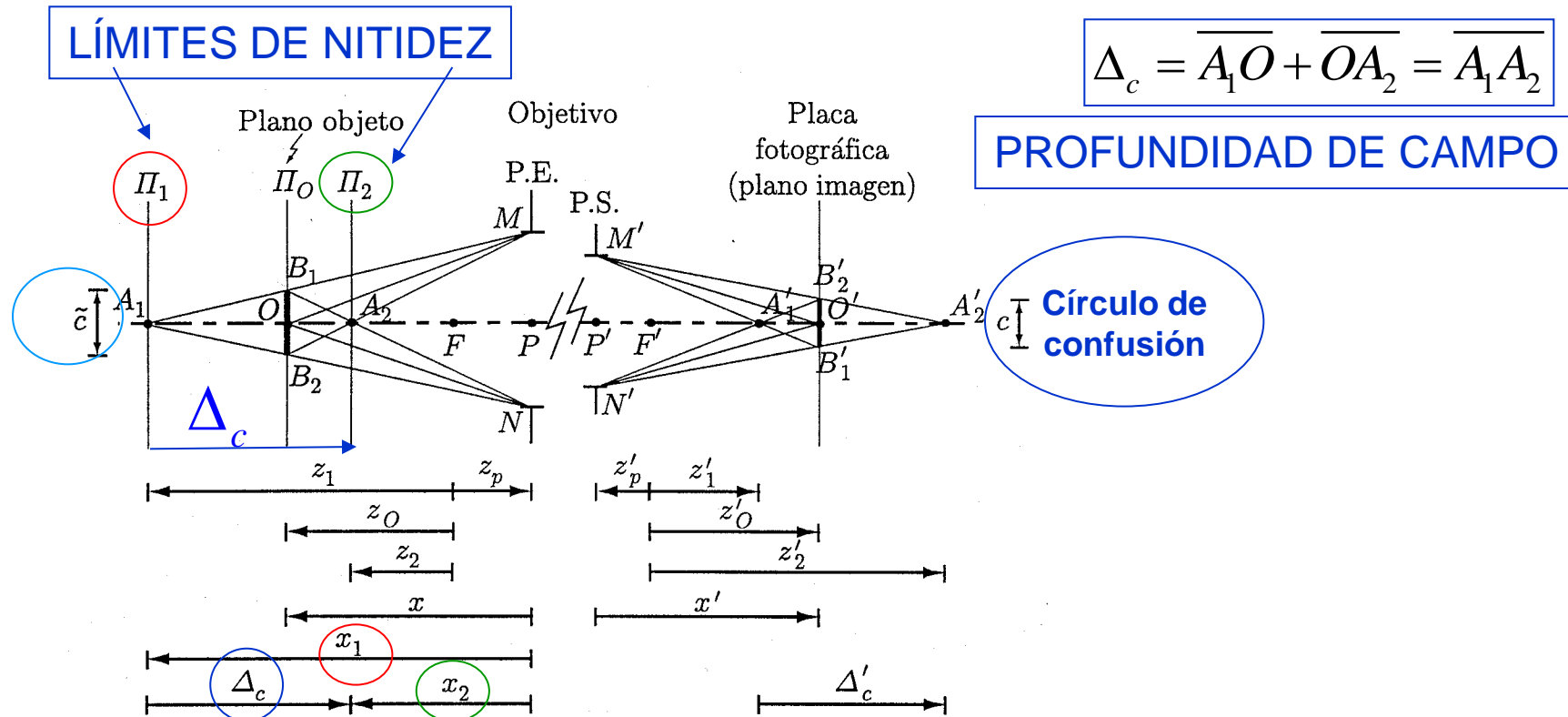
CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



PROFUNDIDAD DE CAMPO

$$\Delta_c = \overline{A_1 O} + \overline{O A_2} = \overline{A_1 A_2}$$

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



$$\triangle A_1MN \text{ y } \triangle A_1B_1B_2 \Rightarrow \frac{\tilde{c}}{\overline{A_1O}} = \frac{\overline{MN}}{\overline{A_1P}} = \frac{\phi_{PE}}{\overline{A_1O} - x} \rightarrow \overline{A_1O} = \frac{-\tilde{c}x}{\phi_{PE} - \tilde{c}}$$

comparando

$$\triangle A_2MN \text{ y } \triangle A_2B_1B_2 \Rightarrow \frac{\tilde{c}}{\overline{OA_2}} = \frac{\overline{MN}}{\overline{A_2P}} = \frac{\phi_{PE}}{-(x + \overline{OA_2})} \rightarrow \overline{OA_2} = \frac{-\tilde{c}x}{\phi_{PE} + \tilde{c}}$$

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

$$\overline{A_1O} = \frac{-\tilde{c}x}{\phi_{PE} - \tilde{c}}$$

$$\overline{OA_2} = \frac{-\tilde{c}x}{\phi_{PE} + \tilde{c}}$$

$$\overline{A_1O} > \overline{OA_2}$$

La profundidad de campo no es simétrica

$$\Delta_c = \overline{A_1O} + \overline{OA_2} = \frac{2\phi_{PE}\tilde{c}x}{\tilde{c}^2 - \phi_{PE}^2}$$

$$\Delta_c = \frac{2\phi_{PE}c|\beta'_o|x}{c^2 - |\beta'_o|^2\phi_{PE}^2}$$

$$\tilde{c} = \frac{c}{|\beta'_o|}$$

LÍMITES DE NITIDEZ

$$x_1 = x + \overline{OA_1}$$

$$x_2 = x + \overline{OA_2}$$

$$x_1 = \frac{x|\beta'_o|\phi_{PE}}{|\beta'_o|\phi_{PE} - c}$$

$$z_o = z_p + x$$

$$|\beta'_o| = -\frac{f'}{z_o}$$

$$x_1 = \frac{xf'^2}{f'^2 + cz_oN} = \frac{(z_o - z_p)f'^2}{f'^2 + cz_oN}$$

$$x_2 = \frac{x|\beta'_o|\phi_{PE}}{|\beta'_o|\phi_{PE} + c}$$

$$N = \frac{1}{A.R} = \frac{f'}{\phi_{PE}}$$

$$x_2 = \frac{xf'^2}{f'^2 - cz_oN} = \frac{(z_o - z_p)f'^2}{f'^2 - cz_oN}$$

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

En general, pueden hacerse ciertas aproximaciones en la expresión de la profundidad de campo

1ª aproximación

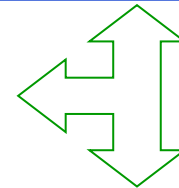
$$c^2 \ll |\beta'_o|^2 \phi_{PE}^2$$

Válida si el objeto no está muy alejado

Teniendo en cuenta

$$\left\{ \begin{array}{l} z_o = z_p + x \\ |\beta'_o| = -\frac{f'}{z_o} \\ N = \frac{1}{A.R} = \frac{f'}{\phi_{PE}} \end{array} \right.$$

$$\Delta_c = \frac{2\phi_{PE}c|\beta'_o|x}{c^2 - |\beta'_o|^2 \phi_{PE}^2}$$

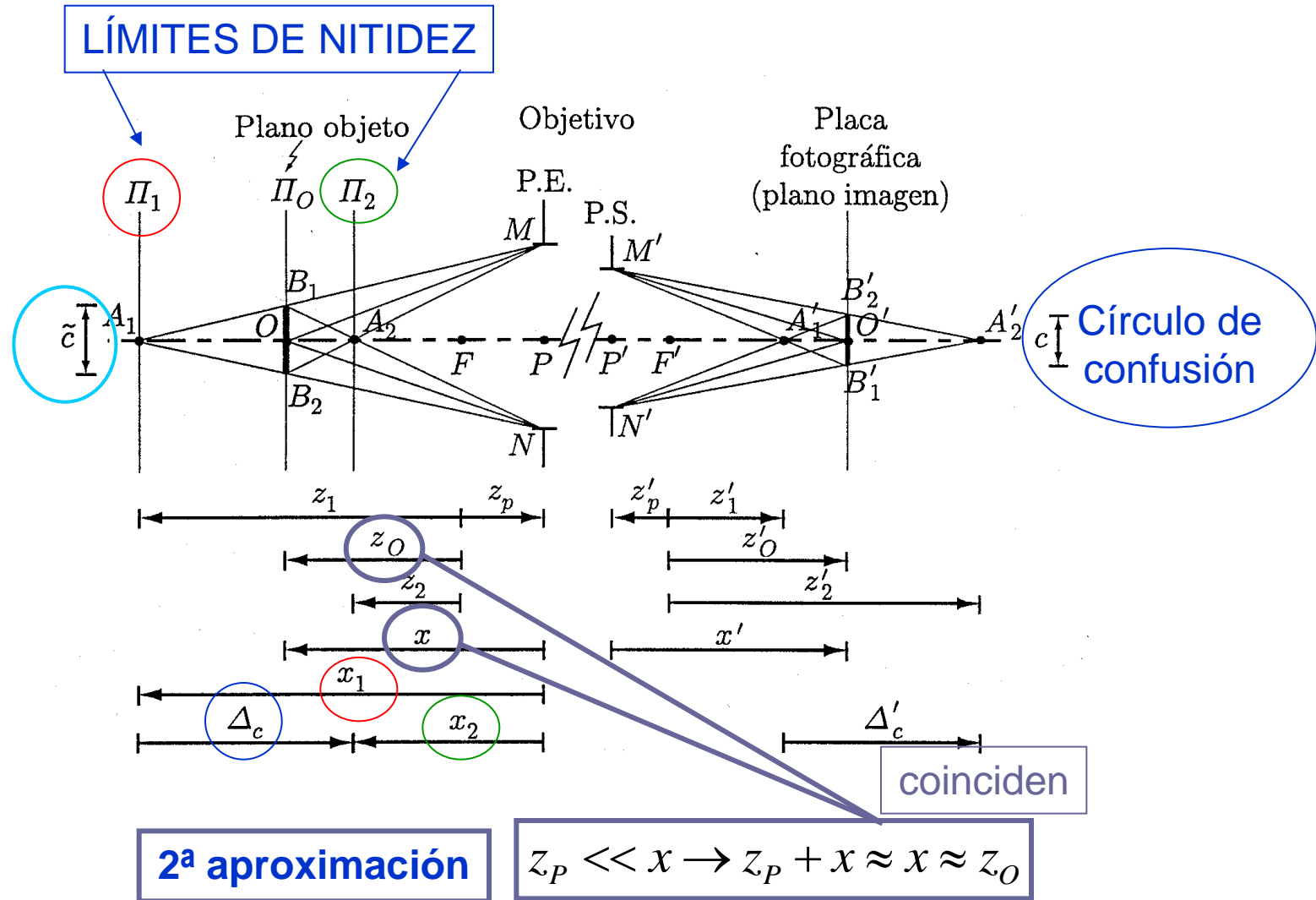


$$\Delta_c \approx \frac{-2cx}{|\beta'_o| \phi_{PE}}$$



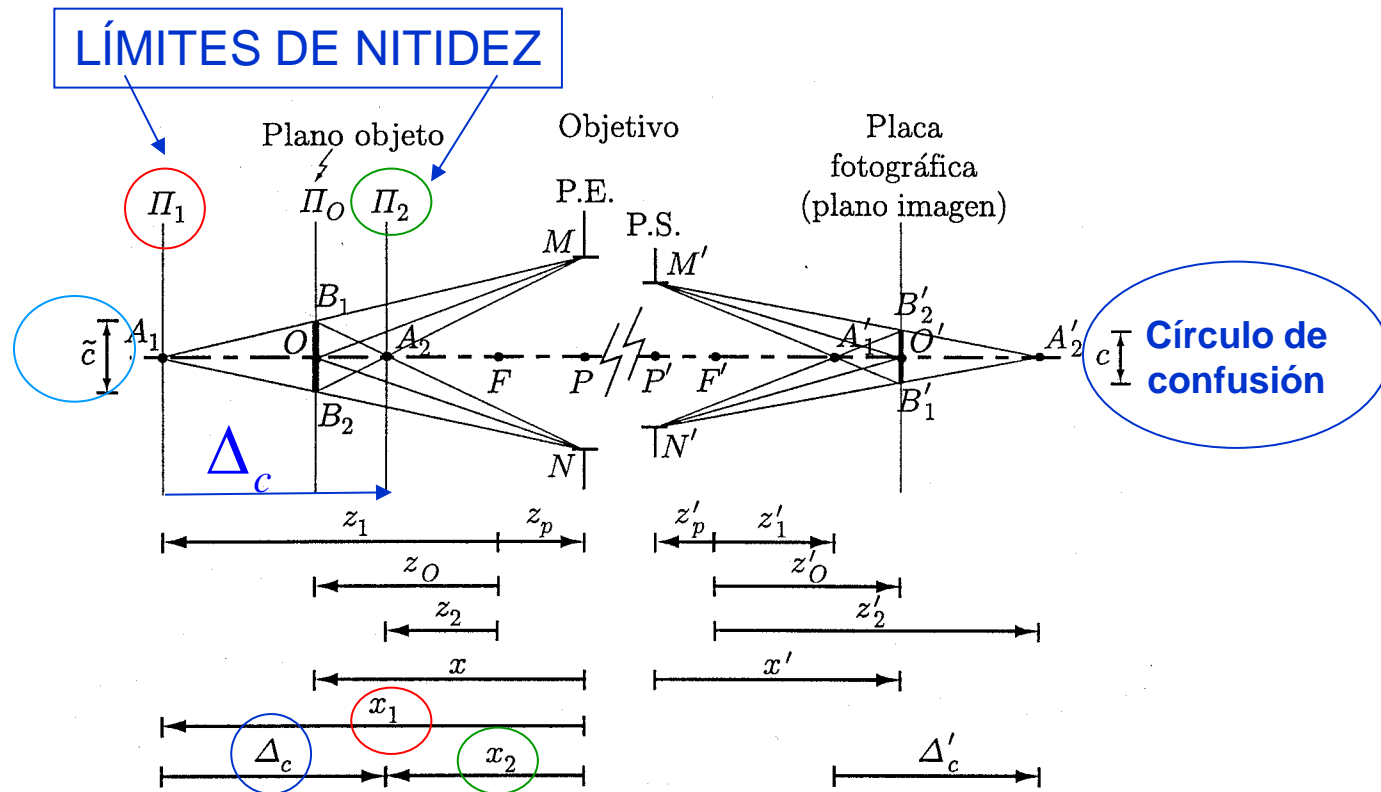
$$\Delta_c \approx \frac{2cxz_oN}{f'^2} = \frac{2cx(z_p + x)N}{f'^2}$$

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



Válida si el objeto no está muy próximo

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



PROFUNDIDAD DE CAMPO

$$\Delta_c = \overline{A_1 O} + \overline{O A_2} = \overline{A_1 A_2}$$

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

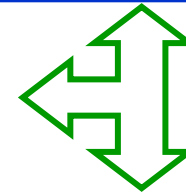
Expresión exacta

$$\Delta_c = \frac{2\phi_{PE} c |\beta'_O| x}{c^2 - |\beta'_O|^2 \phi_{PE}^2}$$

1ª aproximación

$$c^2 \ll |\beta'_O|^2 \phi_{PE}^2$$

Válida si el objeto no está muy alejado

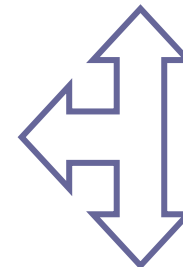


$$\Delta_c \approx \frac{2cxz_O N}{f'^2} = \frac{2cx(z_P + x)N}{f'^2}$$

2ª aproximación

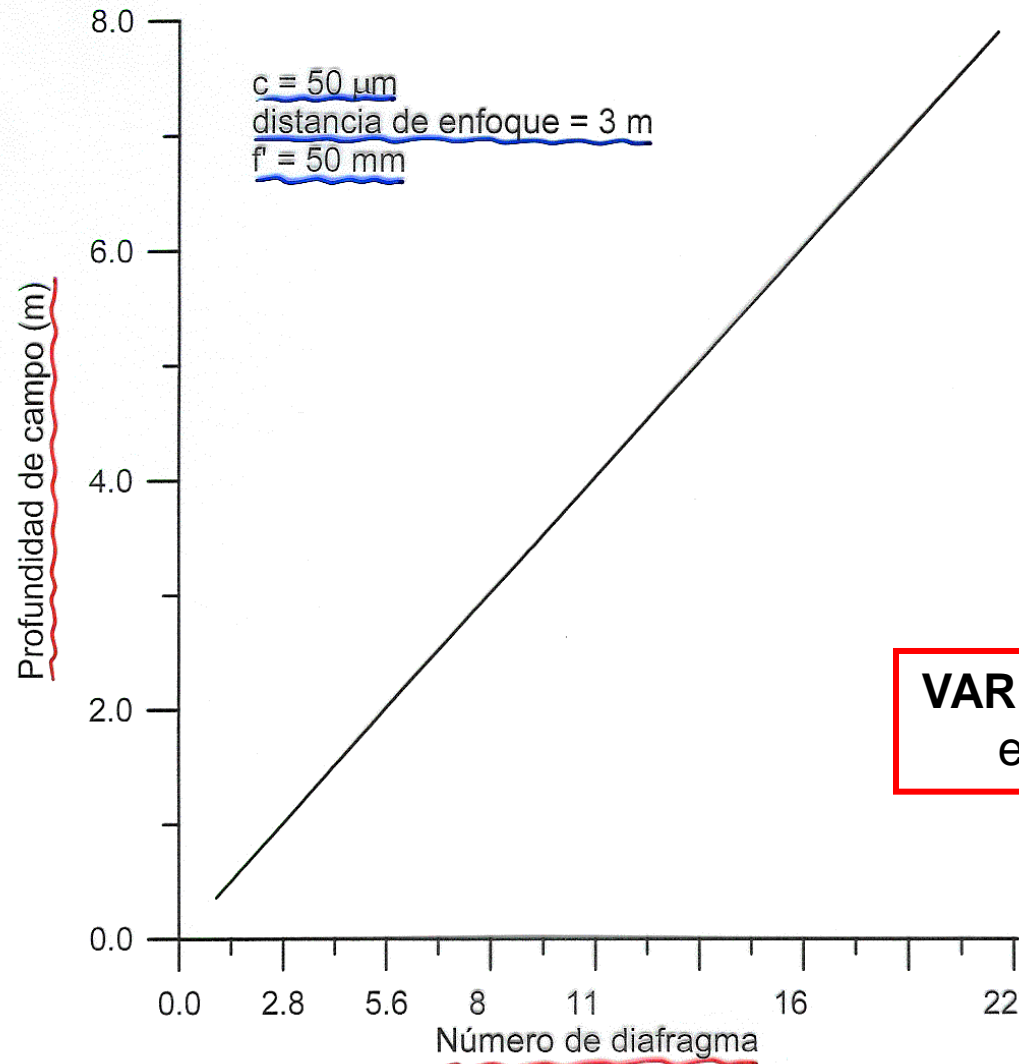
$$z_P \ll x \rightarrow z_P + x \approx x \approx z_O$$

Válida si el objeto no está muy próximo

**Expresión APROXIMADA DE
LA PROFUNDIDAD DE CAMPO**

$$\Delta_c \approx \frac{2cx^2 N}{f'^2} \approx \frac{2cz_O^2 N}{f'^2}$$

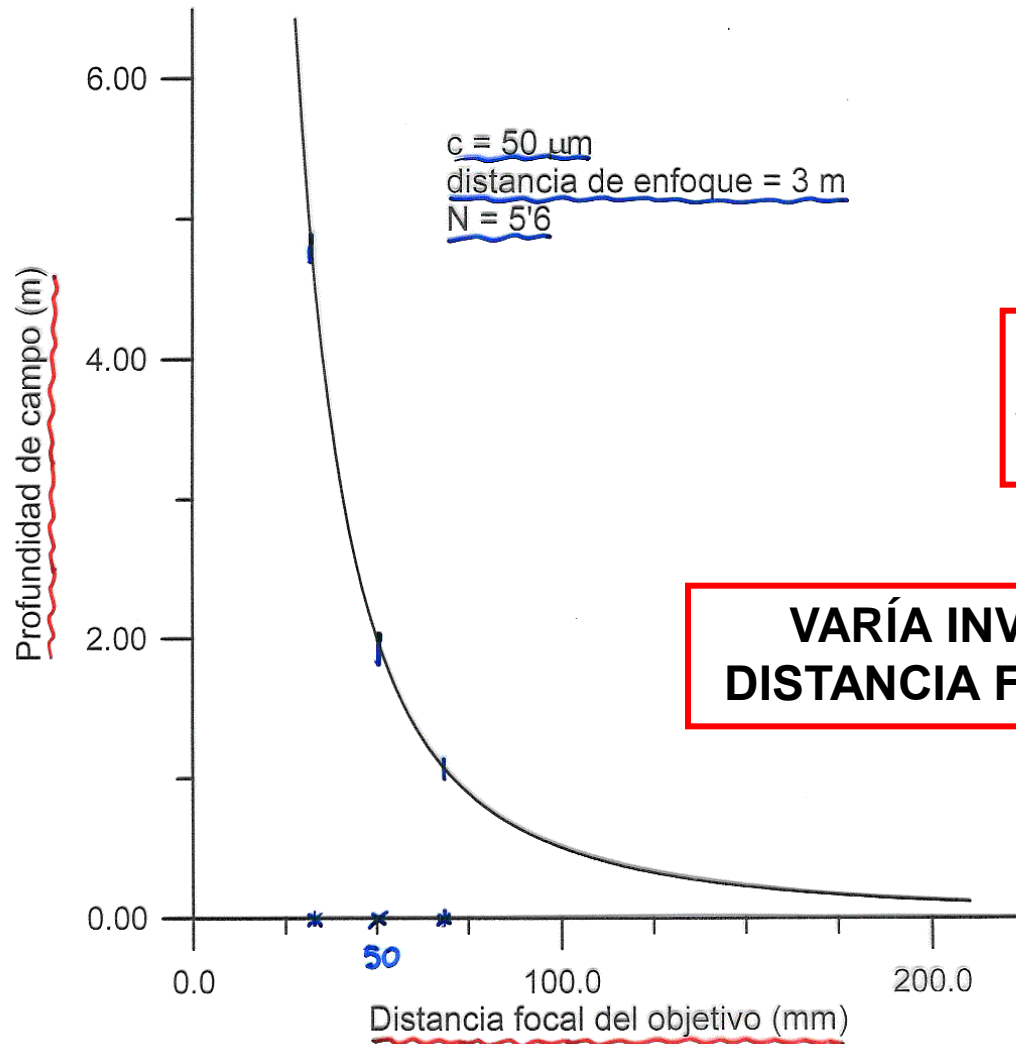
CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



$$\Delta_c \approx \frac{2cx^2}{f'^2} N$$

VARÍA LINEALMENTE con
el n° de diafragma ***N***

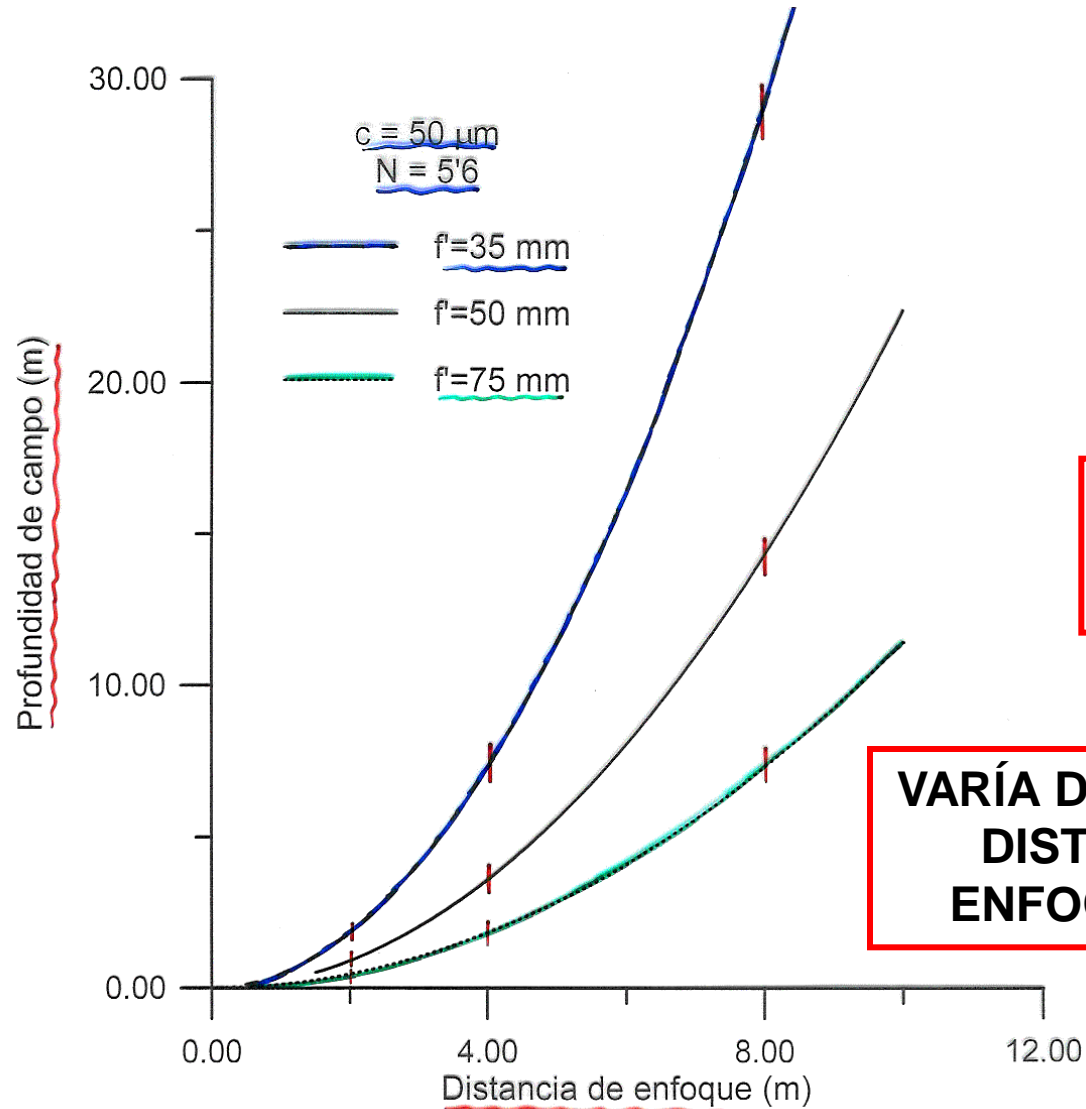
CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ



$$\Delta_c \approx \frac{2cx^2}{f'^2} N$$

**VARÍA INVERSAMENTE con la
DISTANCIA FOCAL f' al CUADRADO**

CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

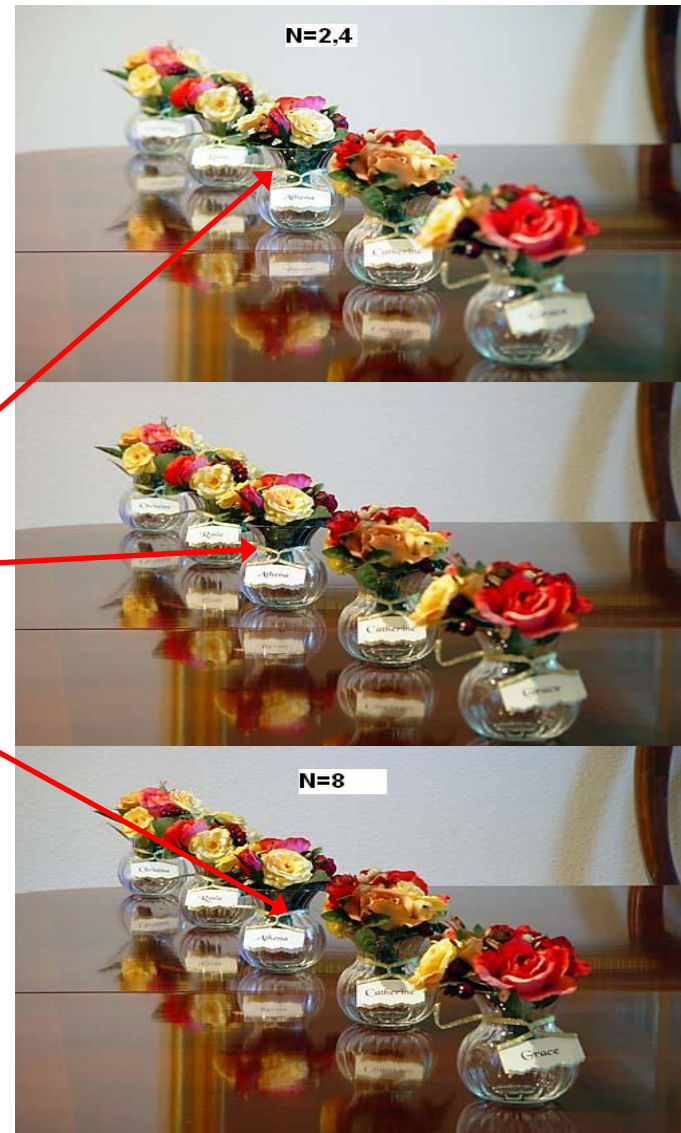
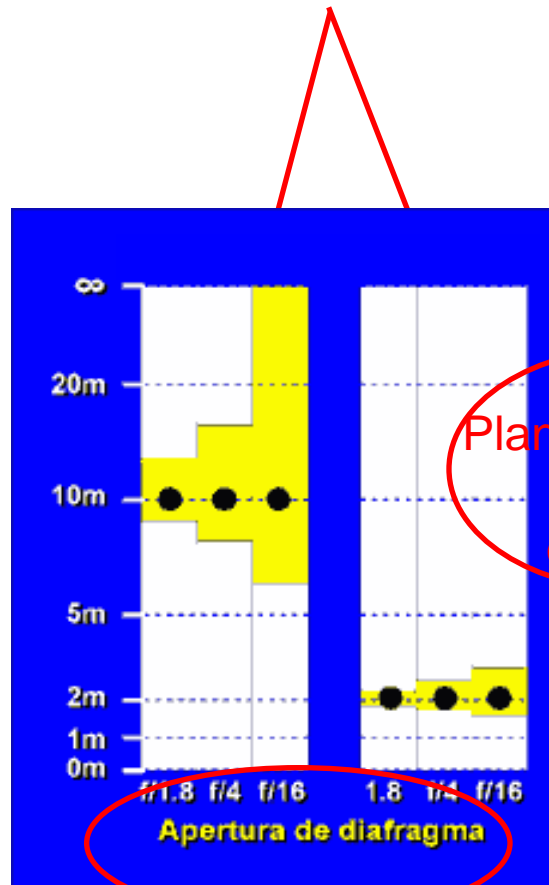


$$\Delta_c \approx \frac{2cx^2}{f'^2} N$$

**VARÍA DIRECTAMENTE con la
DISTANCIA al plano de
ENFOQUE al CUADRADO**

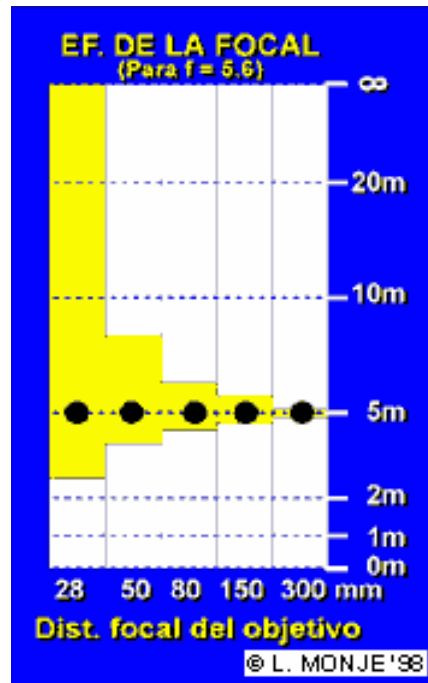
CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

EFFECTO DE LA APERTURA (nº de DIAFRAGMA N)



CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

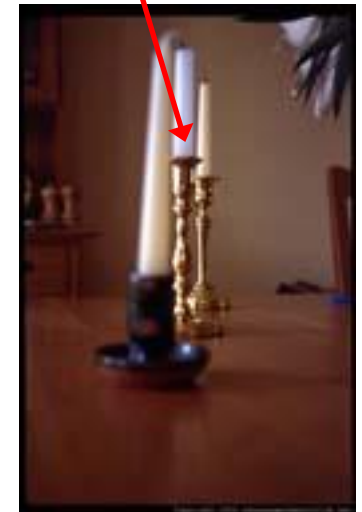
VARIACIÓN CON LA DISTANCIA FOCAL



$f' = 28 \text{ mm}$



$f' = 35 \text{ mm}$



$f' = 50 \text{ mm}$

Plano enfocado
con el
objetivo

Factores que influyen en la Profundidad de campo

Iron Europe: Comparación de la profundidad ...

Ayuda

Camera type ☒ Digital ☐ Película/full format

Cálculo de la profundidad de campo Cálculo de la apertura Presentación de diapositivas

Distancia de enfoque 3 m

Distancia focal 50 mm Apertura 11

Profundidad de 3.15 m 2.1 m 5.25 m
Total Delant Detrás

Calculate

SP AF 17-50mm F/2,8 XR Di II VC LD Aspherical [IF]

SP AF 28-75mm F/2,8 XR Di LD Aspherical [IF] MACRO
AF 28-300mm F/3,5-6,3 XR Di VC LD Aspherical [IF] MACRO
AF 28-300mm F/3,5-6,3 XR Di LD Aspherical [IF] MACRO
AF 28-200mm F/3,5-5,6 XR Di Aspherical [IF] MACRO

AF 70-300mm F/4-5,6 Di LD MACRO 1:2
SP AF 70-200mm F/2,8 Di LD [IF] MACRO
SP AF 70-300 F/4-5,6 Di VC USD
SP AF 90mm F/2,8 Di MACRO 1:1
SP AF 180mm F/3,5 Di LD[IF] MACRO 1:1
SP AF 200-500mm F/5-6,3 Di LD [IF]

Tamron

Apertura

50mm, Apertura 11

Distancia

Diafragma abierto: 2.8

Diafragma cerrado: 32

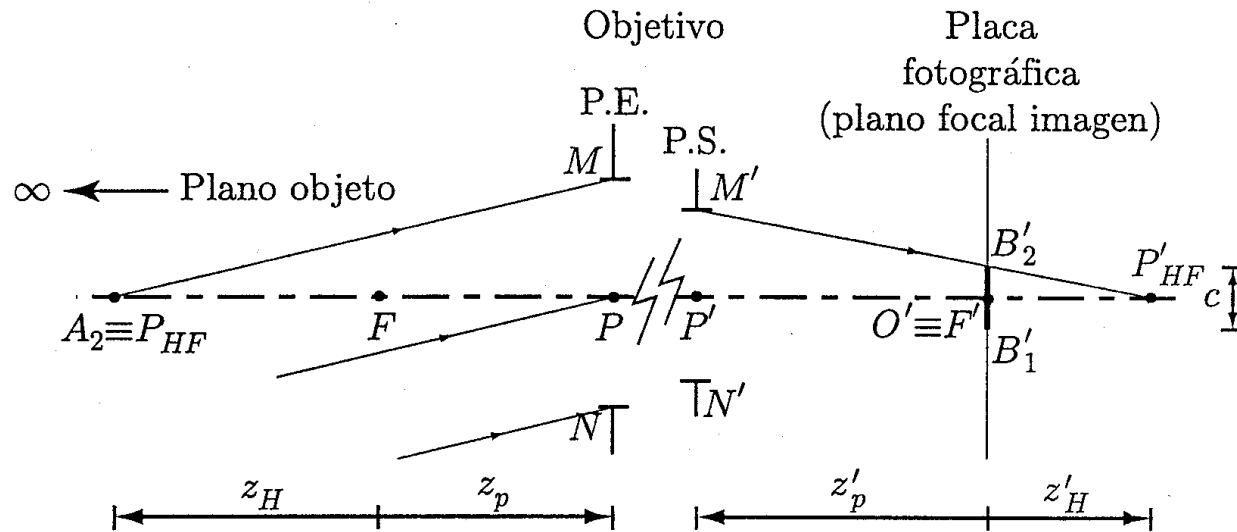
CAMPO AXIAL. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y LÍMITES DE NITIDEZ

Ejercicio: Con una cámara de paso universal se fotografía un objeto utilizando un objetivo de distancia focal $f'=50\text{mm}$. Calcular la profundidad de campo y los límites de nitidez en los siguientes casos:

- a) Cuando se enfoca al plano que está situado a 2m de la cámara y se realiza la fotografía con un n° de diafragma 8.
- b) Al variar el n° de diafragma (4 y 16) manteniendo fijo el plano de enfoque.
- c) Cuando se enfoca al plano que está situado a 2m de la cámara y se realiza la fotografía con un n° de diafragma 5,6 empleando un objetivo gran angular de $f'=24\text{mm}$ ó un teleobjetivo de $f'=70\text{mm}$.

DISTANCIA HIPERFOCAL

PLANO HIPERFOCAL: PLANO MÁS PRÓXIMO ENFOCADO EN LA PLACA FOTOGRÁFICA CUANDO EL OBJETIVO SE ENFOCA AL INFINITO



$$h_F = \overline{P_{HF}P} = -x_2(\infty)$$

DISTANCIA HIPERFOCAL

$$x_2 = \frac{(z_O - z_P)f'^2}{f'^2 - c z_O N}$$

$$h_F = -\lim_{x \rightarrow \infty} x_2 = -\lim_{z_O \rightarrow \infty} \frac{\left(1 - \frac{z_P}{z_O}\right) f'^2}{\frac{f'^2}{z_O} - cN} = \frac{f'^2}{cN}$$

DISTANCIA HIPERFOCAL

DISTANCIA HIPERFOCAL

$$h_F = \frac{f'^2}{cN}$$

Depende de N

¿Qué ocurre al enfocar al plano hiperfocal?

$$x = -h_F$$

LÍMITES DE NITIDEZ

$$\left\{ \begin{array}{l} x_2 = -\frac{1}{2}h_F \\ x_1 = \infty \end{array} \right\}$$

La PROFUNDIDAD DE CAMPO se hace INFINITA

Aplicación: CÁMARAS de FOCO FIJO

Ejemplo:

$$f' = 35\text{mm}$$

$$N = 11$$

$$c = 0,05\text{mm}$$

$$h_F = 2,23\text{m} \rightarrow \text{Límites de nitidez } (\infty; -1,1\text{m})$$

LÍMITES DE NITIDEZ Y ESCALA DE ENFOQUE



¿Cómo se construye la escala de enfoque de un objetivo fotográfico?

LÍMITES DE NITIDEZ Y ESCALA DE ENFOQUE

$$x_1 = \frac{(z_O - z_P) f'^2}{f'^2 + c z_O N} \rightarrow x_1 = \frac{(z_O - z_P) h_F}{h_F + z_O} \rightarrow x_1 = \frac{h_F x}{h_F + x}$$

$$x = \frac{h_F x_1}{h_F - x_1}$$

$$h_F = \frac{f'^2}{cN}$$

$$z_P \ll z_O \rightarrow z_O \approx x$$

$$x_2 = \frac{(z_O - z_P) f'^2}{f'^2 - c z_O N} \rightarrow x_2 = \frac{(z_O - z_P) h_F}{h_F - z_O} \rightarrow x_2 = \frac{h_F x}{h_F - x}$$

Construcción práctica de la escala de enfoque de un objetivo fotográfico

$$c = \frac{f'}{1000}$$

$$h_F \approx \frac{1000 f'}{N}$$

Depende de N

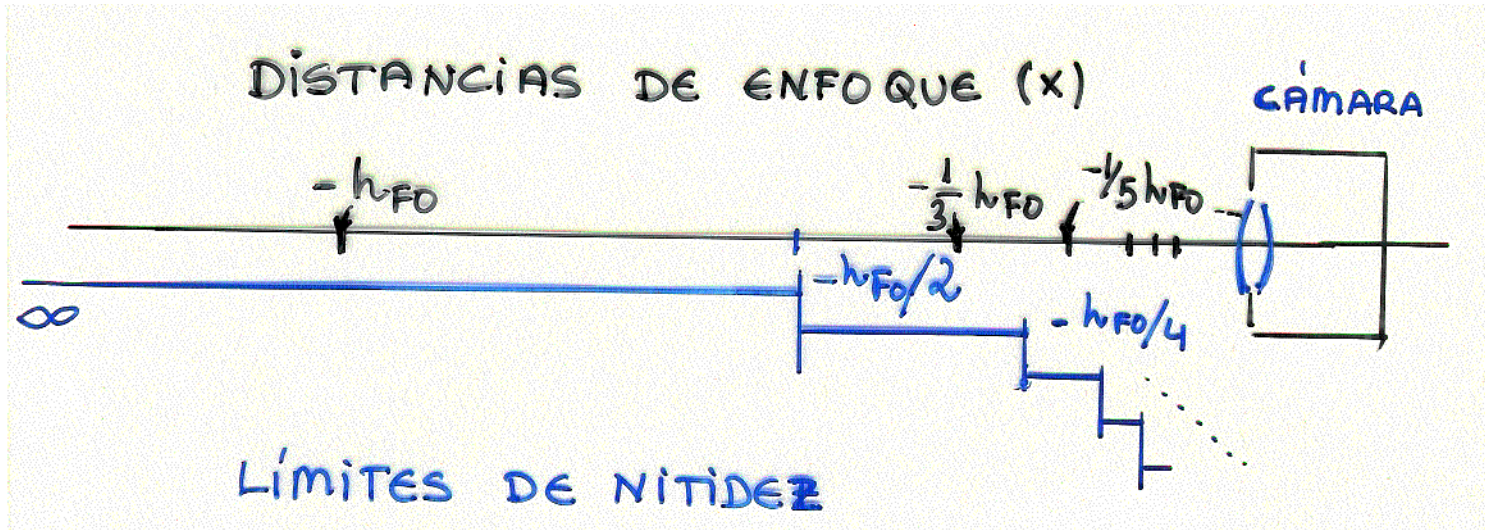
N_O	$\sqrt{2} N_O$	$2 N_O$	$2\sqrt{2} N_O$
h_{FO}	$\frac{h_{FO}}{\sqrt{2}}$	$\frac{h_{FO}}{2}$	$\frac{h_{FO}}{2\sqrt{2}}$

Distancias de enfoque

Límites de nitidez

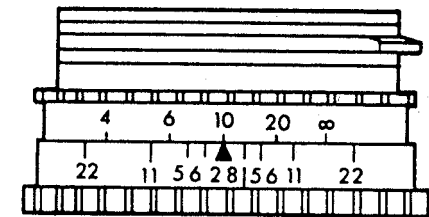
$x = \frac{h_{FO} x_1}{h_{FO} - x_1}$	$x_1 = \frac{h_{FO} x}{h_{FO} + x}$	$x_2 = \frac{h_{FO} x}{h_{FO} - x}$
$-h_{FO}$	∞	$-\frac{1}{2} h_{FO}$
$-\frac{1}{3} h_{FO}$	$-\frac{1}{2} h_{FO}$	$-\frac{1}{4} h_{FO}$
$-\frac{1}{5} h_{FO}$	$-\frac{1}{4} h_{FO}$	$-\frac{1}{6} h_{FO}$
$-\frac{1}{7} h_{FO}$	$-\frac{1}{6} h_{FO}$	$-\frac{1}{8} h_{FO}$
$-\frac{1}{9} h_{FO}$	$-\frac{1}{8} h_{FO}$	$-\frac{1}{10} h_{FO}$
$-\frac{1}{11} h_{FO}$	$-\frac{1}{10} h_{FO}$	$-\frac{1}{12} h_{FO}$

ESCALAS DE ENFOQUE Y PROFUNDIDAD DE CAMPO



La escala de enfoque se construye de modo que los correspondientes intervalos de profundidad de campo se solapen

escala de enfoque



escala de profundidad de campo (aproximada)

ESCALAS DE ENFOQUE Y PROFUNDIDAD DE CAMPO

Escala de enfoque		Límites de nitidez para diferentes aperturas	
x	N	x_1	x_2
$-h_{F0}$	N_0	∞	$-\frac{h_{F0}}{2}$
	$N_1 = \sqrt{2}N_0$	$\frac{-h_{F0}}{1 - \sqrt{2}} > 0 \Rightarrow \infty$	$-\frac{h_{F0}}{1 + \sqrt{2}}$
	$N_2 = 2N_0$	$h_{F0} > 0 \Rightarrow \infty$	$-\frac{3h_{F0}}{4}$
	N_0	$-\frac{h_{F0}}{2}$	$-\frac{h_{F0}}{4}$
			$-\frac{h_{F0}}{3 + \sqrt{2}}$
			$-\frac{h_{F0}}{5}$
			$-\frac{h_{F0}}{6}$
			$-\frac{h_{F0}}{8}$
			$-\frac{h_{F0}}{9}$
	$N_2 = 2N_0$	$7 - \frac{\sqrt{2}h_{F0}}{5}$	$7 + \frac{\sqrt{2}h_{F0}}{9}$

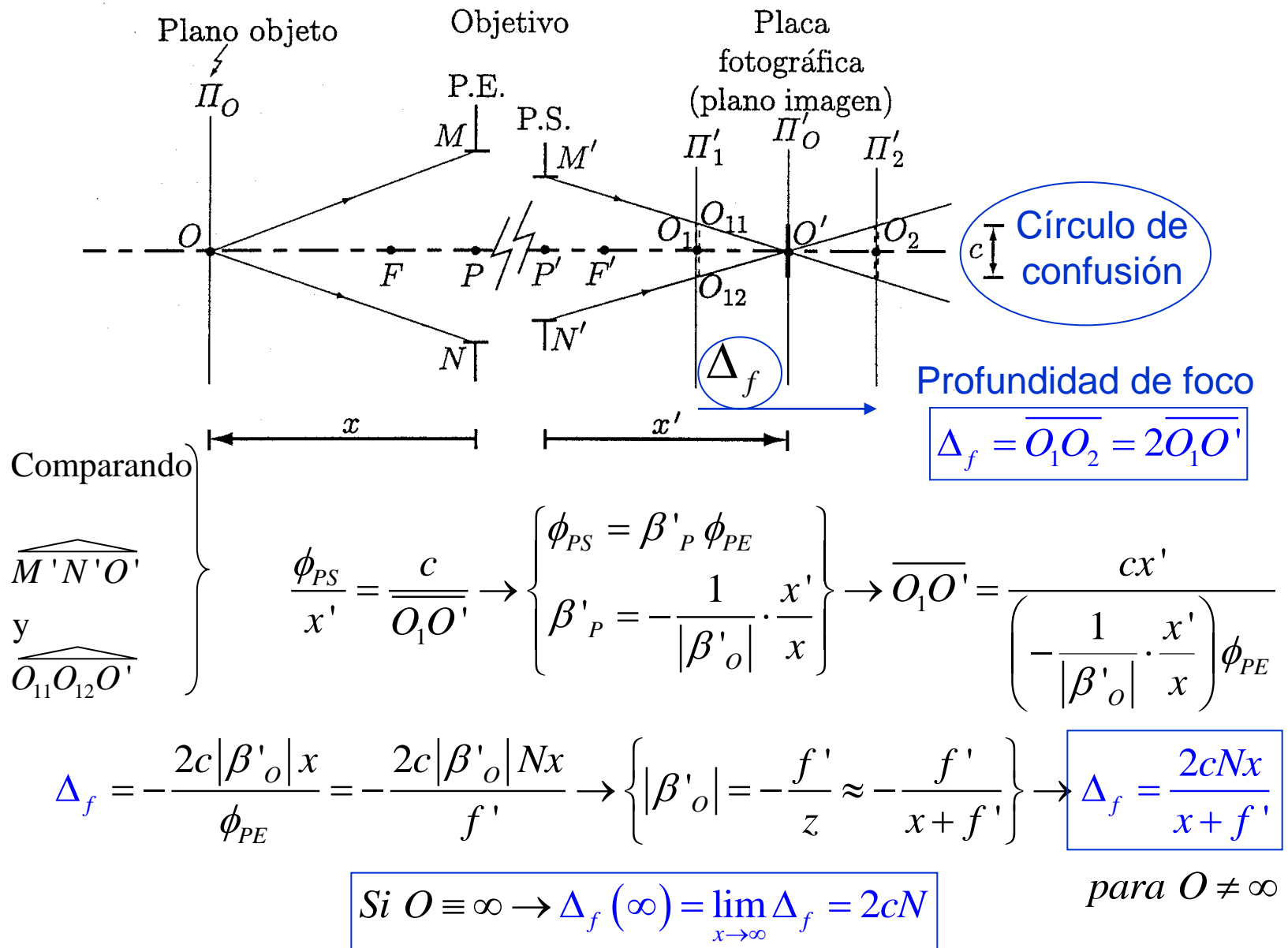
escala de enfoque



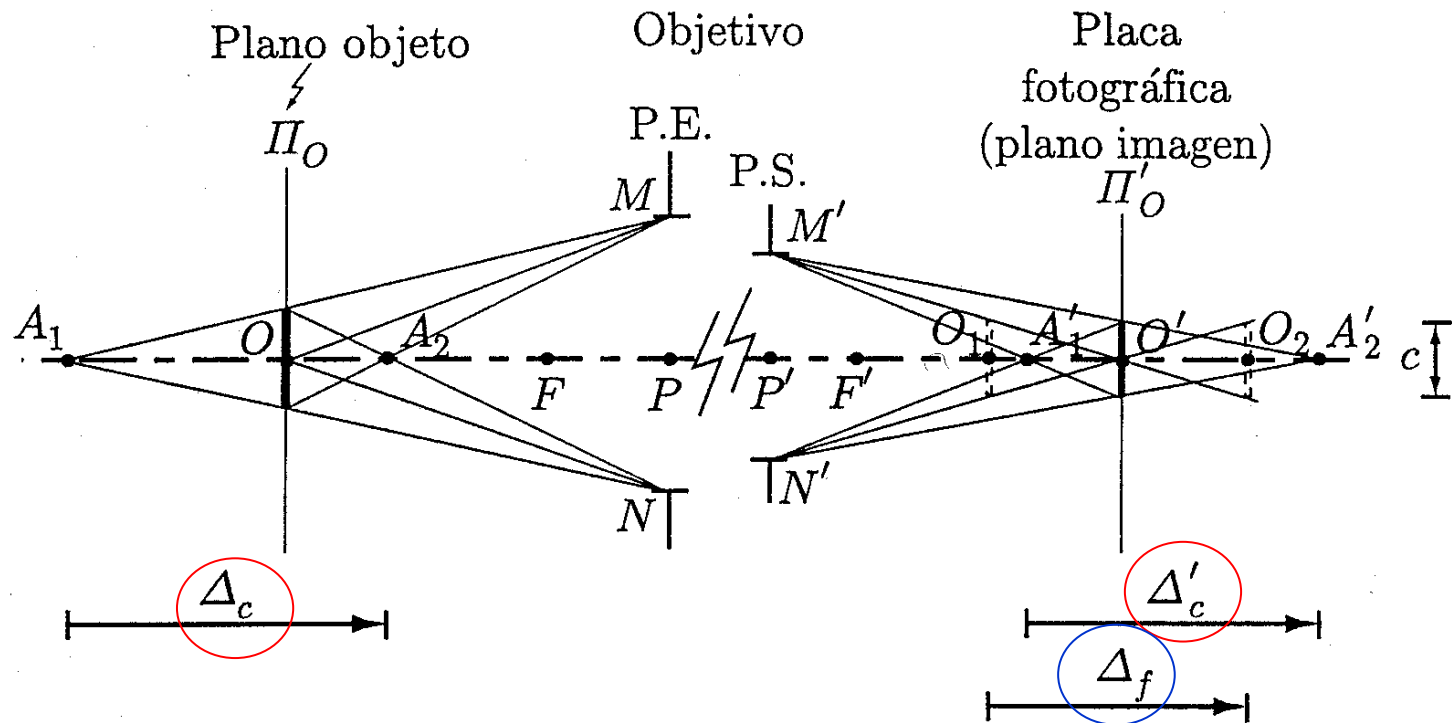
escala de profundidad de campo (aproximada)

Construcción de la escala de profundidad de campo de un objetivo fotográfico

PROFUNDIDAD DE FOCO



PROFUNDIDAD DE FOCO Y DE CAMPO



El intervalo axial de **profundidad de foco** corresponde, aproximadamente, al **segmento imagen del intervalo de profundidad de campo**