



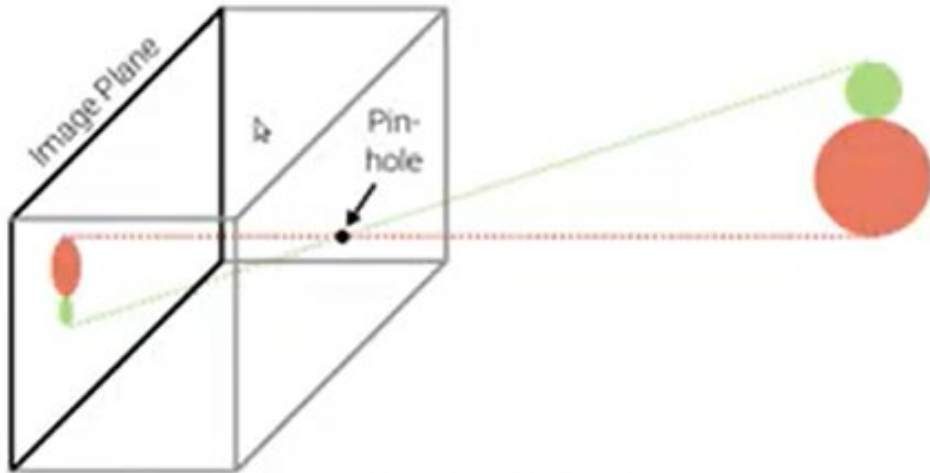
MEJORANDO LA CÁMARA PINHOLE

ANDRÉS DANIEL GODOY ORTIZ

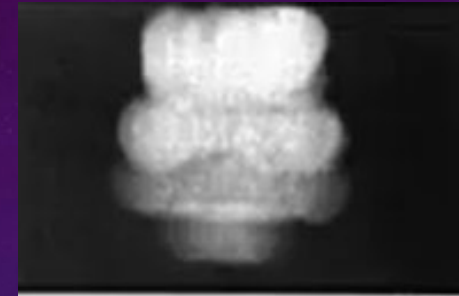
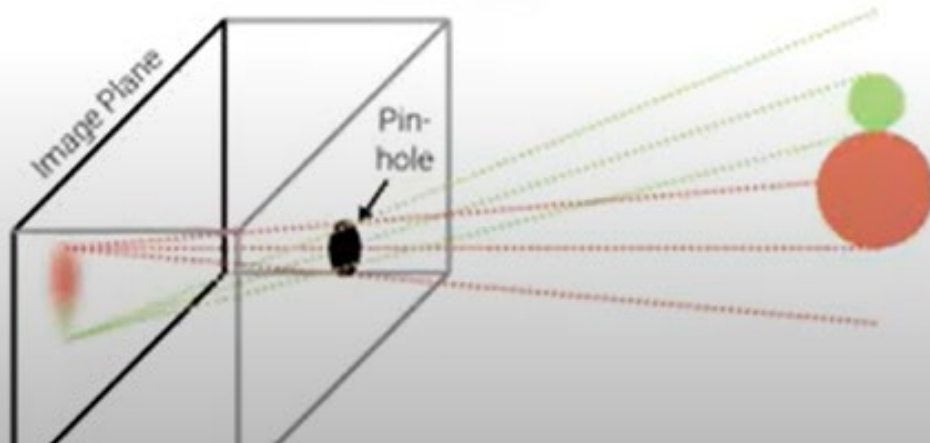
¿CUÁLES SON LOS PROBLEMAS DE LA PINOLE?



Small Pinhole



Large Pinhole



2 mm



1 mm



0.6 mm



0.35 mm

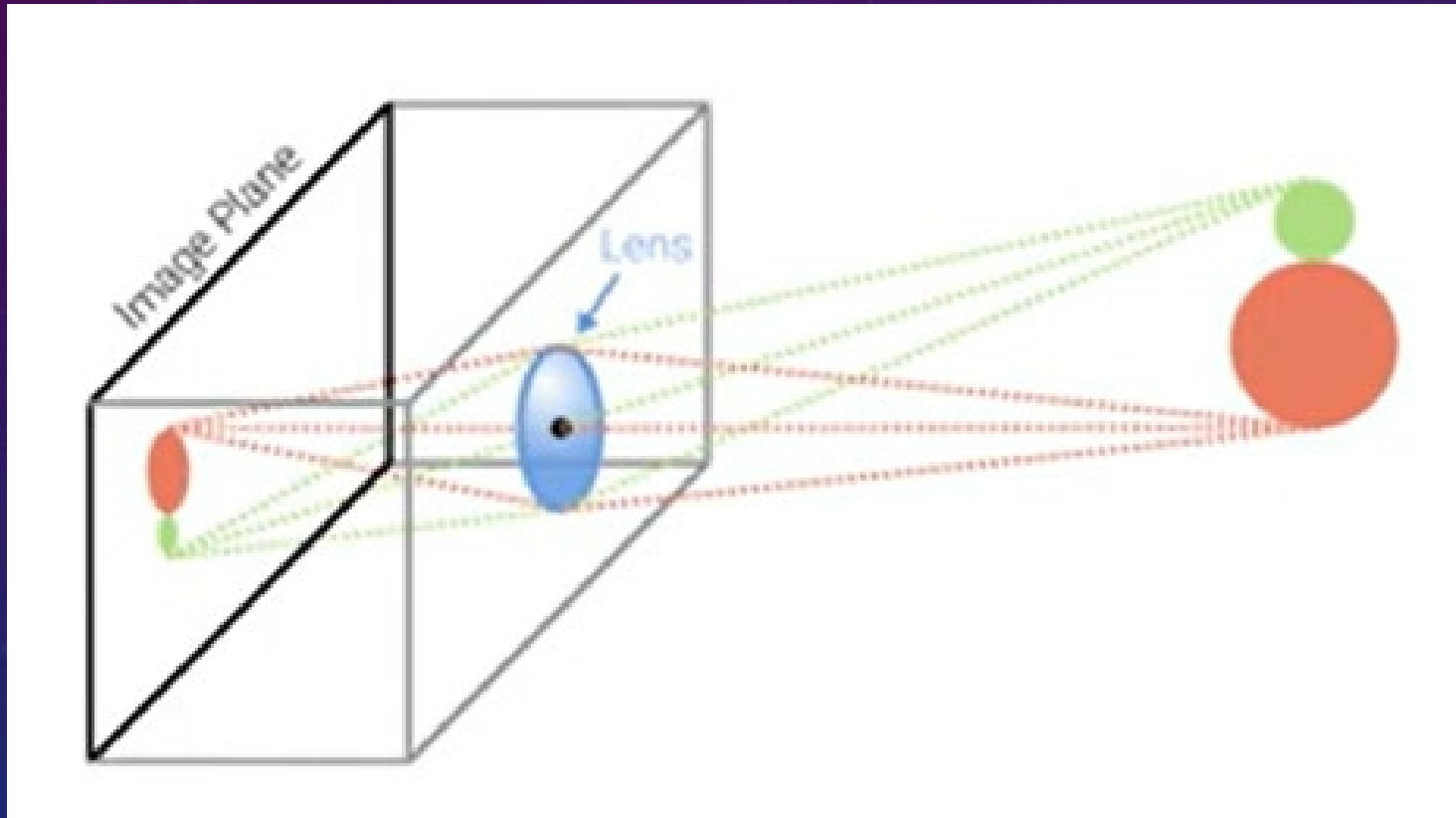


0.15 mm

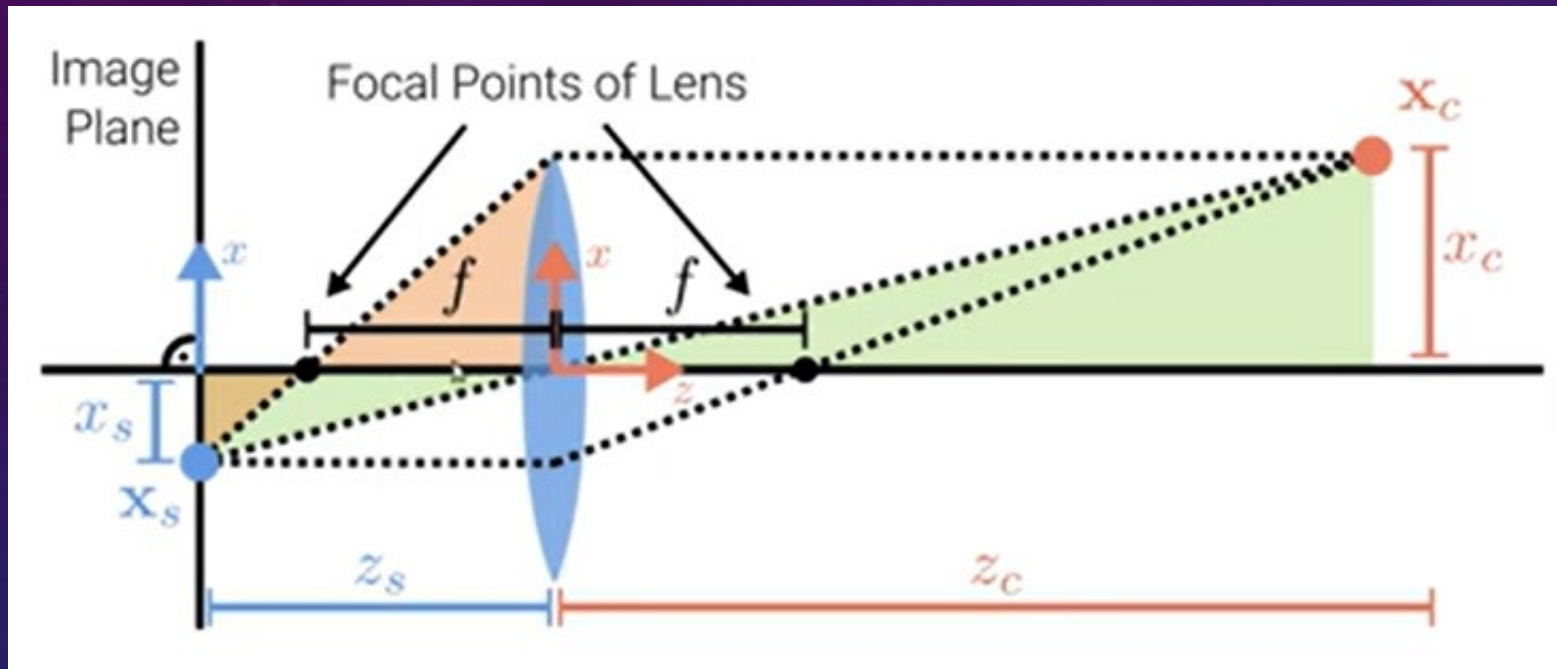


0.07 mm

AHÍ LLEGAN LOS LENTES:



THIN LENS MODEL



$$\frac{x_s}{x_c} = \frac{z_s - f}{f}$$

$$\frac{x_s}{x_c} = \frac{z_s}{z_c}$$

$$\frac{x_s}{x_c} = \frac{z_s - f}{f} \quad \wedge \quad \frac{x_s}{x_c} = \frac{z_s}{z_c}$$

$$\frac{z_s - f}{f} = \frac{z_s}{z_c}$$

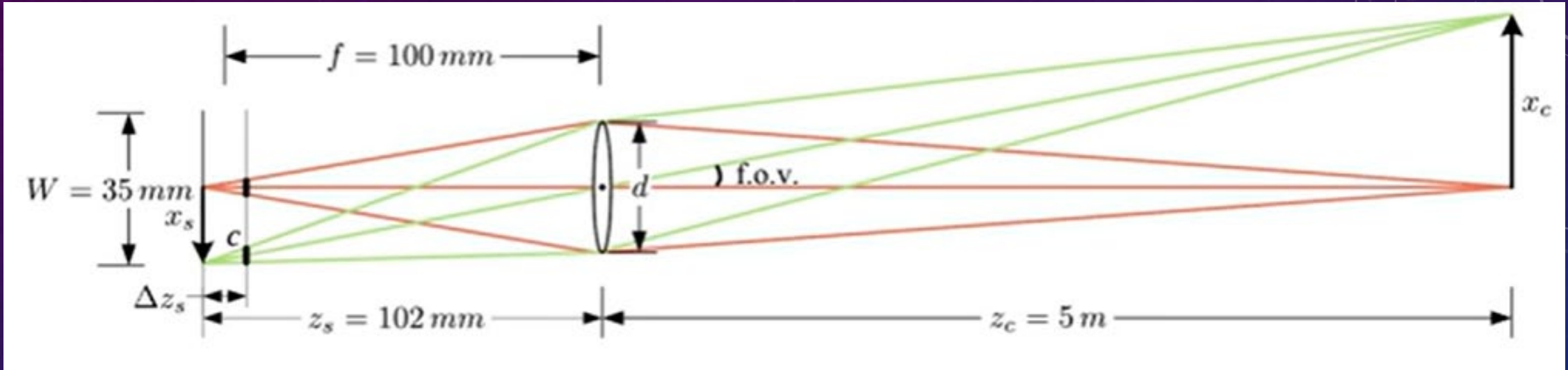
$$\frac{z_s}{f} - 1 = \frac{z_s}{z_c}$$

$$\frac{1}{z_s} + \frac{1}{z_c} = \frac{1}{f}$$

NADA ES GRATIS IGUAL...



DEPTH OF FIELD



1. La imagen está **en foco** si

$$\frac{1}{z_s} + \frac{1}{z_c} = \frac{1}{f}$$

donde f es la distancia focal de la lente.

2. Para $z_c \rightarrow \infty$, obtenemos $z_s = f$.

- Esto ocurre cuando una lente con distancia focal f se aproxima a un orificio estenoico a una distancia f .

3. Si el plano de imagen está **fuera de foco**, un punto 3D se proyecta en el **círculo de confusión** c .

Si la cámara está enfocada en una distancia específica z_f , la imagen se forma exactamente en la posición del sensor z_c , dada por:

$$\frac{1}{z_f} + \frac{1}{z_c} = \frac{1}{f}$$

Cuando un objeto está en una posición diferente $z_s \neq z_f$, su imagen ideal se formaría en una posición z'_c dada por:

$$\frac{1}{z_s} + \frac{1}{z'_c} = \frac{1}{f}$$

Pero como el sensor está fijo en z_c , la imagen no se forma en un punto sino que genera un **círculo de confusión** con diámetro c .

El **círculo de confusión** se produce debido a la diferencia entre la posición real de la imagen z'_c y la posición del sensor z_c . Su tamaño c se obtiene a partir de la semejanza de triángulos:

$$\frac{c}{D} = \frac{|z'_c - z_c|}{z'_c}$$

donde:

- D es el diámetro de la apertura de la lente (relacionado con el número f por $D = \frac{f}{N}$).

Reescribiendo,

$$c = \frac{|z'_c - z_c|}{z'_c} \cdot \frac{f}{N}$$

Esta ecuación nos dice que el desenfoque c aumenta cuando la diferencia entre z'_c y z_c es grande.

$f/1.4$



$f/2.8$



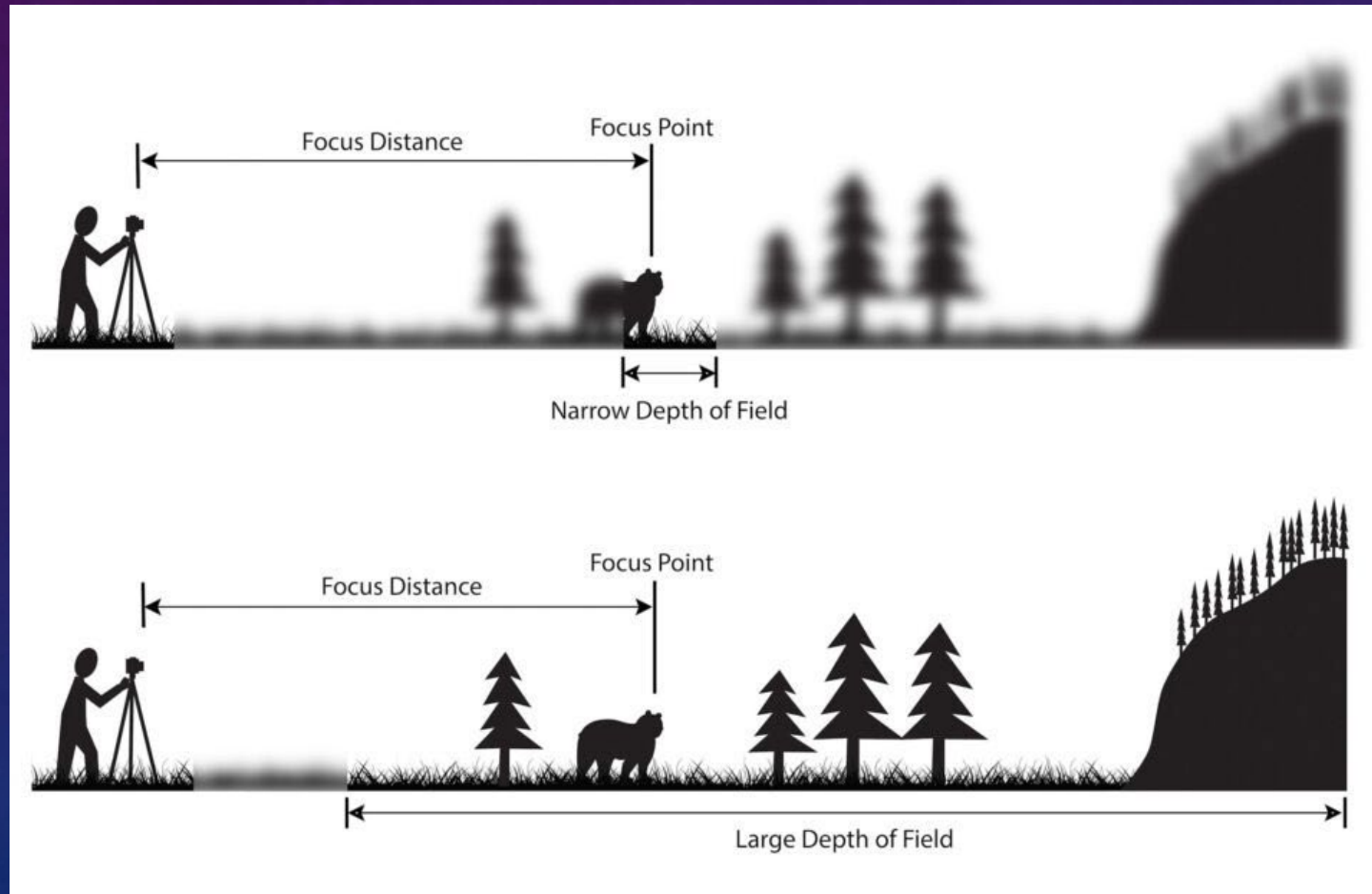
$f/8.0$



- ▶ Para controlar el **tamaño del círculo de confusión**, cambiamos la **apertura** de la lente.
- ▶ Una apertura es un agujero o una abertura a través de la cual viaja la luz.
- ▶ La apertura limita la cantidad de luz que puede alcanzar el plano de la imagen.
- ▶ Aperturas más pequeñas generan imágenes más nítidas, pero con más ruido (menos fotones).

PROFUNDIDAD DE CAMPO (DEPTH OF FIELD, DOF)

La **profundidad de campo** es el rango de distancias de objeto para las cuales el círculo de confusión c se mantiene por debajo de un valor máximo aceptable (llamado c_{\max}).



PROFUNDIDAD DE CAMPO Y DISTANCIA FOCAL



GRAN ANGULAR

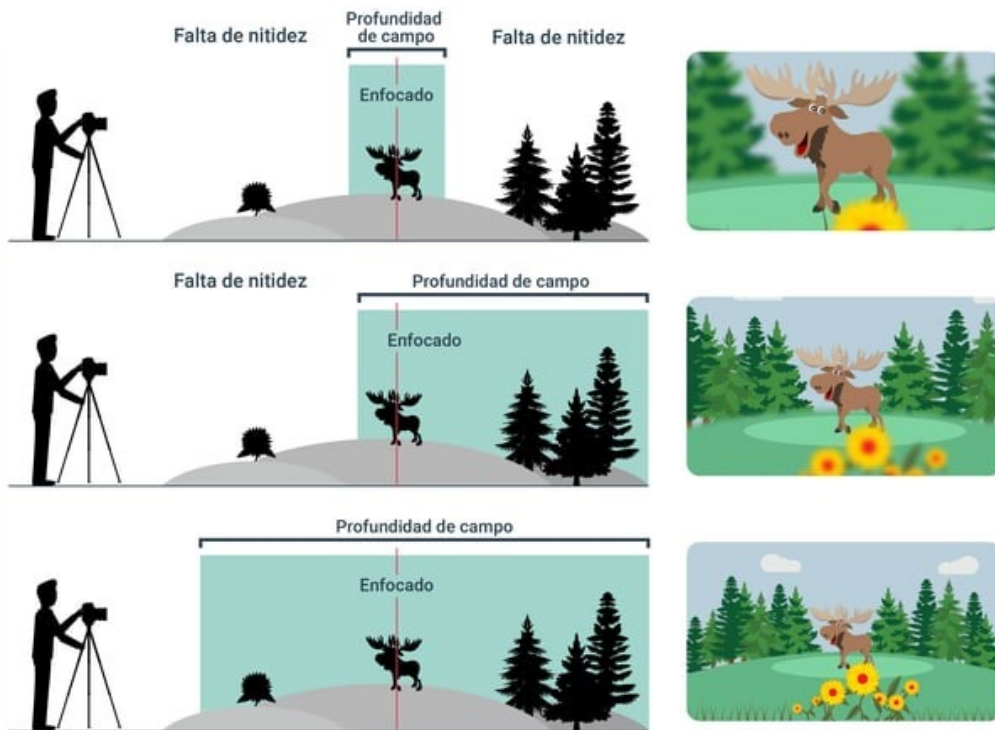
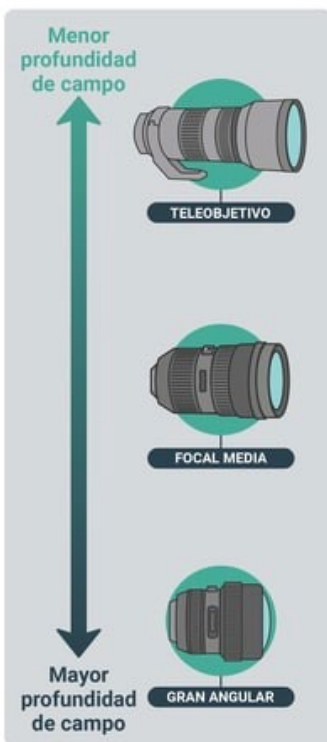


FOCAL MEDIA



TELEOBJETIVO

- Cuanto más corta la longitud focal de la lente, más grande será la profundidad de campo
- Cuanto más larga sea la longitud focal, más estrecha será la profundidad de campo



APERTURA DE DIAFRAGMA

F/1.4



F/2.0



F/2.8



F/4.0



F/5.6



F/8.0



F/11



F/16



PROFUNDIDAD DE CAMPO

Menor
profundidad
de campo



f/2.8

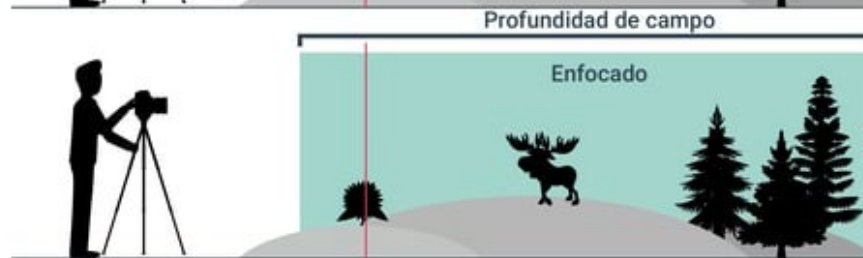


f/5.6

Mayor
profundidad
de campo



f/11



DISTANCIA HIPERFOCAL

La **distancia hiperfocal (H)** es la distancia de enfoque donde la **profundidad de campo (DoF)** se extiende **desde la mitad de esa distancia hasta el infinito**. Es un concepto clave en fotografía y óptica porque nos permite maximizar la cantidad de la escena que aparece enfocada.



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{H} + \frac{1}{z_c} \Rightarrow z_c = \frac{fH}{H-f}$$

Aplicando la fórmula del círculo de confusión para un objeto a infinito:

$$c_{max} = \frac{|z'_c - z_c|}{z'_c} \cdot \frac{f}{N}$$

Dado que $z'_c = f$, se tiene:

$$c_{max} = \frac{|f - z_c|}{f} \cdot \frac{f}{N} = \frac{|z_c - f|}{N}$$

Sustituyendo $z_c = \frac{fH}{H-f}$:

$$|z_c - f| = \frac{fH}{H-f} - f = \frac{fH - f(H-f)}{H-f} = \frac{f^2}{H-f}$$

Por lo tanto,

$$c_{max} = \frac{f^2}{N(H-f)}$$

Resultado Final

$$H = \frac{f^2}{Nc_{max}} + f$$

LÍMITES DE LA PROFUNDIDAD DE CAMPO

$$z_{near} = \frac{z_f(H - f)}{H + (z_f - f)}$$

$$z_{far} = \frac{z_f(H - f)}{H - (z_f - f)}$$

Casos especiales:

- Si $z_f = H$, entonces $z_{far} \rightarrow \infty$, lo que significa que todo más allá de z_f está en foco.
- Si $z_f < H$, entonces z_{far} es finito, indicando que la profundidad de campo es limitada.

aperture N	shutter T	sensitivity (ISO) S	scene brightness B
1.0 large	1 slow	3.1 less sensitive	0.3 low light
1.4	1/2	6.2	0.6
2.0	1/4	12.5	1.3
2.8	1/8	25	2.5
4.0	1/15	50	5.1
5.6	1/30	100	10.2
8.0	1/60	200	20.4
11.3	1/125	400	40.7
16.0	1/250	800	81.5
22.6	1/500	1600	163.0
32.0	1/1000	3200	326.0
48.0 small	1/2000 fast	6400 more sensitive	652.0 high light

exposure equation: $T = \frac{N^2}{SB}$



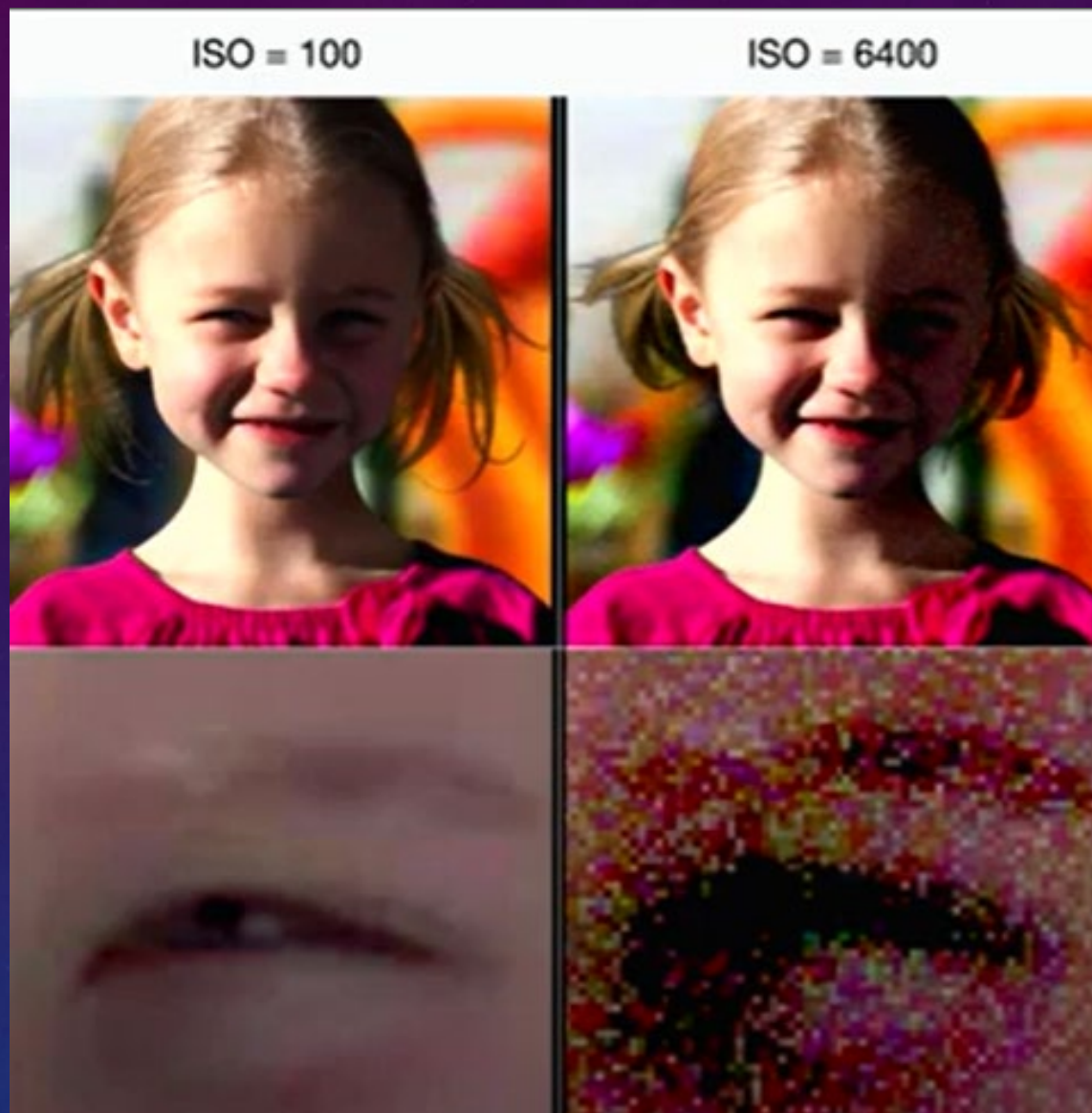
small aperture + long shutter



large aperture + short shutter

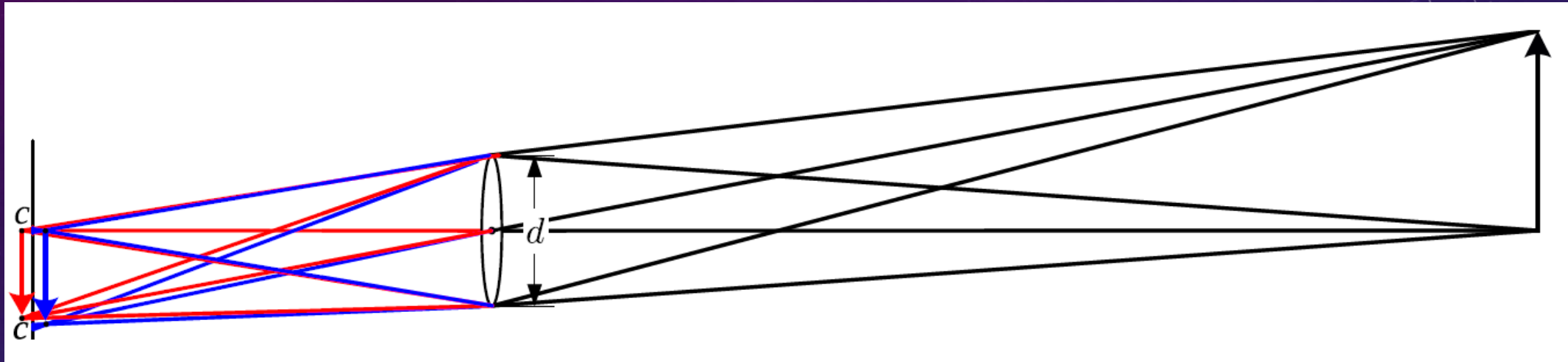


Fuente: Hany Farid - Berkeley



Fuente: Hany Farid - Berkeley

ABERRACIÓN CROMÁTICA:



- El índice de refracción del vidrio varía ligeramente en función de la longitud de onda.
- Por lo tanto, las lentes simples sufren de aberración cromática, que es la tendencia de la luz de diferentes colores a enfocarse a distancias ligeramente diferentes (desenfoque, cambio de color).
- Para reducir la aberración cromática y otros tipos de aberraciones, la mayoría de los lentes fotográficos son lentes compuestos hechos de diferentes elementos de vidrio (con diferentes recubrimientos).