

Notas para un curso
Macro fotografía

Paco Rosso, ([AFP CEDRO](#))

Original:15/11/08 - Versión:06/01/09

* * *

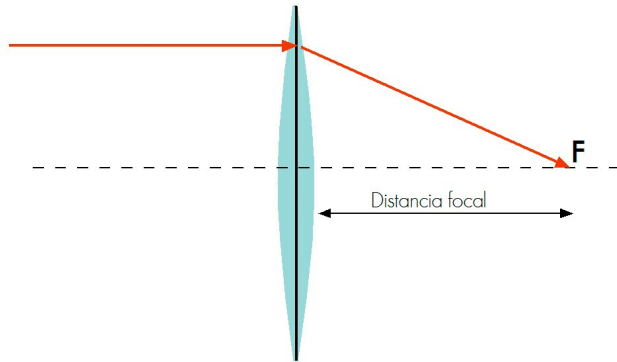
Índice de contenido

# 1Potencia y longitud focal.....	3	# 15Efectos del tiraje.....	11
Relaciones de tamaños.....	3	# 16Pérdida de luminosidad.....	12
Ley de Gauss de las lentes.....	4	# 17Pérdida de luz mediante el tiraje.....	12
# 2Fotogrametría (muy) básica.....	5	# 18Corrección de exposición para la pérdida por tiraje.....	12
# 3Distancia mínima de enfoque.....	6	# 19Corrección de la pérdida mediante el diafragma.....	13
# 4La aberraciones.....	8	# 20Corrección de la pérdida mediante el tiempo de exposición	13
# 5Definición.....	8	13
# 6Problemas del macro.....	8	# 21Cambio de la distancia de enfoque.....	14
# 7Técnicas de aproximación.....	9	# 22Resumen de las correcciones:.....	14
# 8Objetivos macros.....	9	# 23Profundidad de campo.....	15
# 9Anillas de extensión.....	10	# 24Profundidad de campo.....	15
# 10Fuelles.....	10	# 25Profundidad de foco.....	15
# 11Las lentes de aproximación.....	10	# 26Distancia hiperfocal.....	16
# 12Objetivos invertidos.....	11	# 27Distancia hiperfocal en cámaras con anillo de diafragma.	16
# 13La relación de ampliación.....	11	# 28Cálculo de la profundidad de campo a partir de la distancia	17
# 14Relación de ampliación y distancia de enfoque.....	11	hiperfocal.....	17

Recordatorio de óptica

1 Potencia y longitud focal

EL OBJETIVO IX



Potencia 1

-La potencia es la magnitud caracteriza a una lente.

-Su unidad es la dioptría.

-La dioptría es la inversa de la distancia focal cuando se expresa en metros (no en milímetros)

$$\text{Potencia} = \frac{1}{\text{Distancia focal}}$$

EJEMPLO: Un objetivo de 50mm tiene 0,05 metros de distancia focal y 20 dioptrías.

Relaciones de tamaños

Si suponemos que el objetivo puede asimilarse a una sola lente delgada entonces los puntos nodales anterior y posterior de la lente se confunden en uno solo que llamamos *centro óptico* y que fotográficamente equivale al estenopo de la cámara oscura, el punto por el que se proyecta la imagen. En este esquema ideal el ángulo de entrada de la luz es igual al ángulo de salida por lo que puede establecerse una relación sencilla entre la longitud de la figura, la distancia de la figura a la lente, la distancia de la lente a la imagen y el tamaño de la imagen. Como en el centro óptico se realiza la proyección, éste es el punto de contacto de dos triángulos semejantes cuyos catetos son respectivamente: la distancia figura-lente y el tamaño de la figura en el triángulo exterior y la distancia lente-película y tamaño de la imagen de la figura en el triángulo interior.

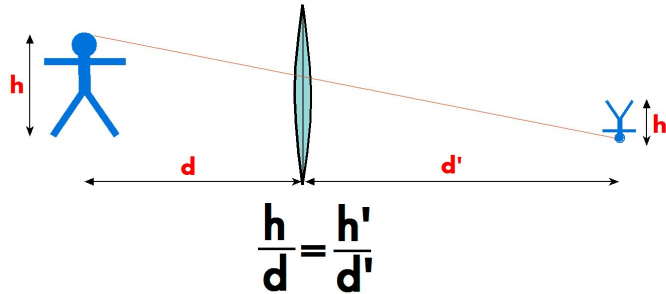
EL OBJETIVO IV

EL OBJETIVO XIX

Ecuaciones de una lente

Suponiendo la lente como equivalente a un estenopo, los rayos de luz se proyectan a través suya según una recta. Por tanto la pendiente de esta recta es la misma por delante que por detrás del estenopo.

está formado por un plano y un punto y curvo.



La proporción entre la altura y la distancia a la lente es constante

Como los ángulos en el centro óptico son iguales las tangentes de los ángulos también lo son por lo que la división de la altura de la figura entre la distancia de la figura a la lente es igual que la división entre la altura de la imagen de la figura y la distancia entre la lente y la película. Es decir:

$$\frac{h}{d} = \frac{h'}{d'}$$

Donde h es la altura de la figura, d la distancia de la figura a la lente, h' la altura de la imagen de la figura (la correspondiente a h) y d' la distancia de la lente a la película.

Recordemos que esta distancia d' no es la de la lente posterior hasta la película, sino la del centro óptico a la película.

Como hemos definido antes, la magnificación (la ampliación) es:

$$m = \frac{h'}{h}$$

Y por tanto:

$$m = \frac{d'}{d}$$

Cuando enfocamos a infinito la distancia de la lente a la imagen es la longitud focal del objetivo. Es decir, la h' es la distancia focal del objetivo.

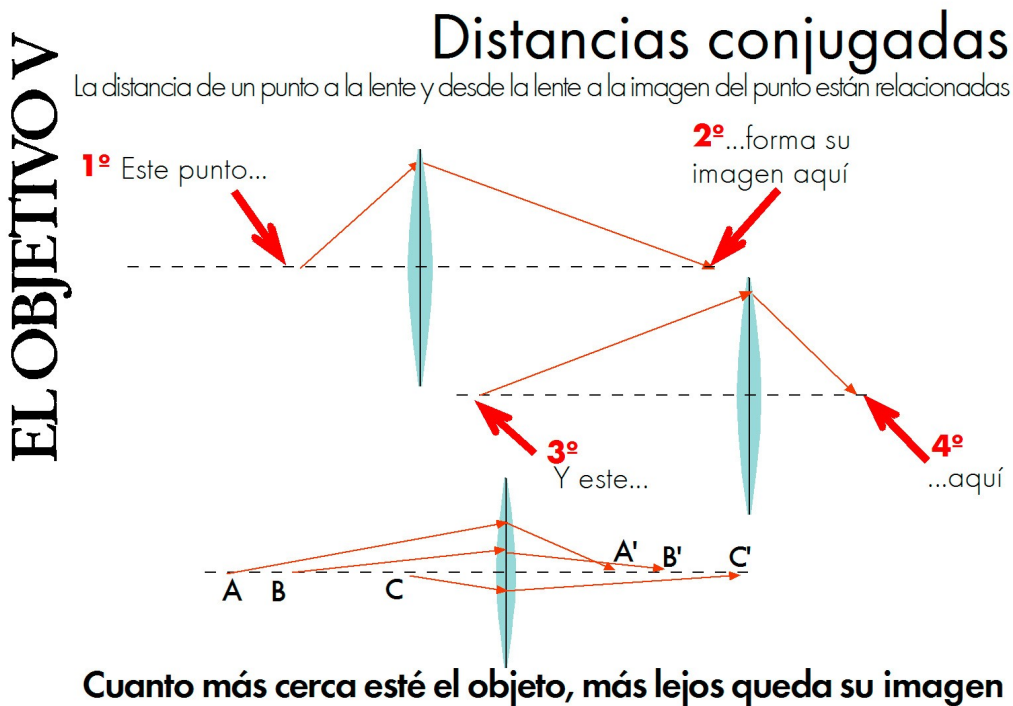
Ley de Gauss de las lentes

La relación entre la longitud focal del objetivo y las distancias figura-lente y lente-

película que se conoce como *ley de Gauss de las lentes* y que dice que la potencia de una lente es:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

Donde F es la longitud focal, d es la distancia de la figura a la lente (la distancia a la que enfocamos), d' es la distancia de la lente a la película. La potencia se mide en dioptrías, y su inversa se llama *longitud focal* que, como todas las longitudes se mide en metros y es la F del denominador de la fórmula. Naturalmente nosotros no usamos el metro para esta magnitud, sino el milímetro. La fórmula anterior nos dice que cuanto más lejos enfocamos, más acercamos la lente a la película. Cuando más cerca enfocamos más lejos hay que colocar la lente de la película.



2 Fotogrametría (muy) básica

La ley de Gauss de las lentes relaciona la longitud focal del objetivo con su distancia a la figura enfocada y a la cámara. Simplificadamente la ley de Gauss se escribe así:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

Donde F es la longitud focal del objetivo, d la distancia del punto enfocado de la escena al centro óptico de la escena y d' la que va del centro óptico a la película.

Si el objetivo estuviera constituido por una sola lente delgada el centro óptico sería el de esta lente.

Si el ángulo abarcado desde el objetivo sobre la escena fuera igual al ángulo cubierto por el objetivo sobre el fotograma -algo que sucede con una cámara estenopeica o con un objetivo de lente delgada- en este caso podemos relacionar fácilmente los tamaños en longitud de un objeto, de su imagen y de la distancia entre el objeto y la lente y ésta y la película.

Dado que los ángulos desde el objetivo en ambas direcciones son iguales podemos escribir:

$$\frac{h}{d} = \frac{h'}{d'}$$

Donde h es la altura del objeto, h' la de su imagen, d la distancia del objeto al objetivo y d' del objetivo a la imagen.

De ambas ecuaciones podemos deducir que:

$$\frac{h'}{h} = \frac{d'}{d}$$

Esta relación entre la altura de la imagen y la del objeto que la produce es muy importante, tanto que tiene nombre propio, se llama *ampliación* y suele escribirse con la letra a o la M . Aquí emplearemos la a .

Cuando enfocamos a infinito, la distancia d es la longitud focal del objetivo, por tanto:

$$\text{Tamaño del objeto} = \frac{\text{Distancia del objetivo al objeto} \cdot \text{altura de la imagen del objeto}}{\text{Longitud focal}}$$

3 Distancia mínima de enfoque

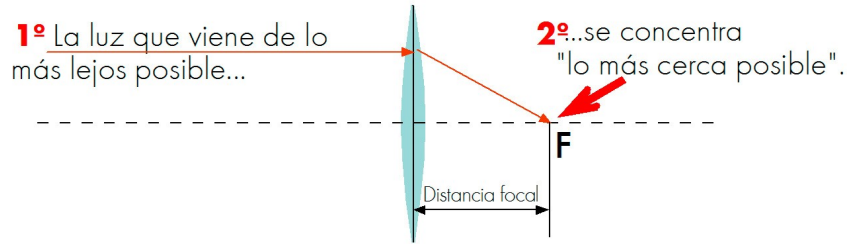
La luz que viene paralela al eje de visión se enfoca a una distancia de la lente igual a la longitud focal. Conforme acercamos la escena su imagen se enfoca cada vez más lejos de la lente. En el límite cuando la escena está a una distancia de la lente igual a su longitud focal la imagen se forma “en el infinito”. Esto establece una posición límite para el enfoque: un objetivo no puede enfocar a menos distancia que su longitud focal. Un 50mm no enfoca a menos de 50mm del objetivo, un 135mm no enfoca a menos de 135mm del objetivo. En fotografía, la distancia de enfoque que marca la cámara no es la distancia de la escena enfocada al objetivo

sino a la película.

EL OBJETIVO VI

Distancia focal

Si al alejarse de la lente el punto de la escena se acerca a la lente el punto de la imagen ¿Cuales son los límites para las distancias objeto-lente y lente-imagen?

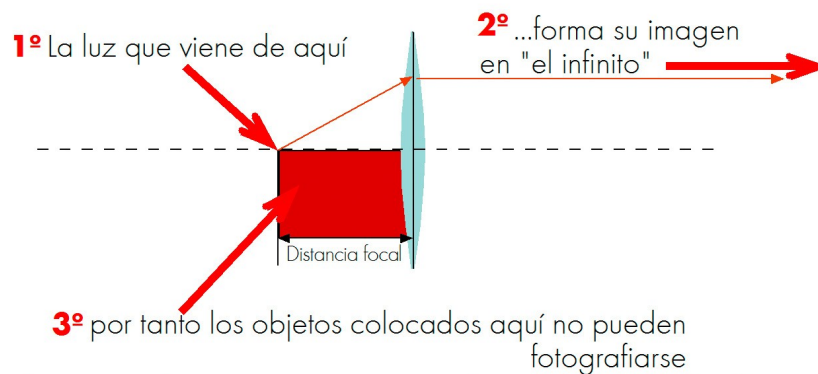


DISTANCIA FOCAL: La que hay de la lente al foco

EL OBJETIVO VII

Distancia focal

Cuanto más cerca de la lente está el punto del objeto, más lejos queda su imagen ¿Cuales son los límites para las distancias objeto-lente y lente-imagen?



No podemos enfocar puntos que estén a menos de la distancia focal por delante de la lente.

4 La aberraciones

Una lente tiene un comportamiento que se aleja de lo ideal. Este distanciamiento se clasifica en cinco “aberraciones”. Las aberraciones son: esférica, coma, cromática, distorsión de barrilete, distorsión de cojín y astigmatismo.

Cuando una lente tiene una aberración muy marcada la corregimos añadiendo otra lente que tenga un efecto contrario (poco más o menos), así nacen los objetivos. Al añadir lentes para corregir un efecto pueden aparecer otros, por lo que la construcción de un objetivo es un juego complicado en el que cada acción que se tome afecta a todo lo realizado anteriormente. Por eso los objetivos fijos suelen tener más calidad que los zooms, porque al estar las lentes montadas de una manera única podemos meter en cintura las aberraciones, cosa que no sucede con los objetivos de focal variable ya que cambiar las lentes de posición relativa entre si modifican los ajustes y las correcciones de las aberraciones. Razón para decir que los objetivos variables con factores pequeños (de 3 a 5) tienen más calidad que los de factores grandes (los populares x10 y x12 de los kits de aficionado).

Los objetivos se calculan realizando una serie de simplificaciones matemáticas que se traducen en que las fórmulas empleadas normalmente son válidas para distancias de enfoque de 10 veces la distancia focal. A menores distancias las matemáticas del cálculo del objetivo se complican y no las que se emplean normalmente fallan, por lo que si bien puede garantizarse la calidad teórica de un objetivo a distancias de enfoque grandes no puede hacerse lo mismo con el enfoque a menos de estas 10 distancias focales. Esta es la principal razón de que existan objetivos macro y objetivos “normales” no macro.

Macro fotografía

5 Definición

Macro fotografía es, estrictamente hablando, aquella en la que la imagen del objeto es mayor, en longitud, que la propia del objeto. A la hora de la verdad llamamos macro fotografía a aquella en la que la imagen es aproximadamente igual que el objeto en tamaño.

Microfotografía es la fotografía en la que el motivo son objetos de tamaño microscópico. Según la definición anterior toda micro fotografía es también macro aunque establecemos la diferencia en la necesidad, para la micro, de emplear un microscopio.

A parte de lo dicho, por macro en realidad entendemos la fotografía a distancias muy cortas.

6 Problemas del macro

Los objetivos están fabricados de manera que enfoquen a distancias grandes. Típicamente a diez o más veces su longitud focal. Las aproximaciones matemáticas que se estudian las lentes solo tienen en cuenta los rayos de luz que entran paralelos al eje de la lente o con poco ángulo, sin embargo la luz que entra con ángulos grandes en el objetivo descuadran los cálculos. Las figuras muy cercanas a la cámara arrojan su luz con ángulos grandes, por lo que no encajan bien en los cálculos simplificados usuales. Como resultado, los objetivos no están preparados para enfocar a corta distancia, precisamente el reino de la fotografía macro.

Por tanto si queremos hacer una fotografía a corta distancia de calidad necesitamos objetivos fabricados ex-profeso para enfocar a corta distancia.

Para enfocar a corta distancia hay que alejar el objetivo de la película. Cuanto más lejos la lente de la película, más cerca enfocamos. Pero la luminosidad de un objetivo depende de la posición del objetivo. Cuanto más lejos está de la película, menos iluminancia produce en el interior de la cámara. El número f es, por definición, el diámetro de la mancha de luz en el centro óptico de la lente equivalente al objetivo dividida entre la longitud focal del objetivo, pero la iluminancia depende del cuadrado del número f . Por tanto, al enfocar a corta distancia el número f se hace más oscuro. Al enfocar a corta distancia perdemos luz.

La profundidad de campo es menor cuanto menor sea la distancia de enfoque. Por tanto en macro vamos a tener problemas, que pueden llegar a ser muy serios, de enfoque. Un cambio pequeño en la posición de la cámara, por ejemplo el debido al temblor de la mano, hace que se pierda el enfoque.

7 Técnicas de aproximación

Para enfocar a corta distancia hay que alejar el objetivo de las lentes o cambiar su longitud focal.

Las soluciones que podemos encontrar en el mercado para alejar el objetivo de la película son:

1. Anillas de extensión.
2. Fuelles de extensión.

Las soluciones para modificar la longitud focal son:

1. Lentes de aproximación.
2. Inversión del objetivo.

8 Objetivos macros

Un objetivo macro es un objetivo fabricado de manera que ofrezca su mejor rendimiento en distancias cortas, presenta menos aberraciones a distancias de enfoque cortas que otro no fabricado como macro. Esto significa que por alejar un

objetivo “normal” no conseguimos que mejore su comportamiento a corta distancia, solo conseguimos que enfoque objetos cercanos.

9 Anillas de extensión

Son unos anillos que se intercalan entre el objetivo y el cuerpo de la cámara alejándolos. Normalmente se encuentran en juegos de 3 anillos de diferente tamaño. Como los anillos pueden montarse unos con otros tenemos varias longitudes de extensión fijas.

Un anillo de extensión no hace que un objetivo que no sea macro se convierta en macro. Por tanto lo apropiado es emplear los anillos con objetivos macro. Es decir, con objetivos pensados para enfocar a corta distancia.

Las anillas son rígidas, por tanto son duras y tienen bastante resistencia mecánica. Como separan el objetivo del cuerpo desconectan ambos mecánica y eléctricamente. En cámaras manuales esto solo afecta a la transmisión del diafragma, pero en cámaras autofocus y automáticas también se ven afectados los sistemas automáticos. Las anillas de marcas baratas, como kenko, pueden dar problemas con cámaras que exigen la conexión eléctrica. Una buena anilla que mantenga las transmisiones mecánicas y eléctricas son más caras que las que no las mantienen.

Sobre la pérdida de luz de las anillas y la variación de la relación de ampliación hablamos más adelante en otro epígrafe.

10 Fuelles

Los fuelles se intercalan también entre la cámara y el objetivo pero a diferencia de las anillas no producen alargamientos fijos. Los fuelles dan extensiones continuas y graduables.

Los fuelles son bastante más caros que las anillas, más engorrosos y menos resistentes. Normalmente tienen una tabla de cálculo que indica la pérdida de luz para cada relación de ampliación.

11 Las lentes de aproximación

Son lentes de potencia positiva (convergentes) que se colocan delante del objetivo y que modifican su longitud focal permitiéndonos acercarnos más a los objetos.

Una lente de aproximación es la solución más barata para conseguir el macro pero no convierte a un objetivo normal en uno de este tipo. Una lente de aproximación modifica el comportamiento del objetivo y por regla general empeora sus aberraciones. Su ventaja es que apenas modifica la luminosidad del objetivo.

Sobre cómo afecta a la relación de ampliación hablaremos más tarde.

12 Objetivos invertidos

La inversión del objetivo es una solución que suele proporcionar buena calidad de imagen. Los objetivos forman la imagen a corta distancia por detrás de ellos, por tanto si les damos la vuelta su comportamiento, para enfocar a corta distancia, es bastante mejor que a distancias normales. Para invertirlos pueden adquirirse unas *anillas de inversión* que consiste en unos adaptadores de poco grosor que se roscan en la montura de los filtros del objetivo y se montan en la bayoneta del cuerpo. Naturalmente esta forma de trabajar desconecta el objetivo y la cámara.

La pérdida de luz es mínima y las aberraciones no empeoran.

13 La relación de ampliación

La principal característica de la fotografía macro es la *relación de ampliación* que es la proporción que guarda una dimensión lineal de la imagen de un objeto con la misma dimensión en el objeto. Es decir, el número de veces que la imagen es mayor que el objeto. Por ejemplo, si el objeto mide 10mm y la imagen correspondiente mide 5 milímetros la relación de ampliación es 5:10. Es decir, 1:2.

Siempre es: tamaño de la imagen dividido entre el tamaño del objeto.

$$m = \frac{\text{imagen}}{\text{figura}}$$

14 Relación de ampliación y distancia de enfoque

La relación de ampliación es el tamaño de la imagen entre el de la figura, pero cuando enfocamos a infinito la relación de ampliación es

$$m = \frac{F}{d}$$

Es decir, la longitud focal el objetivo dividida entre la distancia de la figura al centro óptico de la lente. Como la distancia más corta a la que se puede enfocar es la longitud focal, en estas condiciones si enfocamos a infinito la relación de ampliación es 1:1. Es decir, que el tamaño de la imagen es igual que el de la figura.

Pueden conseguirse ampliaciones mayores que 1:1 (La imagen mayor que la figura) siempre que alejemos el objetivo de la posición de enfoque a infinito.

15 Efectos del tiraje

Se llama tiraje a la medida en que el objetivo se aleja de la cámara cuando utilizamos una anilla de extensión o un fuelle.

El tiraje tiene dos efectos:

1. Pérdida de diafragma. Cuando alejamos el objetivo perdemos luz, el diafragma que marca el objetivo no es el real sino que se hace más grande.

2. Reducción de la distancia mínima de enfoque. Al alejar el objetivo del podemos enfocar a menos distancia.

16 Pérdida de luminosidad

La luminosidad de un objetivo depende de la distancia del centro óptico a la película. Cuanto más lejos esté el objetivo, menos luz proporciona a la imagen. Si el objetivo se aleja el doble en una posición que en otra la iluminancia que se produce en el interior de la cámara es cuatro veces menor, dos pasos. Puede decirse que la película ve la luz como si fuera un foco puntual colocado en la posición del nodo trasero del objetivo, es decir, que sigue una ley semejante a la inversa del cuadrado de la distancia: al alejar el centro óptico trasero la luz se reduce en un factor que depende del cuadrado de la distancia, no lineal. Esto significa que al utilizar anillas o fuelles tenemos una fuerte pérdida de iluminación en cámara, por lo que el número f indicado en el objetivo no es real sino que estamos empleando un valor mucho mayor.

El número f realmente empleado depende por tanto de la distancia del centro óptico a la película. Normalmente no conocemos la posición exacta del centro óptico pero si conocemos lo que se ha movido porque las anillas de extensión tienen anchos fijos y en los fuelles siempre tenemos una guía que nos dice cuanto fuelle metemos. Aunque no es fácil conocer la nueva posición del centro óptico podemos conocer la pérdida de luz por un procedimiento indirecto que consiste en emplear el factor de ampliación, ya que la ampliación relaciones dos pares de cosas: el tamaño del objeto y el de su imagen por un lado y la distancia del centro óptico a la película y la del centro óptico al objeto. Por tanto la ampliación es un camino indirecto para solucionar el problema de conocer cuanta luz perdemos al hacer un tiraje,

17 Pérdida de luz mediante el tiraje

La luminosidad real del objetivo (el diafragma real) al realizar el tiraje es:

$$f_{real} = \frac{tiraje + focal}{focal} \cdot f_{ajustado}$$

Donde f real es el diafragma que realmente estamos utilizando. Tiraje es el tamaño de la anilla de extensión, en milímetros, Focal es la distancia focal del objetivo.

Por ejemplo, un objetivo de 50mm al que hemos ajustado un diafragma f:8 y una anilla de extensión de 12mm tiene un diafragma real de:

$$f_{real} = \frac{50 + 12}{50} \cdot 8 = 10$$

El diafragma ajustado de f:8 en realidad ha aumentado hasta f:10.

18 Corrección de exposición para la pérdida por tiraje

La medición dada por el fotómetro de mano debe por tanto compensarse para recuperar la pérdida introducida por la extensión del objetivo. Hay por tanto dos acciones correctoras: abrir más el diafragma o aumentar el tiempo de exposición en la misma cantidad que hemos perdido.

19 Corrección de la pérdida mediante el diafragma

Dado que podemos calcular la luminosidad real del objetivo al realizar el tiraje tan solo hemos de abrir el diafragma tantos puntos como hayamos perdido. En el ejemplo anterior en el que un diafragma ajustado en cámara de f:8 se reducía a un f:10, es decir, dos tercios de paso, solo hemos de abrirlo esos mismos dos tercios de paso. Esto es, ajustar un f: 6.3.

Pero hay dos problemas con esta técnica:

1. Puede que el objetivo no disponga de ese diafragma. Esto sucede especialmente en cámaras de gran formato donde las aberturas máximas vienen a ser de f:5,6 (objetivos caros) o f:8 (objetivos baratos).
2. Cuando el diafragma está condicionado por la profundidad de campo. Un efecto secundario del diafragma es que establece la profundidad de campo. El diafragma final que usamos debe ser el calculado para la profundidad de campo requerida, no el determinado para la iluminación. En el ejemplo, si queremos la profundidad de campo de un f:8 hemos de ajustar un f:6,3 no un f:8.

20 Corrección de la pérdida mediante el tiempo de exposición

Si queremos reajustar la exposición manteniendo la luminosidad del objetivo y cambiando el tiempo de exposición nos fijamos en el *factor de fuelle* que es el factor por el que tenemos que multiplicar el tiempo de exposición inicial para conocer el que vamos a ajustar. Recordemos que este tiempo de obturación inicial es el que hemos determinado que debemos emplear al realizar la medición con el fotómetro.

En general, dado un factor de ampliación a el factor de fuelle es:

$$ff = (1 + a)^2$$

Una guía para la modificación es la siguiente:

Relación de ampliación	25% (1:4)	50% (1:2)	100% (1:1)	150% (1,5:1)	200% (2:1)	300% (3:1)
Factor de fuelle	1,6	2,2	4	6,5	9	16

Por ejemplo, queremos realizar una fotografía macro con una relación de ampliación 1:4. El tiempo de obturación medido es de 1/60 de segundo. Para

compensar la pérdida debemos emplear un tiempo de obturación de $1/37,5$, que es aproximadamente $1/40$.

(En una calculadora deberíamos hacer lo siguiente: primero dividir el multiplicador de la tabla por el denominador del tiempo de obturación, que es

como normalmente hablamos, en este caso 60: $\frac{1}{60} \cdot 1,6 = 0,027$. Ahora

dividimos uno entre el número indicado, en una calculadora deberíamos buscar la tecla que dice $1/x$. En este caso nos da: 37.5 Por tanto el tiempo de obturación sería de $1/37.5$ que es aproximadamente $1/40$, el ajuste más cercano de la cámara).

21 Cambio de la distancia de enfoque

Al añadir una anilla o un fuelle modificamos la distancia de enfoque a un nuevo valor que vale:

REVISAR LOS CALCULOS

Aunque decimos que hemos cambiado la distancia mínima de enfoque hay que entender esta frase. La distancia mínima, realmente, no podemos modificarla porque está determinada por la longitud focal del objetivo y ésta no cambia por alejarlo de la cámara. Por tanto por “cambio de la distancia mínima de enfoque” debemos entender que es la distancia a la que podemos aproximarnos por haber extendido el objetivo.

Es decir. Un objetivo de 50mm no puede enfocar a menos de 100mm por las razones explicadas anteriormente. Sin embargo, si la distancia marcada en el objetivo es de, por ejemplo, 25cm, al añadir una anilla de 12mm cambiamos esta distancia de enfoque a:

22 Resumen de las correcciones:

Cuando estamos fotografiando con una anilla de extensión (o un fuelle) de un tamaño determinado (tiraje) y un objetivo de longitud focal dada:

1. Ampliación desde el tiraje: $ampliación = \frac{tiraje}{focal}$
2. La distancia del objetivo a la película cambia a:
 $d' = (1 + ampliación) focal$
3. El diafragma real es: $f_{real} = f_{ajustado} (1 + ampliación)$
4. El factor de fuelle (factor de exposición) es: $ff = (1 + ampliación)^2$
 $ff = \left(\frac{tiraje + focal}{focal} \right)^2$
5. Cambio de la distancia de enfoque:

23 Profundidad de campo

$$pdc = \frac{2 \cdot c \cdot f \cdot (a+1)}{a^2}$$

24 Profundidad de campo

Hagamos un experimento mental. Dibuja un punto pequeño en una hoja de papel y piensa en lo que sucede cuando lo enfocas con tu cámara. Del punto salen rayos de luz en todas las direcciones, algunos de ellos llegan hasta nuestro objetivo, con lo que se crea un cono de luz cuyo vértice es el punto que has dibujado y tiene por base la lente frontal del objetivo. Esta luz que llegado hasta la óptica penetra en la cámara proyectándose a través del punto nodal posterior que puedes es el equivalente del estenopo, el agujero de la caja de zapatos con que hacemos la cámara estenopeica. En definitiva, tienes que la luz que sale del punto dibujado queda concentrada por el objetivo que la proyecta sobre la película. Los rayos de luz forman entonces un cono desde el objetivo hasta la película pero invirtiendo las relaciones de la figura. Ahora la base del cono interior a la cámara está en el objetivo y el vértice queda en la superficie de la película.

Imaginalo: la luz saliendo del punto que has dibujado en el papel y llegando hasta el objetivo y desde ahí volviéndose a concentrar sobre la película ¿Que pasa más allá de la película? ¿Que pasaría si no hubiera película en el fondo de la cámara? La luz en el interior de la cámara se concentra desde el objetivo más y más hasta formarse un punto y sigue más allá volviéndose a abrir, como un diábolo. ¿Que pasa si no colocar la película exáctamente en el lugar donde la luz se concentra? Sucedería que en vez de cortar un punto cortaría un círculo. No tendrías un punto en la película sino una mancha más o menos grande.

$$d = f(1+a)$$

$$d' = f\left(1 + \frac{1}{a}\right)$$

$$pc = \frac{2 \cdot c \cdot f \cdot (1+a)}{a^2}$$

25 Profundidad de foco

Así como en la escena hay un espacio en profundidad que queda (más o menos) enfocado alrededor de la distancia a la que hemos enfocado la cámara también hay una zona, dentro de la cámara, dentro de la que la imagen queda (más o menos) nítida. Este espacio es del que disponemos para colocar el material sensible.

La profundidad de foco es mayor cuanto menor es la distancia focal y cuanto mayor

es el diafragma. Con aperturas bajas (números f pequeños) la profundidad de foco puede ser tan pequeña que incluso sea menor que el espesor de la película. En estos casos las tolerancias mecánicas de fabricación del sistema de posición del material sensible juega en nuestra contra, dándose el caso de que los sensores de estado sólido pueden quedar desenfocados con diafragmas amplios y enfocados cuando diafragmamos.

26 Distancia hiperfocal

La distancia hiperfocal es aquella más corta a la que hay que enfocar el objetivo para que el espacio enfocado se extienda hasta infinito. Sin que sea evidente la distancia desde la cámara hasta el punto enfocado más cercano es la mitad de la hiperfocal.

Así si la distancia hiperfocal es de, por ejemplo, tres metros significa que el espacio enfocado se extiende desde metro y medio hasta el horizonte. Si la hiperfocal es de cinco metros, el espacio enfocado va desde los dos y medio hasta infinito.

La distancia hiperfocal puede determinarse mediante esta ecuación:

$$H = \frac{F^2}{c \cdot f}$$

Donde F es la distancia focal del objetivo. C el diámetro del círculo de confusión en el fotograma y f el número f de luminosidad.

Cuanto más largo sea el objetivo, más lejos estará la hiperfocal. Cuanto más cerrado sea el diafragma, más cercana. Si por ejemplo un objetivo a tiene una hiperfocal de cuatro metros con un diafragma f:8 al cerrar a f:11 la hiperfocal se hará la mitad -dos metros- y si abrimos a 5,6 será el doble -ocho metros-.

27 Distancia hiperfocal en cámaras con anillo de diafragma

Las cámaras que tienen anillo de diafragma y marcas de enfoque permiten ajustar la distancia hiperfocal y la profundidad de campo con unas sencillas operaciones.

Las anillas de estos objetivos son tres, dos móviles y una fija. Las móviles son una para enfocar, marcada en metros (y pies), y otra para el diafragma. La anilla fija tiene escritos los números f de forma simétrica a partir del centro y alrededor de la marca de enfoque.

Para conocer la distancia hiperfocal para un diafragma ajustamos éste y colocamos el anillo de enfoque de manera que

28 Cálculo de la profundidad de campo a partir de la distancia hiperfocal

Si llamamos H a la distancia hiperfocal y a la distancia a la que enfocamos d.

El punto más cercano enfocado es:

$$CERCA = \frac{H \cdot d}{H + (d - F)}$$

Mientras que el punto más lejano enfocado es:

$$LEJOS = \frac{H \cdot d}{H - (d - F)}$$

Como por regla general la distancia de enfoque es mucho más grande que la distancia focal normalmente podemos despreciar el objetivo y calcular suponiendo que F es cero.

Estas fórmulas se han determinado realizando ciertas aproximaciones que, en resumen, se concretan en que la distancia de enfoque es bastante mayor que la focal. Como regla práctica empleamos estas ecuaciones cuando la distancia de enfoque es de más de diez veces la focal. Para un 50mm, (0,05 metros) la ecuación es válida para distancias mayores a medio metro (0,5 metros, 500mm).