

Cómo mirar a través de una cámara fotográfica

Eulalia Nualart, Javier García Landeras

*“La géométrie est aux arts plastiques ce que la grammaire est à
l’art de l’écrivain”*

Guillaume Apollinaire

1. Introducción

Cuando leemos en el título de un artículo escrito en la era del siglo XXI la palabra cámara fotográfica, tendemos a imaginarnos una cámara digital compacta, que la mayoría tenemos a nuestro alcance. Pero las cámaras que se usan actualmente en la fotografía profesional, si bien son digitales, son cuerpos de cámaras réflex en las que la película ha sido sustituida por un sensor. Es decir, tienen todas las características propias de la cámara réflex analógica respecto a su manejo, con la diferencia que el sensor ofrece mejor resolución, a parte de todas las ventajas de la digitalización de imágenes. Como veremos en este artículo, los parámetros a tener en cuenta a la hora de hacer una fotografía con estas cámaras son los mismos que en las cámaras analógicas, a diferencia del factor de multiplicación.

La Fotografía (del griego *phos*, luz, y *grafis*, escribir o diseñar) es el proceso de capturar imágenes y registrarlas en un medio de material sensible a la luz, basándose en el procedimiento de la cámara oscura. La Matemática (del latín *mathéma*, conocimiento) es una teoría abstracta que nos permite manipular símbolos, números y formas en abstracto, pero uno de sus usos



más valiosos es el de describir los procesos del mundo real. Cómo se usan las matemáticas en este proceso de diseño con la luz ? Este artículo pretende dar algunas respuestas a esta pregunta. Para ello, en el primer capítulo empezaremos hablando de los orígenes de la fotografía y del concepto de formación de una imagen, lo que nos llevará a las conocidas leyes de Snell. En el segundo capítulo, estudiaremos los componentes de una cámara fotográfica e introduciremos el concepto de distancia focal. En el tercer capítulo, expondremos los factores a tener en cuenta a la hora de manejar una cámara fotográfica y daremos algunos ejemplos prácticos. Terminaremos con un cuarto capítulo en el cual analizaremos las relaciones y equivalencias entre algunos conceptos de matemáticas clásicas y la composición de algunas de las fotografías del célebre fotógrafo francés Henri Cartier-Bresson.

Por supuesto, a este enfoque teórico de la técnica, deben añadirse todos los elementos artísticos que son los que hacen de la fotografía un arte.

1.1. Origen de la fotografía

Cuando apretamos el disparador de una cámara, el objeto o sujeto que queremos fotografiar queda almacenado en la película o memoria de ésta. Este proceso, que actualmente nos puede parecer muy sencillo, pasó por una serie de fases en cuanto a su descubrimiento se refiere. Aunque no fue hasta la segunda década del siglo XIX cuando se consiguió el primer método para fijar una imagen, el origen de la fotografía se atribuye al descubrimiento del fenómeno de formación de una imagen a partir de la luz, hallazgo que se conocía desde la antigüedad, conocido como cámara oscura. Se basa en el fenómeno siguiente: la luz que procede de varios puntos de un objeto sigue múltiples líneas rectas hasta la zona donde se proyecta. Como se observa

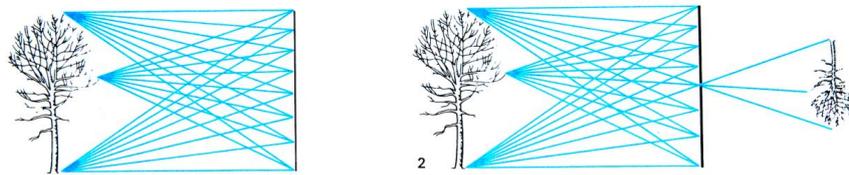


Figura 1

en la Figura 1, los rayos de luz se interfieren con los demás y no permiten formar imagen. Por lo tanto, para formar la imagen de un objeto debemos seleccionar por medio de un orificio los puntos luz-objeto que se encuentren en el lugar que corresponde. Si la zona donde practicamos el orificio es muy delgada y el agujero muy pequeño, cada punto de la imagen podría estar

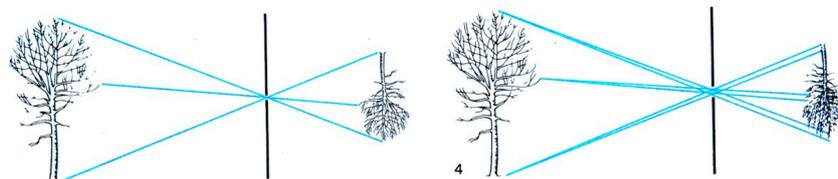


Figura 2

limitado a un solo rayo de luz y la imagen sería perfectamente nítida (véase Figura 2).

En su origen, la cámara oscura era una sala cerrada cuya única fuente de luz era un pequeño orificio en uno de los muros. El orificio funcionaba como una lente convergente y proyectaba la imagen exterior invertida en la pared interior. La primera descripción completa e ilustrada sobre el funcionamiento de la cámara oscura, aparece en los manuscritos de Leonardo da Vinci a finales del siglo XV. Con el descubrimiento de los materiales fotosensibles en el siglo XVIII, la cámara oscura pasó a ser la cámara estenopeica. El estenopo es el orificio de diámetro pequeño en una de las caras de la cámara que permite el paso de la luz y proyecta en el material sensible que se pone al otro lado del orificio. El orificio debe ser suficientemente pequeño para que la imagen tenga una definición aceptable y suficientemente grande para que el tiempo de exposición no sea muy largo. El uso de las lentes convierte la cámara oscura en cámara fotográfica. La aplicación de una lente en el orificio de una cámara oscura para captar una imagen fue introducida en 1550 por Girolamo Cardano, aunque esta lente producía muchas aberraciones geométricas deformando objetos. El mérito de la obtención de la primera imagen duradera, fija e inalterable a la luz pertenece al francés Joseph Nicéphore Niépce en 1826, obtenida sobre una placa de metal, casi 300 años después de la aplicación de la lente. Después del éxito de la primera fotografía de Niépce, la fotografía se desarrolló a lo largo del siglo XIX. La aportación de los trabajos e investigaciones llevadas a cabo por los ópticos de la época fue crucial para reducir gradualmente las aberraciones. En enero de 1839 se difundió velozmente por todo el mundo la noticia de la invención de la fotografía, pero para llegar a este logro era necesario entender y combinar dos principios científicos, uno óptico y otro químico. La idea surge como síntesis de dos experiencias muy antiguas. La primera, el descubrimiento de que algunas sustancias son sensibles a la luz y la segunda, el fenómeno óptico de la cámara oscura.

1.2. La luz: leyes de Snell

En este apartado vamos a estudiar con un poco más de detalle el proceso de propagación de la luz, que es un concepto crucial para entender el funcionamiento de una cámara fotográfica.

La luz se propaga en línea recta y con una velocidad constante v en cada medio, inferior a la velocidad c en el vacío. Al cociente entre una y otra se le llama índice de refracción del medio y se denota por $n = c/v$. Cuando un rayo luminoso llega a la superficie de separación de dos medios de índices de refracción distintos, se producen dos rayos, uno reflejado y otro refractado o transmitido como se muestra en la Figura 3. En general, sólo una parte

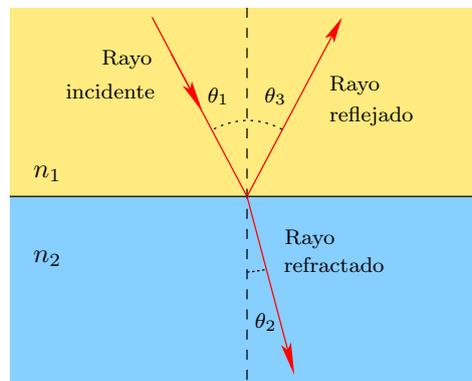


Figura 3

de la energía luminosa incidente pasa al otro medio. Además, las direcciones de propagación de los rayos reflejado y transmitido son distintas de la del rayo incidente. Estos cambios de dirección se denominan, respectivamente, reflexión y refracción y se miden usando ángulos. El caso que nos interesa dentro de la fotografía es el correspondiente a una lente: cuando un rayo de luz pasa a través de la lente de nuestra cámara, es importante estudiar como se reflejará y refractará para saber como afectarán esos rayos de luz a la nitidez de la imagen.

Experimentalmente se dedujeron las leyes de la reflexión y de la refracción, también conocidas como leyes de Snell, por su descubridor, el matemático holandés, Willeborod Snel Royen (1580-1626) (las llamaron de “Snell” añadiendo a su apellido una “l” por su nombre). Su formulación es la siguiente:

Ley de la reflexión: El ángulo de incidencia y el de reflexión son iguales, es decir, en la Figura 3, $\theta_1 = \theta_3$.

Ley de la refracción: El cociente entre el seno del ángulo de incidencia y seno del ángulo de refracción es igual al cociente de los índices de refracción

de ambos medios. Es decir, usando la notación de la Figura 3 se cumple la ecuación siguiente

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Las leyes de Snell se pueden demostrar matemáticamente usando el Principio de Fermat. Establecido por el matemático francés Pierre de Fermat alrededor del año 1658, éste nos dice que el tiempo empleado por un rayo luminoso para ir de un punto a otro es extremal, es decir, máximo o mínimo. En la mayoría de los casos el tiempo será mínimo, pero, por ejemplo, con un espejo elíptico que tenga un radio de curvatura menor que el radio de la elipse se puede construir un ejemplo donde el tiempo es máximo (véase, por ejemplo, [1]). Como veremos en las demostraciones siguientes, en esta situación el principio de Fermat es equivalente a las leyes de Snell. Por otra parte, las leyes de Snell y, por lo tanto, el principio de Fermat, pueden deducirse de la ecuaciones de Maxwell (véase, por ejemplo, [1]).

Demostración de la ley de la reflexión: Supongamos un rayo luminoso que parte de A , se refleja en O y sigue hasta B , como se ilustra en la Figura 4. En este caso, i es el ángulo de incidencia y r el ángulo de reflexión.

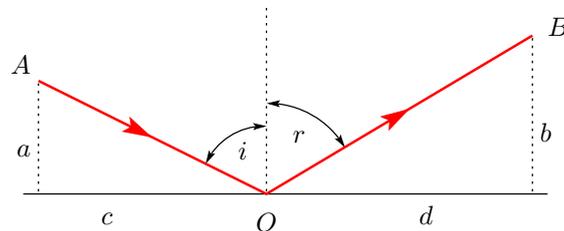


Figura 4

Representamos por v la velocidad de propagación. Si definimos $s_1 = \overline{AO}$ y $s_2 = \overline{OB}$, la longitud de la trayectoria es $s_1 + s_2$ y el tiempo t a lo largo de la misma será $t = (s_1 + s_2)/v$. Es fácil ver en la figura que

$$s_1 = \frac{a}{\cos i}, \quad s_2 = \frac{b}{\cos r}.$$

De las ecuaciones anteriores se deduce que

$$t = \frac{1}{v} \left(\frac{a}{\cos i} + \frac{b}{\cos r} \right).$$

Si desplazamos ligeramente el punto O , los ángulos i y r experimentarán variaciones di y dr y la correspondiente variación del tiempo dt será

$$dt = \frac{1}{v} \left(\frac{a \sin i}{\cos^2 i} di + \frac{b \sin r}{\cos^2 r} dr \right). \quad (1)$$

Por otra parte, observamos en la Figura 4 que $c + d$ es constante e igual a $a \tan i + b \tan r$. Diferenciando, se obtiene

$$0 = \frac{a}{\cos^2 i} di + \frac{b}{\cos^2 r} dr. \quad (2)$$

Combinando las ecuaciones (1) y (2) resulta que

$$dt = \frac{a}{v \cos^2 i} (\sin i - \sin r) di.$$

Por el principio de Fermat resulta que $dt = 0$ y obtenemos $\sin i = \sin r$ y, por lo tanto, $i = r$. \square

Demostración de la ley de la refracción: Consideramos la construcción geométrica de la Figura 5. Supongamos que las velocidades de propagación

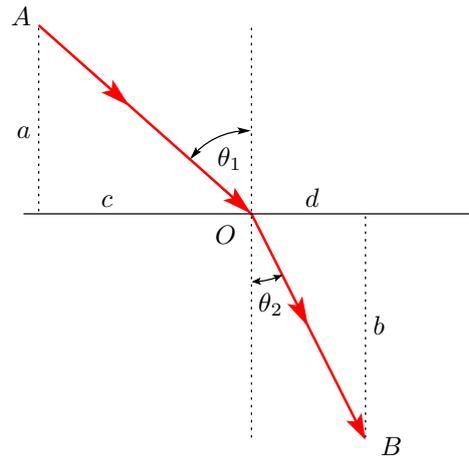


Figura 5

de la luz en cada medio son v_1 y v_2 y sus índices de refracción n_1 y n_2 , respectivamente. En este caso, θ_1 representa el ángulo de incidencia y θ_2 el ángulo de refracción. El tiempo invertido por el rayo de luz para ir del punto A al punto B resulta ser

$$t = \frac{a}{v_1 \cos \theta_1} + \frac{b}{v_2 \cos \theta_2}.$$

Si desplazamos ligeramente el punto O, los ángulos θ_1 y θ_2 experimentarán variaciones $d\theta_1$ y $d\theta_2$ y la correspondiente variación del tiempo será

$$dt = \frac{a \sin \theta_1}{v_1 \cos^2 \theta_1} d\theta_1 + \frac{b \sin \theta_2}{v_2 \cos^2 \theta_2} d\theta_2. \quad (3)$$

Observamos que $c + d$ es constante e igual a $a \tan \theta_1 + b \tan \theta_2$. Diferenciando obtenemos que

$$0 = \frac{a}{\cos^2 \theta_1} d\theta_1 + \frac{b}{\cos^2 \theta_2} d\theta_2. \quad (4)$$

Combinando las ecuaciones (3) y (4) resulta que

$$dt = \frac{a}{\cos^2 \theta_1} \left(\frac{\sin \theta_1}{v_1} - \frac{\sin \theta_2}{v_2} \right) d\theta_1.$$

Por el principio de Fermat tenemos de nuevo que $dt = 0$ y, por lo tanto,

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}.$$

Teniendo en cuenta que $v_1 = c/n_1$ y $v_2 = c/n_2$, de la expresión anterior se deduce la ley de la refracción. \square

El índice de refracción entre dos medios con índices de refracción n_1 y n_2 , se define como el cociente entre n_2 y n_1 . Por la ley de la refracción, si usamos la notación de la Figura 5, esta razón coincide con el cociente entre $\sin \theta_1$ y $\sin \theta_2$. Observamos que si $\theta_1 = 0$ entonces $\theta_2 = 0$ para cualquier n_1 y n_2 . Por otra parte, si $n_1 > n_2$ entonces $\theta_2 > \theta_1$ (situación opuesta a la de la Figura 5). Esto significa que cuando θ_1 aumenta, θ_2 llega a $\frac{\pi}{2}$ radianes antes que θ_1 . Es decir, que el rayo refractado sale paralelo a la frontera. Si θ_1 aumenta aún más, como θ_2 no puede ser mayor que $\frac{\pi}{2}$, no hay transmisión al otro medio y la luz se refleja totalmente. Según sea el ángulo de incidencia, se producirá o no refracción. Por ejemplo, en los espejos metálicos se refleja el 96% de la potencia luminosa incidente. La formación de una imagen en una cámara es consecuencia del modo de propagación de los rayos de luz y las características ópticas del objetivo de la cámara.

2. La cámara fotográfica

Desde que en 1888 George Eastman fabricó la primera cámara compacta para uso amateur que usaba rollo de película a la que llamó “Kodak”, la técnica ha evolucionado mucho. Su publicidad decía: “*Usted pulsa el botón, nosotros hacemos el resto*”. Después de hacer las fotos, se enviaba la cámara por correo a la fábrica Kodak que revelaba el rollo y te remitía de nuevo la cámara recargada y lista para tomar más fotos. En 1929 aparecería la cámara Leica, considerada como la primera cámara fotográfica para películas de formato de 35 mm. Debido a su rapidez de acción y manejabilidad, la cámara Leica fue considerada una verdadera referencia como símbolo de adaptación

a todas las exigencias dentro del mundo fotográfico. En este capítulo veremos cuales son los componentes de una cámara fotográfica estándar.

2.1. Partes de una cámara

Las partes principales de una cámara réflex (véase Figura 6) son el objetivo, el diafragma, el obturador, el visor u ocular y la película (o sensor en el caso de las cámaras digitales). A continuación vamos a hacer una breve descripción de cada una de estas componentes.

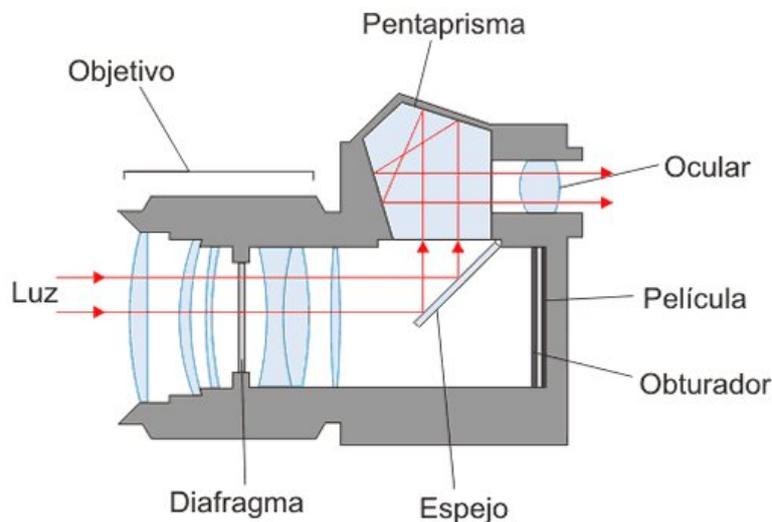


Figura 6

El objetivo es el conjunto de lentes que se ocupa de dirigir la luz reflejada de los objetos situados ante la cámara a la película. Éste dispone de un mecanismo de enfoque que nos ayuda a disponer las lentes más cerca o más lejos para conseguir mejor nitidez del objeto que queremos enfocar. Entre las lentes anteriores y posteriores del objetivo se encuentra el diafragma. Éste es un orificio circular que dispone de una serie de láminas que permiten modificar su diámetro permitiendo así controlar la intensidad de luz que entra en la cámara.

En el cuerpo de la cámara está ubicado el obturador, que es un sistema que permite que la luz incida sobre la película durante un espacio de tiempo que se pueda regular. Está compuesto de dos cortinas, una que tapa la abertura e impide el paso de la luz y la otra que está enrollada. Cuando se dispara una cortina se enrolla y permite que pase la luz a la película. Cuando termina el tiempo de exposición se cierra la segunda cortina y da por concluido el tiempo.

El visor es la parte de la cámara que nos permite ver la escena que vamos a fotografiar. Cuando miramos a través del visor vemos sin ningún tipo de recorte la escena. Esto se produce gracias a un espejo colocado a 45 grados y un pentaprisma que conducen e invierten la imagen para que la veamos correctamente a través del visor. Al pulsar el disparador, el espejo se abate hacia arriba y simultáneamente se acciona el obturador dejando que la luz incida sobre el material sensible. Finalmente, la película se ocupa de fijar la luz que entra por el objetivo. Actualmente en las cámaras digitales el sensor capta los fotones y los almacena en una memoria en forma de tarjeta.

2.2. Distancia focal y tipos de objetivos

El tipo de objetivo lo determina un número (o un intervalo) que se denota como F y se denomina distancia focal. La distancia focal es la distancia entre el punto donde se reúnen los rayos que penetrarán en la lente de nuestra cámara cuando enfocamos un objeto distante el eje de la lente, como se muestra en la Figura 7.

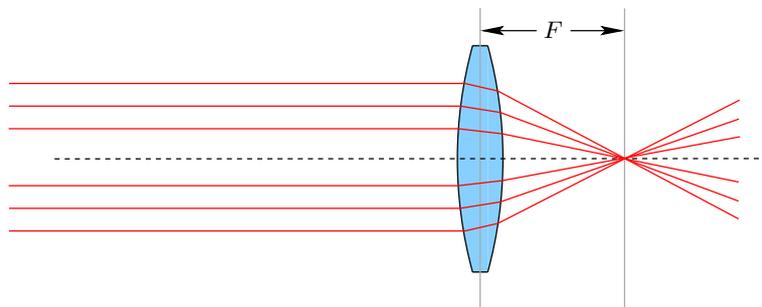


Figura 7

La imagen que origina un objetivo es circular, pero cuanto más nos alejamos del centro menos nítida es. Por eso las cámaras aprovechan sólo el rectángulo (en algunos casos, el cuadrado central) donde la nitidez es mayor. Si la diagonal de este rectángulo coincide, aproximadamente, con la distancia focal del objetivo utilizado, el ángulo visual será parecido al que nos dan nuestros propios ojos. Por lo tanto, el tipo de objetivo lo determina su distancia focal F y su ángulo de visión dependerá del formato de cámara que estemos usando.

Tanto en las cámaras analógicas como en las digitales, el formato de cámara depende del tamaño de película o de sensor que utilizan. Cuanto mayor sea el formato, mayor calidad final tendrá la imagen. Los formatos de las cámaras analógicas pueden dividirse en tres categorías.

En primer lugar, están las llamadas cámaras de formato universal o 35 mm, que son las más utilizadas en el mundo. Utilizan películas de 35 mm, es decir, de 24 mm de ancho por 36 mm de largo. La diagonal del negativo es de 43,3 mm (se suele redondear a 45); será entonces el objetivo de 45 o 50 mm de distancia focal el considerado como objetivo normal para estas cámaras. En las cámaras digitales réflex de este formato el sensor tiende a ser más pequeño que el *frame* de la película, es decir, 24×36 mm, y entonces llevan a un ángulo de visión más estrecho.

En segundo lugar, están las llamadas cámaras de medio formato o 120 mm. El tamaño de película más frecuente usado para estas cámaras es el de 6×6 cm; la diagonal es de 85 mm. Para este tipo de cámaras el objetivo que nos da una visión parecida al ojo humano es el de 80 u 85 mm. El sensor digital para este tipo de cámara, también llamado respaldo digital, adopta varios tamaños, siempre superior a 35 mm hasta 6×6 cm.

Finalmente tenemos las cámaras de gran formato que utilizan película en placas de acetato que se montan individualmente dentro de un chasis plano para ser expuestas. Se suelen utilizar preferentemente para trabajos de estudio, paisajes y fotografía de obras arquitectónicas. El tamaño de película más frecuente es de 9×12 cm; la diagonal es de 150 mm. En estas cámaras, el obturador suele estar situado entre las lentes del objetivo, en el mismo plano en que se halla el diafragma. Funciona haciendo girar alrededor de puntos fijos una serie de finas laminillas de acero llamadas también sectores (en general cinco), abren así el orificio físico del interior del objetivo, después de transcurrido el tiempo de exposición, los sectores vuelven cerrar el orificio.

Cuanto menor es la longitud focal de un objetivo, menor es el tamaño de las imágenes que forma y viceversa. Si tomamos como referencia el objetivo estándar para cada formato, a los objetivos menores de esta distancia focal los llamamos angulares o grandes angulares, y a los que tienen una distancia focal mayor, teleobjetivos. Tomando como referencia las cámaras de formato universal o 35 mm, las distancias focales más frecuentes son de 50 mm para los objetivos normales, 35, 28, 24, 20, 16 mm para los objetivos grandes angulares y 85, 100, 135, 200, 300, 500, 1000 mm para los teleobjetivos.

El ángulo visual que nos muestra un objetivo normal es de 45 o 50 grados, el de un gran angular, va de 70 a 180 grados (véase Figura 8); los teleobjetivos tienen poco poder de cobertura y un ángulo de visión estrecho que nos da sensación de acercamiento de la imagen. Un gran angular recoge más cantidad de escena y parece que nos aleja de ella. Un teleobjetivo recoge muy poca escena y parece que nos acerca al motivo. Estos últimos tienen el problema de que suelen ser bastante pesados y es preciso disparar a velocidades rápidas para que la foto no salga movida, lo que obliga, en condiciones de luz justas, al uso de trípodes. Los llamados ojos de pez son objetivos de 16 mm de distancia

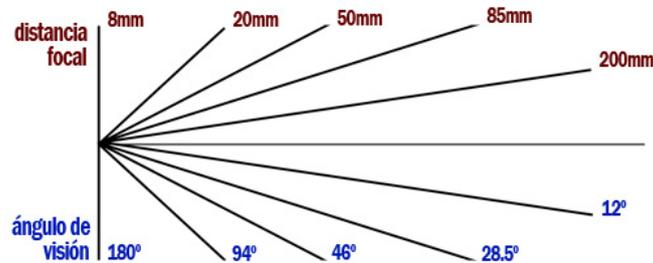


Figura 8

focal e incluso menor, que pueden ofrecer imágenes de hasta 220 grados de visión diagonal. Son fotografías circulares con perspectivas muy deformadas, pero de gran impacto visual. Se suelen usar para efectos especiales.

Finalmente, los objetivos llamados Macro son teleobjetivos especiales con una distancia de enfoque mínima muy reducida que puede llegar a 11 cm. Son objetivos que han sido corregidos para proporcionar un óptimo resultado a distancia muy cortas y permiten acercarse mucho al objeto que se desea fotografiar en condiciones en las que la imagen es mayor que el objeto. Se hacen objetivos Macro tanto para cámaras de formato grande como pequeño, su desventaja es que su uso está limitado a situaciones concretas. Precisan largos fuelles o tubos de extensión para lo que con frecuencia es una considerable distancia conjugada de la imagen.

Todos estos son objetivos de distancia focal fija: los objetivos zoom permiten variar su distancia focal mediante el desplazamiento de algunos grupos de lentes dentro del objetivo. Sus ventajas son evidentes, pero dado que su construcción es bastante complicada, las aberraciones ópticas pueden hacer su aparición enseguida, por lo que por regla general suelen ser objetivos menos luminosos que los de distancia focal fija.

2.3. El sensor y el factor de multiplicación en las cámaras digitales

En las cámaras digitales la película es sustituida por un sensor. Éste tiene forma rectangular y está dividido en una red de filas y columnas de celdas cuadradas del mismo tamaño. Cada una de estas celdas es fotosensible y emite una corriente eléctrica cuando la luz a través de la lente entra en contacto con ella, que es convertida en un dato numérico que se almacenará en forma digital binaria en la memoria de la cámara. Cada cuadrado numérico se denomina píxel y representa el área de la imagen original. Por lo tanto, una imagen no es otra cosa que una matriz rectangular de píxeles, y cuantas más

celdillas (o píxeles) tengan los sensores mejor es la calidad de la imagen. Un Megapíxel (Mpx) equivale a 1 millón de píxeles. Usualmente se utiliza esta unidad para expresar la resolución de la imagen de una cámara digital, por ejemplo, una cámara que pueda tomar fotografías con una resolución de 2048×1536 se dice que tiene 3,1 Megapíxeles ($2048 \times 1536=3.145.728$). En general las cámaras para amateurs llegan a tener de 4 a 7 Mpx o más, y las profesionales hasta 12 y 20 Mpx, pero estos datos evolucionan rápidamente.

Para poder transformar la información numérica que almacena un píxel en un color se utiliza el modelo de RGB (Red Green Blue). Este modelo está basado en la adición de los 3 colores de luz primarios. Para saber con qué proporción mezclar cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios. Por ejemplo, el valor 0 representa que no interviene en la mezcla y, a medida que se aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Normalmente, cada color primario se codifica con un byte, donde cada byte tiene una longitud de 8 bits (es decir, una secuencia de unos y ceros de longitud 8). Por lo tanto, la intensidad de cada uno de los componentes se mide según una escala que va del 0 al 255, puesto que $2^8 = 256$. Por ejemplo, el rojo se obtiene como (255, 0, 0), el verde con (0, 255, 0) y el azul con (0, 0, 255). Si cada píxel se codifica con 3 bytes, un Megapíxel ocupará en memoria 3 Megabytes (algo menos, porque la máquina no redondea como nosotros). En las tarjetas de memoria suele ocupar mucho menos, porque los datos se guardan comprimidos.

Hemos visto en el apartado anterior que un objetivo con distancia focal aproximadamente igual a la longitud de la diagonal de nuestra película es la que nos dará unas dimensiones de la imagen parecidas a las que percibimos con el ojo humano. Por otra parte, si usamos un objetivo con distancia focal menor (o mayor) que la longitud de la diagonal, el tamaño de la imagen será menor (o mayor) que el percibido por el ojo humano y, además, cuanto menor es la distancia focal, mayor es el ángulo de visión de nuestra cámara. Los sensores básicos que utilizan las cámaras digitales son, en general, de menor tamaño respecto al de una película de 35 mm. Por lo tanto, la distancia focal considerada como objetivo normal para una cámara digital será menor que en una cámara analógica. El llamado factor de multiplicación es el valor por el cual debe ser multiplicada la distancia focal del objetivo para determinar la distancia focal real de nuestra cámara digital y conocer así el ángulo de visión real de nuestro objetivo. El factor de multiplicación se calcula haciendo el cociente entre la longitud de la diagonal de la película de una cámara analógica (43,3 mm para las cámaras de formato universal, 85 mm para las de formato medio y 150 mm para las de gran formato) y la longitud de la diagonal del sensor de nuestra cámara digital.

Por ejemplo, supongamos que tenemos una cámara digital de formato

universal con un sensor de tamaño $22,2 \times 14,8$ mm y con un objetivo zoom de distancia focal comprendida entre 18 y 55 mm. Cuál es la distancia focal real de nuestro objetivo? Para ello calculamos primero la longitud de la diagonal de nuestro sensor que es aproximadamente de 26,7 mm. Luego el factor de multiplicación es aproximadamente $43,3/26,7 = 1,6$ y concluimos que la distancia focal real de nuestro objetivo se sitúa entre 28,8 y 88 mm. Entonces, si queremos obtener con esta cámara una imagen de tamaño parecida al que percibimos con el ojo humano, usaremos la distancia focal mínima del objetivo y a medida que aumentemos esta distancia focal con el zoom, tendremos un campo de visión menor y nos acercaremos más al objeto que queremos fotografiar.

3. Parámetros de una cámara

Una vez introducidos los elementos que forman una cámara fotográfica, vamos a aprender a manejarla. El objetivo de un fotógrafo es el de conseguir fijar de la forma más nítida posible la imagen del objeto que queremos fotografiar y armonizarlo con aquello que se encuentre alrededor. Pero este objeto puede estar en movimiento, o bien la luz que tenemos puede ser débil, o bien nos podemos encontrar muy alejados del objeto. Para ello, las cámaras tienen una serie de parámetros que nos permiten “jugar” con ellos para poder obtener imágenes en distintas situaciones. Cuanto más sofisticada sea la cámara, más juego tendremos con ella. En este capítulo, vamos a estudiar el significado y manejo de estos parámetros.

3.1. Ecuación de las lentes estrechas. Cálculo del enfoque

La distancia de enfoque se define como la distancia del objetivo de nuestra cámara al objeto que se desea fotografiar. Consideremos en un mismo plano, como se muestra en la Figura 9, el objetivo de nuestra cámara, representado en forma de lente, el objeto que queremos fotografiar, de tamaño H , y la película o sensor, de tamaño h . Esta configuración nos permite calcular, con un poco de geometría, la relación entre el tamaño de la imagen, el tamaño del objeto, la distancia focal, la distancia de enfoque s y la distancia entre la lente y la imagen v .

En la Figura 9 observamos que los triángulos rectángulos de catetos H y s , y h y v , respectivamente, son semejantes. Lo mismo sucede con los triángulos

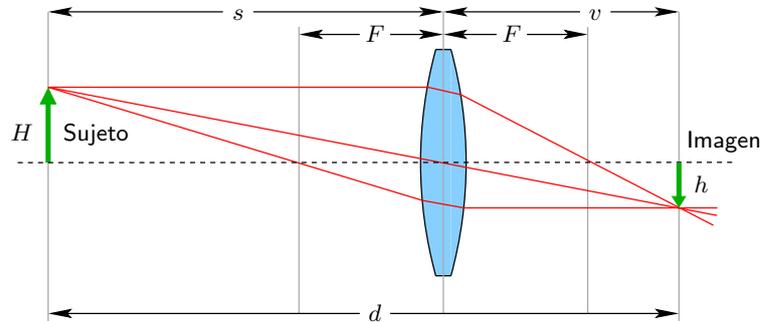


Figura 9

rectángulos de catetos H y F , y h y $v - F$. Esto nos lleva al cálculo siguiente:

$$\begin{cases} \frac{H}{s} = \frac{h}{v} & \Rightarrow \frac{h}{H} = \frac{v}{s} \\ \frac{H}{F} = \frac{h}{v - F} & \Rightarrow \frac{h}{H} = \frac{v - F}{F} \end{cases}$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores deducimos la llamada ecuación de las lentes estrechas:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{s} + \frac{1}{v}.$$

Observamos que este cálculo nos dice que si conocemos la distancia focal del objetivo, el tamaño del objeto y la distancia de enfoque, podemos calcular el tamaño de la imagen y la distancia entre la lente y la imagen.

Por otra parte, deducimos lo siguiente. Con un objeto situado al infinito, la imagen real es localizada en el punto focal de la lente. En efecto, si sustituimos s por ∞ en la ecuación de las lentes estrechas obtenemos que v tiene que ser igual a F . Cuando el objeto esté situado a más de dos distancias focales ($s > 2F$), la imagen obtenida estará situada entre una y dos distancias focales y será de menor tamaño. En efecto,

$$\begin{cases} \frac{1}{v} < \frac{1}{F} < \frac{1}{2F} + \frac{1}{v} & \Rightarrow F < v < 2F \\ \frac{h}{H} = \frac{v}{s} < \frac{2F}{2F} & \Rightarrow h < H. \end{cases}$$

Cuando el objeto se acerca a la lente hasta alcanzar el punto $2F$, el objeto y la imagen son del mismo tamaño. En efecto,

$$\begin{cases} \frac{1}{F} = \frac{1}{2F} + \frac{1}{v} & \Rightarrow v = 2F \\ \frac{h}{H} = \frac{v}{s} = \frac{2F}{2F} = 1 & \Rightarrow h = H. \end{cases}$$

Cuando se mueve el objeto de $2F$ a F la imagen se mueve de $2F$ al infinito, y la imagen será mayor que el objeto. Un objeto situado entre una lente y el punto focal formará una imagen virtual magnificada que decrece en magnificación a medida que el objeto se acerca a la lente.

Por ejemplo, tomemos una cámara de gran formato con una extensión máxima de fuelle de 30 cm (distancia de la lente a la imagen) y un objetivo de 10 cm de distancia focal. Cuál es la mayor imagen que puede formarse de un sello de correos? Las cámaras de gran formato tienen un fuelle que nos permite variar la distancia del objetivo a la imagen. Si queremos aumentar al máximo el objeto que estamos enfocando, utilizaremos la extensión máxima de fuelle y colocaremos el sello lo más cerca posible del objetivo, pero siempre a una distancia superior de la distancia focal. De la ecuación de las lentes estrechas, tomando $v = 30$ y $F = 10$, obtenemos que $s = 15$ y por lo tanto, $h = 2H$, es decir, lo máximo que podemos conseguir con una cámara de estas características es duplicar el tamaño real del sello, colocándolo a 15 cm de distancia del objetivo de nuestra cámara.

3.2. Apertura del diafragma: los números f

Como hemos visto anteriormente, las cámaras fotográficas poseen entre sus lentes un orificio de diámetro regulable llamado diafragma. Cuando modificamos el diámetro de este orificio, permitiremos que pase más o menos luz durante el tiempo que esté abierto el obturador. La luminosidad de un objetivo se define como la apertura máxima de su diafragma.

Para indicar la apertura del diámetro del diafragma, no podemos usar directamente la cantidad de milímetros que contiene el orificio porque, como hemos visto, existen diferentes formatos de cámara y diferentes lentes, o sea que el tamaño verdadero del orificio cambia según la lente pero la cantidad relativa de luz que deja pasar no. Por lo tanto, debemos usar una cantidad adimensional que llamamos número f y definimos como la razón entre la distancia focal del objetivo F y el diámetro de apertura del estenopo del diafragma.

Un número f igual a 16 se escribe como $f/16$ y corresponde a un diámetro de pupila del diafragma que resulta 16 veces menor que la distancia focal de la lente, es decir, el diafragma se abre 16 veces menos que la distancia focal de nuestra lente. Observamos que cuanto mayor es el número f , tendremos menor apertura del diafragma, y dejamos pasar menos luz. La escala estándar que se usa de números f es la siguiente:

$$f/1 \quad f/1,4 \quad f/2 \quad f/2,8 \quad f/4 \quad f/5,6 \quad f/8 \quad f/16\dots$$

Observamos que en cada paso el valor representa la mitad de intensidad

luminosa que el que precede. En efecto, como el área de un círculo viene dada por $A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ (donde r y d son el radio y el diámetro del círculo, respectivamente), si queremos dividir por dos el área de un círculo tenemos que dividir por $\sqrt{2}$ su diámetro o su radio. Por lo tanto, los números f de la escala estándar mencionados anteriormente cumplen que cada uno de ellos es el anterior multiplicado por $\sqrt{2}$, es decir, dividimos por $\sqrt{2}$ el diámetro o el radio del diafragma. Para hacer más práctica la notación se redondea el valor de $\sqrt{2}$ a 1,4, es decir,

$$\sqrt{2} \approx 1,4 \quad (\sqrt{2})^2 = 2 \quad (\sqrt{2})^3 \approx 2,8 \quad (\sqrt{2})^4 = 4 \quad (\sqrt{2})^5 \approx 5,6\dots$$

Así la escala estándar de números f es una progresión geométrica de potencias de $\sqrt{2}$. Observamos que una bajada de un paso de diafragma reduce un $\frac{100}{2} = 50\%$ la cantidad de luz que deja pasar. En cámaras modernas podemos encontrar escalas que avanzan en fracciones de paso. Por ejemplo, en lugar de dividir por dos el área, la dividimos por $\sqrt{2}$ o por $2^{1/3}$. El primer caso se llama una escala de medio paso de números f :

$$f/1 \quad f/1,2 \quad f/1,4 \quad f/1,7 \quad f/2 \quad f/2,4 \quad f/2,8 \quad f/3,3 \quad f/4\dots$$

Tenemos un incremento de medio paso, es decir, cada apertura abarca el área dividida por $2^{1/2} = \sqrt{2}$, para ello dividimos por $(\sqrt{2})^{1/2} \approx 1,2$ el radio o el diámetro del diafragma en cada paso. Obtenemos entonces una progresión geométrica de potencias de $(\sqrt{2})^{1/2}$:

$$1,2 \quad 1,4 \quad 1,7 \quad 2 \quad 2,4 \quad 2,8 \quad 3,3 \quad 4\dots$$

En este caso, una bajada de medio paso de diafragma reduce un $\frac{100}{\sqrt{2}} \approx 71\%$ la cantidad de luz que deja pasar. Finalmente, tenemos la escala de $\frac{1}{3}$ de paso:

$$f/1 \quad f/1,1 \quad f/1,2 \quad f/1,4 \quad f/1,8 \quad f/2 \quad f/2,2 \quad f/2,5\dots$$

Tenemos un incremento de $\frac{1}{3}$ de paso, cada apertura abarca el área dividida por $2^{1/3}$, para ello dividimos por $(\sqrt{2})^{1/3} \approx 1,1$ el radio o el diámetro del diafragma, y obtenemos una progresión geométrica de potencias de $(\sqrt{2})^{1/3}$. En este caso, una bajada de un tercio de paso de diafragma reduce un $\frac{100}{2^{1/3}} \approx 80\%$ la cantidad de luz que deja pasar.

3.3. Velocidad de obturación y profundidad de campo

Mientras que el tamaño de la apertura del diafragma que hemos estudiado en el apartado anterior controla la cantidad de luz que entra por unidad de tiempo en la cámara, el obturador controla el lapso de tiempo que la luz incide en la superficie de grabación. Si queremos conseguir una correcta exposición con un apertura pequeña tendremos que incrementar el tiempo que aparece abierto el obturador para dejar entrar más luz en la cámara, y viceversa. Por ejemplo, en situaciones con poca luz la velocidad de obturación será más lenta (mayor tiempo abierto) para permitir que la película capture más cantidad de luz.

Las escala típica de velocidades medidas en segundos suele ser:

15 8 4 2 1 1/2 1/4 1/8 1/15 1/30 1/60 1/125 1/250....

Observamos que al avanzar un paso se reduce la mitad del tiempo dejando pasar menos luz. Con una velocidad rápida, resulta sencillo tomar fotos nítidas (al menos con un objetivo normal y un objeto inmóvil). Pero con una velocidad lenta el más mínimo movimiento es suficiente para que la foto salga borrosa y, en estos casos, es necesario emplear un trípode. La elección de la velocidad está condicionada por la cantidad de luz, si fotografiamos con condiciones de luz escasa necesitaremos una velocidad lenta. Para captar con nitidez motivos en movimiento recurriremos a velocidades altas pero este depende mucho de la escena en la que nos encontramos, de la velocidad del objeto y de la distancia de él a la que nos encontremos (distancia de enfoque).

Por otra parte, el diafragma está directamente relacionado con la profundidad de campo. Ésta se define como la zona de nitidez respetable que se extiende por delante y por detrás del punto en que enfocamos. Con poca profundidad de campo sólo se verá nítida una zona reducida delante y detrás del objeto. En cambio, con gran profundidad de campo, toda la zona anterior y posterior del objeto será nítida.

Los factores que determinan la profundidad de campo son tres: la distancia de enfoque, a menor distancia, menor profundidad de campo; el tipo de objetivo, a mayor distancia focal, menor profundidad de campo; y la apertura del diafragma, a mayor apertura, menor profundidad de campo. Los diafragmas cerrados estrechan el cono de luz y amplian la zona de nitidez. Con un objetivo de corta distancia focal (gran angular), si enfocamos objetos alejados y cerramos todo lo posible el diafragma, obtendremos mayor profundidad de campo. Por el contrario, con un teleobjetivo y con el diafragma totalmente abierto, obtendremos una reducidísima profundidad de campo. Por lo tanto, en la práctica, el control de la profundidad de campo, depende del tipo de objetivo y de la situación en la que nos encontremos. Si nos es

imposible acercarnos al objeto o cambiar la distancia focal, controlaremos la profundidad de campo básicamente con el diafragma. Pero si disponemos de un objetivo Macro o zoom, éste nos permite obtener, a una reducida distancia de enfoque, una gran profundidad de campo, como veremos en el siguiente ejercicio.

A continuación, vamos a ver dos ejemplos de como variar la profundidad de campo en una misma escena, jugando con los parámetros explicados anteriormente: la distancia de enfoque, la distancia focal, la velocidad de obturación y la apertura del diafragma. Para hacer este ejercicio, hemos utilizado una cámara réflex digital de formato universal de objetivo intercambiable. El tamaño de su sensor es de $23,6 \times 15,8$ mm y ofrece una resolución de 10,2 Megapíxeles. Para calcular la distancia focal real del objetivo que vamos a usar, debemos calcular primero el factor de multiplicación. Para ello, calculamos primero la diagonal de nuestro sensor que resulta ser de 28,4 mm. El factor de multiplicación de nuestra cámara es entonces de $43,3/28,4 = 1,5$.

En un primer lugar, para tomar las Fotografías 01, 02 y 03, hemos usado un objetivo de tipo Macro de 105 mm de distancia focal (real de $105 \times 1,5 = 157,5$ mm) y luminosidad (apertura máxima del diafragma) de $f/3,4$. Éste nos permite realizar fotografías con una reducida distancia de enfoque y una excelente nitidez. Para variar la profundidad de campo, hemos modificado la velocidad de obturación y la apertura de diafragma.

En la primera fotografía, se ha enfocado el primer personaje dejando el resto de la escena fuera del enfoque. Para obtener este efecto, se ha usado una velocidad de obturación de $1/60$ segundos y una apertura de diafragma de $f/3,4$, es decir, una velocidad rápida y una apertura máxima del diafragma. En la segunda fotografía, se ha enfocado el último personaje de la escena y desenfocado lo que queda por delante y por atrás de la escena. Para ello, se ha usado una velocidad un poco más rápida, de $1/80$ y el mismo número f que en la fotografía anterior. Finalmente, para hacer la fotografía 03 se ha tomado una de velocidad de obturación de $1,6$ segundos y una apertura de diafragma de $f/40$. Es decir, una velocidad muy lenta y el diafragma muy cerrado, para enfocar así toda la escena y obtener una profundidad de campo máxima con una nitidez excelente. Como hemos comentado anteriormente, este último efecto es posible gracias a las características específicas de los objetivos Macro que nos permite acercarnos a una distancia mínima de enfoque de hasta 11 cm.

Con la misma cámara reflex digital de 35 mm hemos realizado un ejercicio parecido, pero en este caso hemos sustituido el objetivo Macro por un teleobjetivo zoom de distancia focal variable comprendida entre 18 y 70 mm (real entre 27 y 105 mm) y una luminosidad de $f/4,5$.



Foto J. García Landeras

Foto 01



Foto J. García Landeras

Foto 02



Foto J. García Landeras

Foto 03



Foto J. García Landeras

Foto 04



Foto J. García Landeras

Foto 05



Foto J. García Landeras

Foto 06

Las tres fotografías 04, 05 y 06 han sido tomadas usando la distancia focal máxima de 70 mm y abriendo completamente el diafragma de nuestro teleobjetivo a $f/5$. Además se han usado velocidades muy rápidas, de $1/500$ segundos en la fotografía 04 y de $1/640$ segundos para las fotografías 05 y 06. En este caso, hemos modificado la distancia de enfoque girando el anillo de enfoque del objetivo según seleccionamos la figura que deseamos enfocar. La diferencia respecto a la tres fotografías anteriores es que los objetivos de distancia focal larga, es decir, los teleobjetivos como el de 70 mm que hemos utilizado para este segundo ejercicio no se pueden enfocar a distancias muy cortas.

3.4. Escalas de sensibilidad

La sensibilidad es la capacidad que tiene un material sensible para responder a la luz. Cuanta más sensibilidad tenga la película o sensor, menos luz necesitamos para hacer la fotografía. Se trata de un sistema de medición propio de la película fotográfica, pero se utiliza del mismo modo en las cámaras digitales. En este caso la sensibilidad depende de la cantidad de fotones que deben incidir en el sensor para producir una corriente eléctrica. En las cámaras digitales este factor puede configurarse para que el sensor de imagen sea más o menos sensible, pero hay que tener en cuenta que al aumentar la corriente eléctrica del sensor, se amplifica la señal que este emite, produciéndose así una cantidad adicional de datos que no pertenecen a la toma (interferencia electrónica) y que como resultado dan un efecto granulado o de pérdida de calidad en la fotografía.

La curva característica de la Figura 10 representa gráficamente la cantidad de exposición frente a la densidad conseguida por esa exposición.

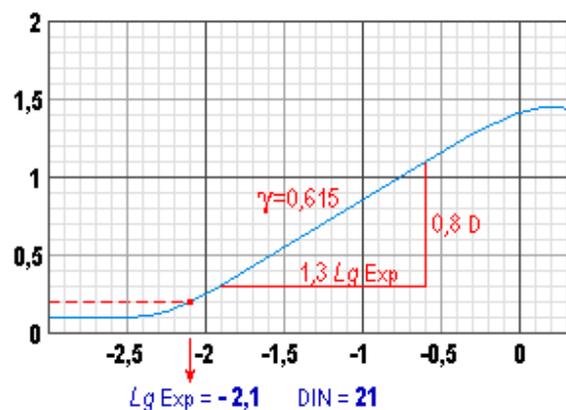


Figura 10

El eje horizontal representa la luz que recibe la película y, por tanto, los tonos de la escena. El eje vertical son los tonos que adquiere la foto. Los datos numéricos de exposición de la curva característica se convierten en valores logarítmicos para comprimir la cantidad de datos dentro de un espacio manejable y obtener una curva con escalones suaves. Las partes oscuras de la escena (partes claras del negativo) corresponden a los valores de densidad baja y las partes claras de la escena (partes oscuras del negativo) corresponden a los valores de densidad alta de la curva. El punto de sensibilidad d se define como el punto en el que el ojo humano percibe un aumento evidente de densidad y generalmente se toma 0,1 por encima de la densidad mínima. En la curva característica de la Figura 10 observamos que $d = 0,2$.

La γ es la pendiente de la zona recta, es decir, inclinación de la recta determinada tomando el incremento de densidad entre dos puntos de la curva y dividiéndolo por el incremento del logaritmo de exposición entre esos mismos puntos. Su valor mide el contraste de un negativo, los números bajos de gamma indican poco contraste, los números altos, mucho contraste. Si revelamos una misma película a distintos tiempos observaremos curvas distintas, al aumentar el tiempo de revelado la pendiente de la curva será mayor. Los valores de γ normales van de 0,5 a 0,7. En el gráfico de la Figura 10 vemos que $\gamma = 0,615$.

Es importante observar que la forma de la curva de una película depende exclusivamente del revelado, no de la sensibilidad o exposición que se le da. Aunque revelando una misma película a tiempos distintos observaremos curvas distintas, el punto de sensibilidad de la película no variará. Para medir la sensibilidad de la película o sensor, el fabricante asigna una clasificación numérica normalizada. Las normas fijadas por la International Standard Organisation (ISO) se usan en todo el mundo, aunque algunos fabricantes europeos aun utilizan la norma industrial alemana Deutsche Industrie Normen (DIN). Se adoptó el sistema ISO al combinar el DIN con el ASA (American Standard Association) que era la norma utilizada anteriormente en Estados Unidos.

La escala de sensibilidad ISO principal es la siguiente:

ASA	50	64	80	100	125	160	200	250	320	400
DIN	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27

Las películas lentas se suelen clasificar desde ISO 50/18 hasta ISO 100/21, pero también las hay más lentas. Las películas con ISO de 125/22 a 200/24 se consideran de velocidad media, mientras que las que están por encima de ISO 200/24 se consideran rápidas. Una película lenta o poco sensible a la luz necesita mucha exposición, mientras que una película sensible o rápida necesita poca exposición.

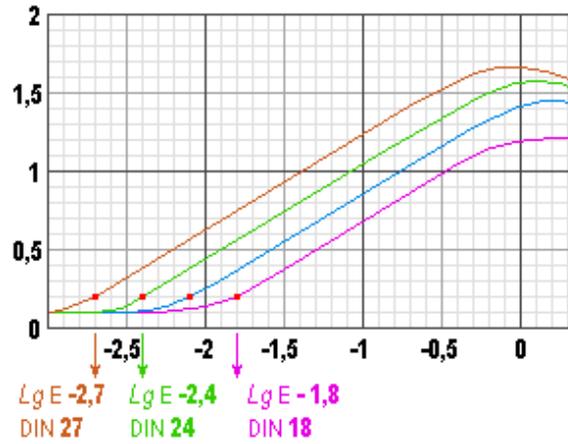


Figura 11

En los sensores digitales actuales se adopta el rango de ISO siguiente:

ISO	100	125	160	200	250	320	400	500	640	800	1000	1250	1600
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Para determinar la escala de sensibilidad DIN se busca el punto de sensibilidad, en la Figura 10, $d = 0,2$. Para esta densidad, $\log(E) = -2,1$, que corresponde al valor de $DIN = 21$, es decir, $DIN = -10 \log(E)$. Duplicar o reducir a la mitad la exposición supone moverse 3 décimas en el eje horizontal. Si otra película en las mismas condiciones alcanza este punto de sensibilidad con el doble de exposición o 3 décimas $\log(E)$ más a la derecha, tendríamos una película la mitad de sensible o el doble de lenta como se observa en la Figura 11.

En la escala ASA tenemos que para un punto de sensibilidad $d = 0,2$ obtenido con una exposición de $\log(E) = -2,1$, tenemos que $ASA = 0,08/10^{-2,1} = 0,08/0,008 = 100$ (véase Figura 12). En general, $ASA = 0,08/10^{\log(E)}$.

En la práctica se utiliza el fotómetro, aparato que nos permite medir la intensidad de la luz. Le ajustamos la sensibilidad utilizada en la película y el fotómetro nos indica la velocidad de obturación y apertura del diafragma idóneo para las condiciones de luz leídas. Por otra parte, como hemos visto en el apartado anterior, las cámaras réflex permiten modificar estos parámetros, según los efectos que queramos dar a nuestra fotografía. Por lo tanto, se suele usar el fotómetro como indicador de los parámetros a usar según la luz y sensibilidad que tenemos, pero es el fotógrafo el que finalmente decidirá cómo usar su cámara fotográfica.

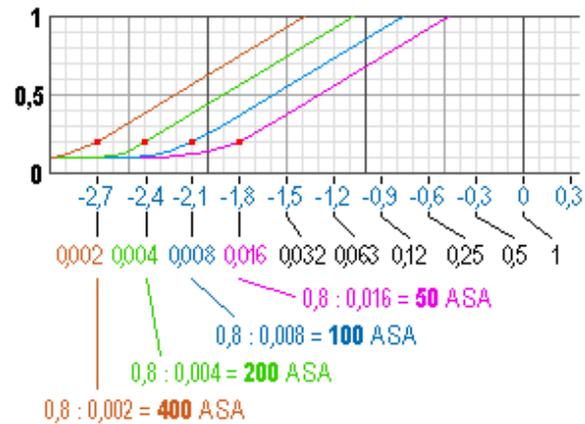


Figura 12

4. Proporción y formas áureas en la fotografía

Un rectángulo áureo, también denominado rectángulo de oro, es un rectángulo cuyos lados están en razón áurea, es decir, $AE/AD = (AD+AE)/AD = \varphi$ (véase Figura 13), donde φ es el llamado número áureo o de oro, definido como el único número real positivo solución de la ecuación algebraica $\frac{1}{\varphi} + 1 = \varphi$, que se escribe como $\varphi = (1 + \sqrt{5})/2$. Para construir un rectángulo áureo a

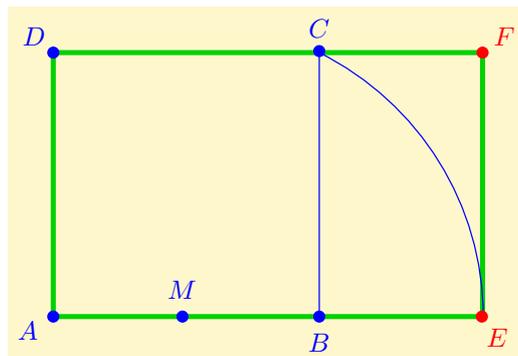


Figura 13

partir de un cuadrado de lado AB , basta con determinar el punto medio M de uno de los lados AB , y trazar, con centro en el punto M , una circunferencia que pase por uno de los vértices C del lado opuesto, como se observa en la Figura 13.

Se cree que las proporciones basadas en un rectángulo áureo son agradables a la vista y se pueden encontrar en todo nuestro alrededor en muchas pinturas, edificios y diseños, como el Partenón de Fidias, la Mona Lisa de

Leonardo da Vinci, o la propia Torre parisina del ingeniero Eiffel, así como en nuestras tarjetas de crédito. También es interesante observar que las dimensiones de una película de 35 mm son las de un rectángulo áureo. Se atribuye a Oskar Barnack (1879-1936), empleado de la empresa Leitz Camera en Alemania, la sugerencia de utilizar estas proporciones para las películas de una cámara.

La sucesión de Fibonacci es la sucesión de números reales iniciada con el 0 y el 1 y a partir de ahí cada elemento es suma de los dos anteriores, es decir

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, \dots$$

Si construimos rectángulos cuya longitud de lado sean números de Fibonacci,

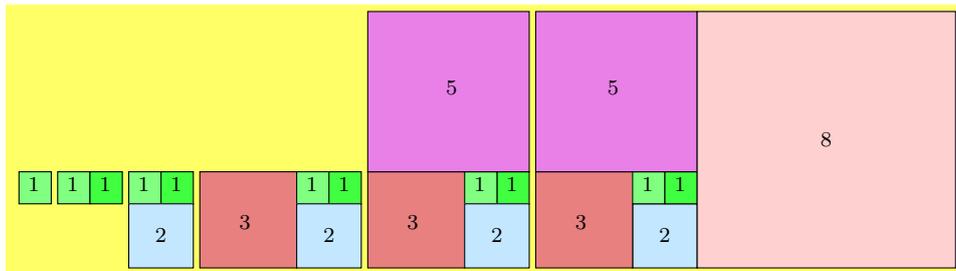


Figura 14

obtendremos un dibujo que se asemeja a un rectángulo áureo como vemos en la Figura 14. Luego si trazamos un arco de círculo en cada cuadrado, obtendremos la llamada espiral de Fibonacci (véase Figura 15).

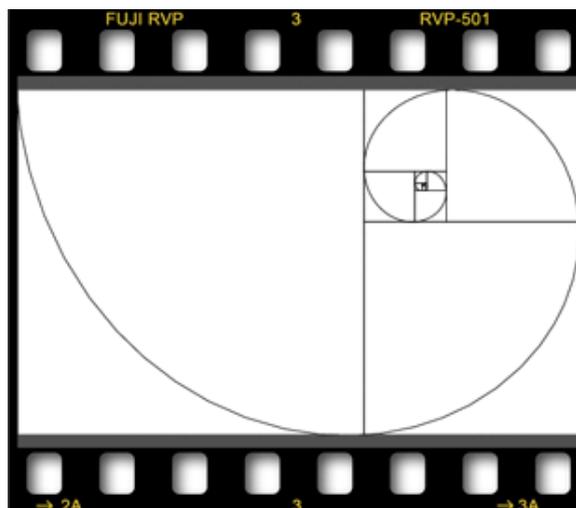


Figura 15

Encontramos diversos ejemplos de rectángulos áureos y espirales de Fibonacci en el encuadre y composición de las fotografías del célebre fotógrafo francés Henri Cartier-Bresson (1908-2004). Parece que fue la influencia de su formación como pintor la que inspiró a Cartier-Bresson el uso de la geometría en sus fotografías. En 1932, compró su primera cámara Leica de la cual no se separaría y, a partir de ese momento, su actividad como fotógrafo se desarrolló completamente. Entre su extensa obra, encontramos fotografías muy diversas de sus múltiples viajes alrededor del mundo, tanto de paisajes como de retratos, sin olvidar sus fotografías en las calles de París donde solía pasear. En muchas de sus composiciones, Cartier-Bresson juega con las perspectivas y colocación de sus personajes, creando formas que, des de un punto de vista matemático, son interesantes a analizar.

A continuación vamos a analizar una pequeña muestra de la fotografías de Cartier-Bresson. Todas ellas se encuentran en el libro [2] editado por Delpire en 1979. Empecemos por la Fotografía 1 (Isla de Sifnos, 1961). En esta fotografía de un poblado de Grecia, se crea una sección áurea cuando se divide el rectángulo de la fotografía en un cuadrado y un rectángulo (también áureo).



Foto 1

Observamos ahora la Fotografía 2 (Francia, 1938). La colocación de los niños crea la ilusión de la existencia de una espiral, que trazando las líneas necesarias concuerda con las dimensiones de una espiral de Fibonacci. Las mismas proporciones áureas y espiral de Fibonacci se observan en la composición e encuadre de la Fotografía 3 del café parisino Chez Lipp tomada en 1968.

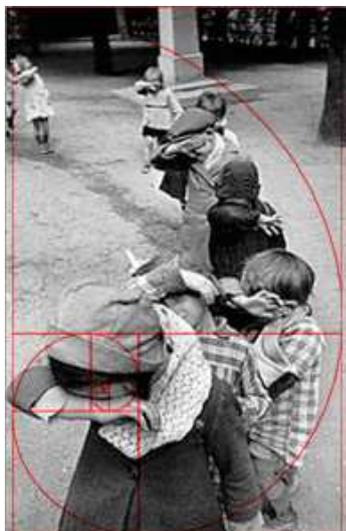


Foto 2

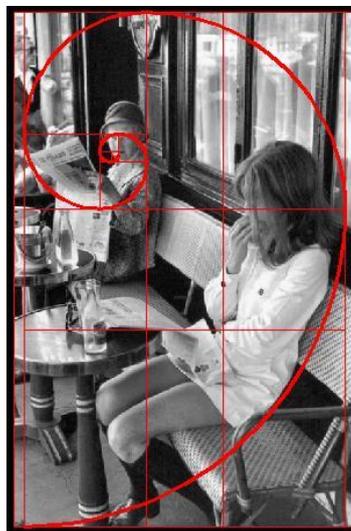


Foto 3

Si prestamos atención a la Fotografía 4 (Hyères, Francia, 1932), observamos que tiene dos motivos principales, el ciclista y la escalera. La espiral parte del ciclista, por ser el motivo fugaz. Desde su pecho recorre la espalda, brazos, ejes de ruedas de la bicicleta, para terminar recorriendo el otro motivo principal, la escalera.

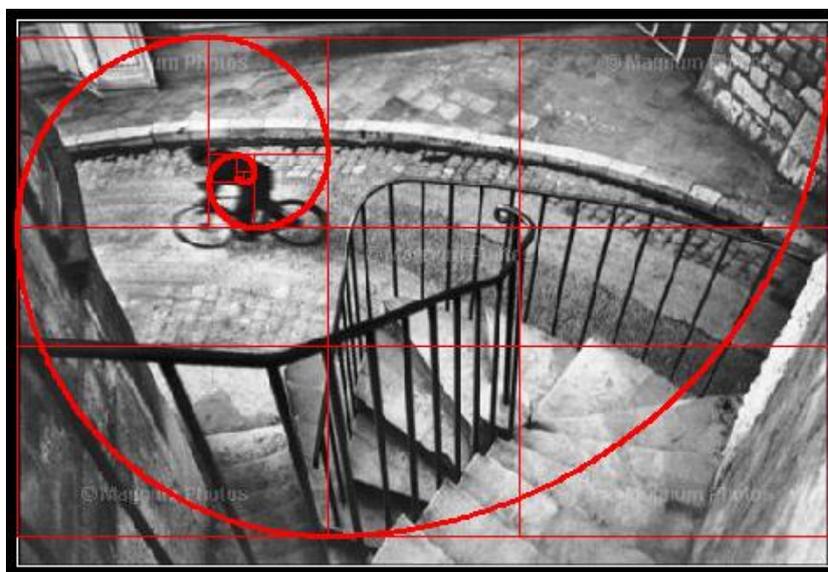


Foto 4

Comprobamos también como la espiral de Fibonacci se acomoda perfectamente en la Fotografía 5. Esta fotografía fue tomada por Cartier-Bresson el 9 de mayo de 1973 en la Unión Soviética, durante la ceremonia conmemorativa de la liberación de Leningrado.



Foto 5

La composición de la Fotografía 6 (Ascot, Inglaterra, 1955) crea un efecto parecido al de las Fotografías 2 y 3. Es decir, podemos trazar una espiral de Fibonacci causada por el efecto óptico que produce el objeto enfocado en primer plano, en este caso el señor con el bastón.



Foto 6



Foto 7

Un efecto parecido se produce en la Fotografía 7 (Rue Mouffetard, París, 1954) y en la 8 (Dieppe, Francia, 1926).



Foto 8

Referencias

- [1] CHARTIER, GERMAIN, *Introduction to Optics*, Springer, 2005.
- [2] *Henri Cartier-Bresson, Photographe*, Delpire Éditeur, Paris, 1979.
- [3] LANGFORD, MICHAEL, *Tratado de Fotografía*, Barcelona, Omega, 2000.



Eulalia Nualart
Equipe de Probabilités et Statistiques
Universidad de París 13
eulalia@nualart.es
<http://www.nualart.es>



Javier García Landeras
Escuela de Arte de Pamplona
javierland@gmx.net

Publicat el 22 de desembre de 2010