

04

LA SECUENCIA PRINCIPAL

Un blog sobre astronomía

Conceptos básicos de fotografía digital

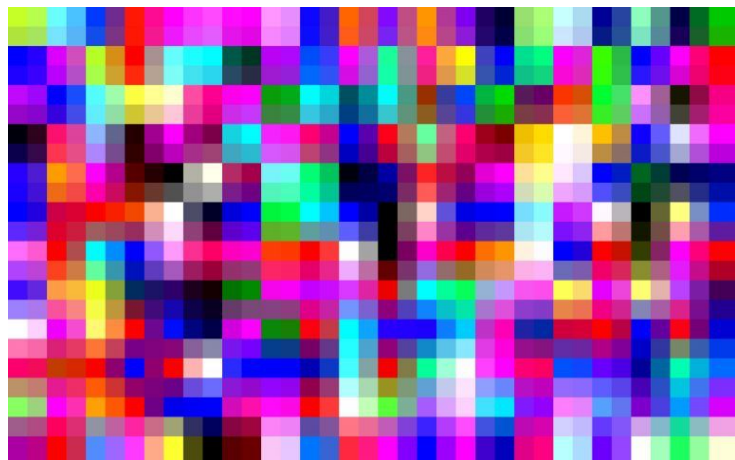
Murcia, enero de 2020

Este documento contiene información recopilada de diversas fuentes públicas (Wikipedia, Youtube, etc) y otros de elaboración propia.

El píxel

Los píxeles son los puntos de color (siendo la escala de grises una gama de color monocromática). Las imágenes se forman como una sucesión de píxeles. La sucesión marca la coherencia de la información presentada, siendo su conjunto una matriz coherente de información para el uso digital.

El área donde se proyectan estas matrices suele ser rectangular. La representación del píxel en pantalla, al punto de ser accesible a la vista por unidad, forma un área homogénea en cuanto a la variación del color y densidad por pulgada, siendo esta variación nula, y definiendo cada punto sobre la base de la densidad, en lo referente al área.



En las imágenes de mapa de bits, o en los dispositivos gráficos, cada píxel se codifica mediante un conjunto de bits de longitud determinada (la profundidad de color); por ejemplo, puede codificarse un píxel con un byte (8 bits), de manera que cada píxel admite hasta 256 variaciones de color (2^8 posibilidades binarias), de 0 a 255. En las imágenes llamadas de color verdadero, normalmente se usan tres bytes (24 bits) para definir el color de un píxel; es decir, en total se pueden representar unos 2^{24} colores, esto es 16.777.216 variaciones de color. Una imagen en la que se utilicen 32 bits para representar un píxel tiene la misma cantidad de colores que la de 24 bits, ya que los otros 8 bits son usados para efectos de transparencia.

Para poder visualizar, almacenar y procesar la información numérica representada en cada píxel, se debe conocer, además de la profundidad y brillo del color, el modelo de color que se utiliza. Por ejemplo, el modelo de color **RGB** (*Red-Green-Blue*) permite crear un color compuesto por los tres colores primarios según el sistema de mezcla aditiva. De esta forma,

según la cantidad de cada uno de ellos que se use en cada píxel será el resultado del color final del mismo. Por ejemplo, el color magenta se logra mezclando el rojo y el azul, sin componente verde (este byte se pone en 0). Las distintas tonalidades del mismo color se logran variando la proporción en que intervienen ambas componentes (se altera el valor de esos dos bytes de color del píxel). En el modelo RGB lo más frecuente es usar 8 bits al representar la proporción de cada una de las tres componentes de color primarias. Así, cuando una de las componentes vale 0, significa que ella no interviene en la mezcla y cuando vale 255 ($2^8 - 1$) significa que interviene dando el máximo de ese tono, valores intermedios proveen la intensidad correspondiente.

La mayor parte de los dispositivos que se usan con una computadora (monitor, escáner, etc.) usan el modelo RGB (modelo de reflexión o aditivo), excepto los que **aportan** tintes, como las impresoras, que suelen usar el modelo CMYK (modelo sustractivo).

Profundidad de color

Este término se aplica a imágenes digitales, en las que la información está cuantificada. El medio digital ha de realizar una conversión a valores discretos para representar la señal analógica.

La profundidad de color o resolución tonal describe el número de pasos o niveles de brillo en los que se divide el rango dinámico captado cuando se digitaliza. Se expresa con el término «profundidad de bit». El bit es la unidad mínima de información y corresponde a un valor 1 ó 0. Así, la base numérica para todos los sistemas digitales, incluidos los ordenadores, es 2.

La profundidad de bit se representa en notación exponencial bajo la forma de 2^n , siendo el exponente n la profundidad del bit. Por ejemplo, una profundidad de 3 bits son $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tonos diferentes.

En fotografía avanzada y digitalización de imágenes profesional se utilizan profundidades aún mayores, expresadas siempre en valores de bits/canal de color en lugar de la suma de los tres canales. Los primeros son los más utilizados, reservando el de 8 bits para imágenes de alta calidad pero en tonos de grises, o bien con 256 colores en paleta seleccionada para baja calidad colorimétrica; el de 24 bits es el más común y de alta calidad.

Múltiplos habituales

Megapíxel

Un **megapíxel** o **megapixel** (Mpx) equivale a 1 millón de píxeles, a diferencia de otras medidas usadas en la computación en donde se suele utilizar la base de 1024 para los prefijos, en lugar de 1000, debido a su conveniencia respecto del uso del sistema binario. Usualmente se utiliza esta unidad para expresar la resolución de imagen de cámaras

digitales; por ejemplo, una cámara que puede tomar fotografías con una resolución de 2048 × 1536 píxeles se dice que tiene 3,1 megapíxeles (2048 × 1536 = 3.145.728).

La cantidad de megapíxeles que tenga una cámara digital define el tamaño de las fotografías que puede tomar y el tamaño de las impresiones que se pueden realizar; sin embargo, hay que tener en cuenta que la matriz de puntos está siendo distribuida en un área bidimensional y, por tanto, la diferencia de la calidad de la imagen no crece proporcionalmente con la cantidad de megapíxeles que tenga una cámara, al igual que las x de una grabadora de discos compactos.

Las cámaras digitales usan componentes de electrónica fotosensible, como los **CCD** (del inglés Charge-Coupled Device) o sensores **CMOS**, que graban niveles de brillo en una base por-píxel. En la mayoría de las cámaras digitales, el CCD está cubierto con un **mosaico de filtros de color**, teniendo regiones color rojo, verde y azul (**RGB**) organizadas comúnmente según el **filtro de Bayer**, así que cada píxel-sensor puede grabar el brillo de un solo color primario. La cámara interpola la información de color de los píxeles vecinos, mediante un proceso llamado **interpolación cromática**, para crear la imagen final.

Dimensiones de imagen según proporción y cantidad de píxeles

Para saber el número total de píxeles de una cámara, basta multiplicar el ancho de la imagen máxima que puede generar por el alto de la misma —desactivando previamente el zoom digital—; también es posible dividir el número de píxeles de ancho entre el número correspondiente al alto, y conocer la proporción de la imagen obtenida.

Formato	Resolución de pantalla	Relación de aspecto	Megapíxeles
480i	720 × 480	1.333:1 (4:3)	0.3456
576i	720 × 576	1.333:1 (4:3)	0.41472
SVGA	800 × 600	1.333:1 (4:3)	0.48
XGA	1024 × 768	1.333:1 (4:3)	0.786432
720p (HD)	1280 × 720	1.77:1 (16:9)	0.9216
768p (HD+)	1366 × 768	1.77:1 (16:9)	1.049088
1024p	1280 × 1024	1.25:1 (5:4)	1.310720
900p (HD+)	1600 × 900	1.77:1 (16:9)	1.44
1080p (Full HD)	1920 × 1080	1.77:1 (16:9)	2.0736

R1080p (2K)	2048 × 1080	1.85:1 (17:9)	2.21184
WQHD (+2K HD)	2560 × 1440	2.00:1 (18:9)	3.6864
2160p (4K UHD)	3840 × 2160	1.77:1 (16:9)	8.2944
4320p (8K UHD)	7680 × 4320	1.77:1 (16:9)	33.1776
8640p (16K UHD)	15360 × 8640	1.77:1 (16:9)	132.7104

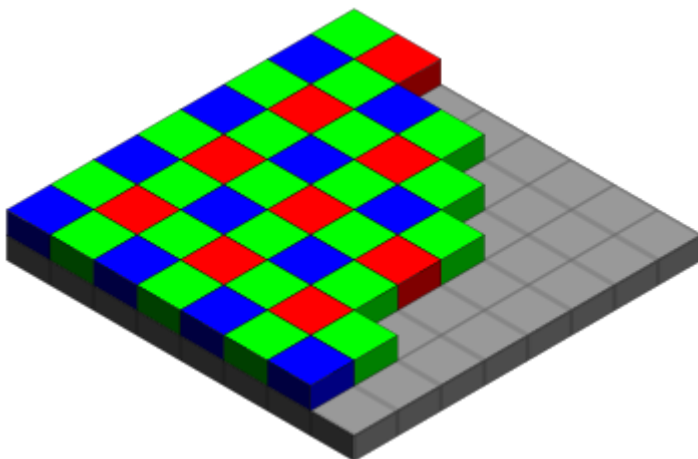
Gigapíxel

Un **gigapíxel** (Gpx) equivale a un millardo o mil millones de píxeles, utilizando la base 1000 de los prefijos del sistema internacional, en vez de la base 1024 ISO/IEC 80000 o prefijo binario utilizados normalmente en el entorno de la informática. Usualmente se utiliza esta unidad para expresar la resolución de imagen de cámaras digitales

El Mosaico de Bayer

El filtro, máscara o mosaico de Bayer es un tipo de matriz de filtros, rojos verdes y azules, que se sitúa sobre un sensor digital de imagen (CCD o CMOS) para hacer llegar a cada fotodiodo la información de luminosidad correspondiente a una sección de los distintos colores primarios. Interpolando las muestras de cuatro fotodiodos vecinos se obtiene un

pixel de color. Se llama así por su creador, Bryce Bayer, de la empresa Eastman Kodak,



El mosaico de Bayer está formado por un 50 % de filtros verdes, un 25 % de rojos y un 25 % de azules. Interpolando dos muestras verdes, una roja y una azul, se obtiene un pixel de color. En la patente de Bryce Bayer, se llama elementos sensores de luminosidad a los verdes, y elementos sensores del color a los rojos y azules. La razón de que se use mayor cantidad de puntos verdes es que el ojo humano es más sensible a ese color. La disposición de los colores suele ser rojo-verde-rojo-verde... en una fila, y verde-azul-verde-azul en la siguiente fila paralela.

En los ficheros RAW de las cámaras de fotos digitales se guarda la información del patrón de Bayer de forma directa, sin interpolaciones, lo cual puede ser aprovechado posteriormente por los programas de revelado digital para una decodificación de mayor calidad que la que permiten los algoritmos internos presentes en los dispositivos de captura.

Sensores digitales de imagen

Aplicación

El sensor es una matriz de elementos fotosensibles que funciona convirtiendo la luz que capta en señales eléctricas, que luego pueden ser convertidas, analizadas, almacenadas y representadas a posterioridad como un patrón, bien sea analógico (como una señal de barrido o escaneo) o digital (con el consiguiente muestreo y conversión numérica de los valores de luminosidad). Finalmente, el archivo informático que almacena ese patrón puede ser representado en una pantalla de modo que nuestros ojos lo perciban como una imagen; una sucesión continua de imágenes pasando por la pantalla a alta velocidad es percibida por el ojo como un vídeo.

Componentes

Cada uno de los elementos fotosensibles del sensor se denomina **pixel**., El número de píxeles del sensor se suele medir en millones de píxeles (o megapíxeles, Mpx). De forma general se puede decir que mayores números indican la posibilidad de imprimir (o visualizar) fotos a tamaños más grandes con pérdidas de calidad menores (mayor resolución de imagen).

Otro factor importante con respecto al sensor es el tamaño y forma del mismo. Un sensor grande que contenga un número relativamente pequeño de píxeles debería tener una gran área por píxel; y viceversa: un sensor pequeño con el mismo número de píxeles tendrá una reducida área por píxel. Los píxeles de mayor tamaño tienden a generar una mejor calidad de imagen y una mayor sensibilidad.

La forma del sensor suele ser rectangular, utilizando principalmente los formatos 3/2 y 4/3. Dado que la forma natural de la visión del ser humano se acerca más al formato 3/2 que al

4/3 (típico de televisores y monitores de computadora antiguos), las grandes marcas, fabrican los sensores en el formato 3/2, cuya proporción es de 1,5.

Tecnología más usada en astrofotografía

En cuanto a la tecnología de los sensores, las más extendidas actualmente son:

- Sensor CCD, era el más extendido tanto en fotografía como en video.
- Sensor CMOS, es el más extendido comercialmente en la actualidad, gracias a su menor consumo de energía y su menor coste de fabricación.

Otra variación sería el chip sensor de Kodak que sustituye los patrones básicos rojo, verde y azul por cian, magenta y amarillo. En efecto, mientras otros sensores toman una imagen 'positiva' éstos graban negativos digitales utilizando colores secundarios en lugar de primarios (aunque luego los datos son convertidos a RGB para mantener la compatibilidad con el resto del mercado). La ventaja de usar estas componentes secundarias es que esos colores contienen mayores factores de transmisión que los colores primarios complementarios lo cual redundará en una mayor sensibilidad en ciertas circunstancias (no en todas).

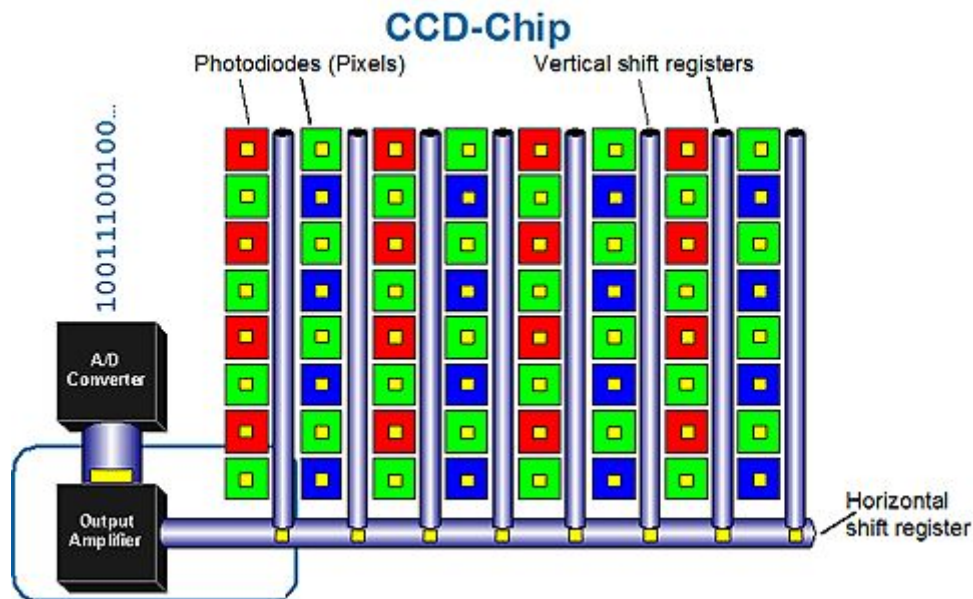
Sensores con tecnología CCD vs CMOS

Hoy día existen dos tipos de tecnologías utilizadas para la fabricación de sensores de cámaras digitales, ya sean compactas o réflex. Se trata de los **CCD** (Charge Coupled Device) o **CMOS** (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Ambos tipos de sensores están formados en su esencia por semiconductores de metal-óxido (MOS) y están **distribuidos en forma de matriz**.

Su función es la de acumular una carga eléctrica en cada una de las celdas de esta matriz. Estas celdas son los llamados **píxeles**. La carga eléctrica almacenada en cada píxel, dependerá en todo momento de la **cantidad de luz** que incida sobre el mismo. Cuanta más luz incida sobre el píxel, mayor será la carga que este adquiera.

Aunque en su esencia, los CCD y CMOS funcionan de una manera muy similar, hay algunas **diferencias** que diferencian ambas tecnologías.

Sensor CCD



En el caso del CCD, éste convierte las cargas de las celdas de la matriz en voltajes y entrega una señal analógica en la salida, que será posteriormente digitalizada por la cámara. En los sensores CCD, se hace una lectura de cada uno de los valores correspondientes a cada una de las celdas. Entonces, es esta información la que un **convertidor analógico-digital** traduce en forma de datos. En este caso, la estructura interna del sensor **es muy simple**, pero tenemos como inconveniente la necesidad de un chip adicional que se encargue del tratamiento de la información proporcionada por el sensor, lo que se traduce en un gasto mayor y equipos más grandes.

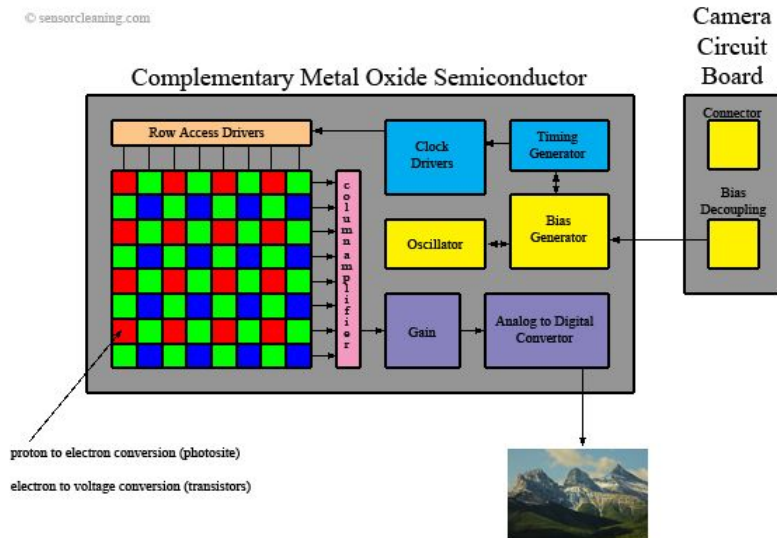
En el aspecto del **rango dinámico**, es el sensor CCD el ganador absoluto, pues supera al CMOS en un rango de dos. El rango dinámico es el coeficiente entre la saturación de los píxeles y el umbral por debajo del cual no captan señal. En este caso el CCD, al ser menos sensible, los extremos de luz los tolera mucho mejor.

En cuanto al **ruido**, también son superiores a los CMOS. Esto es debido a que el procesado de la señal se lleva a cabo en un **chip externo**, el cual puede optimizarse mejor para realizar esta función. En cambio, en el CMOS, al realizarse todo el proceso de la señal dentro del mismo sensor, los resultados serán peores, pues hay menos espacio para colocar los foto-diodos encargados de recoger la luz.

La **respuesta uniforme** es el resultado que se espera de un píxel sometido al mismo nivel de excitación que los demás, y que éste no presente cambios apreciables en la señal obtenida. En este aspecto, el que un sensor CMOS esté constituido por píxeles individuales, le hace más propenso a sufrir fallos. En el CCD, al ser toda la matriz de píxeles uniforme, tiene un mejor comportamiento. A pesar de todo, la adición de circuitos con realimentación

nos permite subsanar este problema en los CMOS, los CCD están un poquito por encima igualmente.

Sensor CMOS



En el caso del **CMOS**, aquí cada celda es independiente. La diferencia principal es que aquí la digitalización de los píxeles se realiza internamente en unos transistores que lleva cada celda, por lo que todo el trabajo se lleva a cabo dentro del sensor y no se hace necesario un chip externo encargado de esta función. Con esto conseguimos reducir costes y equipos más pequeños.

Además de ofrecernos más calidad, **los CMOS son más baratos** de fabricar precisamente por lo que comentábamos arriba. Otra de las grandes ventajas es que los sensores CMOS son más sensibles a la luz, por lo que en condiciones pobres de iluminación se comportan mucho mejor. Esto se debe principalmente a que los amplificadores de señal se encuentran en la propia celda, por lo que hay un menor consumo a igualdad de alimentación. Todo lo contrario que ocurría en los CCD.

En cuanto a la **velocidad**, el CMOS es claramente superior al CCD debido a que todo el procesado se realiza dentro del propio sensor, ofreciendo **mayor velocidad**. Es esta una de las principales razones por las que Casio empezó a imponer los sensores CMOS en sus cámaras y por la cual éstas permiten grabar vídeos a velocidades de hasta 1000 fps.

Otro aspecto en el que los sensores CMOS son superiores a los CCD es en el **blooming**. Este fenómeno se produce cuando **un píxel se satura** por la luz que incide sobre él y a continuación empieza a saturar a los que están a su alrededor. Aunque este defecto puede subsanarse gracias a algunos trucos en la construcción, en el caso de los CMOS nos olvidamos del problema.

Conclusiones

Entonces, ¿por qué si los sensores CMOS tienen menor calidad de imagen se están empezando a implantar en las réflex? En realidad no tienen peor calidad de imagen. En sus inicios eran algo peores que los CCD, pero hoy día es un mal que **está prácticamente subsanado**. La tecnología CCD ha llegado a su límite y es ahora cuando se está desarrollando la CMOS.

Fue por ello por lo que el CMOS empezó a implementarse en las cámaras de **gama baja compactas**, donde la baja calidad no era un gran problema. Ha sido tras la evolución de la tecnología cuando se ha empezado a implementar en cámaras réflex.

Además, gracias al CMOS conseguimos cámaras con una **velocidad de ráfaga más alta**, precios más bajos y mayor autonomía en las baterías. Así que no cabe lugar a dudas de que el futuro se llama CMOS

Tamaño y nomenclatura de sensores

Formato del sensor

El formato del sensor de imagen de las cámaras digitales determina el ángulo de visión de un objetivo específico. Particularmente, los sensores de imagen en cámaras réflex digitales tienden a ser más pequeños (APS-C) que el área de 24×36 mm de las cámaras de película de 35 mm, y por lo tanto llevan a un correspondiente ángulo de visión más estrecho. Para un número dado de píxeles en un sensor, cuanto más grande sea el sensor de imagen producirá imágenes de más alta calidad porque los píxeles individuales tendrán un tamaño mayor (ver abajo) y entonces la cámara será más sensible a la luz.

Los objetivos producidos para las cámaras de película de 35 mm se pueden montar, dependiendo de la marca, en los cuerpos de las cámaras digitales APS-C, pero el círculo de imagen del objetivo del sistema de 135 es más grande que lo requerido por el sensor, e introduce luz indeseada en el cuerpo de la cámara. Por otro lado, el menor tamaño del sensor de imagen —comparado a los del formato 135—, resulta en el recorte de la imagen. Este último efecto es conocido como el recorte del campo visual; el cociente del tamaño del formato es conocido como el factor de recorte o factor de multiplicación de la distancia focal.

Formatos comunes de sensores de imágenes

Tamaños de los sensores usados en la mayoría de las cámaras digitales actuales en relación a un fotograma estándar de 35 mm.

Formatos DSLR

Desde junio de 2009, la mayoría de los sensores de DSLRs a nivel del consumidor usan el tamaño de un fotograma de película APS-C, con un factor de multiplicación de la distancia focal de 1.5 (1.6 para Canon y Pentax).

Algunos sensores profesionales de DSLRs usan sensores de cuadro completo (sensores "full frame"), iguales al tamaño de un fotograma de película de 35 mm. Se usan muchos términos diferentes en la comercialización y la descripción de estos formatos de sensor, incluyendo los siguientes:

- Formato digital SLR Full Frame o de cuadro completo, con las dimensiones del sensor casi iguales a las de la película de 35 mm (36 × 24 mm)
- Sensor M8 y M8.2 de Leica (factor de recorte 1.33).
- Formato de APS-H de Canon para DSLRs de nivel profesional de alta velocidad (factor de recorte 1.3)
- APS-C se refiere a un rango de formatos de tamaño similar, incluyendo
 - De gama baja o para iniciarse: Formato Nikon DX, Pentax, de Konica Minolta/Sony α , Fuji (factor de recorte 1.5)
 - De gama baja o para iniciarse: Formato Canon DSLR de gama baja o para iniciarse (factor de recorte 1.6)
- Formato Foveon X3 usado en las DSLRs Sigma SD-series (factor recorte 1.7)
- Formato de sistema de Cuatro Tercios (factor de recorte 2.0)

Debido a las limitaciones siempre cambiantes del procesamiento y la fabricación de semiconductores, y debido a que los fabricantes de cámaras obtienen los sensores de diferentes fabricantes, es común que las dimensiones de los sensores varíen ligeramente dentro del mismo formato nominal. Por ejemplo, los sensores de las cámaras Nikon D3 y el D700, que normalmente son sensores de cuadro completo, realmente miden 36 × 23.9 mm, ligeramente más pequeño que un fotograma de película de 35 mm. Como otro ejemplo, el sensor de la Pentax K200D (hecha por Sony) mide el 23.5 × 15.7 mm, mientras que el sensor contemporáneo de la K20D (hecho por Samsung) mide 23.4 × 15.6 mm.

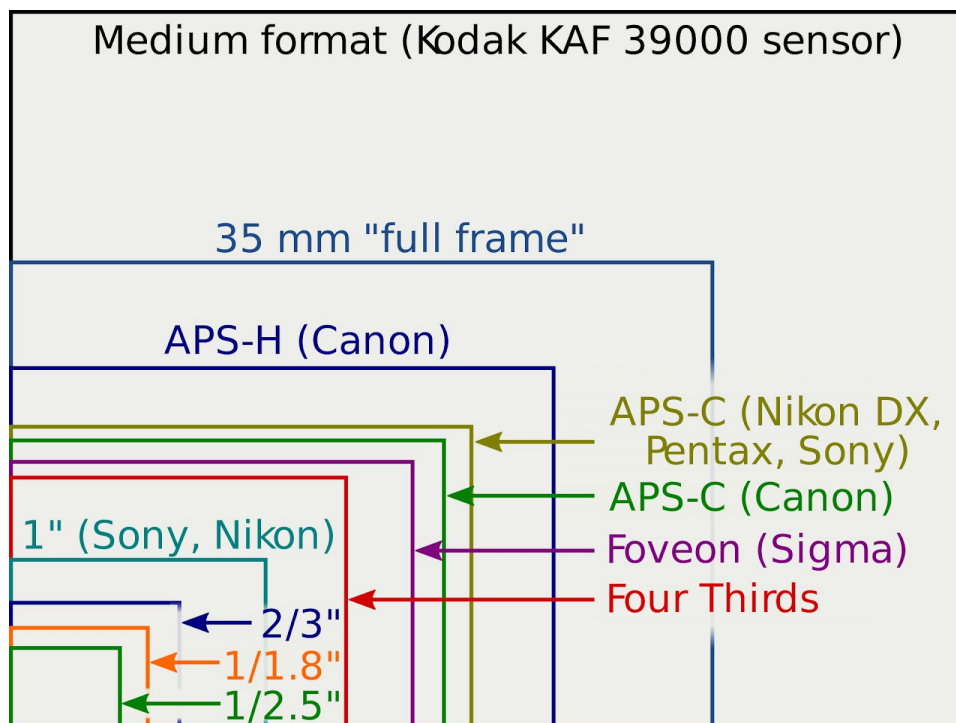
La mayoría de los formatos de los sensores de imagen DSLR se aproximan a la relación de aspecto 3:2 de la película de 35 mm. Una vez más el sistema de Cuatro Tercios es una

notable excepción, con una relación de aspecto de 4:3 tal y como se ve en la mayoría de las cámaras digitales compactas

Inversamente, los sensores de los teléfonos con cámaras fotográficas son más pequeños que los de las cámaras compactas típicas, teniendo una mayor miniaturización de los componentes eléctricos y ópticos, con una consecuente peor calidad de imagen. Los tamaños de sensor de alrededor 1/6" son comunes en teléfonos con cámara, así como en las cámaras web y cámaras de video digitales.

Tamaño del sensor

En igualdad de circunstancias, los sensores más grandes capturan imágenes con menos ruido y mayor rango dinámico que los sensores más pequeños. Las características deseables tanto de la relación señal/ruido (SNR) y de la ganancia unitaria (GAIN) del sensor se escalan con la raíz cuadrada del área del sensor.



Un sensor DSLR típico tendrá una relación señal/ruido casi 4 veces mayor que las típicas cámaras digitales compactas. Debido a sus sensores más grandes, las cámaras reflex generalmente puede tomar fotogramas de alta calidad en ISO 1600, 3200, o aún sensibilidades más altas, mientras que las cámaras compactas tienden a producir imágenes granulosas incluso en ISO 400. Este problema es exacerbado por el número de píxeles; la duplicación del número de píxeles en un sensor de un tamaño determinado significa que cada píxel tiene la mitad del tamaño original, y por lo tanto es más ruidoso y menos sensible.

Medida de la sensibilidad

La **escala de sensibilidad fotográfica** define físicamente la sensibilidad como la inversa de la entrada necesaria para obtener una respuesta predeterminada en un sistema. La escala fue creada para las emulsiones fotográficas pero ha sido adaptada también para la fotografía electrónica digital. Tanto en un caso como en el otro la alta sensibilidad tiene la contrapartida de pérdida de calidad de la fotografía.

En fotografía, la entrada es la exposición y la salida es la densidad obtenida. La sensibilidad fotográfica por tanto puede definirse como la inversa de la exposición necesaria para obtener una densidad predeterminada.

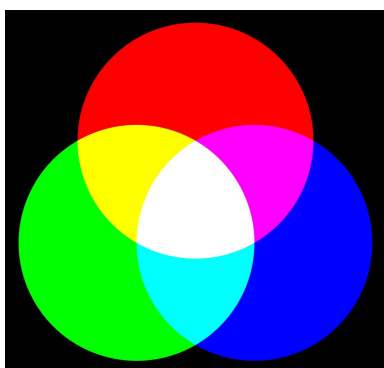
El valor concreto de sensibilidad depende de cómo se interprete la exposición. Normalmente hay dos interpretaciones: emplear la exposición tal cual (iluminancia multiplicada por tiempo de obturación), que es lo que hace la norma ANSI (antigua ASA) norteamericana, o emplear el logaritmo de la exposición, valor más práctico dado que es el que aparece en las curvas HD características de una emulsión fotográfica. Este procedimiento es el empleado en la norma DIN alemana.

Las distintas **escalas de sensibilidad fotográfica** están clasificadas en función del tipo de emulsión fotográfica presente en la película. La sensibilidad es la velocidad con la que su superficie fotosensible reacciona a la luz.

El índice de exposición o sensibilidad se indica mediante las escalas **ISO**

Espacio RGB

RGB es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios. El modelo de color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en distintos dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.



Percepción y sensación de color

Los ojos humanos tienen dos tipos de células sensibles a la luz o fotorreceptores: los bastones y los conos. Estos últimos son los encargados de aportar la información de color.

Para saber cómo es percibido un color, hay que tener en cuenta que existen tres tipos de conos con respuestas frecuenciales diferentes, y que tienen máxima sensibilidad a los colores que forman la terna RGB. Aunque los conos, que reciben información del verde y el rojo, tienen una curva de sensibilidad similar, la respuesta al color azul es una veinteava (1/20) parte de la respuesta a los otros dos colores. Este hecho lo aprovechan algunos sistemas de codificación de imagen y vídeo, como el JPEG o el MPEG, «perdiendo» de manera consciente más información del componente azul, ya que el ser humano no percibe esta pérdida.

La sensación de color se puede definir como la respuesta de cada una de las curvas de sensibilidad al espectro radiado por el objeto observado. De esta manera, obtenemos tres respuestas diferentes, una por cada color.

El hecho de que la sensación de color se obtenga de este modo, hace que dos objetos observados, radiando un espectro diferente, puedan producir la misma sensación. Y en esta limitación de la visión humana se basa el modelo de síntesis del color, mediante el cual podemos obtener a partir de estímulos visuales estudiados y con una mezcla de los tres colores primarios, el color de un objeto con un espectro determinado.
