

Impresión y agudeza visual



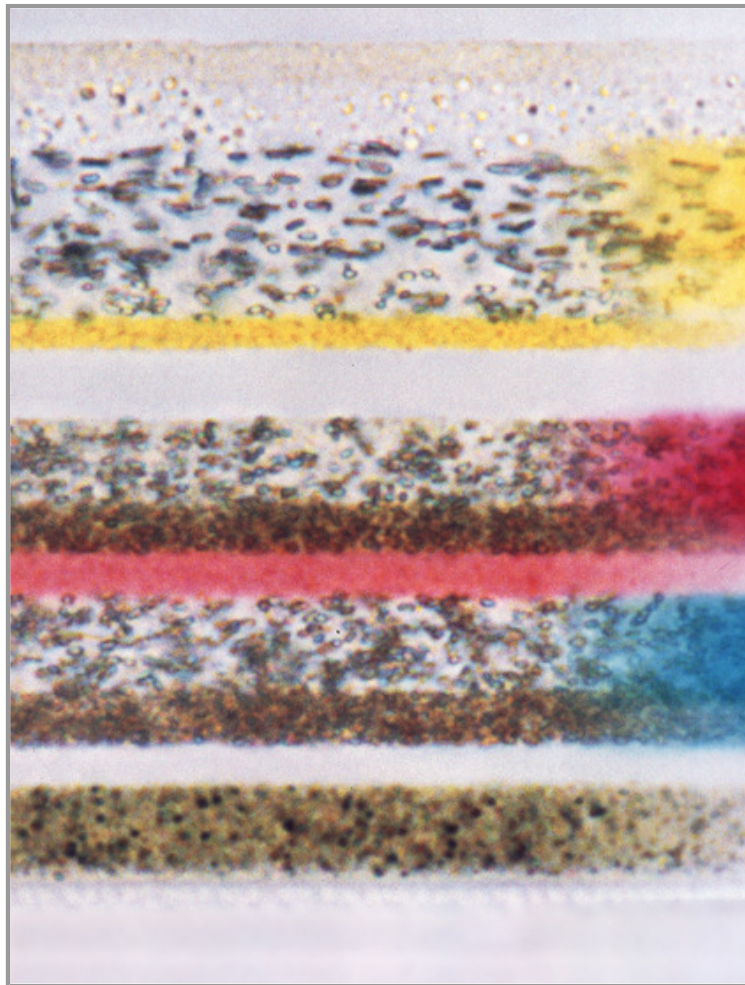
Un artículo de Rubén Osuna Guerrero
martes, 12 enero 2010



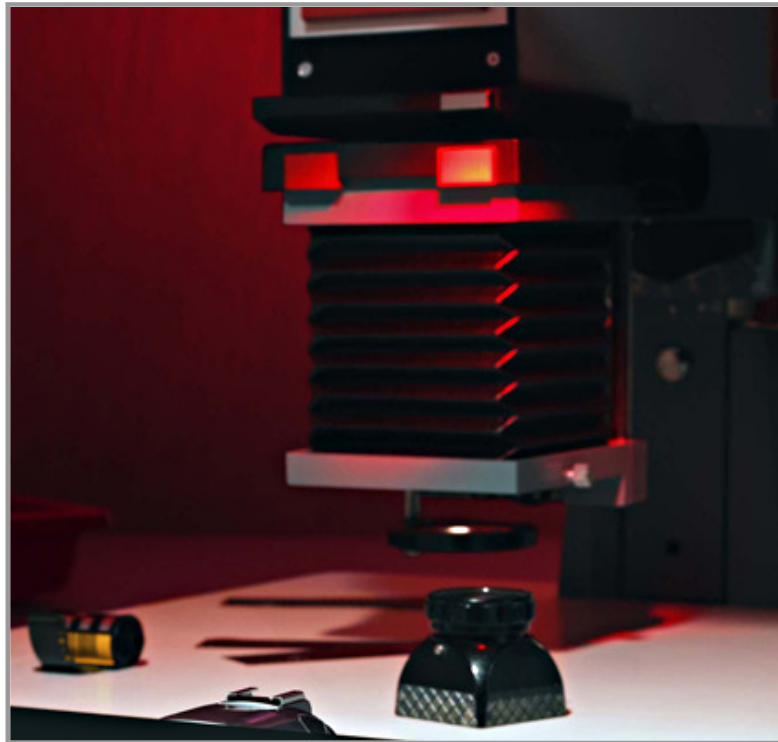
Impresión y agudeza visual humana

Con la película el negativo se "ampliaba" proyectándose sobre un papel fotosensible de mayor tamaño. Con el medio digital los píxeles de la imagen original se imprimen directamente sobre un papel.

En esa traslación no hay "pérdidas" de detalles captados por el sensor, pero sí se puede decir que el detalle "encerrado" en el diminuto espacio del sensor se "extiende" por toda la superficie de la copia impresa, y en este sentido hay una "ampliación". Detalles que el ojo humano no podría ver en una superficie de 24 por 36 milímetros se hacen visibles en una superficie mucho mayor, pues al ampliarse pasan el umbral de los límites de la visión humana. Hay mucha discusión sobre dichos límites.



La estructura de una película en color, nos deja ver la disposición estocástica de los haluros de plata fotosensibles



Más de uno no ha llegado a conocer, este tipo de artefacto...

Las impresiones están formadas por infinidad de puntos distribuidos uniformemente por el papel. Los fabricantes de impresoras hablan de gotas por pulgada, pero varias de estas gotas forman conjuntamente un "píxel" completo. Las gotas de cada color se combinan para conseguir el color final del píxel. Lo importante pues es el número de píxeles por pulgada.

Las imágenes que llegan desde el objetivo a un negativo o un sensor están formadas por puntos. Por así decir, las imágenes fotográficas transmitidas por un objetivo son como cuadros puntillistas de Seurat. Esos puntos son discos luminosos llamados "discos de Airy", que se superponen parcialmente para "dibujar" detalles. Obviamente, no queremos ver un cuadro puntillista, sino una imagen con apariencia de continuidad y gran cantidad de detalles. Para conseguir este efecto visual en una fotografía tenemos que garantizar que el ojo humano no ve esos puntos.



Seurat

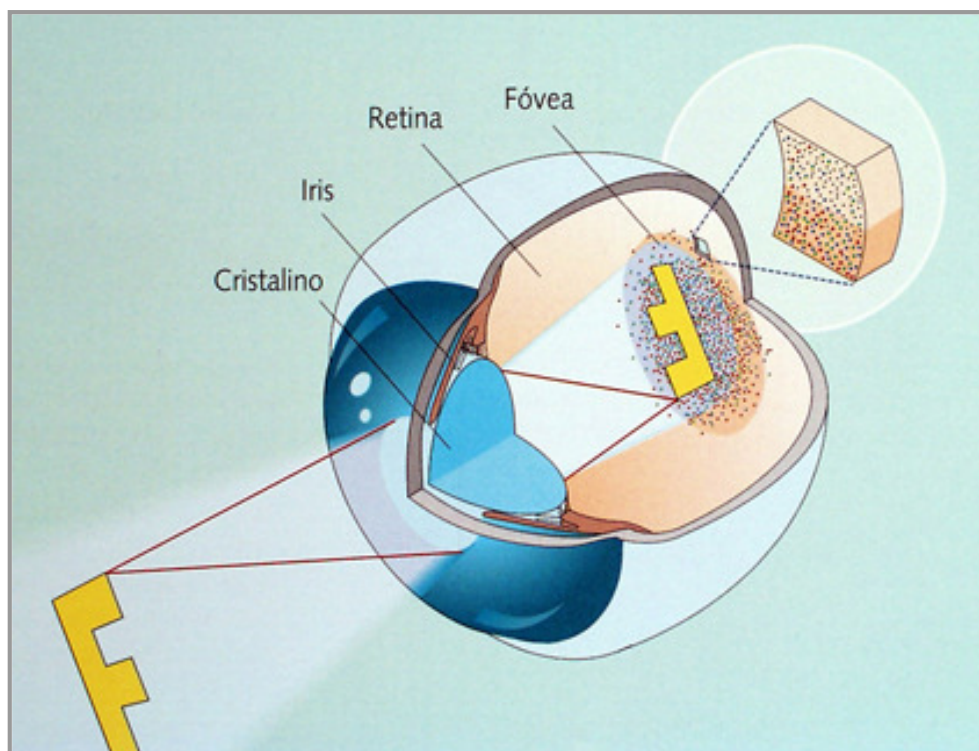


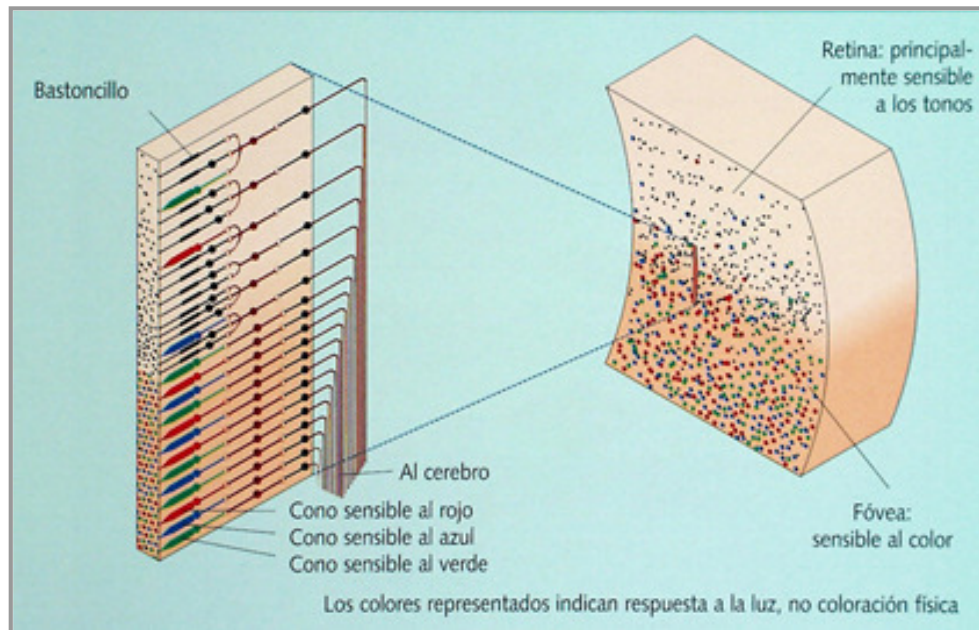
Seurat

Si vemos un cuadro de Seurat a suficiente distancia dejaremos de percibir los puntos, y veremos la imagen que creó el pintor, con todos sus detalles y sus efectos de luz y color. Con una fotografía ocurre algo prácticamente igual: bajo determinadas circunstancias no "vemos" los diminutos puntos de que están formadas las imágenes fotográficas, y sólo vemos la imagen en sí. Esas "circunstancias" conducen a lo que se conoce como "*círculo de confusión*". Es obvio que en el plano focal no podremos ver los puntos luminosos que proyecta el objetivo, pues necesitaríamos un microscopio. Pero en la copia impresa, o proyectada, muy ampliadas, sí podríamos percibirlos.

La pregunta es qué tamaño deberán tener esos puntos para que no los veamos en la foto. El máximo punto que el ojo humano no puede ver se corresponde con un punto en el negativo de un tamaño determinado. Ese punto es lo que se conoce como círculo de confusión. Lógicamente, su tamaño determina una resolución, dado que los detalles están formados por esos puntos. Todo dependerá del tamaño de la foto final. Cuanto mayor sea esta, más pequeño tendrá que ser el círculo de confusión, que depende además de la agudeza visual humana a distintas distancias.

Hay muchos cálculos basados en este concepto. Por ejemplo, los fabricantes dan valores de resolución para sus objetivos de hasta 30 pares de líneas por milímetro, y ese valor se estableció como la máxima resolución que tenía un impacto visual de nitidez en el observador. Las escalas de profundidad de campo de los objetivos de enfoque manual también responden a un valor para el círculo de confusión (de unas 30 micras para el formato 35mm). Las áreas que están desenfocadas están formadas por puntos mayores que el círculo de confusión. Todos estos valores se determinaron empíricamente antes de la Segunda Guerra Mundial y con el tiempo y las mejoras técnicas se han quedado algo anticuados.

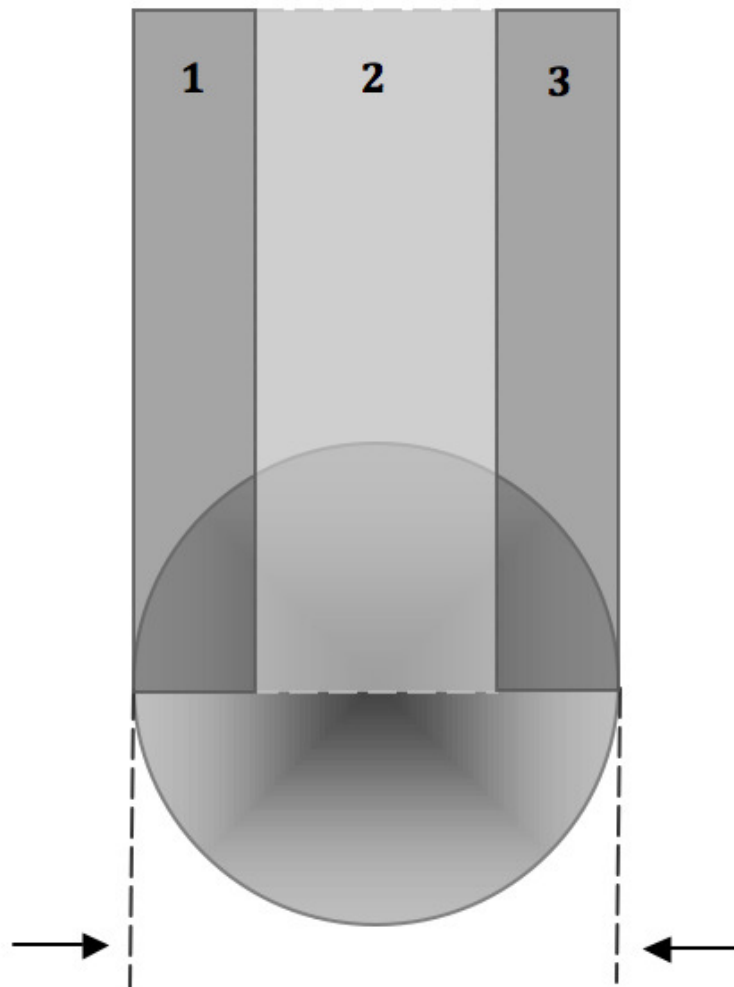




En esta porción ampliada de la retina, podemos ver la disposición de conos y bastones

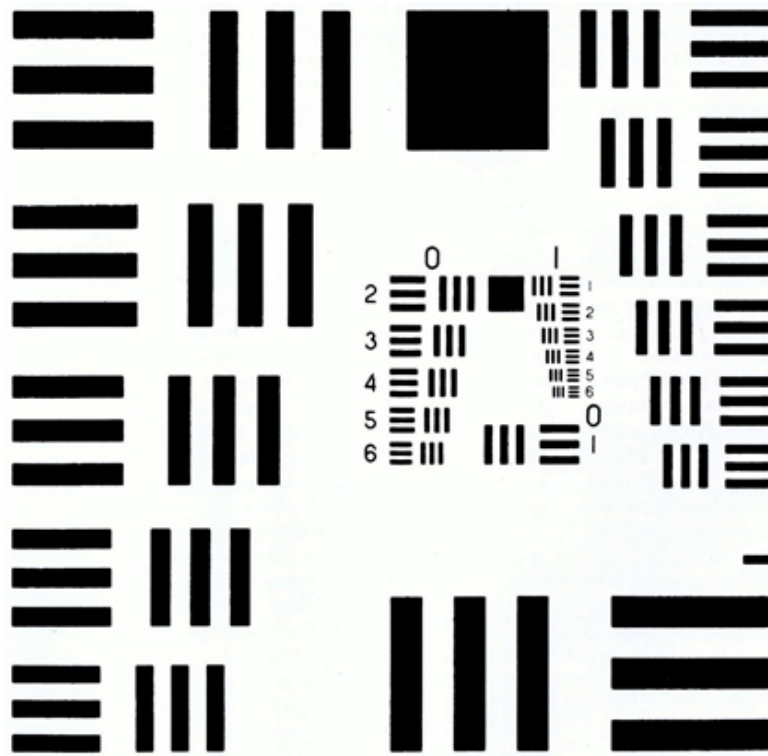
La separación entre conos en la fóvea es de 0,0015 milímetros, lo que limita la máxima resolución visual posible a 20 segundos de arco. Sin embargo, en la práctica, se sabe que detalles de 30 segundos de arco son apenas discernibles. Si adoptamos ese número como un límite, podemos considerar 60 segundos de arco como una buena referencia para el límite de la agudeza visual media.

A una distancia de observación óptima de 25 centímetros, 60 segundos de arco se corresponderían con puntos negros sobre fondo brillante de 0,07 milímetros de diámetro (los puntos brillantes sobre fondo oscuro pueden ser incluso menores y seguir siendo visibles). Muchos calculan erróneamente a partir de ese número. Un punto de 0,07 mm de diámetro no se corresponde con una línea de esa anchura, sino con un par de líneas de esa anchura (véase la figura), ya que estos puntos de luz presentan diferencias de intensidad luminosa en el centro y en los bordes. Por tanto, lo correcto es establecer una correspondencia con 14 pares de líneas por milímetro (lp/mm) en vez del valor usual de 7 lp/mm. Pero incluso ese número es una infraestimación en muchos casos.



Un punto de luz pequeño y aislado no puede excitar un número suficiente de conos en la retina, pero una fila de puntos con ese mismo diámetro sí puede. Por tanto, podemos percibir más detalle cuando está formado por líneas (o puntos alineados) que cuando está formado por puntos aislados, lo que implica que podemos percibir una línea más delgada que el mínimo diámetro perceptible en un punto.

Otro factor que debe tenerse en cuenta es el contraste. La resolución visual también depende del contraste entre las áreas más brillantes y las más oscuras. Además, es mayor si miramos a líneas (o puntos) brillantes sobre un fondo oscuro y menor si miramos líneas (o puntos) oscuras sobre fondo brillante. También ocurre que podemos ver una línea más delgada si está aislada de otras líneas adyacentes. Podemos ver una línea negra aislada sobre un fondo brillante si la línea tiene al menos 0,001 milímetros de grosor (una micra), considerando una distancia óptima de observación de unos 25 centímetros. Esto se corresponde con 0,8 segundos de arco. En cambio, una línea brillante aislada sobre fondo oscuro puede verse independientemente del grosor de la línea, ya que es la intensidad del brillo lo que determinará su visibilidad.



Distribución típica de "pares de líneas" de una mira de resolución de la U.S.A.F.

Cuando observamos grupos de líneas la agudeza visual se reduce como hemos apuntado. Bien, el ojo puede resolver separadamente dos líneas negras sobre fondo brillante si la distancia entre ellas (de centro a centro) es al menos de 0,05 milímetros (40 segundos de arco, si consideramos una distancia de 25 centímetros). Esto se corresponde con 20 pares de líneas por milímetro. Incluso 25 pares de líneas por milímetro tienen un impacto significativo sobre la calidad de imagen percibida. Pero no hay que perder de vista lo siguiente: si hablamos de dos líneas brillantes sobre fondo oscuro la capacidad de resolver separadamente del ojo humano aumenta hasta 1 segundo de arco. Estos datos son muy superiores a los clásicos 7 pares de línea por milímetro que se presentan usualmente como el límite de la capacidad visual humana.

Como consecuencia de todo lo anterior, podemos decir que las cifras de agudeza visual más usuales no son correctas o válidas para todos los casos. Pero los problemas no acaban ahí, pues los tamaños de impresión que se asumían como referencia tradicionalmente están también anticuados. Las clásicas impresiones de 8 por 10 pulgadas (algo más pequeñas que un A4, que serían 8 por 12) no pueden determinar los niveles actuales de exigencia para un sistema fotográfico. Hoy día el tamaño de impresión típico está más cerca de un formato A3, y son relativamente asequibles tamaños de impresión incluso mayores, que no se consiguen como antaño mediante la proyección de una versión ampliada de un negativo a través de un objetivo. Más aún, la sensación de calidad en una foto, y muchas comparaciones, se basan en la inspección visual de las imágenes en la pantalla de un ordenador, presentadas al 100%. Cuando vemos una fotografía de 12 millones de píxeles en una pantalla haciendo corresponder cada píxel de la foto con un píxel de la pantalla (con 96 píxeles por pulgada de resolución) estamos viendo el equivalente a una impresión en papel de 1 metro por 70 centímetros (40 por 28 pulgadas).

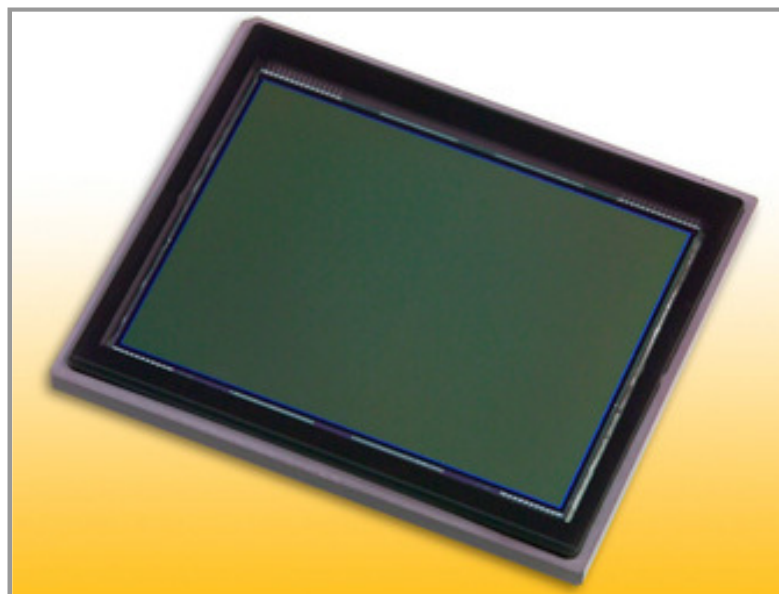


Estas bobinas de papel para impresión por chorro de tinta nos ofrece una idea de los tamaños permisibles...

Muchas personas han experimentado un deterioro comparativo de la precisión en el enfoque de sus objetivos con sistemas digitales (desplazamiento de foco con el cierre del diafragma, foco en un plano distinto del correcto, ya sea delante o detrás, etc.), y las convenciones anticuadas que hemos descrito pueden ser parte de la explicación. El nivel de exigencia actual a los equipos fotográficos es muy superior.

Por todas las razones anteriormente expuestas la capacidad resolutive de un sistema digital debe evaluarse al límite. Hay consideraciones prácticas por las que conceptos relativos como el círculo de confusión o la percepción subjetiva de calidad son relevantes, pero su importancia dependerá mucho de cada caso particular. Para cualquier comparación o medición significativa será el comportamiento en el límite lo que resultará relevante. El progreso técnico suele traducirse en mejoras marginales, y esos pequeños pasos son la base de la competencia entre productos y determinan muchas importantes decisiones en inversión en equipos.

El número de píxeles es lo que determina el tamaño de la impresión final máximo aceptable, ya que implica una densidad de píxeles en el papel, y si esta es suficientemente alta el ojo no percibe los "huecos" entre los píxeles impresos, que es esencial para transmitir una sensación de nitidez y de suave gradación tonal.



Captor Kodak de formato medio y 50 megapíxeles

El número de píxeles mínimo necesario para una impresión visualmente aceptable depende del tamaño de la impresión,

porque a mayor tamaño la distancia de observación debe aumentar (si se quiere abarcar el conjunto de la imagen cómodamente), y la capacidad visual de percibir detalles del observador se reduce. Por tanto, si 360 o incluso 300 píxeles por pulgada (ppp) puede ser una resolución adecuada para una distancia de observación mínima (20 o 25 centímetros), en impresiones más grandes, que se ven a más distancia, son suficientes resoluciones menores, y 240 píxeles por pulgada puede considerarse perfectamente adecuada, y aceptables valores más bajos si se imprime a gran tamaño. Normalmente las fotos impresas en libros o revistas vienen con resoluciones iguales o inferiores a 300 ppp.

Esto no quiere decir que no percibamos más detalle con resoluciones superiores a 360 píxeles por pulgada, que corresponden a 7 pares de líneas por milímetro. Como sabemos, el ojo humano, dependiendo de la naturaleza del detalle, puede percibir más que eso a una distancia de observación óptima (normalmente demasiado corta para impresiones de tamaño grande). Por tanto, en determinados casos, según la naturaleza de la imagen y el tamaño final elegido, una impresión a una resolución de 600 píxeles por pulgada (12 pares por milímetro), o incluso mayor, puede suponer una diferencia perceptible y relevante.



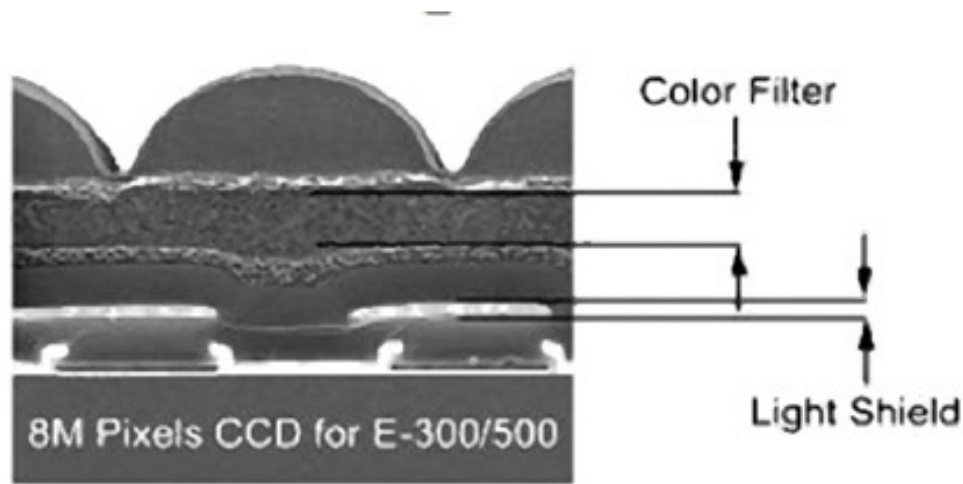
Los tamaños y soportes de impresión posibles, e incluso habituales hoy día, poco tienen que ver ya con el clásico 20 x 25 cm...

Es muy recomendable leer un pequeño artículo de Ctein ("**How Sharp Is Your Printer? How Sharp Are Your Eyes?**"), publicado en *The Online Photographer*, sobre la impresión visual de distintas resoluciones de impresión para una imagen concreta (en su caso un collage de imágenes) y una impresora concreta (una Epson Stylus Photo R800). Aunque con ayuda de una lupa él puede apreciar diferencias subiendo incluso a 1600ppp, el autor concluye que su resolución óptima para una inspección normal está en el rango de 450-500 píxeles por pulgada, percibiendo un deterioro relativo si bajamos a 300 ppp pero no una mejora si subimos a 600 ppp. Esto depende, como insiste Ctein, del observador, la impresora, el papel, la imagen, etc. Pero puede ser un buen punto de referencia.

Añadamos a lo anterior que muchas reproducciones fotográficas en publicaciones se imprimen a 300ppp, mientras que en laboratorios de impresión digital suele aplicarse una resolución de unos 200ppp (máquinas Lambda o similares, e impresoras *inkjet*). Pues bien, vamos a llevar todas esas resoluciones alternativas a los dos tamaños de impresión doméstica más extendidos, el A4 (8,3 x 11,7 pulgadas) y A3 (11,7 x 16,5 pulgadas) para calcular el número de píxeles necesarios:

| | |
|---------|-------|
| A3 | |
| 200 ppp | 8 MP |
| 300 ppp | 17 MP |
| 450 ppp | 39 MP |
| 600 ppp | 69 MP |
| A4 | |
| 200 ppp | 4 MP |
| 300 ppp | 9 MP |
| 450 ppp | 20 MP |
| 600 ppp | 35 MP |

Las impresiones para una exposición pueden tener distintos tamaños, desde un formato A4 (12x8 pulgadas), pasando por un A3 o superiores. Todo depende de cómo quiera presentar el autor su obra (con passpartout y marco, sobre aluminio "a sangre" y sin marco, etc.). Parece que rige el principio comercial de que se vende más fácilmente y más caro cuanto más grande, pero el autor puede tener otros criterios, y debería poder decidir con libertad sobre la forma de presentar su trabajo. Nadie discute que una foto impresa a gran tamaño impresiona, pero también resultan llamativas las fotos a tamaños menores, rodeadas de un gran passpartout que las aisle y nos obligue a acercarnos y prestar atención. Los laboratorios trabajan con impresoras de chorro de tinta de gran formato, o bien mediante procedimientos "lambda" (papel fotosensible sobre el que se "dibuja" la foto a oscuras con un cabezal que proyecta un haz de luz, y después se somete a procesos químicos de revelado y fijación). Ambos ofrecen la posibilidad de altas resoluciones y los resultados son excelentes, aunque el papel y el proceso es muy distinto en uno y otro caso.



En este corte real de un captor, puede verse que la superficie fotosensible, que corresponde a la suma de fotodiodos o píxeles, es —en principio— discontinua, lo que añade nuevos factores a la "estética" de la nitidez y la profundidad de campo

Un sensor de mayor tamaño tiene la ventaja de poder proporcionar el mismo número de píxeles que uno más pequeño, pero con fotosensores mayores también, por lo que la información recogida por cada uno de ellos es mayor. Esto se traduce en una mayor variedad tonal, menos ruido, más amplitud del rango tonal, etc. y por tanto mayor calidad de imagen. La imagen de una cámara compacta, cuando se "amplia" al papel impreso muestra buen número de artefactos derivados del reducido tamaño de sus píxeles, que generan ruido, falsas respuestas de color, etc.



Panoplia de sensores o captosres Kodak de distinto tamaño, desde los de formato medio a los de cámaras compactas, pasando por el "nuevo" para la Leica S2

Sin ser exhaustivos se puede decir que hay 4 grandes tipos de sensores por su tamaño:

1. Sensores de cámaras compactas.

Con diagonales de entre 3 y 11 milímetros y tamaños de imagen de entre 10 y 14 millones de píxeles. Ofrecen una calidad

aceptable a valores ISO (sensibilidades) bajas, y aunque se pueden imprimir copias de tamaño A3 con aceptable calidad, puede decirse que el número de píxeles de estas cámaras es excesivo en sensores tan pequeños. Algunas de las mejores compactas del mercado son las Ricoh, por su ergonomía, la Canon G11 por su calidad general o la Panasonic LX3.

2. Sensores de cámaras réflex económicas y cámaras de visor electrónico.

Antes de la entrada del medio digital las empresas de fotografía promovieron un formato nuevo, conocido como APS-C. Este formato no tuvo éxito, pero sí se aplicó ampliamente a los sensores digitales poco después. La diagonal es de 27mm y las proporciones son las clásicas de 2:3. Los tamaños de imagen típicos van de los 12 millones de píxeles a los 18 millones. Ofrecen muy buena calidad de imagen a valores de ISO bajos. Permiten imprimir copias de tamaño A3 sin problemas. Olympus promovió un sistema llamado Cuatro Tercios basado en un sensor de 22mm de diagonal y distintas proporciones en algunos modelos (4:3 era la original del sistema).

Además de cámaras réflex han presentado cámaras de visor electrónico y óptica intercambiable. A estos dos sistemas se le aplican los mismos comentarios que a los basados en sensores APS-C. Sigma presentó cámaras de óptica fija no intercambiable con un sensor similar en tamaño a los anteriores, pero con casi 6 millones de píxeles, si bien cada uno de ellos tiene tres capas de captación de color, por lo que capturan más información "por cada píxel".

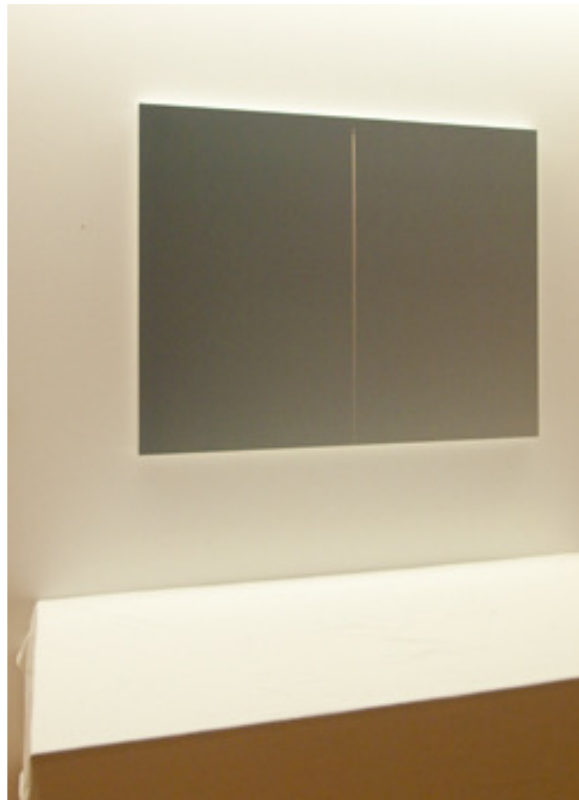
Leica ha presentado también una compacta con sensor APS-C (la X1) de 12 millones de píxeles, y Samsung presentará un nuevo sistema de objetivos intercambiables con ese tamaño de sensor. En el año 2010 veremos el desarrollo de sistemas basados en sensores APS-C o Cuatro Tercios, pero no réflex, es decir, con visores electrónicos de uno y otro tipo, ya tengan o no óptica intercambiable. Estas cámaras tienden a ser muy pequeñas y capaces.

3. Sensores de cámaras réflex de gama alta.

Tienen el tamaño clásico del formato 35mm (24x36mm), y entre 18 y 24 millones de píxeles. Los píxeles son grandes y la calidad de imagen es muy buena, superando en muchos sentidos al que ofrecía la película a color para ese formato. Pentax y Contax fracasaron en 2001 al intentar desarrollar una cámara réflex con este tipo de sensor, pero Canon tuvo éxito con la 1Ds. Los intentos de desarrollar cámaras profesionales con sensores APS-C no dieron buenos resultados (comparativos con Canon). Hoy fabrican cámaras de este tipo Canon, Nikon y Sony (y Leica con la M9, que no es una réflex). Con estas cámaras se puede imprimir a tamaño A3 con alta resolución (360 píxeles por pulgada), o ir incluso más allá. Este formato es hoy día el referente para la fotografía profesional.

4. Sensores de cámaras de formato medio.

Van desde los 30x45mm de la Leica S2 (un nuevo formato) hasta los casi 60x45 de algunos respaldos de Phase One o Hasselblad. Las resoluciones van de los 31 millones de píxeles a los 60 millones. Este tamaño de imagen rebasa todas las exigencias de impresión convencionales, y se emplean para foto artística o comercial a gran tamaño o en muy alta resolución. Los píxeles son en general muy grandes y el detalle y la calidad de color y tonal es máxima a sensibilidades bajas.



Unos últimos consejos para quienes deseen exponer sus fotos. Se aconseja obtener siempre imágenes en formato RAW, que suele tener miles de variantes de tono por canal (color). Los JPG tienen 256 variantes tonales por canal, y además tienen compresiones adicionales. Se pueden hacer exposiciones a partir de fotos tomadas con una cámara compacta si no se imprime a tamaños muy grandes. Pero la calidad de imagen de las compactas no es muy elevada, en términos de intervalo tonal, de

variedad tonal, variedad de color, etc.

Creo que la exigencia mínima debería ser cualquier cámara con al menos un sensor APS-C o Cuatro Tercios con resolución de 10 millones de píxeles o más, a partir de una foto en formato RAW debidamente preparada. Eso permite obtener una impresión de tamaño A3 de gran calidad. Muchas cámaras tienen estas especificaciones hoy día, y cada vez son más económicas, fáciles de transportar y capaces de registrar imágenes técnicamente excelentes.

No importa que sean réflex, de visor electrónico con óptica intercambiable o con óptica fija. Para estos sensores 12 ó 14 millones de píxeles es una resolución ya elevada, y en muchos sentidos suficiente, puesto que las que tienen más resolución empiezan a padecer diversos problemas por el reducido tamaño de píxel, entre otros los relacionados con la difracción, de los que ya hemos hablado en un artículo anterior. Si se desean imágenes de mayor tamaño (en píxeles) sería recomendable pasar a sensores mayores.

La oferta es amplia: desde la estupenda Pentax K7, pasando por las "Micro Cuatro Tercios" de Olympus y Panasonic, las réflex Cuatro Tercios de Olympus, la modular GRX de Ricoh (en alguna de sus variantes), las NX de Samsung, las réflex de Canon, Nikon o Sony... las Sigma DP1 y DP2, la Leica X1... Cada una con sus particularidades de tamaño, ergonomía, precio, versatilidad, etc.

