

# Fundamentos de fotografía digital

Efraín García y Rubén Osuna ©

## 2. Los problemas de *aliasing*.

Las cifras de capacidad resolutive que acabamos de ver son optimistas. La culpa la tiene el *aliasing*, que es el error que se produce cuando se trata de adivinar unos detalles de forma o color a partir de una información demasiado escasa. No es más que un simple error de estimación. Pero, ¿por qué las cámaras digitales tienen que estimar?

Los sensores tienen una gruesa capa de filtros y cristales protectores. Uno de esos filtros provoca por sí mismo un problema de *aliasing*, y es el filtro-mosaico Bayer (->), que permite la fotografía digital en color en la mayor parte de las cámaras actuales. Cada fotocélula tiene sobre sí un cristal de un color primario (verde, rojo o azul) que sólo le permite registrar información sobre intensidad luminosa para ese color. Después la cámara compone la imagen final en función no sólo de la información registrada en cada punto, sino de los colores de los puntos de alrededor. La cámara *estima* los colores definitivos mediante complejos algoritmos (->), lo que puede conducir a problemas de *moiré cromático* (->), que es el efecto que en la fotografía tiene el problema de *aliasing* derivado de la estimación de los colores. Esta interpolación que completa la información que falta no es necesaria en un sensor multicapa como el Foveon (->) (o en sensores monocromo, como el de la [Kodak DCS-760M](#), sin filtro de color alguno), lo que explica que los sensores multicapa no presenten el mencionado problema de *moiré cromático* (aunque tienen otros puntos débiles, ->).

Pero hay más filtros, como el llamado de “paso bajo” o anti-alias, que trata de evitar la aparición de otro problema de *aliasing*, esta vez bajo la forma de una estructura falsa, irreal, que puede presentarse en la imagen en forma de *moiré cromático* o no cromático (->). Esta vez el problema se debe a que la frecuencia de la señal (transmitida por el objetivo) supera a la frecuencia de muestreo. Ahora veremos por qué.

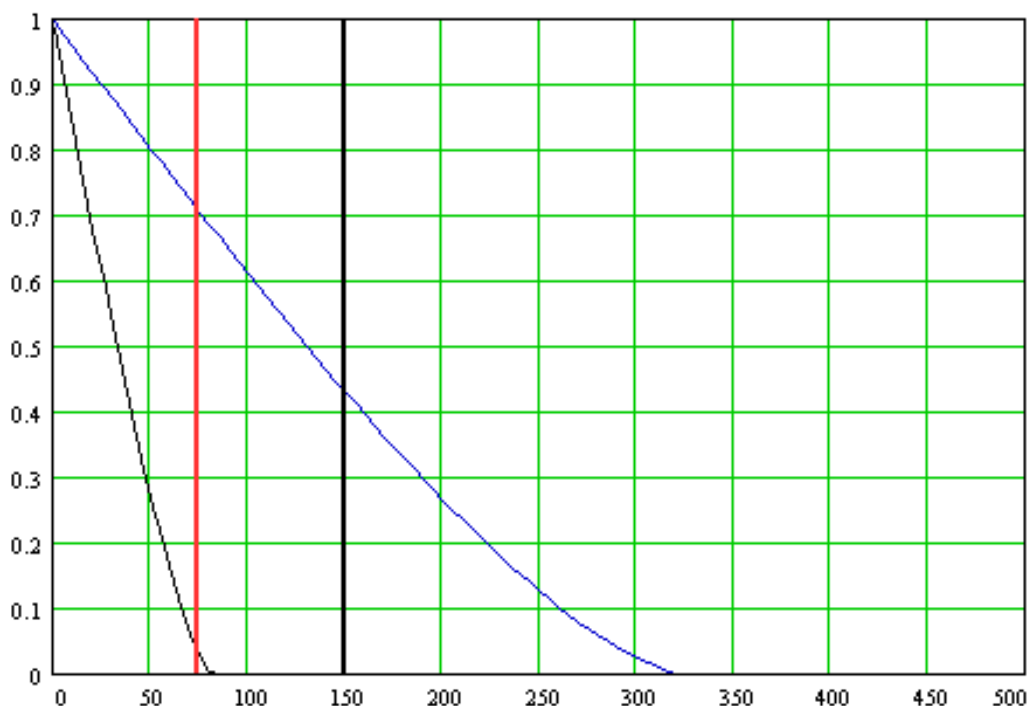
Según el *teorema de Nyquist-Shannon* (->), que se aplica a señales *continuas* y *limitadas en banda*, necesitaremos una frecuencia de muestreo que más que duplique la frecuencia máxima en la señal para reproducir ésta correctamente. Esto no se puede aplicar directamente a señales de naturaleza discreta, como la que transmite el objetivo al fotografiar cartas de resolución compuestas por pares de líneas. En cualquier caso, los motivos fotográficos normales no son así.

Sin embargo, podemos adaptar intuitivamente la lógica del teorema al caso discreto. Éste habla de la necesidad de que la frecuencia de muestreo duplique la frecuencia de la señal, medida la primera en muestreos por milímetro (o por unidad de tiempo en otros casos) y la segunda en ciclos por milímetro. En imagen digital el muestreo viene dado por los píxeles, y los ciclos son equiparables a pares de líneas (dejémoslo ahí). Por tanto, la receta es de dos muestreos por cada ciclo, es decir, dos píxeles por cada par de líneas, como mínimo. Pero esto es sólo cierto si las líneas (señal) están perfectamente alineadas con el dispositivo receptor (el sensor). En otro caso serán necesarios más de dos píxeles (normalmente basta con 3 en sensores monocromáticos, pero pueden ser muchos más de tres con señales discretas ->). En resumen, al menos un píxel por línea (sea blanca o negra).

Así pues, el llamado *límite Nyquist* se define como *la máxima frecuencia de una señal que puede ser reproducida con una determinada frecuencia de muestreo* (->), es decir, lo que

podremos reproducir en el mejor de los casos con esa frecuencia de muestreo. Este máximo teórico posible es de un par de líneas por cada 2 píxeles. Si la frecuencia de la señal supera el *límite Nyquist* el *aliasing* aparecerá.

El siguiente gráfico representa ahora dos curvas MTF para un mismo objetivo de formato 35mm a distintas aberturas. En el eje de ordenadas (vertical) tenemos el nivel de contraste, medido de cero a uno. En el eje de abscisas (horizontal) tenemos la resolución, es decir, el número de pares de líneas por milímetro para el que se da cada nivel de contraste. La curva negra es la MTF a una apertura de  $f/22$ , mientras que la curva azul representa la MTF a  $f/5.6$ . Imaginemos un sensor con una resolución o frecuencia de muestreo de 150 píxeles por milímetro. El límite Nyquist asociado es de 75 pares de líneas. El área bajo cada curva a la *izquierda* de la línea roja, que representa el límite Nyquist, es determinante para la percepción de calidad en la foto. El área situada bajo la curva MTF y a la *derecha* del límite Nyquist (exceso de señal no reproducible con fidelidad) *perjudica* la calidad de la imagen final, debido al *aliasing*. Pero el límite Nyquist es el mejor de los casos posibles (es la frecuencia máxima de señal reproducible para una frecuencia de muestreo dada). Puede ser necesaria una frecuencia de muestreo superior para reproducir una señal determinada. Por ejemplo, para reproducir los 75 pares de líneas del ejemplo podríamos vernos obligados a emplear una frecuencia de muestreo no de 150 píxeles por milímetro, sino de más. Hemos trazado una línea para un hipotético sensor de 300 píxeles por milímetro (150 pares de píxeles, si se quiere). Esa nueva frecuencia lleva asociado un nuevo límite Nyquist de 150 pares de líneas o ciclos por milímetro, pero garantiza al menos que se resuelven bien 75 pares de líneas. No es más que un ejemplo, y la magnitud del “sobremuestreo” necesario dependerá del motivo.



Curvas MTF (Bob Atkins©).

Para solucionar el problema del *aliasing* por exceso de señal tenemos dos opciones: elevar sustancialmente la frecuencia de muestreo o bien alterar la señal mediante un filtro de paso

bajo. En realidad se aplica una combinación de ambas, mediante el uso de filtros que actúan sobre la señal y una frecuencia de muestreo lo más alta posible que reduzca la señal sobrante. Ninguna de las dos vías es capaz de dar hoy día una solución completa al problema por sí misma.

Pero la frecuencia de la señal es demasiado alta en los objetivos de 35mm para conseguir que la frecuencia de muestreo de margen suficiente en todos los casos posibles, lo que además no tendría mucho sentido, *pues para poder captar detalle fino con bajo contraste estaríamos empleando una elevadísima capacidad resolutive en el sensor, que tiene sus costes* (tamaño de la imagen). El nivel óptimo está en algún punto suficientemente alto como para que los excesos de señal ocasionales no supongan un problema serio.

La alternativa del filtro tampoco está exenta de limitaciones. Lo ideal sería disponer de uno que redujera a cero todo el exceso de señal por encima de la capacidad máxima de muestreo del sensor sin alterar el resto de la señal, es decir, trincar la curva MTF a la altura de la frecuencia de muestreo, pero en la práctica los filtros ópticos no son tan eficientes. Hay que elegir entre eliminar una mayor parte del exceso de frecuencia, aun a riesgo de afectar demasiado a la señal que el sensor sí puede captar correctamente, o hacer un tratamiento menos agresivo que no elimine todo el exceso ni evite las consecuencias del *aliasing* en todos los casos. El problema de los filtros es que afectan a la imagen incluso cuando no son necesarios (señal de baja frecuencia), pues no se pueden desactivar. El efecto es una pérdida de resolución efectiva. Puede optarse sin embargo por no añadir un filtro al sensor, pero podría ocurrir lo contrario: cuando las circunstancias lo hagan necesario el exceso de señal puede afectar a la imagen representada, y nada habrá ahí para atenuar el efecto. Pueden verse las consecuencias en la [Kodak DCS Pro SLR/c](#) de casi 14 millones de 'píxeles' (también es el caso del [módulo digital R](#) de Leica, con sensor Kodak).

[Efraín García](#) y [Rubén Osuna](#) ©