El museo de los horrores (I)

Las imperfecciones digitales

Por Alfonso Parra AEC & Co.



En esta serie de articulos vamos a realizar un compendio de las imperfecciones digitales que podemos observar en nuestras imágenes. Nuestro museo del horror consta de varias salas expositivas donde veremos, encerradas convenientemente en sus vitirinas, los errores digitales también conocidos como artefactos, término este traducción de la palabra que en Inglés se utiliza para designar tales errores: artifacts.

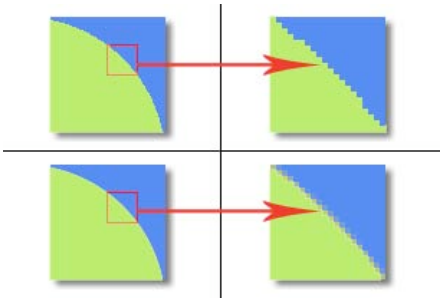
En muchas ocasiones utilizaremos los términos en Inglés para nombrar los artefactos ya que o bien no he encontrado una traducción adecuada o bien todo el mundo profesional utiliza dicha palabra siendo suficientemente conocida.

En esta primera sala vamos a ver los artefactos que se generan, por un lado en el sensor mismo y por otro los que aparacen al procesar la imagen para su grabación y posterior visionado.

El sensor puede provocar distintos tipos de artefactos, aquí veremos algunos de ellos a excepción de uno de los más importantes, el ruido, que merecera una sala aparte en este museo y que veremos en un próximo articulo.

En esta primera vitrina tenemos los errores que provienen de la capacidad de resolución del sensor, esta tiene que ver con el número de fotosensores, pixeles, su tamaño y distancia entre ellos, o más bien con la densidad de píxeles del sensor. Los defectos que podemos observar son:

Jaggies Este término hace referencia a la representación de los bordes diagonales de la imagen en forma de escalera y no de una linea continua debido a la naturaleza rectangular de los píxeles. El efecto se acentua cuando utilizamos filtros



En la imagen superior vemos el efecto "peldaño" y en la inferior dicho efecto corregido con un filtro anti-aliasing. www.123di.com

para aumentar el detalle (Sharpen y Detail)



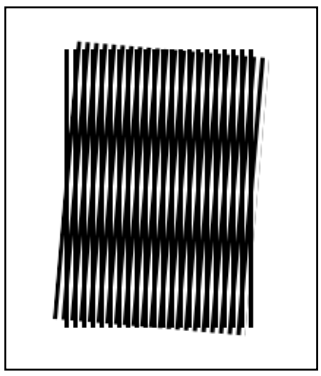
Sección de una imagen 100%



Aumentado un 200%

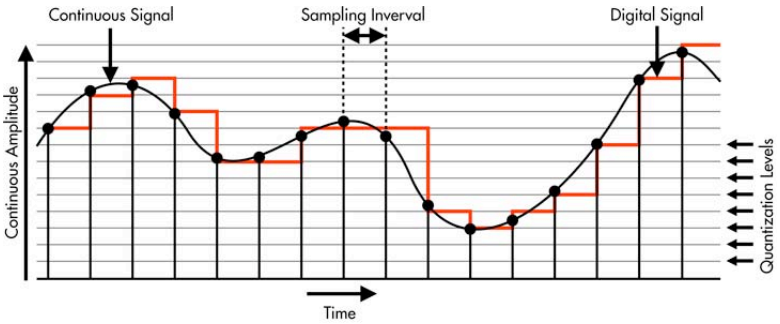


Aumentado un 200% con aplicación de Sharpen



Moire es un patrón de interferencias que se forma cuando se superponen dos conjuntos de líneas paralelas con un angulo de inclinación distinto. El termino proviene de las irisaciones creadas por ciertas sedas.

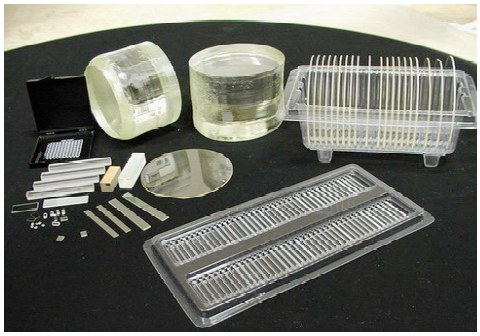
La máxima frecuencia que podremos reproducir sin pérdida de calidad de imagen, es decir sin Moire, viene determinada por el límite de Nyquist. El *teorema de Nyquist* "demuestra, que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al *doble* de su ancho de banda"(1).



Conversión de la señal analógica en digital.

Estos "artefactos" se genera en el proceso de conversión analógica a digital y son menores cuanto más resolución tiene el sensor (número de fotosensores+tamaño píxel+fillfactor), mayor es el número de Bits utilizados para digitalizar la señal analógica y mayor la frecuencia de muestro.

Hasta cierto punto se puede corregir con filtros antialiasing conocidos como OLPF (Optical low past filter) que impiden el paso de frecuencias altas evitando los efectos de interferencia. Este filtro se diseña cuidadosamente para limitar lo menos posible la resolución (nitidez) efectiva de la cámara. El filtro se construye con cuarzo o lithium niobate y se coloca delante del sensor.



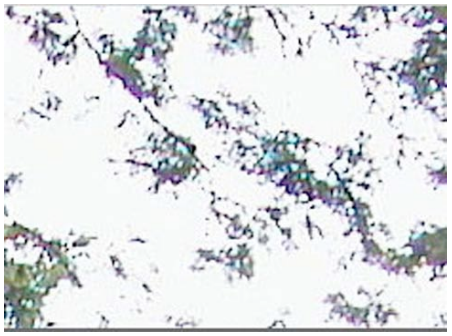
Optical Low pass filters.





En la imagen de la izquierda podemos observar el efecto Moire en la valla y la fachada de la casa, además de "artefactos" en el proceso de creación de color desde la Máscara Bayer. En la derecha el patrón de Moire esta corregido gracias a un filtro Optico de paso bajo (OLPF).Imagen de Eric Dubois

Blooming

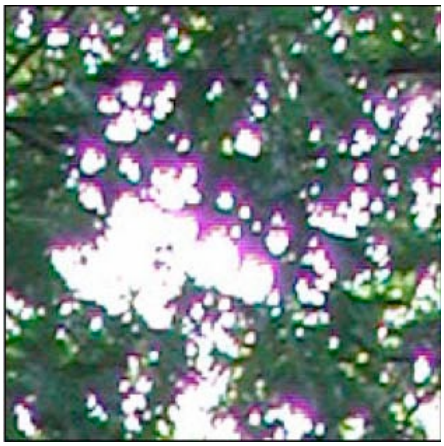


www.123di.com

El sensor esta compuesto por millones de fotodiodos que convierten los fotones de luz que les llegan en cargas eléctricas. Cuando la cantidad de fotones sobrepasa cierto nivel de la capacidad de almacenamiento y conversión del sensor, entonces las cargas generadas por estos fotones adicionales no repercuten en el valor de pixel siendo "recortados".
El blooming sucede cuando las cargas sobresaturadas afectan a los pixeles adyacentes causando un efecto "glow" que implica pérdida de detalle. Este efecto hace más presente las aberraciones cromáticas de las lentes y el reborde purpura.

Bordes Purpura (purple fringing)

En partes de la imagen con mucho contraste en los bordes puede aparecer un reborde purpura que es una aberración cromatica producida por las microlentes que los pixeles llevan incorporadas para aumentar la sensibilidad del sensor y mejora el factor de relleno (fill factor). Este defecto se da en toda la imagen.

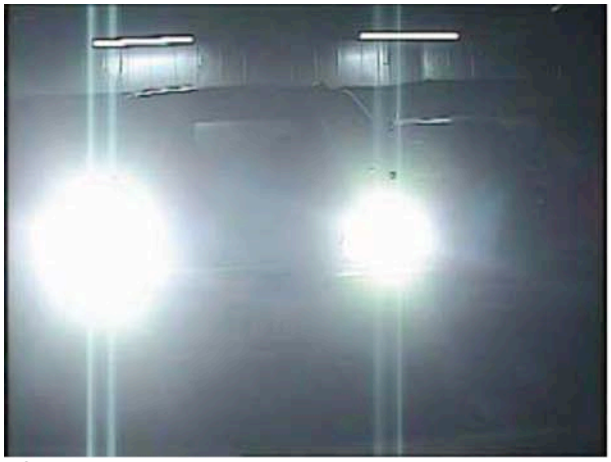


www.123di.com

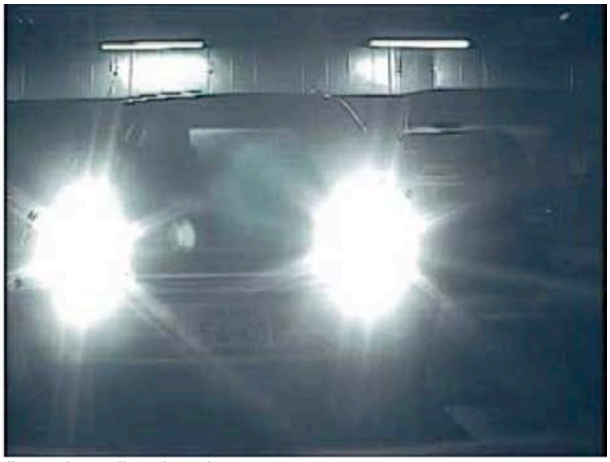
Smear

El efecto "Smear" es un fenomeno propio de las cámaras CCD con sensores IT que se produce al realizar tomas de objetos muy brillantes o fuentes luminosas en la oscuridad creando unas lineas verticales que pasan por dichos puntos luminosos. Este fenomeno se debe a las cargas acumuladas en los píxeles muy sobrexpuestos que se vuelcan al regristo vertical antes de que se produzca la transferencia desde esos pixeles a dicho regristo vertical

Este defecto se corrige con sensores FIT o también con sensores HAD.



Efecto Smear

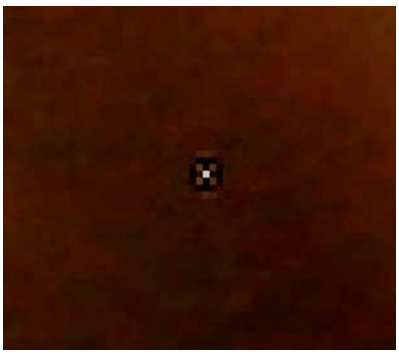


"Artefacto" reducido con un sensor HAD

Pixeles defectuosos

Nos encontramos a veces con que en nuestra imagen aparecen imperfecciones en forma de puntos que se traducen en pixeles defectuosos. Podemos apreciar cuatro tipos de errores:

1. Pixeles muertos, son aquellos que aparecen en forma de punto negro ya que no pueden capturar la luz y convertirla en valores eléctricos.



2- Los pixeles "calientes" (hot pixel) Los pixeles calientes de un sensor son aquellos que tienen una mayor derivación de carga eléctrica de lo normal, y se manifiestan en forma de puntos de color o blanco. Aparecen por un sobrecalentamiento del sensor o exposiciones muy largas.

3. Pixeles "atascados", es decir aquellos que siempre liberan el mismo valor eléctrico independientemente de la luz que incida sobre ellos, se manifiestan como un punto de color y aparece siempre independientemente de la exposición o el calentamiento del sensor.

4. En los sensores, especialmente los CMOS, pueden aparecer puntos blancos debido a los rayos cósmicos.

En general estos defectos se pude solucionar en cámara mediante los ajustes de balance de negros y blancos, de no ser así hay que corregirlo en posproducción. En todo caso, una minuciosa inspección de la cámara en la empresa de alquiler nos permitirá saber si hay o no píxeles defectuoso. Para ello se puede hacer una prueba muy sencilla que consiste en tapar la lente de la cámara y en total oscuridad, grabar con diferentes exposiciones una vez que la cámara este caliente (para lo que hay que esperar al menos 20 minutos).
No hay que confundir estos pixeles defectuosos con aquellos que pueden aparecer en las pantallas LCD que se manifiestan en forma de punto negro.

Motion blur



Caracterizamos este defecto como la falta de nitidez de objetos en movimiento de una imagen. Esta falta de nitidez se relaciona directamente con la cadencia de fotogramas y la obturación. Este efecto es especialmente notorio en acciones con movimientos muy rápidos, como puede ser el descenso de un esquiador o los coches de una carrera de Formula 1.
Para reducir el Motion Blur se necesitan exposiciones mucho más pequeñas que las que utilizamos normalmente llegando a ser necesario hasta de 1/1000 de segundo.
Hay que hacer notar que un cambio en la obturación lleva acarreado un cambio en la percepción del movimiento.

Polvo en el sensor



A veces pueden aparecer en la imagen punto negros desenfocados que correponden a la aparición de polvo sobre el sensor. Una cuidadosa limpieza impedira que esto suceda.

Rolling shutter (obturación progresiva)

Se produce en aquellas cámaras que llevan un obturador progresivo, es decir, que "barren" la imagen en una dirección y por lo tanto no en el mismo instante de tiempo. Este defecto se manifiesta en dos aspectos, uno variando la geometria de la imagen durante el movimiento rápido de la cámara creando el conocido efecto "gelatina" o "flan" , esto es, las líneas que son verticales aparecen en la imagen como diagonales ondulantes durante el movimiento de la cámara. Una variante de este aspecto es el efecto esviaje que produce la distorsión de lineas que se mueven a gran velocidad.



Efecto "gelatina



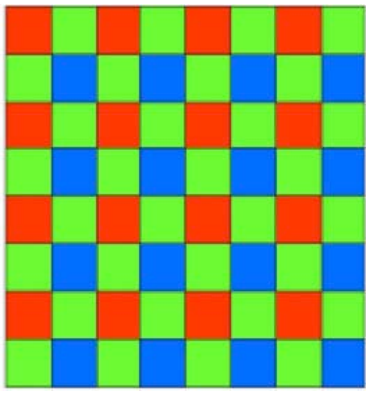
Efecto "Esviaje"

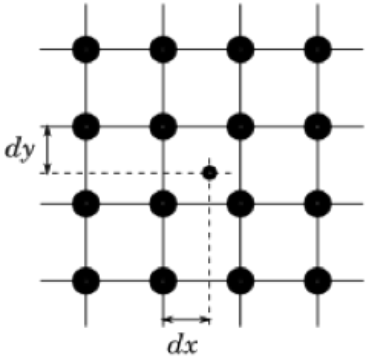
El otro efecto se concreta en una variación de la luminosidad en distintas zonas de la imagen, esto último se produce cuando en la escena hay un cambio de la intensidad luminica de una frecuencia superior al registro del obturador, esto es por ejemplo un rayo, o luces estroboscopicas.
Estos "artefactos" son más notorios cuanto menor es la calidad de la cámara. Los defectos se pude corregir en posproducción con algunos plugins diseñados especificamente para ello.
Estos errores digitales debidos a la obturación son más propios de los sensores CMOS aunque también pueden producirse en los CCD con este tipo de obturación.



Imperfecciones propias de los sensores con máscara Bayer.

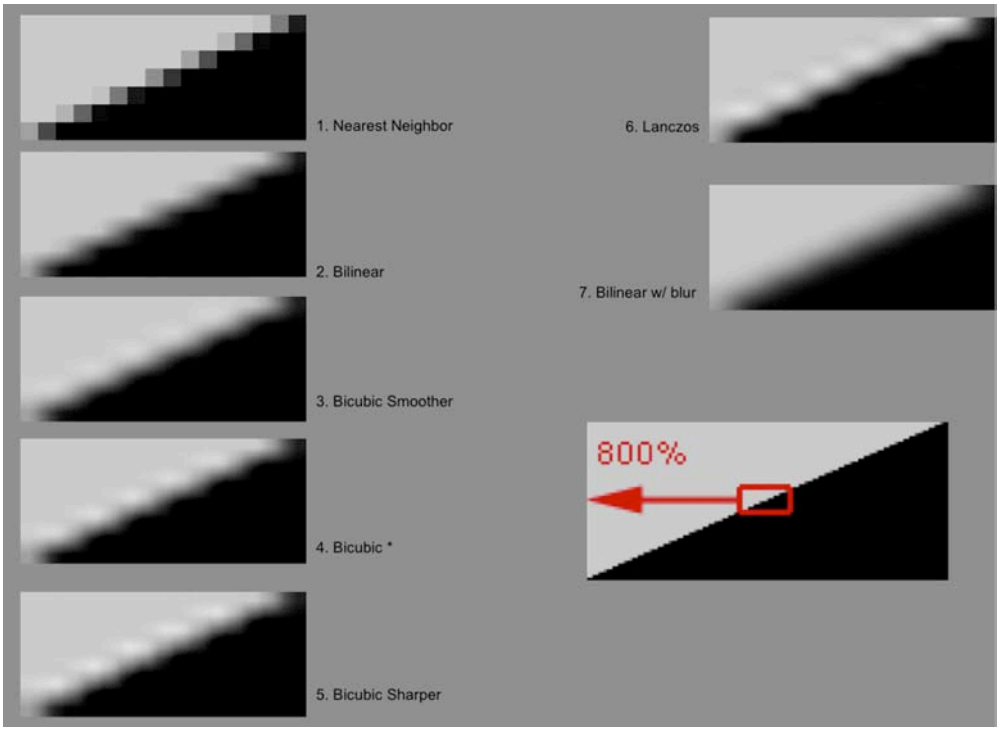
No vamos a detallar aquí el funcionamiento de la mascara bayer, baste recordar que utiliza la mitad de sensores rojos y azules respecto de los verdes para contruir la imagen, por lo que durante la creación de la misma se utilizan procesos de interpolación. Entendemos por Interpolación el sistema por el cual se modifica el número de pixels reales de una imagen por obtener otro superior o inferior. Existen muchos y muy diversos sistemas de calculo para interpolar. A modo de ejemplo y sin querer ser exhaustivo podemos indicar algunos:
Interpolación por aproximación:.Se basa en obtener el promedio de valores de los 2 pixeles más próximos. La **Interpolación bilineal** es una mejora de la anterior, promediando 4 pixeles adyacentes.
Interpolación bicúbica: Es el sistema más usado y promedia 16 pixeles adyacentes.



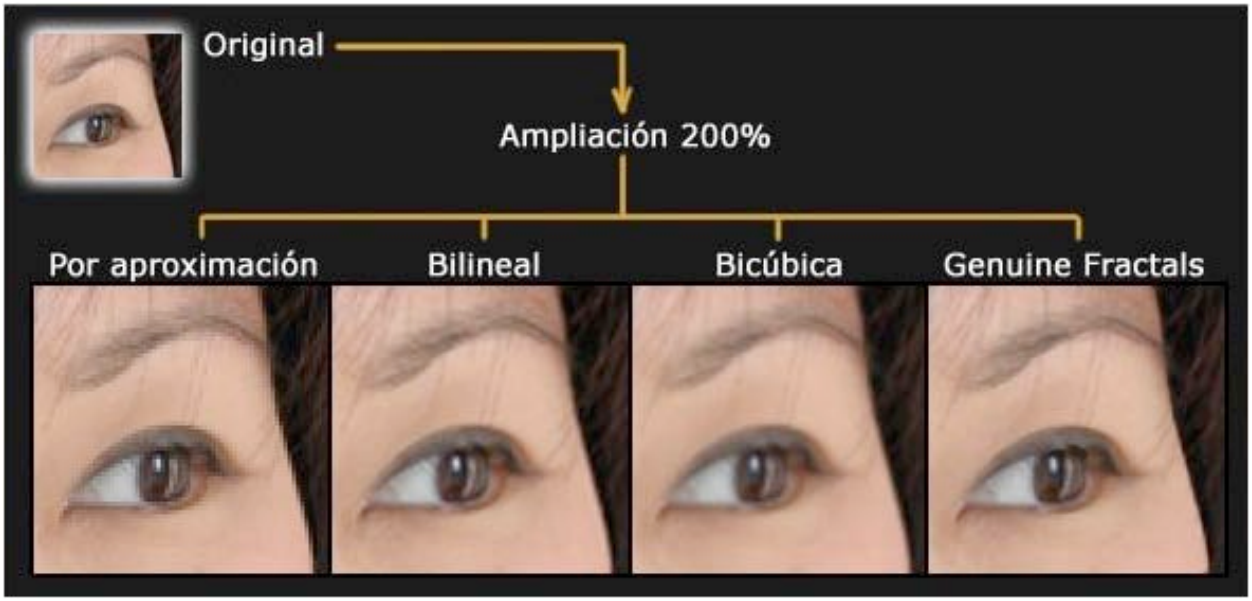


Interpolar significa crear un nuevo píxel a partir de los ya existentes y por referencia a ellos.

Interpolación en escalera (*Stair Interpolation*): Se basa en la interpolación bicúbica con la diferencia que se va interpolando en incrementos de un 10% en cada paso con respecto al anterior.
Interpolación S-Spline: Este método de interpolación determina el color de un pixel «desconocido» basándose en la totalidad de colores de la imagen, a diferencia que los métodos anteriores.
Los efectos de interpolación son más visilbles en los bordes donde hay cambio de color o contraste elevado.En esta imagen mostramos el efecto de interpolación con distintas modificaciones.



Veamos el efecto sobre una imagen:



Basten estas imágenes para señalar la importancia de la elección de los sistemas de interpolación para la calidad de imagen.

Algunos de los efectos que podemos apreciar fruto del proceso de creación de la imagen desde la máscara Bayer son:



http://www.123di.com/.Vincent Bockaert

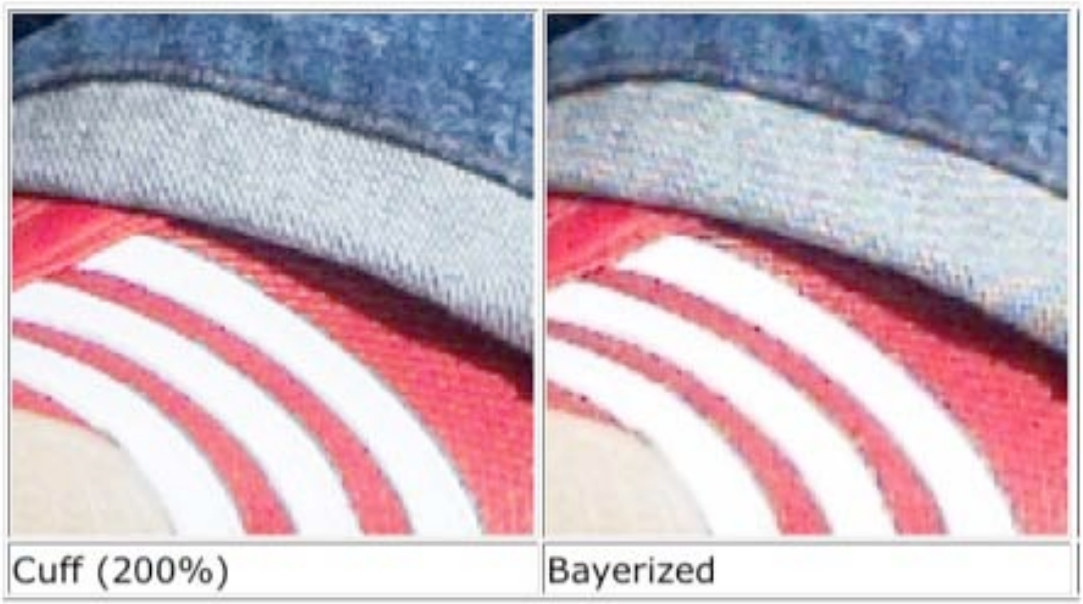
Maze (Laberinto)

Estas imperfecciones aparecen sobre imágenes con patrones de muy alta frecuencia y se muestran como lineas verticales y horizontales creando una sensación de laberinto, de ahí su nombre. Este efecto aparece en cámaras RAW.

En la imagen de la izquierda podemos observar el efecto sobre el cuello del abrigo con un textura de espiga de muy dificil reproducción. Podemos observar también un efecto Moire.

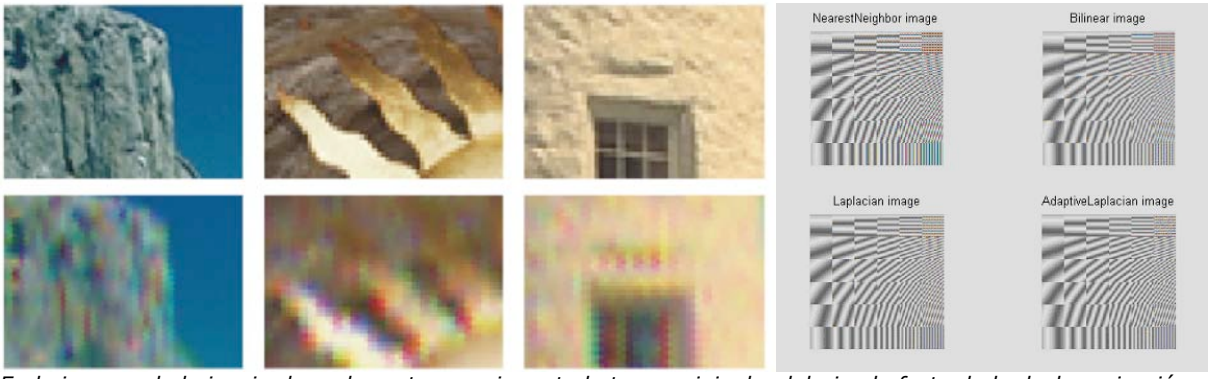
Imperfecciones de color.

De nuevo en los casos en las imágenes muestran patrones de alta frecuencia se puede observar interferencias de color.



En esta foto se pueden oobservar las interferencias de color especialmente en el dobladillo del pantalón baquero. Imágenes de Mike Chaney

Otro ejemplo más:

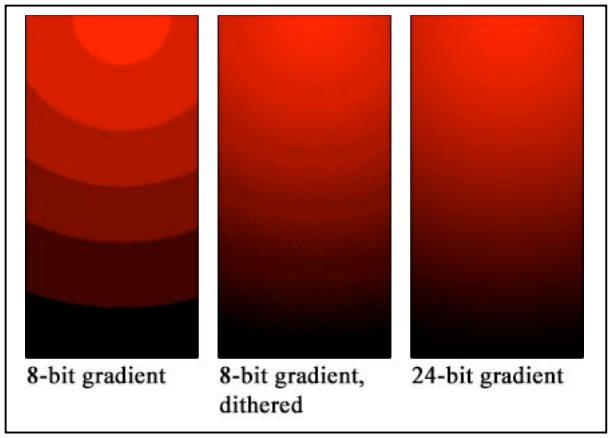


En la imagen de la izquierda en la parte superior esta la toma original y debajo el efecto de la desbayerización. En la imagen de la derecha se puede apreciar el efecto sobre cartas y con disitintos sistemas de interpolación.

Hay que decir que estas imperfecciones estan muy corregidas sobre todo en las cámaras profesionales pero conviene conocerlas por si aparecieran en nuestras imágenes.

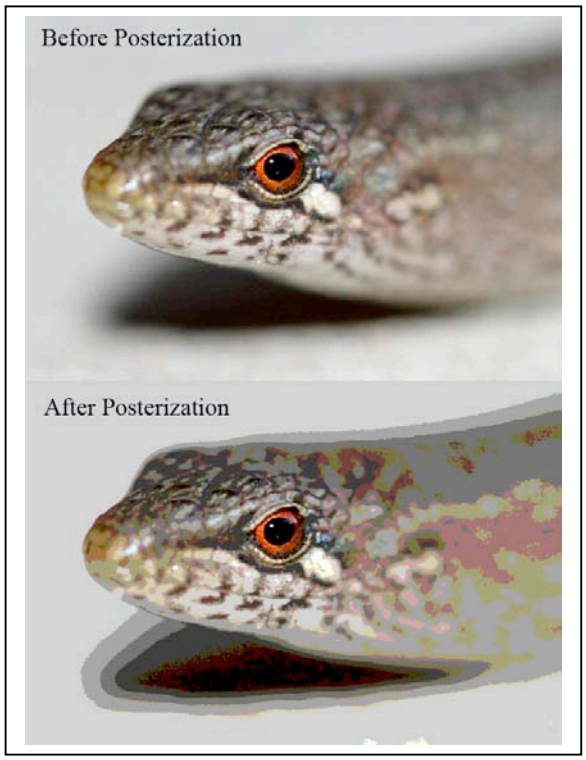
Imperfecciones debidas a un insuficiente cuantificación

Banding



El proceso por el que convertimos la imagen analógica procedente del sensor en imagen digital se conoce como cuantificación y se produce en los conversores A/D de las cámaras. Una insuficiente cuantificación, es decir, representar la imagen analógica con una cantidad escasa de bits produce saltos abruptos en la reproducción de la gama tonal de una imagen.
Este efecto es especialmente notorio en imágenes con zonas donde las variaciones de tono son pequeñas, como por ejemplo, los cielos. El banding puede aparecer no solo como consecuencia del tratamiento de la imagen en cámara sino también en prosproducción, por ejemplo, cuando teniendo una imagen original en 10 bits la trabajamos en 8 bits por ejemplo para corregir color. A veces, se aplica un proceso conocido como *Dithering* para disimular el efecto de una insuficiente cuantificación creando computacionalmente pixeles de color.

Posterización

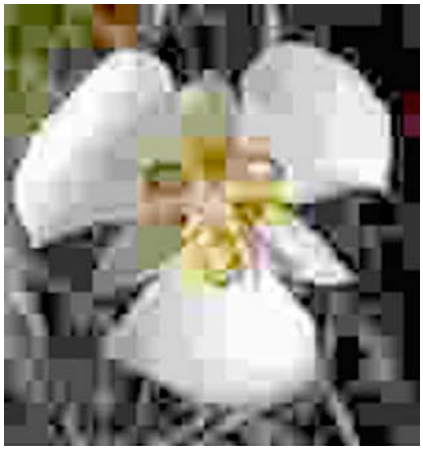


Este efecto, primo hermano del anterior, se caracteriza por una falta de información en las zonas con pocas variaciones de tonos que da a estas una entonación parecida a los efectos de posterización que aplicabamos a los positivos análogicos. Por ejemplo, en el caso de las zonas oscuras, estas aparecen como empastadas, "viradas" uniformemente hacia un tono, en general bronce.

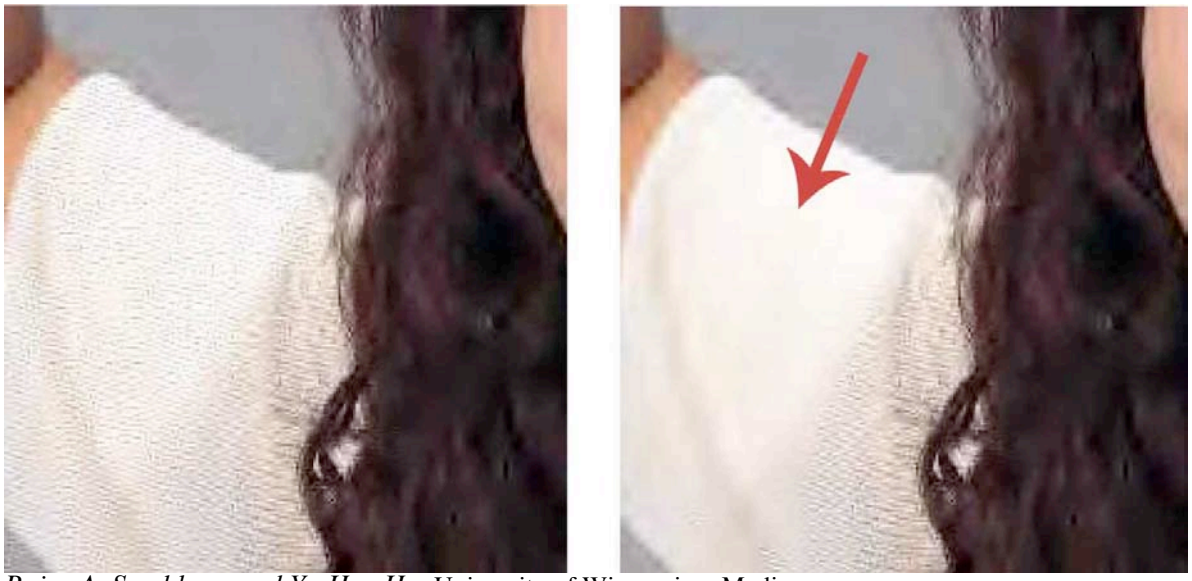
Imperfecciones debido a los sistemas de compresión

A la hora de grabar la información liberada por la cámara aplicamos sistemas de comprensión que en mayor o menor medida pueden afectar la imagen. Pasamos a detallar algunos de ellos

-**Bloques**
Este efecto debido a la compresión que se hace de la imagen se manifiesta en forma de bloques de píxeles.



-Blurring (emborronamiento)
Las imágenes comprimidas aparecen más suaves que la original, es decir presentan menos nitidez.



Rajas A. Sambhare and Yu Hen Hu. University of Wisconsin – Madison

-Ringing artifacts (mosquito noise, ghosting, echoing)

Los defectos denominados "anillo" son aquellos que se producen en los bordes de transiciones suaves y que forman como un halo o doble imagen recorriendo estos. Este efecto en imágenes, en movimiento, crea en esos bordes una especie de desonfoque ondulado conocido como ruido "mosquito".



Original



Efecto anillo.

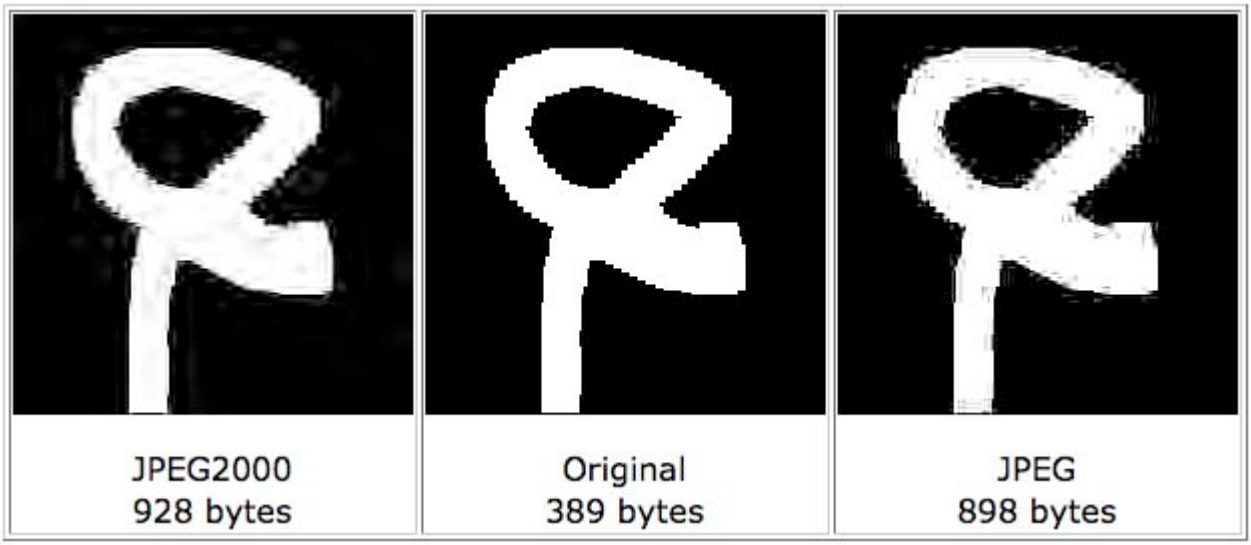


Imagen de Aleks Jakulin



- Distorsión del color (Washout)

El contraste entre colores, en su tono o saturación, que tienen el mismo nivel de brillo se pierde, siendo sustituidos dichos colores por otro intermedio que puede aparecer muy distinto del original.

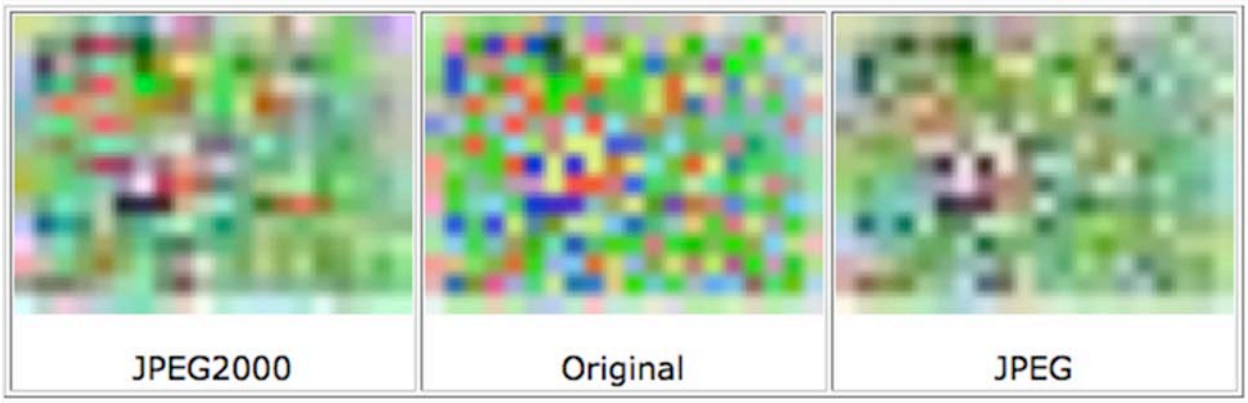


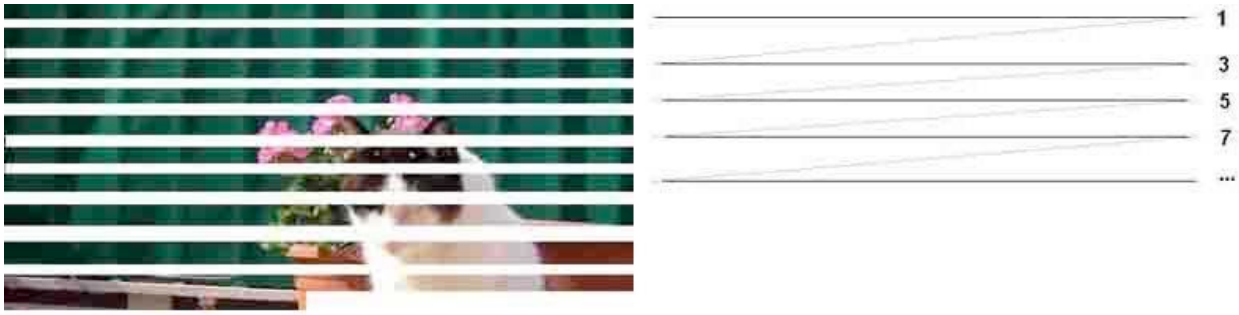
Imagen de Aleks Jakulin

Los procesos de muestreo de la señal de color (color Subsampling) introducen también defectos en la imagen, mezclando los colores en los bordes. Como sabemos, el muestreo expresado normalmente en tres valores separados por puntos, indica la relación de la luminancia y la crominancia, de suerte que en muchos casos se da menos resolución al color que a la luminancia, por ejemplo, un muestreo 4:2:2, nos indica que los dos valores de croma tienen la mitad de información (resolución) que la luminancia. En los formatos de alta gama que usan RGB 4:4:4 no hay diferencia en la información de los tres canales y son los que ofrecen una mayor calidad de imagen. El muestreo 4:2:2 es ampliamente utilizado en los entornos profesionales y lo utilizan sistemas de video digital como:
AVC-Intra 100,Digital Betacam,DVCPRO50 and DVCPROHD, ProRes 422, XDCAM HD422

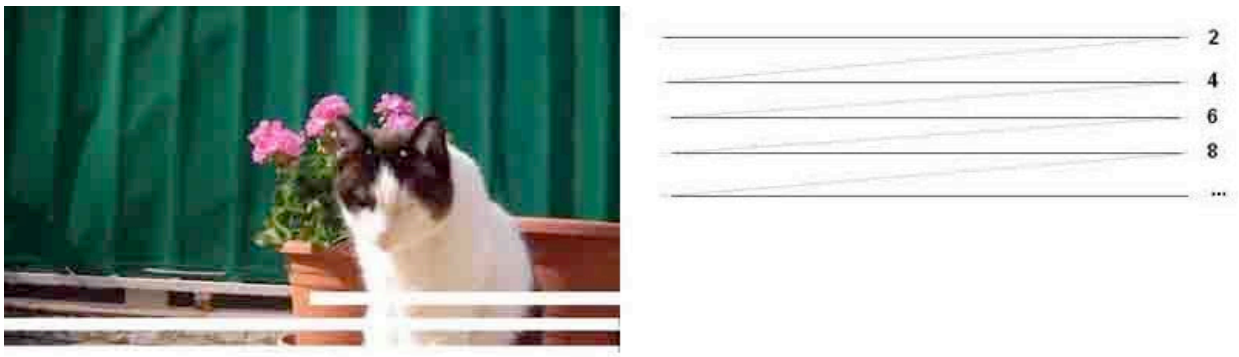


En esta imagen se ve el efecto de compresión en los bordes entre los colores

El **borde diente de sierra** que aparece en los sistemas que crean la imagen mediante dos campos entrelazados. Este artefacto se produce por el proceso de capturar la imagen en dos campos distintos, esto es con una diferencia de tiempo entre ambos. Podemos considerar que el sistema entrelazado es un sistema de compresión ya que permite enviar una imagen con menor ancho de banda. En la actualidad este efecto desaparece si al rodar usamos una cámara con lectura progresiva, esto es “p” frente a “i”.



Campo Impar



Campo par

Y para terminar este paseo por el museo, un resumen de los elementos a considerar para la elección de los distintos sistemas/formatos de compresión (codecs) que afectan directamente a la aparición de los "artefactos" que venimos comentando:

1-Rango de compresión, es decir cuantas veces es comprimida la imagen respecto del original. Por ejemplo, el formato HdcamSR tiene un rango de compresión de 2:1, el Hdcam 4:1 o el HDV de 27:1
2-Tasa de transferencia de los datos, que se mide en Megabits por segundo. Esto es, cuanta información esta sujeta a la compresión y cuanto ancho de banda se requiere para mover los archivos. Por ejemplo la Sony EX3 opera a un valor máximo de 35 Mbs frente al formato HdcamSR, que puede llegar a los 880Mbs
3-El color, bits por canal y el factor de muestreo (sampling/subsampling). Esto es, cuanta información de color se puede reproducir. Por ejemplo, HdcamSR graba a 10 Bits por canal en 4:4:4 frente al HDV que lo hace a 8 bits y en 4:2:0, o el Hdcam que trabaja a 8 bits en 3:1:1
4-Los procesos de reescalado, esto es la relación entre el tamaño del sensor y su salida respecto del tamaño grabado, por ejemplo, HDV 1080i es reescalado a 1440x1080
5-Estructura de la compresión, I frame o Long GOP, por ejemplo.
6- Tiempo que permite de grabación.
6- Rendimiento del color. Log, lineal o Raw.
7- La interacción con los distintos sistemas de edición. Trabajar en tiempo real con los distintos editores y en formato nativo.
A continuación una tabla de distintos sistemas de vídeo.

Tabla elaborada por Martin Doppelbauer
http://www.martin-doppelbauer.de/index.html

Video Recording Formats

System		PAL-DV	NTSC-DV	HDV HD1	HDV HD2	HDCAM	HDCAM SR	XDCAM SD		XDCAM HD	XDCAM EX	DVCPRO25	DVCPRO50	DVCPRO HD		
	Manufacturer	various	various	JVC	Canon Sony	Sony		Sony				Panasonic				
Video	Quantization	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit	10 bit	8 bit		8 bit	8 bit	8 bit	8 bit	8 bit		
	Compression	DCT Intraframe	DCT Intraframe	MPEG2 Interframe	MPEG2 Interframe	DCT Intraframe	MPEG4 SP Intraframe	MPEG2 (IMX) Intraframe	DCT Intraframe	MPEG2 Interframe	MPEG2 Interframe	DCT Intraframe	DCT Intraframe	DCT Intraframe		
	Compression Ratio	5:1	5:1	18:1	18:1	4:1	2,7:1 4,2:1					5:1	2,5:1	6,7:1		
	Color Sampling	4:2:0	4:1:1	4:2:0	4:2:0	3:1:1	4:2:2 4:4:4	4:2:2	4:1:1 4:2:0	4:2:0	4:2:2	4:1:1	4:2:2	4:2:2		
	Luma Resolution	720x576	720x480	1280x720	1440x1080	1440x1080	up to 1920x1080	720x480 720x576		1440x1080	up to 1920x1080	720x480 720x576	720x480 720x576	960x720	1440x1080	1280x1080
	Chroma Resolution	360x288	180x480	640x360	720x540	480x1080	up to 1920x1080	up to 360x576		720x540	up to 960x1080	180x576	360x576	480x720	720x1080	640x1080
	Picture Format	576i	480i	720p	1080i	1080i/p	1080i/p	480i 576i		1080p	1080p	480i 576i	480i 576i	720p	1080i/p	1080i/p
	Framerates	25i	30i	25/30p 50/60p(*1)	25/30i 25/30p(*1)	24/25/30p 25/30i	24/25/30p 25/30i	variable		variable	variable	30i 25i	30i 25i	25/30/50p	25p 25i	30p 30i
	Video Datarate	25 Mbps CBR	25 Mbps CBR	19 Mbps CBR	25 Mbps CBR	112-140 Mpbs CBR	440 Mpbs CBR	30/40/50 Mbps CBR	25 Mbps CBR	18 Mbps VBR 25 Mbps CBR 35 Mbps VBR 50 Mbps CBR	18 Mbps VBR 25 Mbps CBR 35 Mbps VBR	25 Mpbs CBR	50 Mbps CBR	100 Mbps CBR		
Audio	Sampling	32/48 kHz		48 kHz		48 kHz		48 kHz				32/48 kHz		48 kHz		
	Quantization	12/16 bit		16 bit		20 bit	24 bit	16 bit				12/16 bit		16 bit		
	Compression	none		MPEG1 Layer II		none		none				none		none		
	Audio Datarate	1536 kpbs		384 kbps		3840 kbps	13824kbps	3072 kbps				1536 kpbs		3072 kbps		6144 kbps
	Channels	4/2		2 (or 4(*1))		4	12	4				4/2		4	4	8
Tape	Size	1/4"		1/4"		1/2"		Blu-ray disc			SxS-Card	1/4"		P2-Card		
	Playing Time	80-270 mins		80 mins		49-155 mins	124-155 min	25 GB (single layer) 50 GB (dual layer)			16 GB as of 2007	80 mins	40 mins	32 GB as of 2007		

(*1) An extention of the original HDV specifications only supported by some cameras.

Referencias:

Recomendaciones del Cocinero:

- Digital video Image Quality and Perceptual Coding. H.R.Wu y K.R.Rao. Ed.Taylor & Francis
- http://www.123di.com
- http://www.cambridgeincolour.com/tutorials.htm

Menú diario:
-http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon
-http://pixinsight.com
http://koosla.googlepages.com/m%C3%A9todosdeinterpolaci%C3%B3n%3Aintroducci%C3%B3n
-http://www.ddisoftware.com/reviews/sd9-v-bayer/
-Baseline JPEG and JPEG2000 Artifacts Illustrated. Aleks Jakulin
-http://www.stat.columbia.edu/~jakulin/
-CONTENT BASED BLURRING CODING ARTIFACT REDUCTION USING PATCH-BASED TEXTURE SYNTHESIS
Rajas A. Sambhare and Yu Hen Hu
-BAYER PATTERN BASED CFA ZOOMING / CFA INTERPOLATION FRAMEWORK. *R. Lukac1 K. Martin1 K.N. Plataniotis1 B. Smolka2+ A.N. Venetsanopoulos1R. Lukac1 K. Martin1 K.N. Plataniotis1 B. Smolka2+ A.N. Venetsanopoulos1*

(1)Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon.