

Capítulo 6. Tecnología DSLR

Desde hace varios años las cámaras fotográficas no profesionales de gama baja e intermedia, además de tener la capacidad para realizar imágenes fijas, también son capaces de capturar clips de vídeo de baja o media resolución.

Sin embargo, la mayor parte de las cámaras SLR digitales de nivel avanzado han seguido manteniendo su competencia central en la toma de imágenes fijas, sin ampliarla a la captura de vídeo.

En 2008 Nikon cambió esta tendencia con el anuncio de su nueva cámara modelo D90, la primera réflex digital profesional con capacidad para grabar vídeo en alta definición.



Este importantísimo cambio en la filosofía de las réflex digitales surgió de la tecnología Live View, presente en varias marcas como Nikon, Canon y muchas otras, que permite ver en directo sobre una pantalla LCD, en lugar del visor óptico, la imagen que está siendo capturada por el sensor de la cámara.

La llamada visión en vivo o live view, es una de las características que hasta hace un par de años era exclusiva de las cámaras compactas.

Si bien en la actualidad, casi todas las cámaras réflex actuales la incorporan, fue la Olympus E-330 el primer modelo en introducirlo en una cámara réflex.

La visión en vivo o live view, consiste, fundamentalmente en la posibilidad de poder ver, mediante la pantalla LCD, la escena a la que estamos enfocando en directo.

Nikon utilizó esta tecnología de Live View para capturar las imágenes y procesarlas y comprimirlas en tiempo real, obteniendo los archivos de vídeos con un tamaño optimizado para almacenarlos en las tarjetas de memoria de las cámaras fotográficas.

Por primera vez, una cámara fotográfica digital de lentes intercambiables tenía la capacidad de grabar vídeos en alta definición, lo que abrió un campo de posibilidades a los productores de vídeo.

Poco después de que la D90 saliese al mercado, Canon respondió con una cámara de altísimas prestaciones que actualizaba uno de los modelos de más éxito de la marca, la 5D. La nueva cámara, la 5D Mark II, empezó a liderar esta nueva tecnología.

Desde entonces, existen varios modelos que van desde los 600€ hasta los 4000€, que completan el mercado de las VDSLR, o lo que es lo mismo *Video Digital Single Lens Reflex*.

Este fenómeno de cámaras digitales réflex con capacidad para vídeo en alta definición supone para muchos una tecnología revolucionaria, equiparable a la invención de la película en color, el 16mm o la HDTV.

El porqué de esta afirmación y la importancia de esta tendencia en la cinematografía se puede resumir en la capacidad de estas cámaras para filmar con condiciones de luz bajísimas y la posibilidad de utilizar lentes intercambiables, hasta ahora inalcanzable para el público mayoritario por su elevado precio.

Este acercamiento a la estética cinematográfica supone una democratización del lenguaje visual porque cualquier persona puede acceder a este tipo de cámaras y grabar imágenes de gran calidad que antes estaban acotadas al vídeo profesional.

En este capítulo se describirán y analizarán los detalles de la producción de vídeo con cámaras DSLR.

El uso de esta nueva herramienta, cuya función principal sigue siendo hacer fotos, viene acompañada de varios problemas cuando se utiliza para grabar vídeos.

Estos problemas, descritos en un apartado posterior, tienen solución y los usuarios deben aprender a convivir con ellos mientras el mercado evoluciona y mejora poco a poco estas deficiencias.

Prueba de la calidad obtenida por estas cámaras son los ejemplos citados a continuación, todos ellos pertenecientes a contenidos profesionales emitidos en horarios de máxima audiencia en televisión.

La serie de ficción “House” grabó en mayo de 2010 el último capítulo de su temporada con la cámara Canon EOS Mark II, sin usar estabilización extra y con lentes estándar de fotografía.

El conjunto completo para grabar no superaba en la fecha los 3000€ de presupuesto, una cantidad ridícula en comparación con el coste habitual de los equipos utilizados de forma habitual en las series de máxima audiencia.

En la siguiente imagen se puede ver un fotograma extraído de dicho capítulo. En él se observa que la profundidad de campo es muy reducida, dejando totalmente desenfocado el fondo y centrando la atención en el protagonista, en primer plano.



Otros ejemplos de uso de esta tecnología DSLR está en los recientes anuncios televisivos, como la campaña que lanzó Greenpeace recientemente.

A continuación se muestra un fotograma de dicho spot.



Para concluir este apartado, se describe a continuación el ejemplo más reciente de uso de esta tecnología y la buena acogida por parte de los grandes operadores audiovisuales del formato DSLR.

En septiembre de 2010, la BBC publica su aceptación de las DSLR en el grupo de cámaras avaladas técnicamente para producir contenidos dentro de su cadena, lo que supone un aval importante para todas las productoras o independientes que comienzan a utilizar estas cámaras para sus producciones.

De nuevo, queda patente que esta tecnología ayuda a abrir el mercado audiovisual a productoras que pueden ofrecer una calidad de producción similar a la de grandes estudios con un costo mínimo.

En la siguiente imagen se puede ver a Tim Palmer, prestigioso director de fotografía, grabando una producción para la BBC con una cámara de fotos DSLR con los accesorios típicos que ayudan a su manejo y operación.



6.1 Conceptos básicos en las cámaras DSLR

6.1.1 Funcionamiento

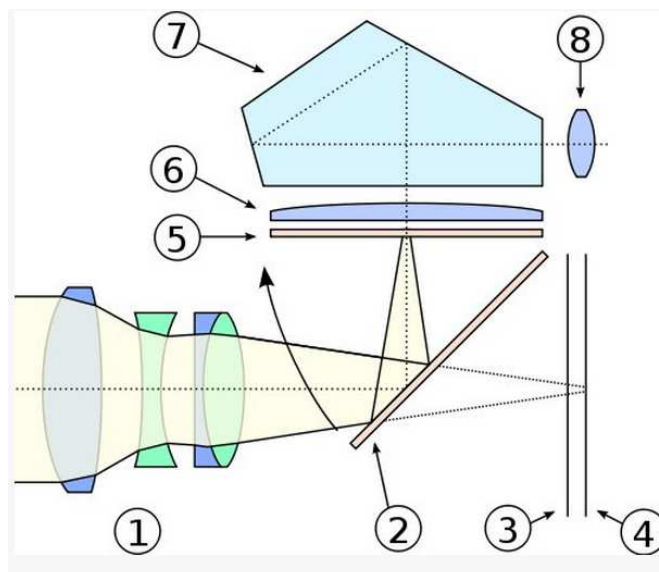
Las cámaras fotográficas réflex digitales, también llamadas DSLR (Digital-SLR), están diseñadas de modo muy similar al de las cámaras réflex analógicas de un objetivo (SLR, del inglés Single lens reflex).

Podría decirse que son una evolución de las réflex tradicionales en las que se sustituye la película por un sensor de imagen, manteniendo por lo general compatibilidad en cuanto al uso de los objetivos de las antiguas réflex analógicas.

Este tipo de cámaras poseen un espejo móvil interno que refleja la luz que entra por el objetivo llevándola al visor o al sensor según si estamos componiendo la imagen o disparando la fotografía propiamente dicha.

Este principio de funcionamiento es prácticamente igual para todas las que hay disponibles en el mercado desde que en el año 1959 Nikon sacó su modelo F al tiempo que Canon hacía lanzaba su Canonflex.

El concepto réflex no nace con las cámaras digitales, sino que proviene de la época del película analógica. En las réflex digitales se ha sustituido el negativo sobre el que se impresionaba la imagen por un sensor capaz de captar la luz que llega hasta su superficie; pero la estructura y funcionamiento de las cámaras sigue siendo tan similar que, por lo general, se pueden seguir empleando los objetivos utilizados con antiguas réflex analógicas.

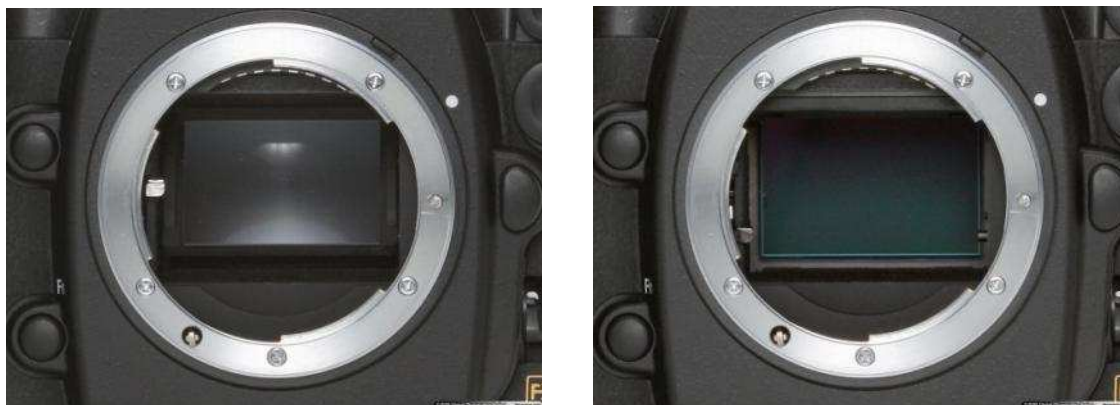


1. Conjunto de lentes del objetivo
2. Espejo abatible colocado a 45° si estamos componiendo la imagen y que sube a la hora de disparar.
3. Obturador que se abre durante el tiempo de exposición de la fotografía
4. Sensor (o película en caso de cámaras analógicas)
5. Pantalla de enfoque en la que aparecen los diversos indicadores que vemos en el visor
6. Lente encargada de disminuir el tamaño de la imagen para adaptarla al visor
7. Pentaprisma (o pentaespejo) que refleja en sus caras la imagen que viene del espejo para llevarla al visor
8. Visor por el que miramos para componer la fotografía

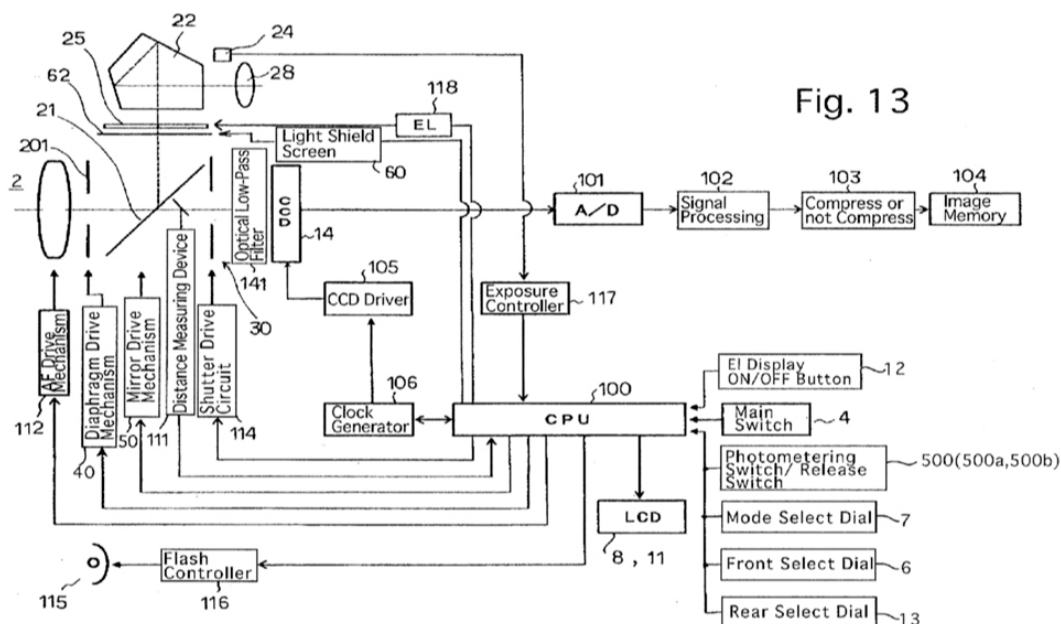
El elemento básico de una cámara réflex, además del sensor o película, es el espejo que bascula a la hora de disparar la fotografía y que será el encargado de guiar la luz hacia el sensor o el visor. La luz entra en todo momento por el objetivo de la cámara, pero mientras no estemos tomando la imagen, el espejo que está delante del obturador tendrá una inclinación de 45° que desviará la imagen al pentaprisma y posteriormente al visor donde el usuario realiza el enfoque o la lectura de diversos parámetros, dependiendo del modelo de cámara.

A la hora de tomar la fotografía, el espejo se levanta (por lo tanto dejará de haber imagen en el visor) y deja pasar la luz hasta el sensor de la cámara. En todo caso, la luz tomará uno de estos dos caminos, pero nunca los dos al mismo tiempo.

Las dos siguientes imágenes ilustran la montura de una Nikon D700 sin ningún objetivo. En el primer caso se puede ver el espejo de la cámara y en el segundo el sensor mientras se está tomando la fotografía (el espejo está levantado y lo que entra por el objetivo se proyectaría sobre el sensor). Por lo tanto, la primera imagen corresponde a la composición de la fotografía porque estaremos viendo a través del objetivo mediante el visor gracias a que el espejo proyecta la imagen y la segunda corresponde a la captura de la fotografía propiamente dicha, pues el espejo está levantado y la luz llega directamente hasta el sensor.



En la siguiente ilustración podemos ver un esquema de conexión de elementos de una réflex digital.



6.1.2 Sensor

Formato del sensor

En fotografía digital, el formato del sensor de imagen es la forma y el tamaño del sensor de imagen.

El formato del sensor de imagen de cámaras digitales determina el ángulo de visión de un lente específico cuando está utilizado con una cámara determinada.

Particularmente, los sensores de imagen en cámaras réflex digitales tienden a ser más pequeños que los 24 mm x 36 mm de área de imagen de las cámaras de 35 mm de marco completo, y por lo tanto llevan a un ángulo de visión más estrecho. Para un número dado de pixels en un sensor, mientras más grande es el sensor de imagen típicamente produce imágenes de más alta calidad porque los pixels individuales tienen un tamaño.

Las lentes producidas para las cámaras de película de 35 mm se pueden montar bien en los cuerpos de las cámaras digitales, pero debido al menor tamaño del sensor comparado con la película de 35mm, hace que se capte una parte proporcional, lo que resulta en un recorte de la imagen original captada por la lente.

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.

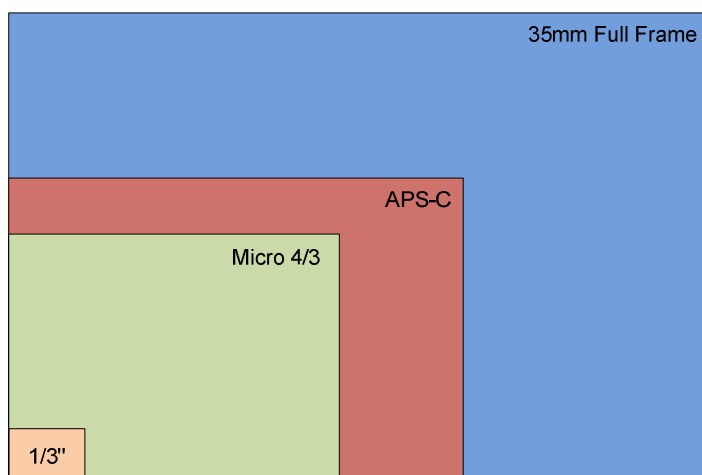
A comienzos del siglo XX, en la búsqueda de un formato más ligero para las cámaras, el uso de la película de 35mm fue adaptado para el uso de cámaras de fotografía.

Al principio no existía ninguna norma exacta sobre el tamaño del cuadro, pero con el tiempo la industria lo estableció en 36x24 mm. Sobre estas medidas se establecieron sistemas de Leica, Zeiss, Canon y Nikon entre otros.

En la segunda mitad del siglo XX, la fotografía profesional estaba dominada por los sistemas de 35mm SLR de Canon y Nikon. Existía un gran número de lentes adaptadas a estos sistemas.

Cuando nacieron las DSLR, réflex digitales, el tamaño de sus sensores no era como el estándar de 35mm que se había creado años atrás. Este hecho causó gran consternación en los fotógrafos que se habían formado en el uso de lentes para 35mm y presionaron a la industria para ofrecer sensores de 36x24mm.

En la siguiente ilustración puede compararse el tamaño de la película estándar de 35mm con el tamaño de los sensores habituales en las cámaras de vídeo y fotografía.



Tecnología CMOS-CCD

El CCD (Charge-Coupled Device) fue inventado en 1969 por dos investigadores de Bell Labs en Murray Hill, Nueva Jersey, Willard S. Boyle y George E. Smith.

En el CCD, los fotones entrantes golpean una matriz de fotodiodos que convierte la energía luminosa en electrones que se almacenan brevemente en un pozo de potencial de carga, antes de ser trasladado a lo largo de registros gracias a un amplificador.

Originalmente, los CCD se investigaron para buscar nuevas tecnologías de almacenamiento y memoria. Aunque esta vía de desarrollo no fue fructífera, la sensibilidad del CCD a la luz lo hizo recomendable para aplicaciones de imagen.

La luz, la parte visible del espectro electromagnético, se extiende desde aproximadamente 400 a 700 nm (nanómetros o $0.4\mu\text{m}$ a $0.7\mu\text{m}$). El silicio responde a longitudes de onda inferiores: 1100nm ($1.1\mu\text{m}$), una coincidencia que lo convertía en un material idóneo para esta tarea.

Los fotodiodos, de hecho, son los semiconductores más básicos de los tipos pn, compuesto por un semiconductor tipo p y un tipo n.

Si un electrodo positivo (ánodo) es unido a un extremo de tipo p, y un electrodo negativo (cátodo) al extremo n, y una corriente pasa a través de este circuito, la corriente fluye a través del semiconductor. Esto se conoce como polarización directa.

Si se crea el circuito inverso uniendo un electrodo positivo al lado n y un electrodo negativo a la cara p del par pn, entonces la corriente eléctrica no puede fluir. Esto es conocido como polarización inversa.

Los fotodiodos poseen este tipo de polarización inversa. La principal diferencia de los semiconductores estándares es la forma en la que acumulan carga eléctrica en proporción directa con la cantidad de luz que incide en ellos, un atributo fundamental para su uso en las aplicaciones de imagen.

Los fotodiodos están diseñados para permitir que la luz incida en su extremo de tipo p. Cuando la luz choca en esta cara, electrones y huecos son creados (par de carga electrón-hueco) dentro del semiconductor en un efecto fotoeléctrico.

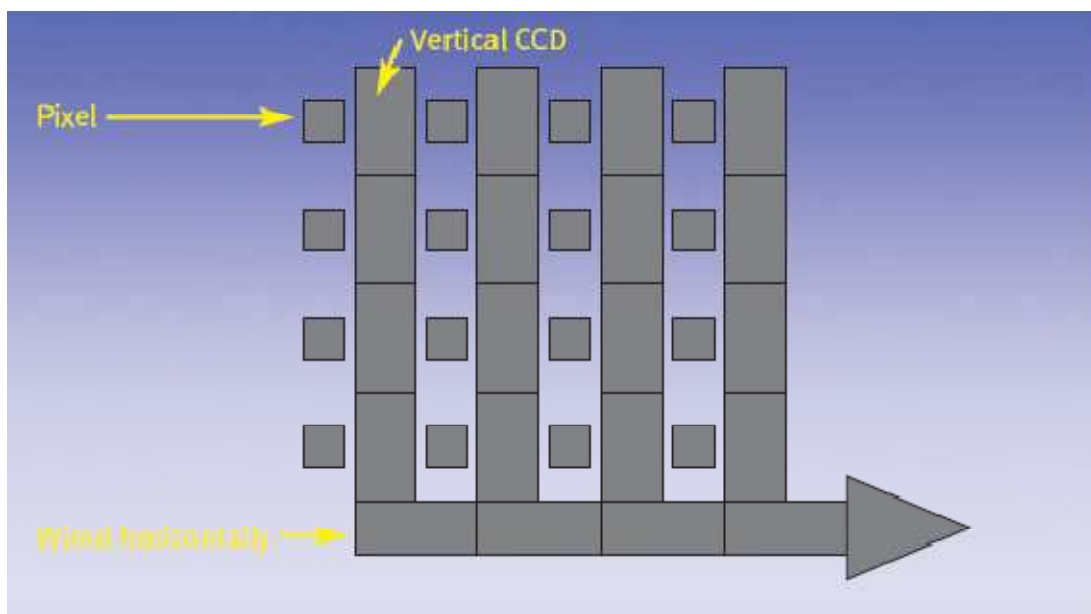
Dependiendo de la longitud de onda, los fotones son absorbidos a diferentes profundidades en el silicio.

Longitudes de onda corta que impactan en el fotodiodo son absorbidas por la capa p, y los electrones creados son atraídos a la capa del lado n. Longitudes de onda larga que llegan a la capa de tipo n, y los huecos creados como resultado en el lado n, son atraídos a la capa p.

Por lo tanto, los huecos se reúnen en el lado de tipo p, que acumula carga positiva, mientras que los electrones se reúnen en el lado de tipo n, que acumula carga negativa. Dado que el circuito está polarizado inversamente, la carga eléctrica generada no es capaz de fluir.

Mientras más brillante es la luz incidente, más carga se acumulará dentro de él. La acumulación de carga eléctrica en la unión del par pn cuando la luz incide es conocida como efecto fotovoltaico.

Funcionamiento del CCD



Cada carga eléctrica de un pixel se traslada de forma síncrona hacia la siguiente fila y también horizontalmente. El convertidor final transforma esta carga en una señal de tensión.

El CCD está compuesto por fotodiodos y estructuras de polisilicio para la transferencia de las cargas acumuladas dentro del fotodiodo hacia el borde del CCD. Los fotodiodos están ordenados en una matriz X,Y con filas y columnas y se denominan comúnmente como píxeles.

Las regiones de transferencia de carga se disponen en columnas al lado de cada fila de los fotodiodos. Estas cargas no se pueden leer como señales eléctricas y deben ser transferidas a lo largo del CCD hacia los vertidos, donde son convertidas en voltaje, una fila cada vez. Todos los píxeles de un CCD se activan a través de esta etapa común del amplificador.

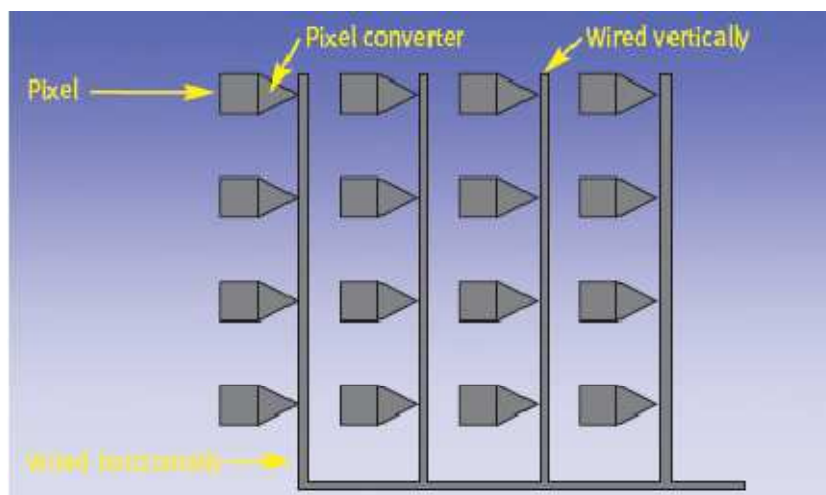
Mediante la aplicación de una serie de pulsos las cargas acumuladas de cada fotodiodo son retransmitidos en orden secuencialmente. La zona de carga acoplada de un CCD se refiere a la forma en la que la carga es trasladada a través de cada nivel de los fotodiodos.

Esta forma de procesar la señal es inherentemente más lenta que el procesamiento simultáneo llevado a cabo en sensores de tipo CMOS, de los que se habla en el siguiente apartado.

El CCD además, requiere que se apliquen diferentes voltajes en varias zonas para dos, tres o cuatro señales de fase del reloj. Este hecho incrementa el consumo de corriente y la potencia disipada, haciendo su integración más difícil y sumando costos en los componentes auxiliares.

Funcionamiento del CMOS

Al igual que los CCDs, los sensores CMOS son semiconductores sensibles a la luz. Tienen una estructura muy similar a las utilizadas en las memorias de ordenadores y microprocesadores. Mientras que las memorias utilizan filas y columnas de transistores para grabar datos, los sensores CMOS contienen filas de fotodiodos de carga acoplada con amplificadores individuales para amplificar la señal eléctrica.



Cada pixel tiene un convertidor para transformar la carga en un voltaje que puede ser leído.

La ventaja de CMOS sobre CCD es que la electrónica puede leer directamente la señal de cada píxel con lo que se soluciona el problema conocido como blooming, por el que la recepción de una gran intensidad lumínica en un punto influye en los píxeles adyacentes (un brillo fuerte produce líneas blancas en la imagen).

La desventaja es que entre los receptores de luz se encuentra mucha electrónica que no es sensible a la luz, lo que implica que no pueda captar tanta luz en una misma superficie del chip.

La solución al problema vino no sólo por una mayor densidad de integración, por lo que la electrónica no sensible se reducía en tamaño, sino por la aplicación de microlentes que a modo de lupa concentran la luz de cada celda en su fotodiodo.

Según los fabricantes de CCDs, los sensores CMOS tienen un elevado ruido pero sus defensores indican que tienen un bajo consumo de energía (lo cual redundaría en una mayor autonomía de la cámara).

El ruido se debe a que los sensores CMOS convencionales tienen un amplificador por separado en cada píxel y estos amplificadores normalmente no serán uniformes por todo el chip y la desigualdad residual será la que genere el ruido.

Por el contrario, todos los píxeles de un CCD se activan a través de una etapa común del amplificador, de modo que se evita este problema.

Por otro lado, los fabricantes de CMOS argumentan que los sensores CCD necesitan una electrónica externa compleja que eleva el coste. En la práctica, es posible encontrar implementaciones de alta calidad de ambas tecnologías.

Finalmente, se achaca a los sensores CMOS una escasa sensibilidad a la luz ultravioleta e infrarroja.

Las ventajas y desventajas dependen en parte de cada dispositivo puesto que es posible encontrar sensores CCD con características similares a los CMOS y viceversa.

En resumen, se puede concluir con lo siguiente:

- Aunque el CCD produce menos ruido que el CMOS, ambos tipos deben acompañarse de sistemas avanzados de reducción de ruido para conseguir una imagen de alta calidad.
- Los sensores de tipo CMOS consumen menos energía que el CCD, por lo que pueden acompañarse de baterías más pequeñas que lo hacen idóneo para cámaras portátiles fuera de estudio.
- La tecnología CMOS es menos costosa de fabricar que la CCD.
- Los sensores CMOS usan píxeles activos y multicanales de salida que lo hacen más rápido que el CCD. Los multicanales también permiten bajar la frecuencia de operación y reducir el ruido presente en altas frecuencias.

6.1.4 Problemas en el vídeo DSLR

6.1.4.1 Efecto Moiré

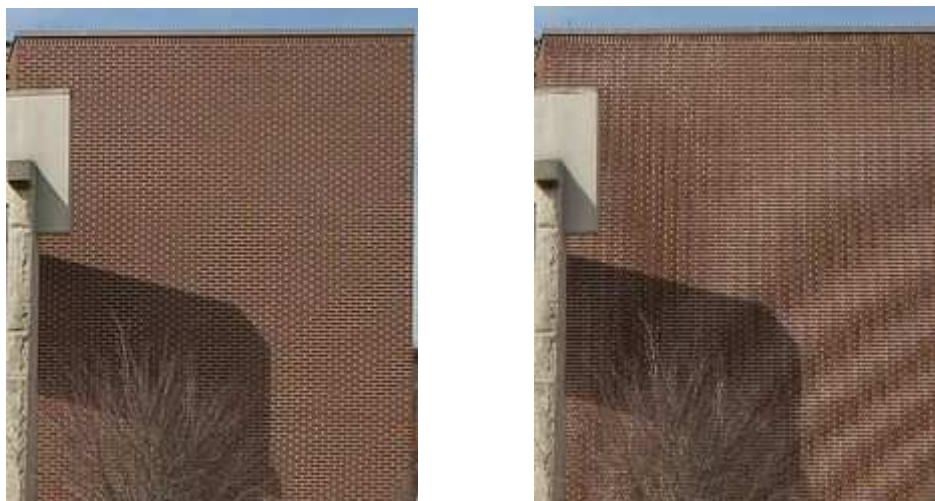
En el procesado de señales y vídeo, el aliasing es el efecto que causa que señales continuas distintas se tornen indistinguibles cuando se les muestrea digitalmente.

Cuando esto sucede, la señal original no puede ser reconstruida de forma unívoca a partir de la señal digital.

Una imagen limitada en banda y muestreada por debajo de su frecuencia de Nyquist en las direcciones "x" e "y", resulta en una superposición de las replicas periódicas del espectro $G(f_x, f_y)$. Este fenómeno de superposición periódica sucesiva es lo que se conoce como aliasing.

El aliasing, en vídeo digital, puede producir efectos de moiré en las imágenes con mucho detalle.

En la siguiente imagen podemos observar como se crea un patrón de moiré sobre una superficie con detalles muy finos y repetitivos.



Este problema acompaña especialmente a las cámaras DSLR porque fueron diseñadas inicialmente para tomar fotografías de gran resolución. En el proceso de escalado hacia las resoluciones menores de vídeo se produce este efecto.

Dicho proceso de escalado debería realizarse con un modo predictivo que realizase una media de los píxeles adyacentes, pero dado que las cámaras no disponen de la capacidad suficiente para realizar estos cálculos complejos, el escalado se realiza eliminando simplemente las líneas de resolución que no son necesarias, produciendo este efecto.

La solución a este problema pasa por evitar grabar superficies muy detalladas y contrastadas, grabar con la máxima resolución posible, mantener desenfocadas las áreas con más detalle y utilizar lentes de suavizado que pueden minimizar en cierta manera este efecto.

6.1.4.2 Rolling Shutter

Otro de los grandes y más destacables problemas que se presentan a la hora de filmar con las cámaras DSLR es el llamado efecto rolling shutter.

Este defecto deriva de la forma de adquirir la información de la imagen captada por el sensor.

En la tecnología CMOS la información de píxeles se capta de manera progresiva, desde la parte superior a la inferior. Al contrario que en la tecnología CCD, la información de un fotograma no pertenece exactamente al mismo instante temporal, lo que produce aberraciones y distorsiones previsibles en objetos que se desplazan con movimientos rápidos.

En la siguiente imagen se puede observar el efecto de rolling shutter al desplazar la cámara de un lado hacia otro rápidamente.



De nuevo, la mejor solución a este problema es conocerlo y no sobrepasar las limitaciones de la cámara con movimientos rápidos y acelerados.

El uso de soportes y estabilizadores mecánicos reduce considerablemente este problema, hasta el punto de no ser apreciable.

También deben evitarse cambios bruscos en la iluminación que provocan zonas de mayor o menor exposición.

Otra solución es utilizar las herramientas software específicas que eliminan la inclinación de los objetos dentro del encuadre.

6.1.4.3 Sobrecalentamiento

Las cámaras DSLR no han sido diseñadas para trabajar en un ambiente de producción de vídeo continuado, por lo que actualmente todas las cámaras del mercado con esta capacidad tienen problemas de sobrecalentamiento.

Cuando esto ocurre, la imagen comienza a mostrarse ruidosa y la cámara se apaga automáticamente hasta que desciende la temperatura.

Para evitar este problema, se debe evitar utilizar el LiveView al máximo, y reducir los tiempos de funcionamiento hasta los estrictamente necesarios.

En producciones profesionales se utilizan geles fríos para refrigerar la cámara exteriormente, o en otras ocasiones, se opta por trabajar con varias cámaras a la vez y turnar su uso.

6.1.4.4 Enfoque

Cuando se trabaja con lentes con muy poca profundidad de campo se hace totalmente imprescindible controlar el foco de forma precisa.

Uno de los principales inconvenientes de los usuarios de cámaras DSLR son los derivados del control de foco, que debido a la disposición del anillo de enfoque en la lente, la convierten en una tarea difícil.

Este inconveniente se soluciona en cine calculando antes de la grabación los puntos de enfoque y ensayando las tomas antes de su grabación. Para auxiliarse en esta tarea que requiere bastante habilidad, se utilizan los seguidores de foco, o follow focus, complemento casi imprescindible para manejar cómodamente la lente.

6.1.4.5 Compresión de vídeo

Los archivos generados al grabar vídeo con estas cámaras están comprimidos con ratios de compresión elevados necesarios para almacenarlos en memorias que van de los 4-32GB.

La mayoría se codifican con el códec H.264.

Este hecho hace que sea realmente dificultoso trabajar y editar vídeo comprimido con ordenadores convencionales.

La solución pasa por adquirir estaciones de edición más potentes o descomprimir a un formato más adecuado para la edición. El inconveniente es que estos formatos más adecuados ocuparán generalmente hasta 10 veces más espacio en el disco duro y manejarlos no es una tarea sencilla.

6.2 Modelos de cámaras VDSLR

Puede encontrarse una descripción de las principales cámaras que ofrecen capacidad de vídeo DSLR en el **Anexo III: Hardware utilizado** apartado **III.2 Cámaras DSLR** de este documento.

6.3 Test comparativo. Tecnología tradicional vs DSLR

En este apartado se realizará un test de calidad de señal ofrecida por dos tipos de cámaras con tecnologías de grabación distintas.

Por un lado, se analiza la cámara de vídeo convencional profesional de Panasonic HPX 171E y por el otro la ya nombrada Canon EOS 7D, como ejemplo de cámara DSLR.

Se medirán en condiciones controladas de iluminación y se compararán los resultados obtenidos.

6.3.1 Objetivos del test

Probar la calidad de la señal obtenida con distintos tipos de cámara. Se pretende comprobar si la calidad ofrecida por el sensor de las cámaras DSLR es superior.

También se explicarán los términos PSNR y MSE y se medirán para distintas sensibilidades ISO en el caso de la DSLR y ganancias en el caso de la cámara de vídeo convencional.

6.3.2 Cámaras utilizadas

Para realizar el test se comparan dos cámaras pertenecientes a segmentos del mercado muy localizados. Por una parte, la cámara de vídeo semi profesional Panasonic HPX 171E, con un valor en la actualidad de unos 5500€ y por otro la cámara EOS 7D de Canon, que representa a las cámaras réflex y que tiene un precio aproximado de 1300 €.

Se puede encontrar una descripción de ambas cámaras en el **Anexo III Hardware utilizado**, apartados **III.3** y **III.2.4** respectivamente.

6.3.3 Escenario de pruebas

Para esta comparativa se recrearán diversas condiciones de luz que determinan tres configuraciones: iluminación cero, iluminación media e iluminación baja.

Se han elegido estas tres condiciones porque son las más exigentes en cuanto a calidad de imagen y las que mayor dificultad presentan para los sistemas ópticos y de tratamiento de la señal.

Por lo tanto, serán un buen indicador acerca de la calidad ofrecida por los dos tipos de cámaras.

Iluminación cero: 0 lux

Para recrear esta condición de iluminación se grabará con las tapas de los objetivos sin descubrir.

Baja iluminación: 200 lux

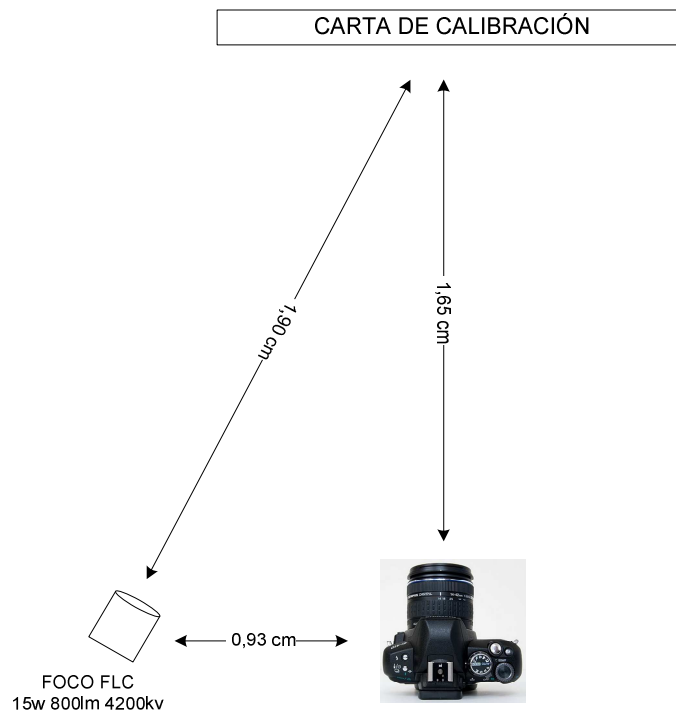
Para simular condiciones de baja iluminación se ha utilizado un foco con una bombilla fluorescente de 15w de potencia y un rendimiento tal para proporcionar 800 lúmenes con una temperatura de color de 4200KV.

Para determinar de forma aproximada la cantidad de luz recibida por la carta de calibración objetivo del test se tiene en cuenta que la iluminación que recibe una superficie es directamente proporcional al cuadrado de la distancia que existe entre la fuente y la superficie.

Expresado de forma matemática: $E = \frac{I}{d^2}$ donde E = iluminación en lúmenes, I = intensidad de la fuente luminosa y d = distancia entre la fuente luminosa y la superficie.

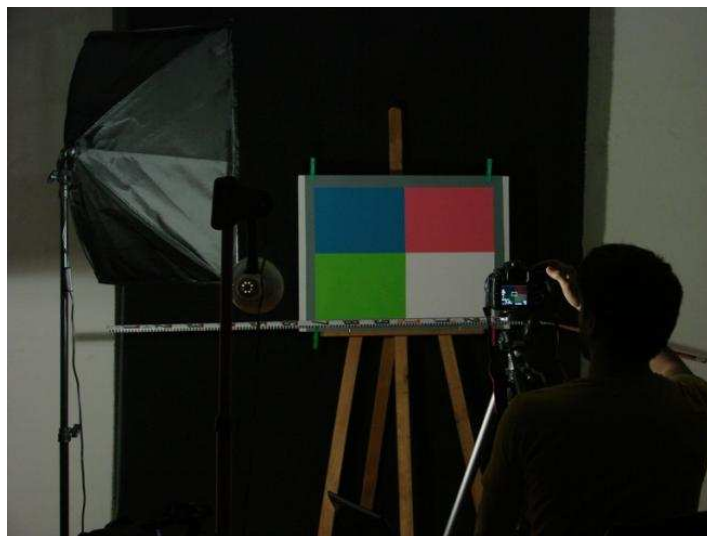
En la siguiente ilustración se puede ver un esquema de la configuración del test. En un apartado posterior se describirá el elemento “carta de calibración”.

FONDO NEGRO



En la siguiente ilustración puede verse una fotografía del conjunto en la configuración de “iluminación baja” y con la carta de calibración “colores” mientras se tomaba una muestra con la Canon EOS 7D.

Cabe destacar que dicha fotografía se ha tomado con una cámara fotográfica convencional en exposición, es decir, dejando el obturador abierto durante largo tiempo para captar la poca luz existente sobre un trípode fijo.

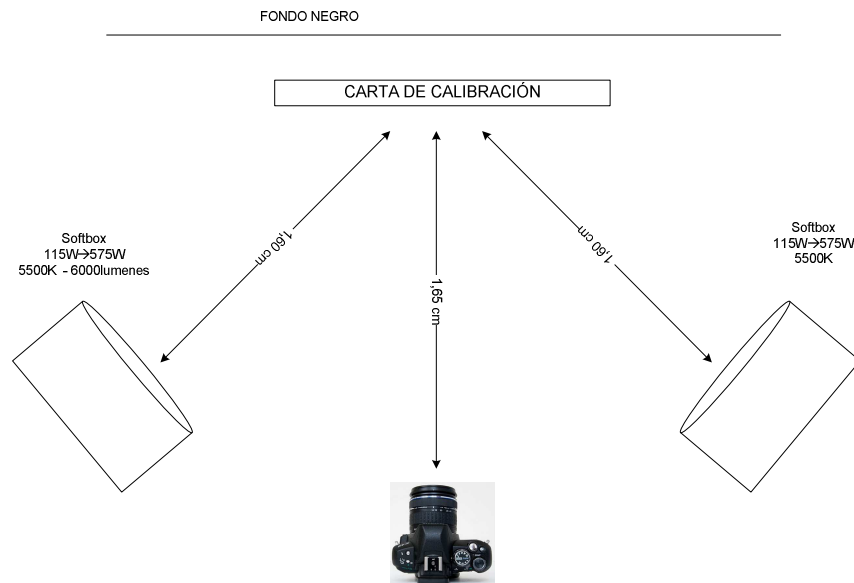


Iluminación media: 4000lux

Para simular condiciones de iluminación media se han utilizado dos focos de tipo softbox fluorescentes de 125W (con un rendimiento lumínico similar a un foco de 500W de tecnología incandescente) que equivalen a unos 4000 lumenes con una temperatura de color de 5500KV (luz día).

Por lo tanto, la luz recibida por la carta de calibración puede estimarse en unos 3125 lumenes, utilizando para ello la fórmula que relaciona la distancia con la intensidad lumínica y que fue descrita en el apartado de “baja iluminación”.

En la siguiente ilustración se puede ver un esquema de la configuración del test. En un apartado posterior se describirá el elemento “carta de calibración”.



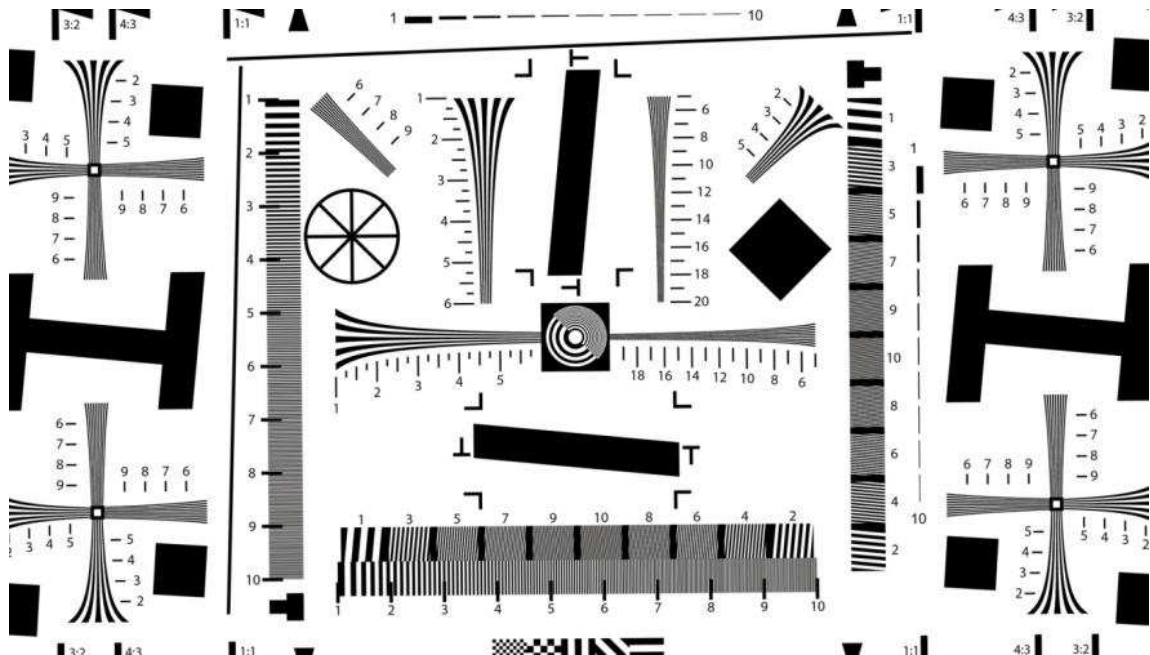
En la siguiente ilustración puede verse una fotografía del conjunto en la configuración de “iluminación media” y con la carta de calibración “resolución” mientras se tomaba una muestra con la Panasonic HPX171E.



Cartas de calibración

Para las distintas pruebas se utilizarán dos cartas distintas. Una denominada “carta de color” y otra “carta de enfoque”.

En la siguiente ilustración podemos ver la denominada “carta de enfoque” que se usará como referencia.



Se trata de la carta de pruebas ISO 12233 utilizada para la medida de resolución y ruido en cámaras digitales. Fue diseñada por el profesor Stephen H. Westin, de la universidad de Cornell, y contiene diferentes patrones que facilitan las pruebas de enfoque y distorsión producida por sistemas de captura de imágenes.

Para su impresión se ha utilizado una impresora láser de alta resolución sobre un papel de alta densidad de tipo mate, siguiendo las recomendaciones del propio Westin.

A continuación se muestra el patrón que compone la carta denominada “carta de color”.



La composición elegida y su representación en las distintas codificaciones de color son las siguientes:

Azul	Rojo	Verde	Blanco
H: 202.1° L: 48 S: 72% a: -13 B: 64% B: -30 R: 46 C: 84% G: 121 M: 32% B: 164 Y: 13% # 2E79A4 K: 14%	H: 351.1° L: 50 S: 59% a: 48 B: 76% B: 15 R: 193 C: 18% G: 79 M: 79% B: 96 Y: 47% # C14F60 K: 6%	H: 93° L: 63 S: 78% a: -39 B: 66% B: 55 R: 98 C: 59% G: 169 M: 14% B: 38 Y: 99% # 62A926 K: 3%	H: 0° L: 100 S: 0% a: 0 B: 100% B: 0 R: 255 C: 0% G: 255 M: 0% B: 255 Y: 0% # FFFFFFFF K: 0%

Con esta carta se pretenden estudiar las posibles aberraciones cromáticas producidas en los contornos de las distintas tonalidades, así como del ruido en condiciones de baja luminosidad.

Estos colores pretenden reflejar distintas tonalidades que se dan a menudo en las grabaciones y se corresponden con azul neutro del cielo, vegetación y tonos medios, además del blanco que nos ofrecerá un calibrado de la temperatura de color.

El papel que compone esta carta es de alta densidad y tipo mate.

6.3.4 Procedimiento

6.3.4.1 Toma de muestras

Para las pruebas se utilizarán como objetivos los dos tipos de cartas descritas bajo distintas condiciones de luz.

Las cartas se apoyan en una cartulina de color gris que evita reflejos que puedan dar falsas lecturas. Dicha cartulina va apoyada a su vez en un caballete que eleva el conjunto a una posición adecuada y cómoda para trabajar.

Detrás de estos soportes se despliega una superficie negra que tiene como objetivo evitar reflejar la luz.

Los focos se colocan siempre en ángulo para evitar de esta forma que se produzcan brillos en las cartas de calibración.

Para colocar las dos cámaras a comparar en las mismas condiciones, se ha ajustado todo el conjunto con ayuda de niveles y cintas métricas. De esta forma, la lente y el sensor tanto de la Canon 7D como de la Panasonic HPX 171 estarán a la misma distancia y posición relativa del centro de cada carta.

Ambas cámaras se apoyan en un trípode marca Velbon modelo SHERPA 450R con un peso propio de 2.250g y un peso máximo soportado de 5KG, características suficientes para dar estabilidad y apoyo al conjunto.

De las distintas posibilidades de configuración de vídeo, en ambas cámara se ha grabado en modo 1920x1080-25fps, que constituye el estándar HD.

Del mismo modo, se ha elegido una velocidad de obturación de 1/60, un valor recomendado en la mayoría de las situaciones que se presentan en grabaciones reales.

En ambas cámaras se han desactivado las distintas opciones de procesamiento y mejora de imagen procesadas para evitar que dichos tratamientos de la señal puedan influir en la comparación. Por lo tanto, las imágenes son neutras en cuanto a post-procesado propio de la cámara.

Los balances de blancos de las distintas cámaras se han adecuado en cada prueba para concordar con las distintas temperaturas de color ofrecidas en las dos configuraciones de iluminación realizadas (4200K y 5500K).

La longitud cada muestra es aproximadamente unos 5seg, tiempo suficiente para que la cámara se estabilice tras una mínima sacudida al presionar el botón de grabación.

El formato y codificación de las cámaras varía y se describirán detalladamente en un apartado posterior. En resumen, la cámara Canon EOS 7D utiliza el códec de vídeo H.264 y los clips tienen extensión .mov. La Panasonic HPX171 utiliza el códec DVCPRO50 y su extensión es .mxf.

6.3.4.2 Análisis de las muestras

La Relación Señal a Ruido de Pico o PSNR (del inglés Peak Signal-to-Noise Ratio) define la relación entre la máxima energía posible de una señal y el ruido que afecta a su representación fidedigna.

Debido a que muchas señales tienen un gran rango dinámico, el PSNR se expresa generalmente en escala logarítmica, utilizando como unidad el decibelio.

El uso más habitual del PSNR es como medida cuantitativa de la calidad de la reconstrucción en el ámbito de la compresión de imágenes. Para definirla se hace indispensable la formulación del error cuadrático medio, que para dos imágenes monocromas I y K de tamaño M×N se define como:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} ||I(i,j) - K(i,j)||^2$$

Se define el PSNR como:

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

Donde MAX_I denota el máximo valor que puede tomar un píxel en la imagen. Cuando éstos se representan usando B bits por muestra, $MAX_I = 2^B - 1$.

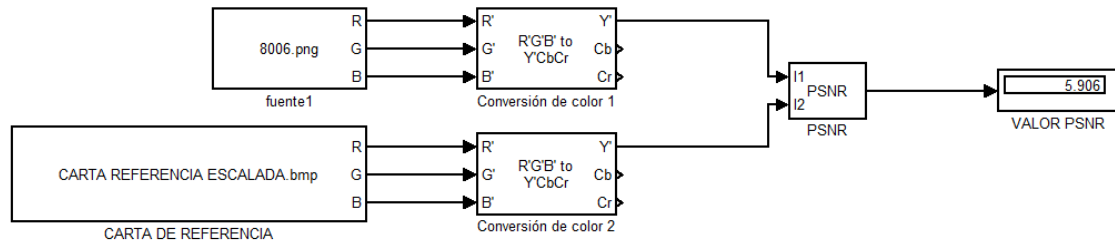
Para una imagen en formato RGB, la definición del PSNR es la misma, pero el MSE se calcula como la media aritmética de los MSEs de los tres colores (R, G y B).

Los valores típicos que adopta este parámetro están entre 30 y 50 dB, siendo mayor cuanto mejor es la codificación.

El comité MPEG emplea un valor umbral informal de 0,5 dB en el incremento del PSNR para decidir si se incluye una determinada mejora en un algoritmo de codificación, ya que se considera que este aumento del PSNR es apreciable visualmente.

Usaremos el valor de PSNR para comparar las imágenes captadas con las cartas de referencia, haciendo uso de la herramienta Matlab.

Para ellos se hará uso del bloque de simulink PSNR, convirtiendo previamente las imágenes a un espacio de color YCbCr como puede apreciarse en el siguiente esquema:

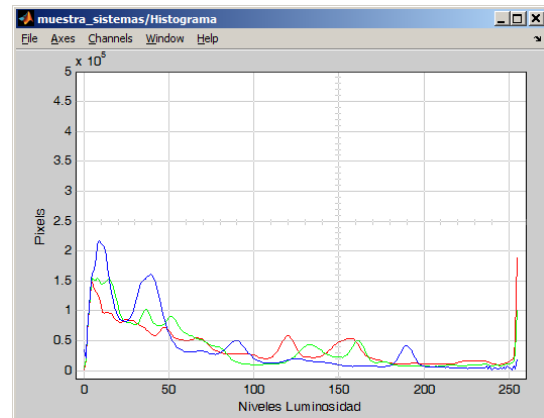


También se hará uso del histograma. El histograma es una forma gráfica de representar la frecuencia de aparición de determinados valores en una población o fenómeno bajo estudio.

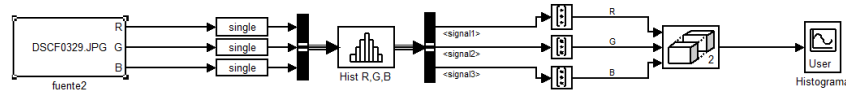
En imágenes, el histograma representa cuántos píxeles de la imagen tienen un determinado nivel de luminosidad.

En imágenes en color, cada uno de los tres canales RGB dispondrá de su propio histograma y estos normalmente se dibujarán juntos dando lugar a representaciones coloridas con el fin de poder distinguir los 3 histogramas en todo el rango de luminosidades.

A continuación se muestra una fotografía y su correspondiente histograma.

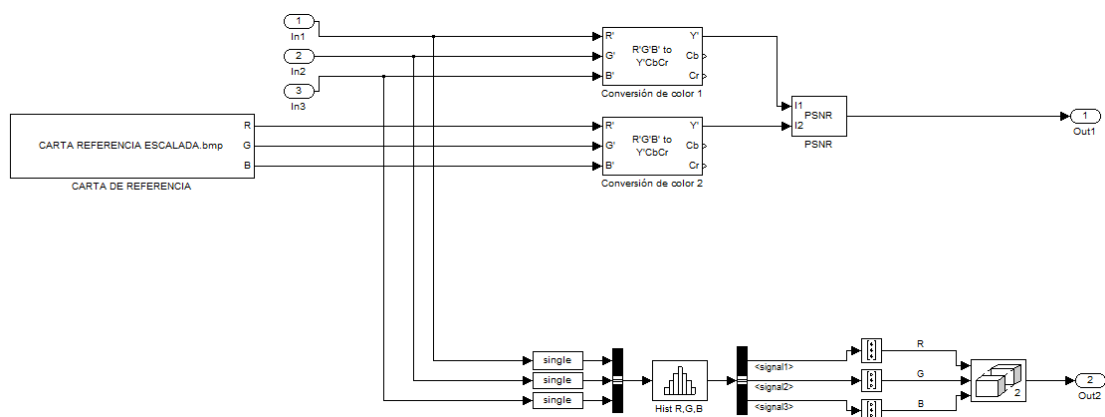


Para determinar el histograma haremos uso de la herramienta Simulink de Matlab y el bloque Histogram, realizando el siguiente esquema.



Analizar e interpretar el histograma nos proporcionará información muy relevante sobre el estado de la imagen y los niveles de ruido.

El esquema utilizado en Simulink para simplificar el análisis de los resultados es el siguiente, que aúna el cálculo de PSNR y generación de histograma en un bloque independiente:



6.3.4.2 Caracterización del ruido en cámaras digitales

En un sensor típico con patrón de Bayer, encontraremos píxeles de color rojo, verde o azul, en función de la banda pasante del microfiltro que los cubra. Sin embargo, a efectos de la naturaleza y forma del ruido estos filtros son irrelevantes.

El ruido que se vaya a producir en cualquiera de los tres canales tendrá así el mismo tipo de distribución estadística y su amplitud en cada sensor dependerá solo de dos variables: la cantidad de fotones finalmente recibidos por el fotocaptor, y el ajuste ISO empleado, y no del canal concreto.

El ruido generado en cualquier fotocaptor tendrá dos posibles orígenes dominantes expuestos a continuación

Ruido de lectura

Se agrega bajo esta denominación al ruido electrónico generado en toda la circuitería de la cadena de captación de luz (circuitos de lectura del sensor, amplificador ISO y convertor A/D). Es aproximadamente constante en todos los fotocaptos y es el dominante en las sombras profundas.

Ruido fotónico

Es inherente a la naturaleza aleatoria del proceso de llegada de fotones. Es proporcional a la raíz del número de fotones captados y es el dominante en las sombras medias y luces.

El ruido de lectura tiene una distribución de ruido gaussiano de media nula alrededor del nivel esperado cuya función de distribución se representa por:

$$f(x) = f_{0,1}(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} \quad x \in R$$

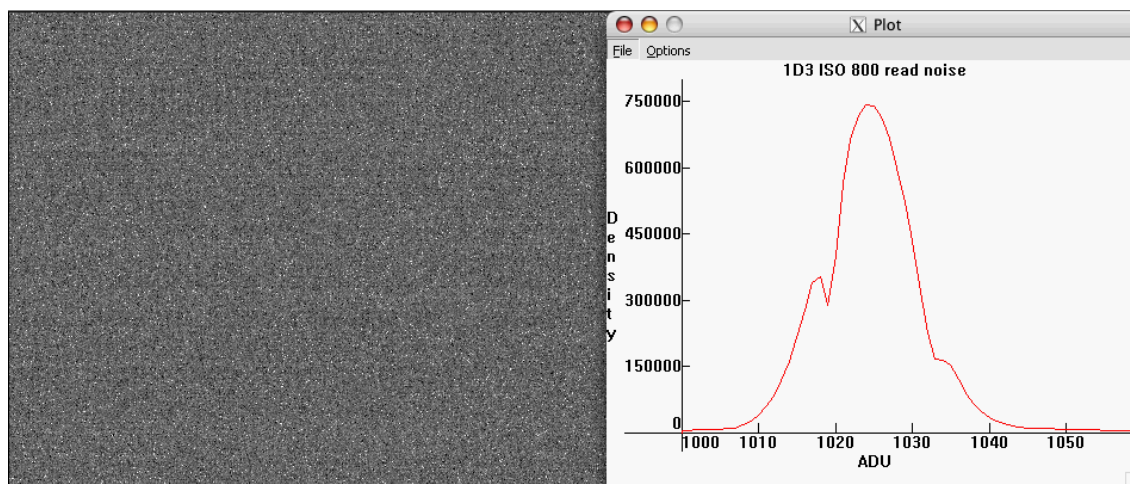
Por otro lado el ruido fotónico tiene una distribución de Poisson, propia de un proceso aleatorio con llegadas discretas, en este caso referido a la conversión de fotones en cada píxel del sensor.

La distribución de Poisson que caracteriza el ruido fotónico, en el momento en que se supera una determinada tasa de llegadas puede aproximarse perfectamente por una distribución de ruido gaussiano.

La suma de dos distribuciones gaussianas de media nula constituye otra distribución de tipo gaussiano y media nula, podremos concluir que el ruido que se

genera en cada fotocaptor quedará bien caracterizado por una distribución de ruido gaussiano.

En la siguiente imagen podemos ver una imagen ruidosa y su representación aproximada como una distribución normal o gaussiana.



6.3.5 Muestras obtenidas

6.3.5.1 Canon EOS 7D

Se han tomado un total de 134 muestras, referentes a todos los posibles niveles de sensibilidad ISO de la cámara y a las distintas pruebas.

Pueden verse de forma detallada en el **Anexo I Muestras obtenidas** apartado **I.2** todas las muestras obtenidas de la cámara Canon EOS 7D, así como los histogramas y resultados de PSNR.

6.3.5.2 Panasonic HPX 171E

Se han tomado un total de 25 muestras, referentes a todos los posibles niveles de ganancia de la cámara y a las distintas pruebas.

Pueden verse de forma detallada en el **Anexo I Muestras obtenidas** apartado **I.4** todas las muestras obtenidas de la cámara Panasonic HPX 171E, así como los histogramas y resultados de PSNR.

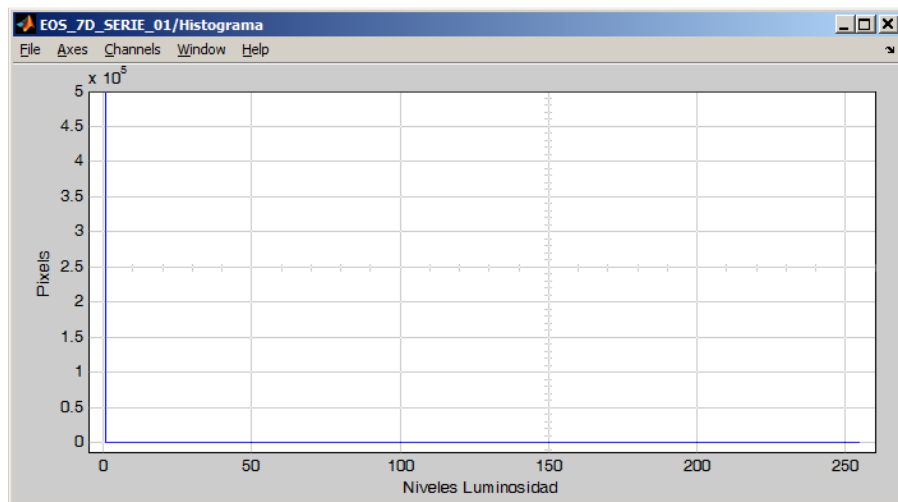
6.3.4 Interpretación de resultados

6.3.4.1 Iluminación cero

Para recrear esta condición de iluminación se grabó con la tapa del objetivo puesta. Es decir, el sensor no recibe ningún tipo de luz.

Por tanto, con esta prueba medimos la distribución del ruido de lectura, ya que en ausencia de señal es el único posible.

Se utilizará una imagen sin comprimir generada por ordenador de valor negro puro, cuyo histograma usado como referencia, es el siguiente:



Como se puede apreciar, sólo existe un valor 0 donde se concentran todos los píxeles de la imagen. Es una imagen limpia sin cambios en la luminosidad de sus píxeles, es decir, sin ruido.

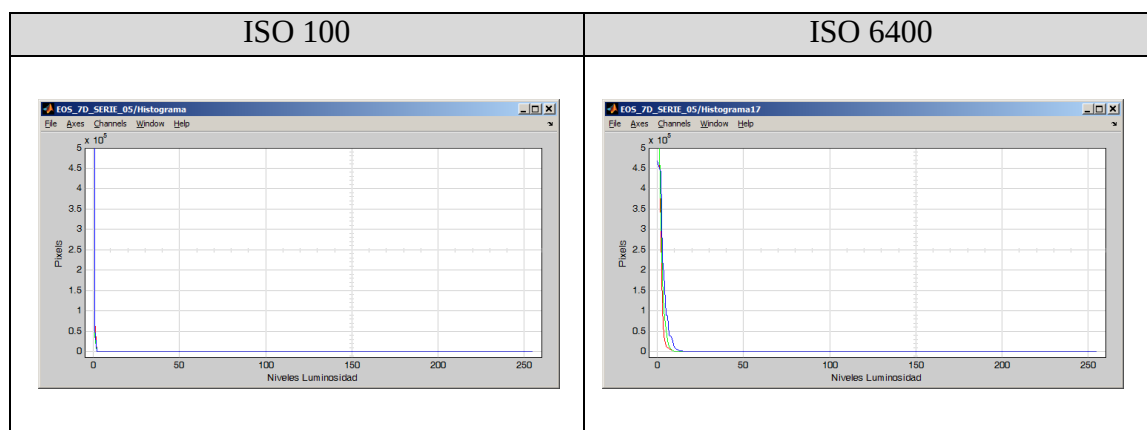
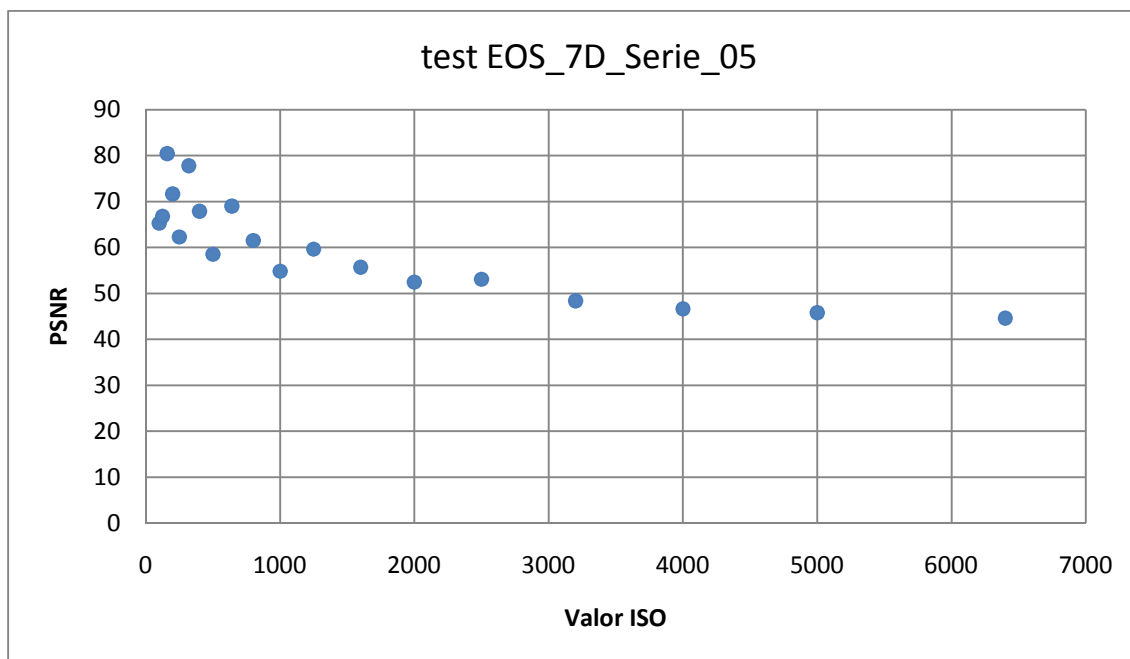
También haremos uso del valor de PSNR, comparando cada imagen con la anteriormente citada imagen de color negro generada por ordenador.

A continuación se muestran los resultados para las ambas cámaras.

Por claridad se han omitido los histogramas de valores iso o ganancias intermedias, recogiendo sólo el de menor y mayor valor, por ser los más representativos.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_05



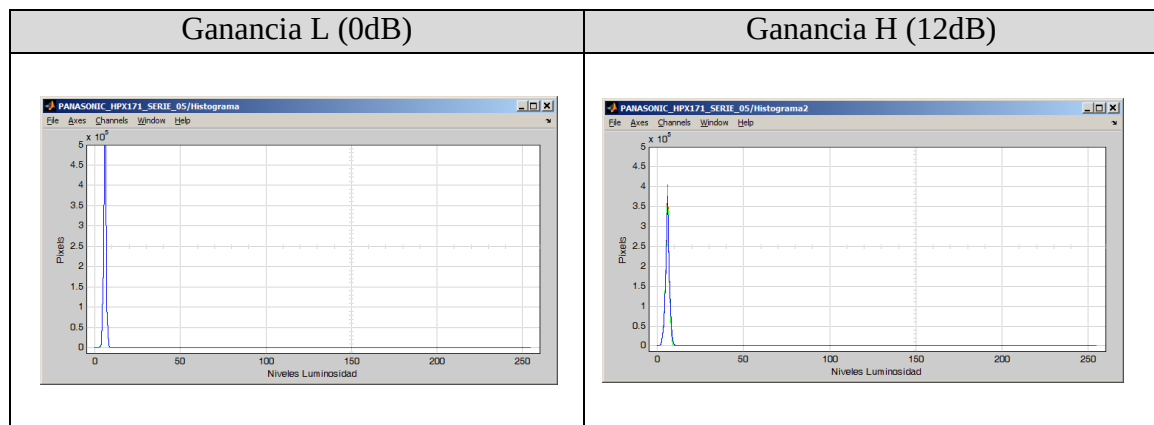
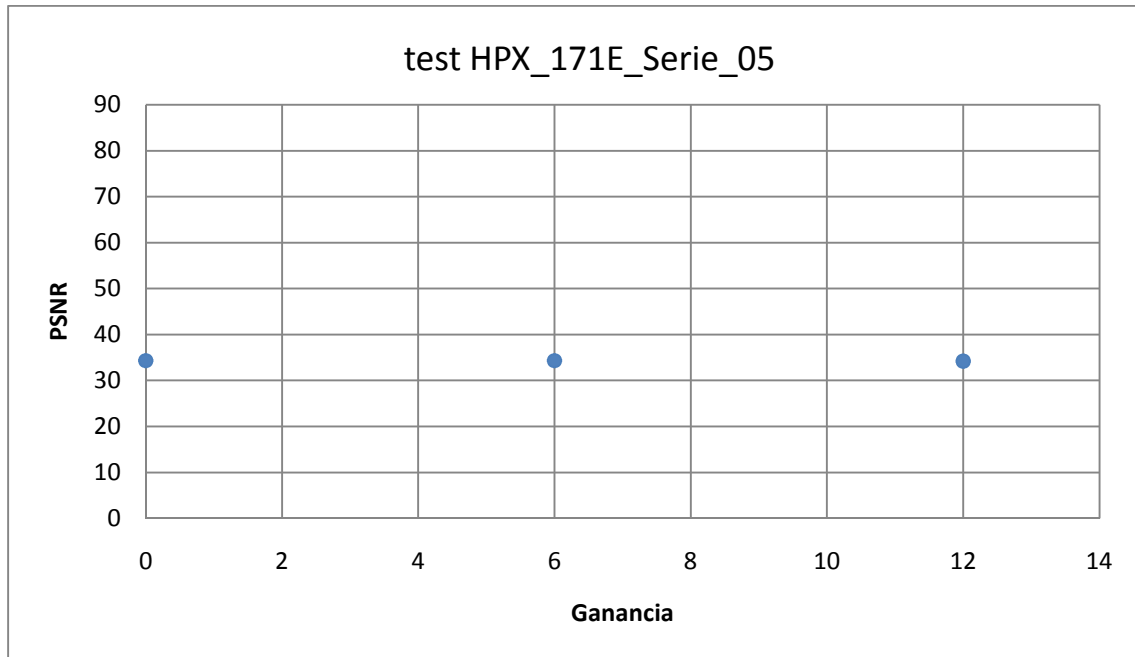
Interpretación

Mirando la gráfica de valores PSNR puede observarse que la relación señal ruido es mayor cuanto menor es el valor ISO, descendiendo de forma exponencial a medida que la ISO aumenta. De cualquier modo, hasta aproximadamente 3000ISO se mantiene en un valor mayor de 50, siendo totalmente aceptable. En la práctica significa que este ruido sería imperceptible.

El histograma nos revela cómo los valores de luminosidad pasan de ocupar el valor más próximo a cero a expandirse de forma gradual, indicando la presencia de ruido.

Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_05



Interpretación

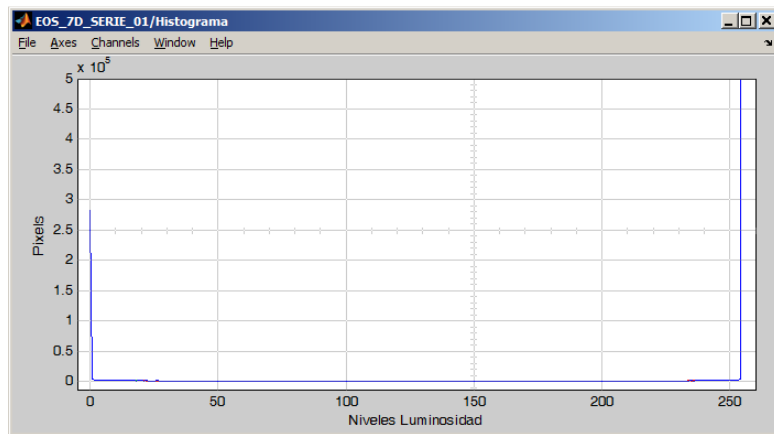
Mirando la gráfica de valores PSNR puede observarse que la relación señal a ruido se mantiene prácticamente constante aun variando los valores de ganancias que permite la cámara. Su valor se acerca a los límites permisibles para la transmisión de una señal sin pérdida considerable de calidad.

El histograma muestra que no existen valores en el negro absoluto, además de tener una distribución similar entre los valores altos y bajos de ganancia. Este hecho nos indica que la cámara no puede captar el valor negro presente en zonas de sombra profunda y que el ruido de lectura tendrá un impacto considerable

6.3.4.2 Iluminación baja

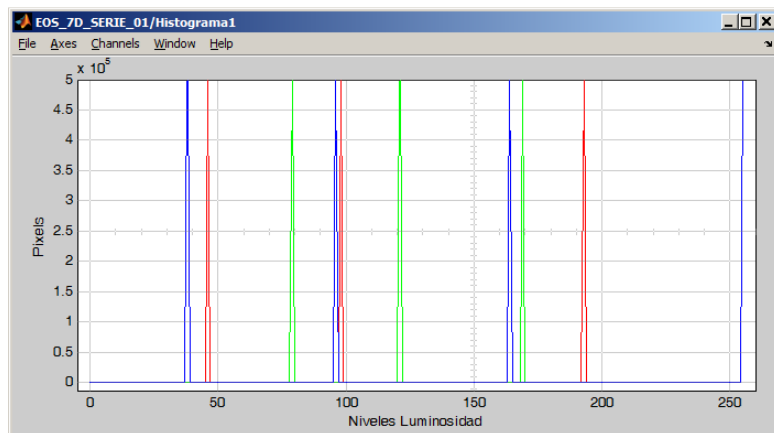
Para recrear esta condición de iluminación baja se utilizó el montaje descrito en el apartado 6.3.3 de este mismo capítulo. Se utilizó como referencia la carta de enfoque y la carta de colores, ambas digitalizadas con valores puros de señal de color. También se realizó una prueba con un plano general del escenario de pruebas.

De igual forma que en el test anterior, mostraremos los histogramas correspondientes a estas cartas de referencia para poder compararlas con los obtenidos en los tests. Después seleccionaremos aquellas imágenes que más se aproximen (valor PSNR más alto) a las cartas de referencias. El histograma referencia de la carta de enfoque es el siguiente.



Como es de esperar, sólo existen valores negros (luminosidad =0) y valores blancos (luminosidad = 256). Predominan los píxeles blancos.

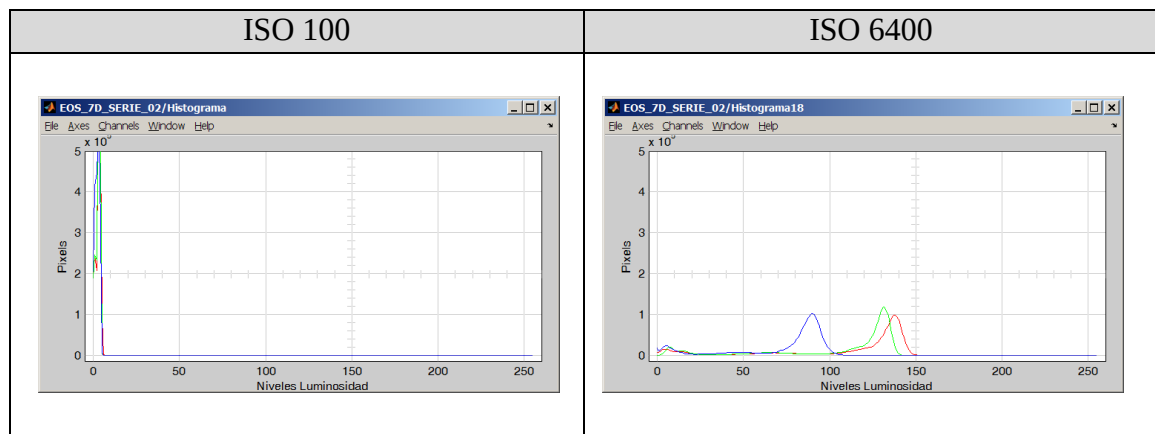
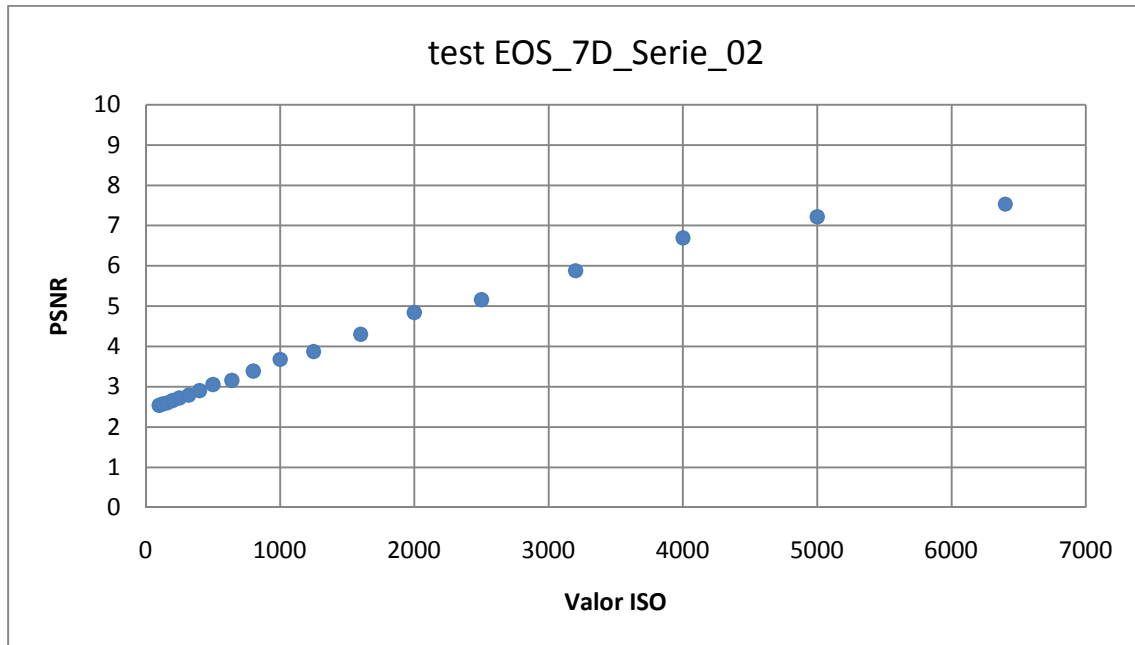
El histograma de la carta de colores es el siguiente.



En él se pueden ver las componentes RGB de los 3 colores presentes y los valores de blanco, distribuidos de forma equitativa.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_02 (iluminación baja, carta de enfoque)

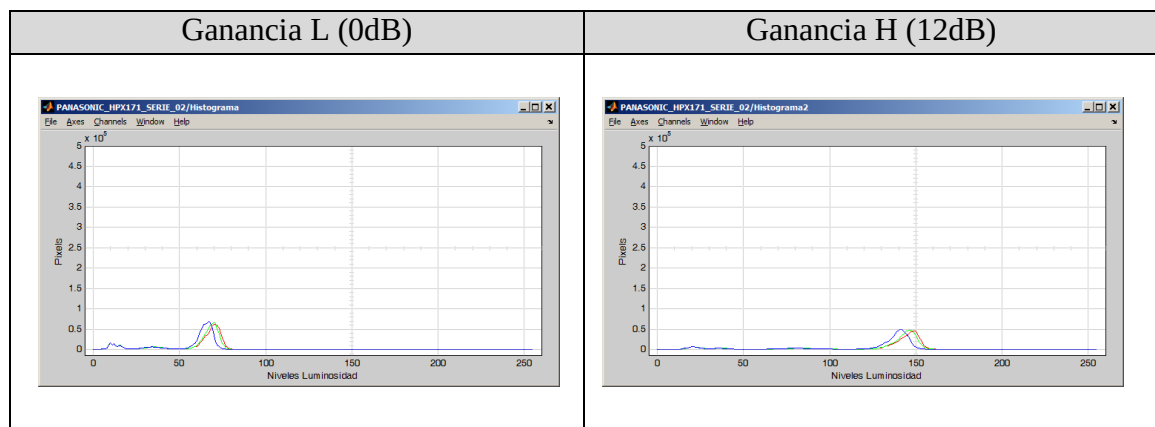
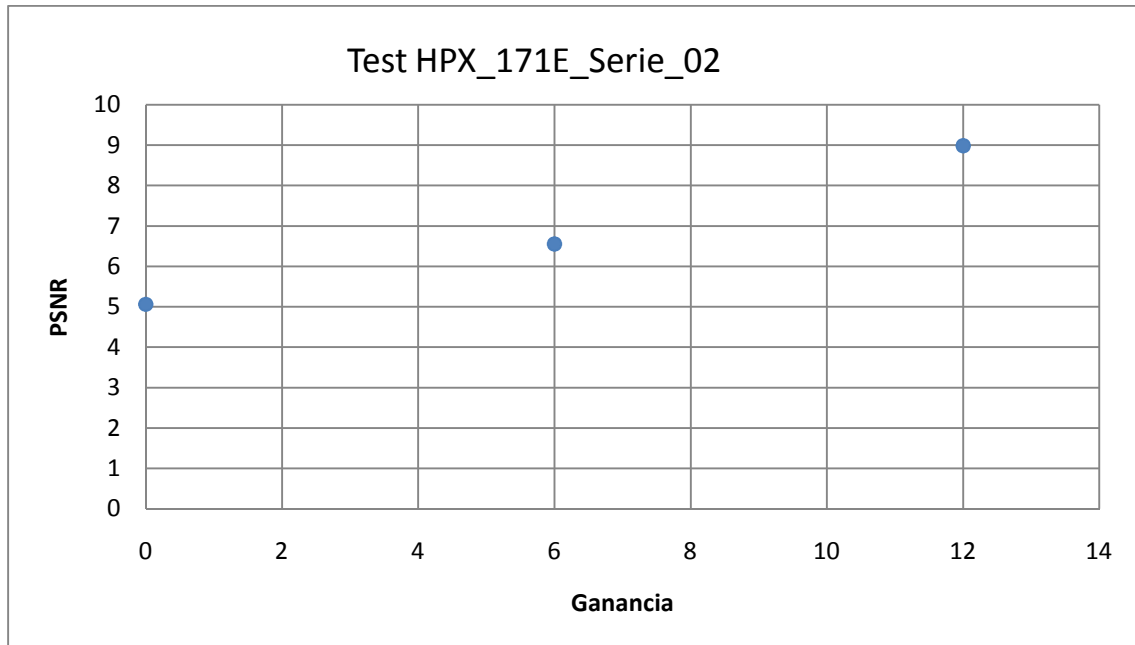


En las gráficas obtenidas y comparándolo con las muestras originales, podemos determinar que con este nivel de iluminación la cámara necesita valores muy altos de ISO para mostrar una imagen que sigue siendo pobre y con los niveles de ruido fotónico elevados.

La que más se acerca a la carta de referencia es la correspondiente al valor 6400ISO. En ésta se puede ver cómo el nivel de blanco se ha dividido en tres componentes, indicando la presencia de ruido.

Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_02 (iluminación baja, carta de enfoque)



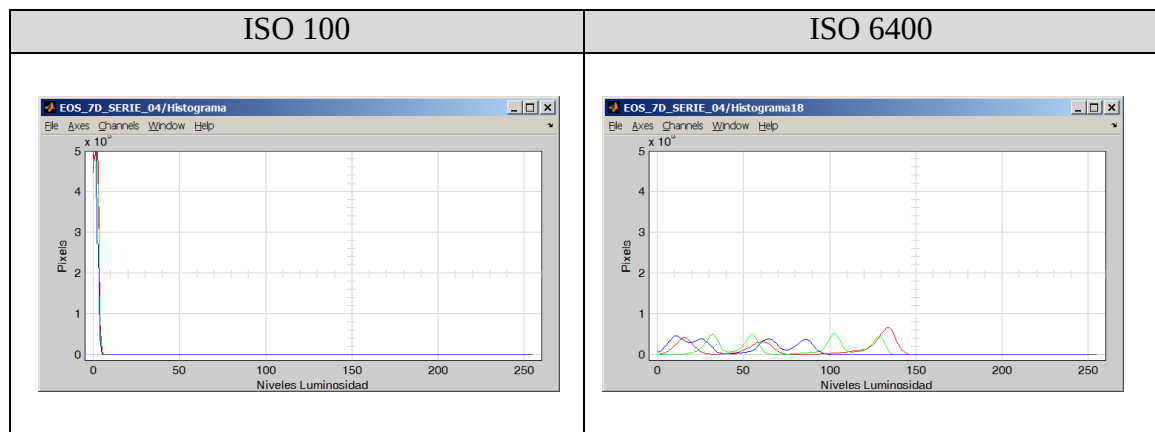
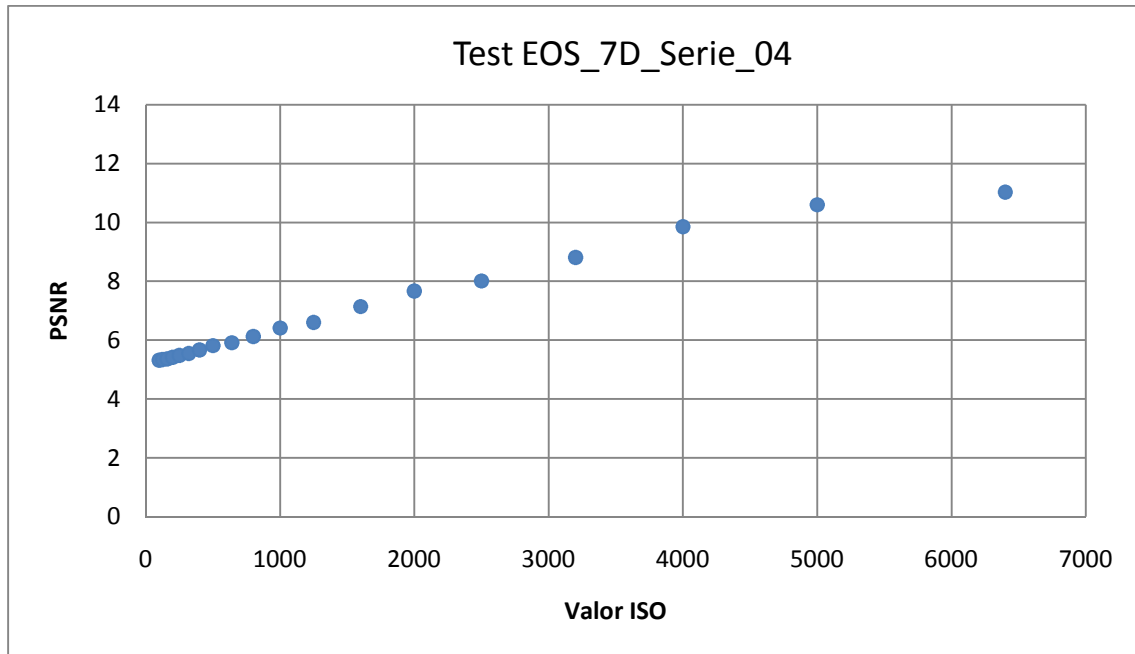
Los niveles de PSNR correspondientes a los tres valores de ganancia se mantienen muy por debajo del valor aceptable.

El ensanchamiento de los picos del histograma determinar la presencia de ruido fotónico que se mantiene constante en los tres pasos de ganancia.

El ruido de lectura es apreciable en el pequeño pico que existe en los niveles próximos a cero.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_04 (iluminación baja, carta de color)

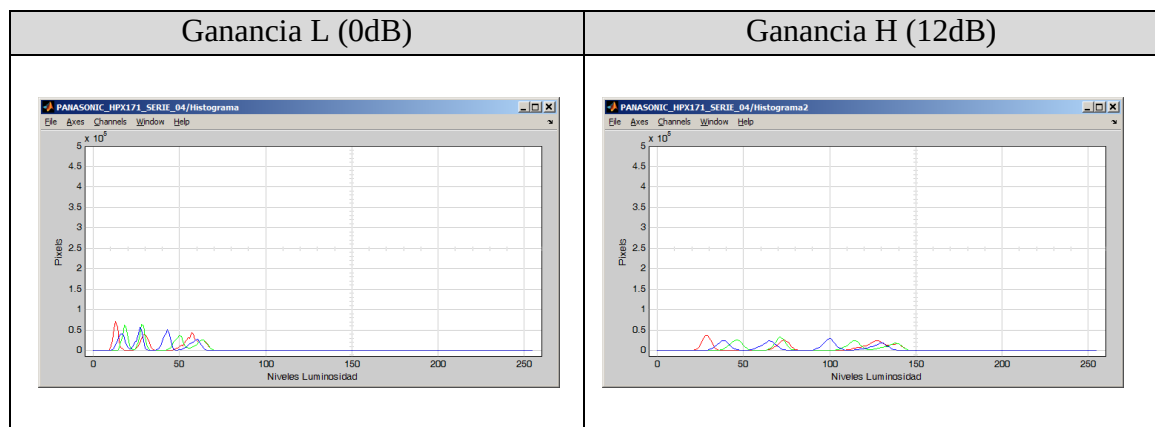
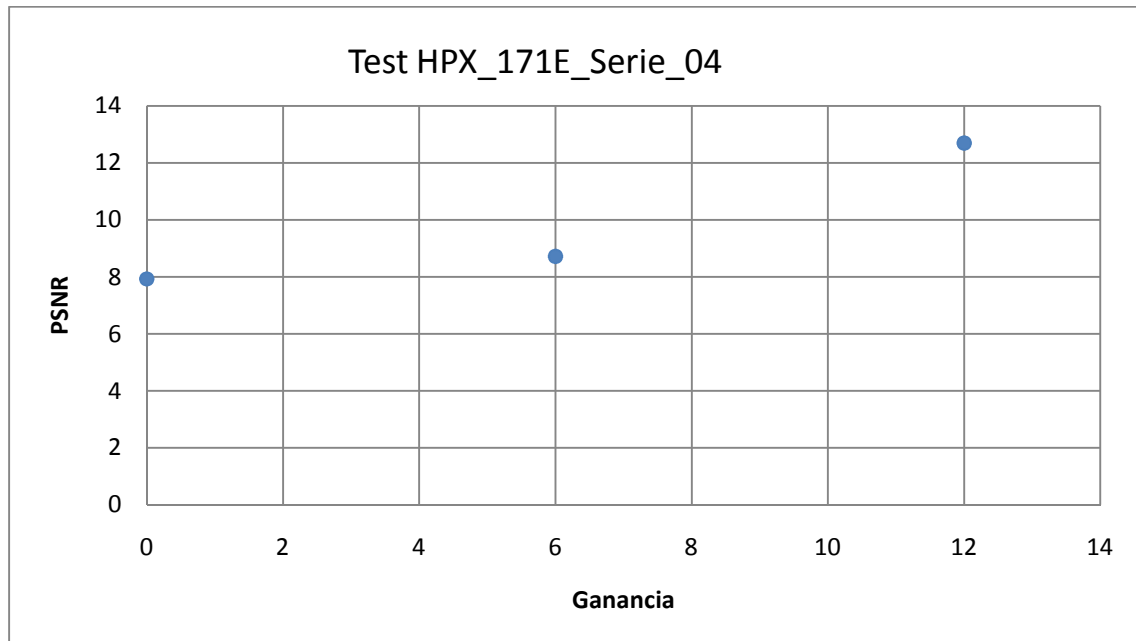


En las gráficas obtenidas de valore PSNR e histograma se puede observar, comparándolas con las gráficas de referencia, que con este nivel de iluminación la cámara necesita valores muy altos de ISO para mostrar una imagen aceptable, pero muy pobre para producciones profesionales.

La que más se acerca a la carta de referencia es la correspondiente al valor 6400ISO. En ésta se puede ver cómo el nivel de blanco se ha dividido en tres componentes, indicando la presencia de ruido.

Panasonic HPX 171E

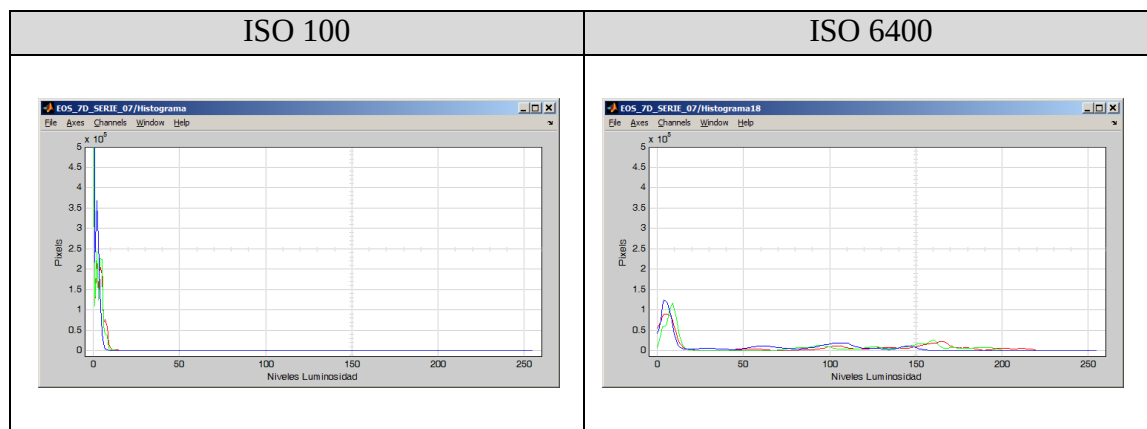
HPX_171E_Serie_04 (iluminación baja, carta de color)



Los niveles de PSNR son ligeramente superiores a las pruebas obtenidas con la carta de enfoque, aunque continúan siendo igualmente pobres.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_07 (iluminación baja, plano general)

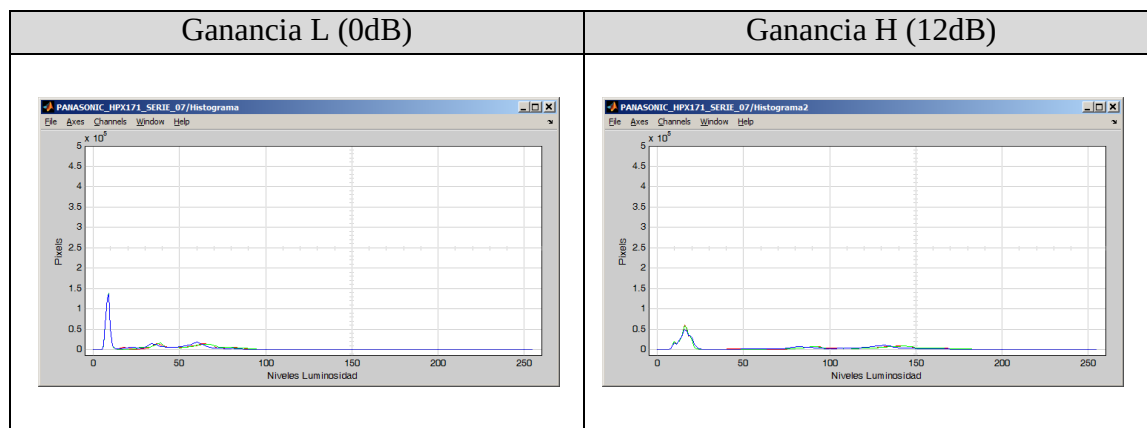


No existe una carta de referencia, ya que se trata de un encuadre general, pero pueden observarse las desviaciones del histograma.

Predomina el valor negro correspondiente al fondo del escenario de pruebas.

Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_07 (iluminación baja, plano general)



De igual modo, no existe una carta de referencia, ya que se trata de un encuadre general, pero pueden observarse las desviaciones del histograma y el ruido de lectura que se probó en la prueba de iluminación cero.

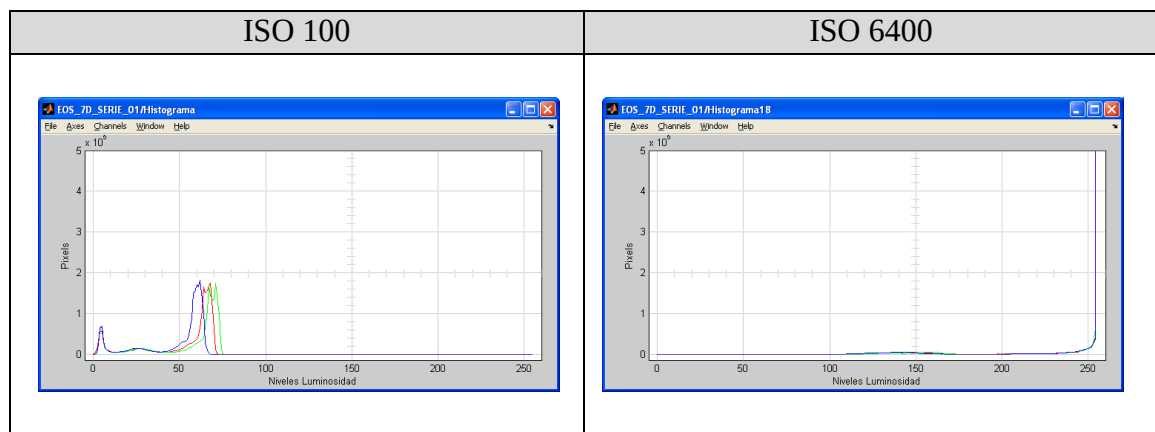
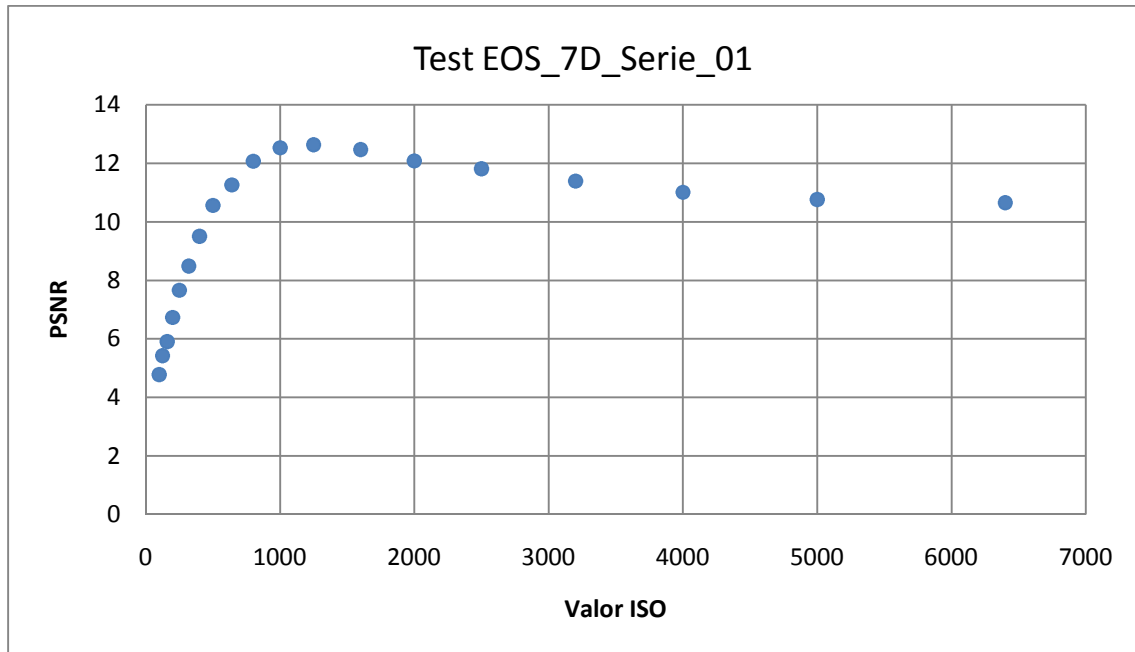
6.3.4.3 Iluminación media

Para recrear esta condición de iluminación media se utilizó el montaje descrito en el apartado 6.3.3 de este mismo capítulo. Se utilizó como referencia la carta de enfoque y la carta de colores al igual que se hizo en el apartado 6.3.4.2 Iluminación baja.

De igual forma que en el test anterior, mostraremos los histogramas correspondientes a estas cartas de referencia para poder compararlas con los obtenidos en las pruebas.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_01 (iluminación media, carta de enfoque)

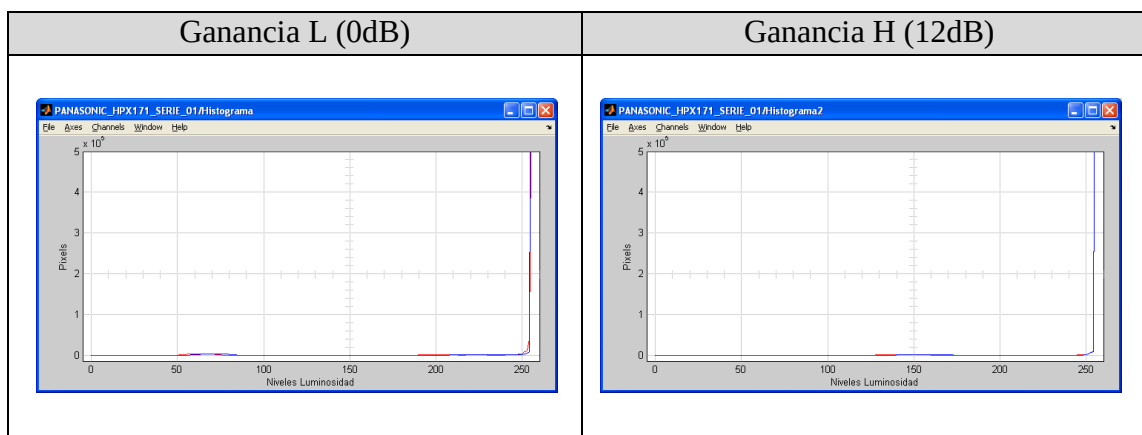
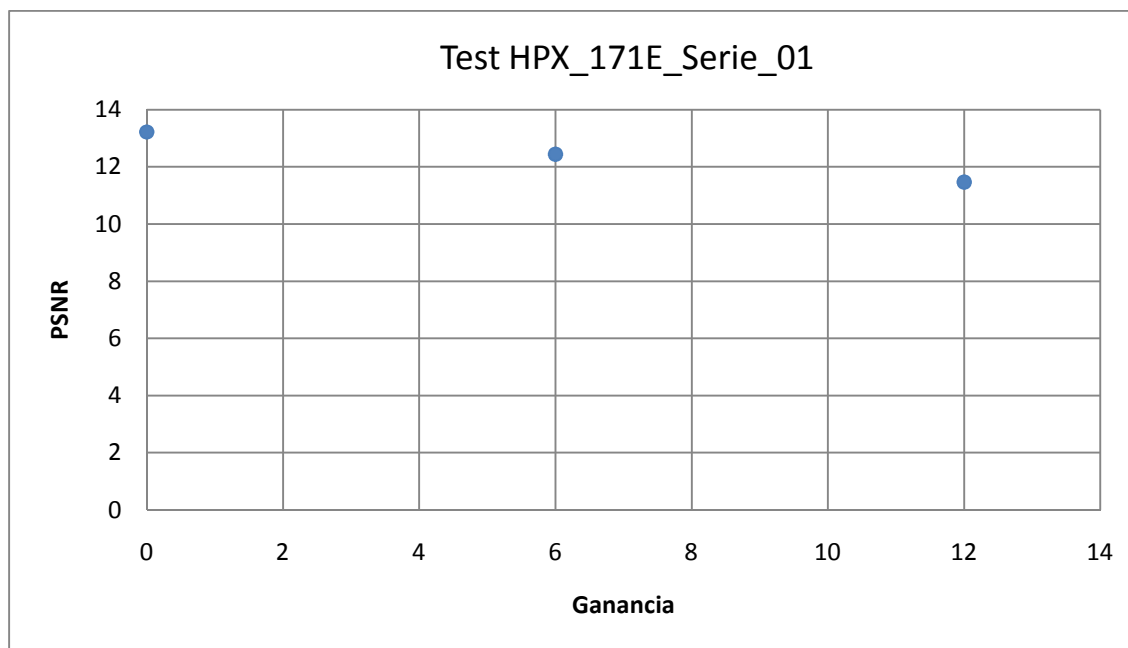


En condiciones de iluminación media vemos cómo los valores ISO que más se aproximan a la imagen de referencia están en torno a 1000ISO, es por ello que el valor de PSNR sube rápidamente en los primeros segmentos de la gráfica y decae a partir de este valor.

Los histogramas muestran una imagen sub-expuesta en valores bajos y sobre-expuesta en los valores más altos.

Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_01 (iluminación media, carta de enfoque)

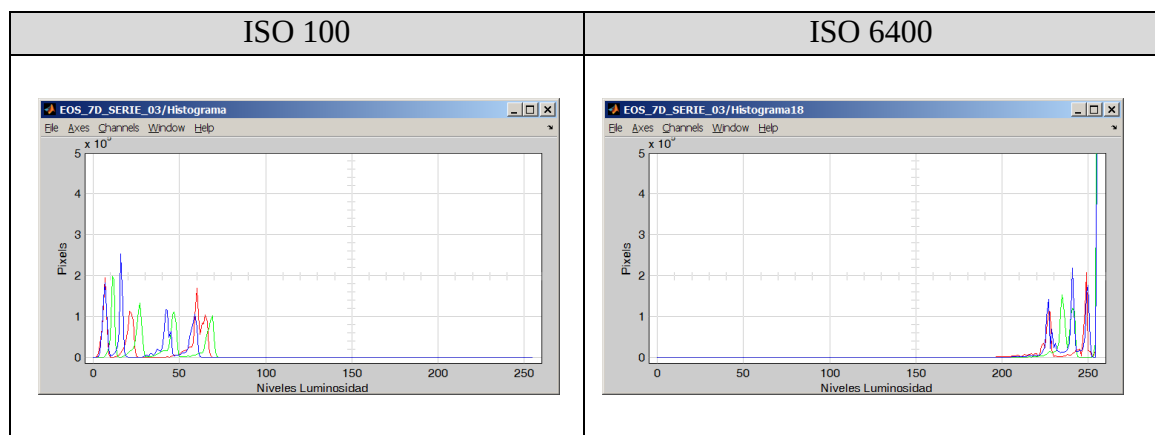
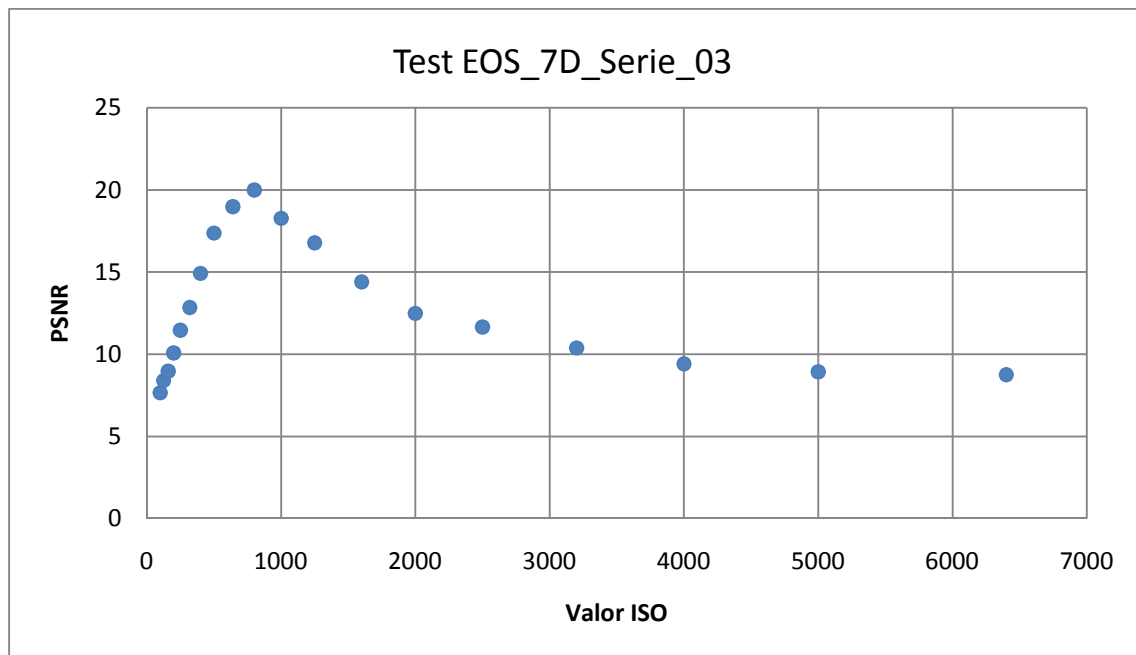


Con este valor de iluminación la imagen se muestra sobre-expuesta, centrándose los valores de píxeles en la zona derecha del histograma. Hay una pequeña elevación en torno al valor 75 de luminosidad que representa los píxeles menos iluminados de la composición.

La tendencia de los valores de PSNR muestra la poca diferencia existente entre los valores L y H de ganancia.

Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_03 (iluminación media, carta de color)

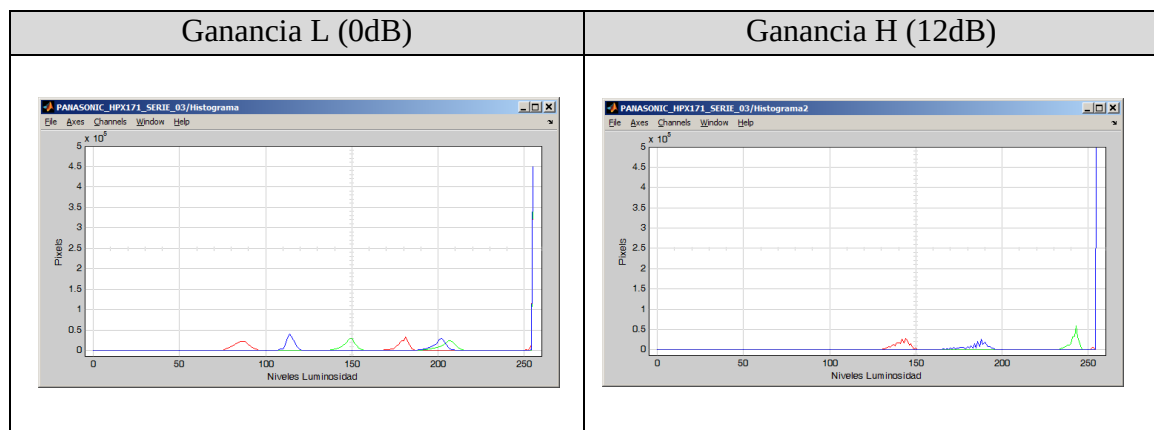
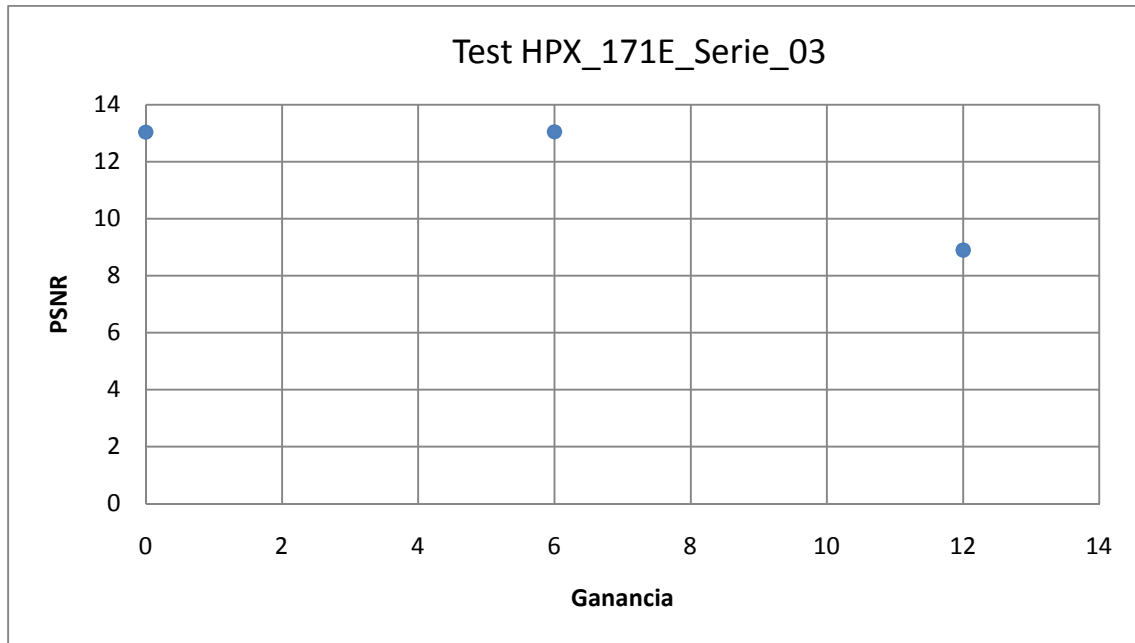


En condiciones de iluminación media vemos cómo, al igual que en la prueba con carta de enfoque e iluminación media, los valores ISO que más se aproximan a la imagen de referencia están en torno a 1000ISO, es por ello que el valor de PSNR sube rápidamente en los primeros segmentos de la gráfica y decae a partir de este valor.

Los histogramas muestran una imagen sub-expuesta en valores bajos y sobre-expuesta en los valores más altos.

Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_03 (iluminación media, carta de color)

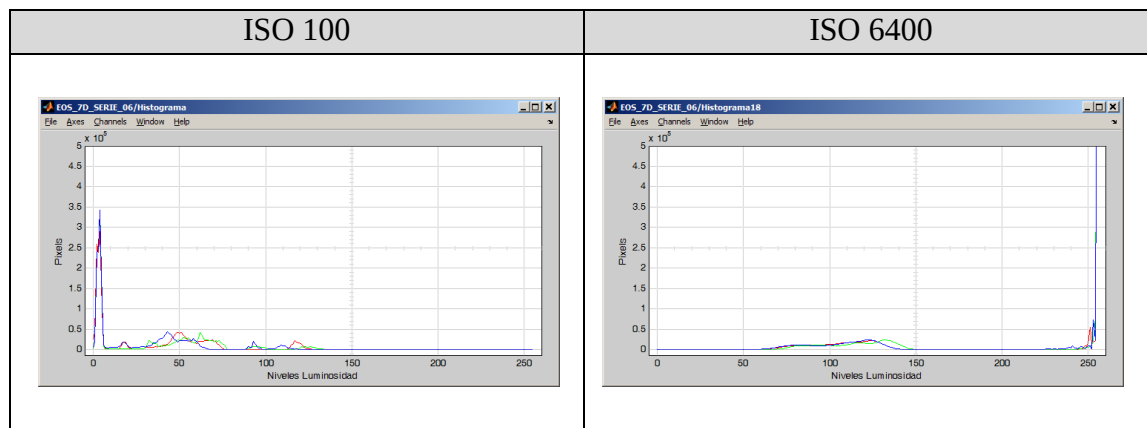


Con esta carta de referencia la imagen sigue mostrándose sobre-expuesta, centrándose los valores de píxeles en la zona derecha del histograma. Pueden observarse los valores correspondiente a los distintos colores, representados por las curvas RGB que aparecen en el segmento intermedio.

La tendencia de los valores de PSNR muestra que existe poca diferencia entre los valores L y H de ganancia.

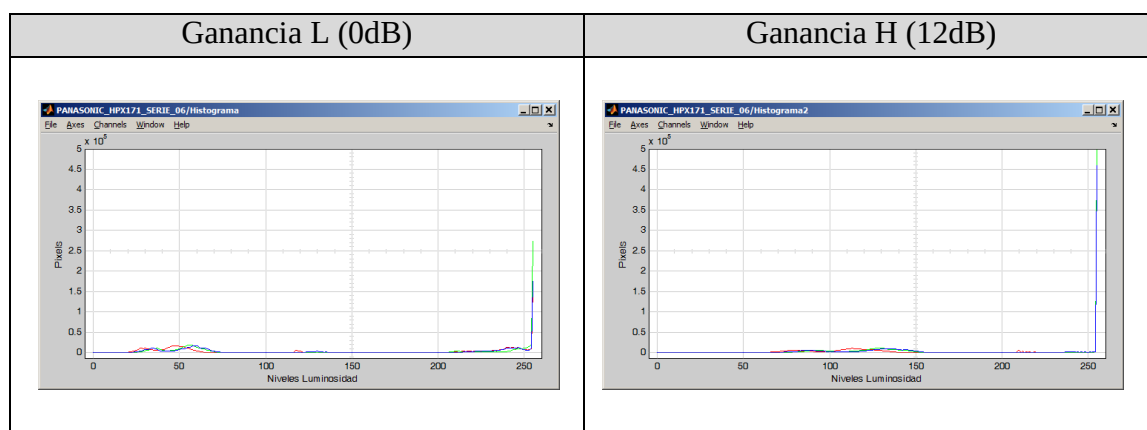
Canon EOS 7D

EOS_7D_Serie_06 (iluminación media, plano general)



Panasonic HPX 171E

HPX_171E_Serie_06 (iluminación media, plano general)



6.3.5 Conclusiones del test

A partir de los más de 150 clips de vídeo muestreados y su interpretación con los valores de PSNR e histogramas, podemos llegar a las siguientes conclusiones sobre la calidad de señal y ruido de estas dos cámaras analizadas.

Las pruebas de iluminación cero revelan que en la cámara de vídeo convencional el ruido de lectura que acompañará a todas las grabaciones es perceptible y notable.

Su histograma muestra que no existen valores en el negro absoluto. Este hecho nos indica que la cámara no puede captar el valor negro presente en zonas de sombra profunda y que el ruido de lectura tendrá un impacto considerable.

Por otra parte, el valor de ruido lectura de la DSLR es casi nulo, quedando demostrado en las gráficas de histograma y los valores PSNR.

Este hecho demostrado hace que la cámara fotográfica parta con ventaja en las siguientes pruebas de ruido en condiciones de iluminación controladas.

La prueba de iluminación baja a 200lux supone un escenario de máxima exigencia donde las dos cámaras demuestran la dificultad existente en fotografía y vídeo a la hora de trabajar con poca luz.

En las pruebas realizadas, la Canon EOS 7D ha demostrado ser ligeramente superior que la Panasonic HPX171E en cuanto a niveles de ruido de imagen. Esta ligera diferencia podría ser mayor si se emplearan lentes de mayor calidad en la cámara fotográfica, gracias a su capacidad de poder cambiar los objetivos.

En las pruebas de iluminación media las imágenes tomadas demuestran que la cámara de vídeo continúa introduciendo más ruido en las grabaciones que la cámara de fotos.

En general, puede afirmarse que la cámara Canon EOS 7D ha ofrecido un nivel de señal-ruido mejor que el ofrecido por la Panasonic HPX 171.