TEMA 5

PROCESOS Y MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Desarrollo de los temas

Captadores digitales de imagen. Características, partes y elementos tecnológicos. CCDs y CTRs. Controles y funciones. Sistemas, tipos y formatos. Accesorios de captación. Aplicaciones de «hardware» y «software».

elaborado por
EL EQUIPO DE PROFESORES
DEL CENTRO DOCUMENTACIÓN

GUIÓN - ÍNDICE

1. CAPTADORES DIGITALES DE IMAGEN

2. CARACTERÍSTICAS, PARTES Y ELEMENTOS TECNOLÓGICOS

2.1. Características
2.1.1. Dispositivo de estado sólido
2.1.2. Apertura rectangular
2.1.3. Transferencia de modulación
2.1.4. Resolución dinámica
2.1.5. Pérdida de sensibilidad
2.1.6. Limitaciones de los CCD
2.2. Partes. Estructura

3. CCDs Y CTRs

3.1. CTR
3.2. CCD
3.2.1. Sensores de imagen CCD
3.2.2. Sensores de imagen CMOS
3.2.3. Comparación CCD/CMOS

4. CONTROLES Y FUNCIONES

5. SISTEMAS, TIPOS Y FORMATOS

5.1. CCD de transferencia de cuadro (FT “Frame Transfer”)
5.2. CCD de transferencia interlínea (FI “Frame Interline)
5.3. CCD de transferencia de cuadro-interlínea (FIT “Frame-Interline Transfer”)
5.4. CCD Had
5.5. CCD HyperHAD
5.6. Super CCD

6. ACCESORIOS DE CAPTACIÓN

6.1. Conversión fotoeléctrica
6.2. Almacenaje de carga. Comportamiento de un condensador MOS
6.3. Lectura
6.3.1. Impulso de transferencia al registro vertical
6.3.2. Señal triestado de fase cuádruple
6.3.3. Impulso de transferencia horizontal y salida

7. APLICACIONES DE HARDWARE Y SOFTWARE

BIBLIOGRAFÍA

HARTWIG, R. **Tecnología básica para televisión**. IORTV. Madrid, 1991.

PINO, J. **Resolución en la cámara CCD**. IORTV. Madrid, 1983.

ORINGEL, R. **Manual de operaciones de Televisión**. IORTV. Madrid, 1989.

PAREJA, E. **Sensores y cámaras CCD**. IORTV. Madrid, 1991.

MARTÍN MARCOS, A. **Sistemas de televisión**. Editorial Ciencia 3. Madrid, 1996.

BETHENCOURT, T. **Sistemas de televisión clásicos y avanzados**. IORTV. Centro de Formación de RTVE, 1991.

ORTIZ BERENGUER **Televisión digital: MPEG-2 y DVB**. EUITT. Universidad Politécnica de Madrid, 1999.

BENOIT, H. **Televisión Digital**. Paraninfo, 1998.

PERALES, T. **Televisión Actual**. Paraninfo. Madrid, 2001.

GARCÍA JIMÉNEZ, J. **Sistemas analógicos de televisión: transmisores y receptores**. ETSIT. Universidad Politécnica de Madrid, 1998.

GUTIÉRREZ, D. **Manual de Prácticas del Laboratorio de Televisión**. ETSIT. Universidad Politécnica de Madrid.

NARANJO, V. **Sistemas de televisión**. Servicio Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 1998.

– **Introducción al CCD sensor de imagen**. Departamento de Formación Sony. Barcelona, 1990.
– **Mundo Electrónico nº 140**.
– **Broadcast Engineering nº 5**.
– **Vídeo Popular nº 35**.

COMENTARIO BIBLIOGRÁFICO

Resolución en la cámara CCD y sensores y cámaras CCD, son dos unidades didácticas del IORTV, bastantes completas sobre el tema del CCD. La primera de ellas es algo más antigua, y existen términos que en la actualidad no se utilizan.

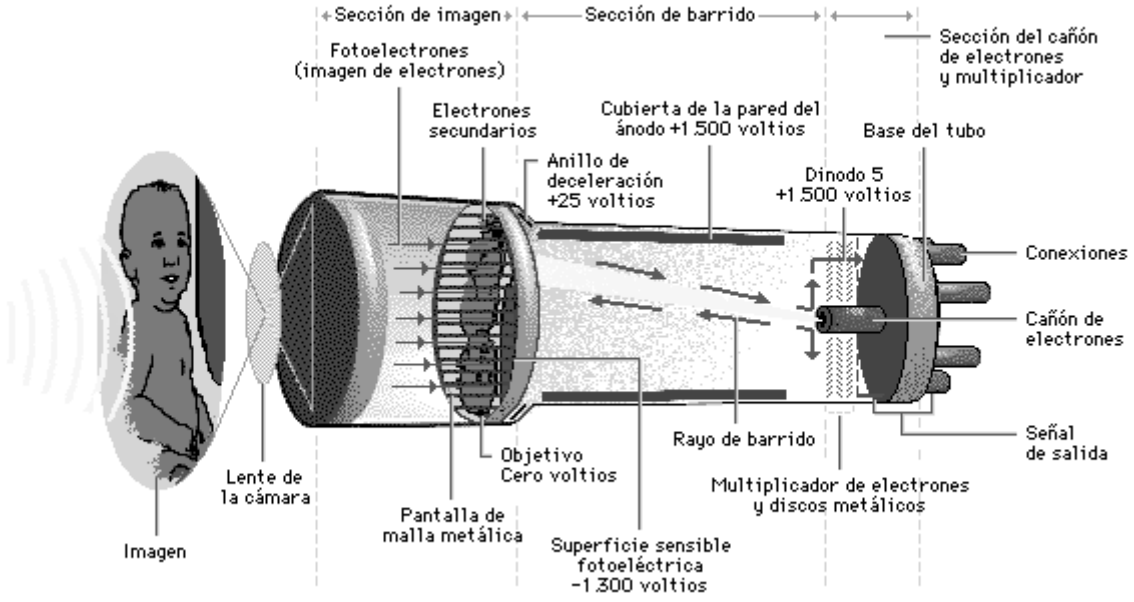
La Unidad didáctica de Sony y el artículo publicado en Mundo Electrónico, son unidades muy bien desarrolladas con cantidad de ejemplos y gráficos que ayudan a la comprensión del tema, lo mismo sucede con el artículo de Vídeo Popular.

Los libros de Hartwig y Oringel, ayudan a completar conceptos generales que se pueden haber quedado cortos.

1. CAPTADORES DIGITALES DE IMAGEN

Los tubos de cámara, como captadores de la imagen, presentaban problemas a la hora de la conversión de la luz en señal de vídeo. Eran tubos basados en el efecto termoiónico (filamento, cátodo y rejas para generar un haz electrónico de barrido de la luz de la escena que entra a través del objetivo) tales como los denominados *Vidicon, Saticon, Trinicon* y otros, los cuales se diferencian entre sí en la sensibilidad y espectro luminoso, en la resolución de imagen y en la remanencia que presentan.

La tecnología de los tubos de cámara es relativamente antigua. Sus primeros diseños datan de 1930. Además, son muy grandes y caros.



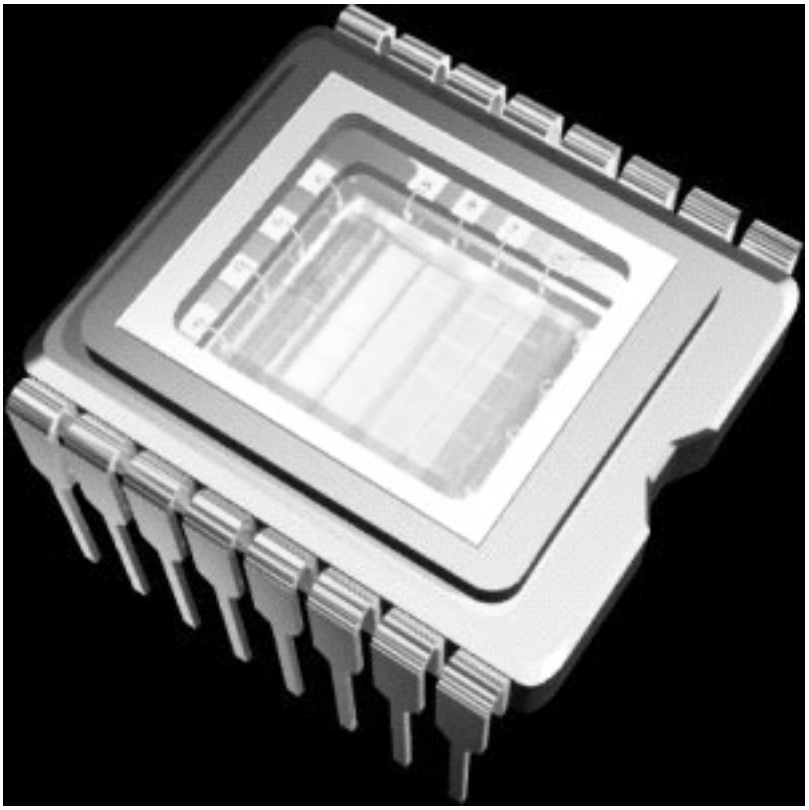
La electrónica que rodea a los tubos de cámara, bobinas de deflexión para dirigir el haz electrónico, control del propio haz, etc. también es muy grande, pesada y cara. En conclusión, que la tecnología de tubos de cámara fue rápidamente abandonada con la aparición de los dispositivos de estado sólido CCD (Charge Coupled Devices).

Esto en cuanto, a los problemas electrónicos que podían generar los tubos de cámara, pero también generaban problemas ópticos. Ciertos tubos de cámara generaban imágenes con problemas que se aprecian virtualmente. El brillo de los objetos puede dañar, quemar, el mosaico (target) del tubo. En determinadas situaciones, por ejemplo, imágenes de una carrera automovilística nocturna o el disparo de un flash, los tubos generan arrastres, denominados colas de cometas que siguen el movimiento de la cámara. Este tipo de problemas

son intrínsecos a la tecnología utilizada en los tubos de cámara que pueden ser mejorados, pero no eliminados en su totalidad.

Los dispositivos de acoplamiento de carga (CCD) solucionan la mayoría de los problemas de la tecnología de los tubos de cámara. Los CCD tienen la misma tecnología que los circuitos integrados de estado sólido (chips) de los ordenadores; son rápidos, pequeños, consumen poca potencia y son baratos. Es la tecnología que consigue potentes receptores de radio en pequeños volúmenes, y también los TBCs y equipos de efectos digitales.

Los CCDs son circuitos integrados formados por elementos fotosensibles, colocados en filas y columnas. Cada uno de éstos elementos constituye un elementos de imagen denominado píxel. Cuando la luz incide sobre estos píxeles se crean distintas densidades de carga eléctrica, que depende del brillo de la luz en cada elemento. A mayor brillo mayor densidad de carga. Cada una de las filas de píxeles del CCD constituyen una línea de vídeo. Estas cargas eléctricas puntuales se introducen en un sistema de memoria y pueden ser leídas, línea a línea, en sincronismo con el resto del sistema. Una vez que el CCD manda sus cargas a la memoria, se puede formar una nueva imagen y repetir el proceso cuadro a cuadro.



Un dispositivo de acoplamiento de carga, CCD, para ser utilizado en TV profesional necesita unas 250.000 píxeles como mínimo. A mayor número de píxeles mayor

detalle y resolución. La integración de tantos píxeles en un área menor que el de una uña de un dedo ha constituido, a lo largo de los últimos años, un gran problema, resuelto finalmente por la ingeniería electrónica.

La fabricación de CCDs de alta densidad de integración en píxeles, en cantidades que abaraten los costos de producción, constituye un gran problema. Sólo un pequeño porcentaje de los CCDs fabricados cumplen las necesidades de la TV profesional, por esta razón el coste por circuito es alto. La solución a este problema consiste en desviar los CCDs que no cumplen las especificaciones a los mercados doméstico e industrial con cámaras más baratas, de forma que se analizan las características de todos los circuitos fabricados y cada uno se utiliza en un mercado acorde con ellas, este sistema abarata el precio por circuito del tipo CCD. Hasta hace relativamente poco se fabricaban pocos circuitos con las especificaciones de calidad necesarias.

Los dispositivos de transferencia de carga CCD constituyen, por tanto, una nueva familia de componentes semiconductores aparecidos a principios de los años 70, fruto de los trabajos llevados a cabo de forma independiente por investigadores de Philips y de Bell Laboratories.

Basados en los principios de las capacidades MOS, estos dispositivos presentan la particularidad de poder almacenar y desplazar en su interior cargas eléctricas en forma de paquetes, constituyendo así, verdaderos registros de desplazamiento analógicos. La posibilidad de almacenar y desplazar informaciones analógicas muestreadas sin necesidad de recurrir a fases intermedias de digitalización, abrió nuevos horizontes, en el tratamiento de señal.

Por otra parte, dadas las propiedades fotoconductoras del silicio, las señales que se propagan en estos CCD pueden ser de origen luminoso con lo que se descubrió otro campo de aplicación: la captación de imágenes.

El proceso de digitalización de la imagen consiste en traducir la intensidad lumínica de la escena real en impulsos binarios. Este proceso se lleva a cabo a la salida del captador digital de imagen, donde el circuito conectado a éste realiza la **función de muestreo**, tomando una serie de muestras mediante un método determinado de comprensión. Las muestras obtenidas pueden tener o no información. Si la muestra contiene información, genera un impulso y se le adjudica un valor basado en el *código binario* (combinación de 0 y 1); si no tiene información, se le adjudica valor [0]. Cada valor numérico se denomina **bit** y cada muestra se encuentra identificada por un grupo de ocho bits o **palabra**, dentro de la cual la posición de cada bit se corresponde con un valor específico ya preestablecido.

2. CARACTERÍSTICAS, PARTES Y ELEMENTOS TECNOLÓGICOS

2.1. CARACTERÍSTICAS

2.1.1. Dispositivo de estado sólido

Es un chip que presenta una ventana fotosensible sobre la que incide la luz de la imagen a captar; el proceso de barrido está basado en la exploración de la imagen mediante impulsos secuenciales generados en un circuito temporizador externo. La primera versión de este tipo de captadores de imagen fueron las **Células MOS** (Semiconductores de Oxido de Metal): cada píxel estaba formado por un fotodiodo que genera cargas de valor proporcional a la luz incidente y las almacena, y un transistor MOS a modo de conmutador, que transfiere la carga almacenada a los registros correspondientes y de aquí, a la salida de vídeo.

Posteriormente, surge el **Dispositivo CCD**, al que se puede considerar como una superficie fotosensible compuesta por un elevado número de fotodiodos en formación matricial situada sobre una base, en la que las cargas eléctricas originadas por el impacto luminoso son almacenadas primero y desplazadas después para ser convertidas en tensión y obtener la señal vídeo. Estos dispositivos constan de tres capas:

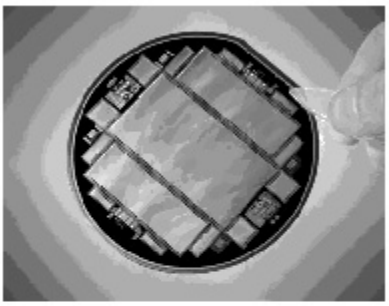
1ª capa: Polisilicio. Capa conductiva.
2ª capa: Dióxido de Silicio. Capa aislante.
3ª capa: Silicio. Capa acumuladora.

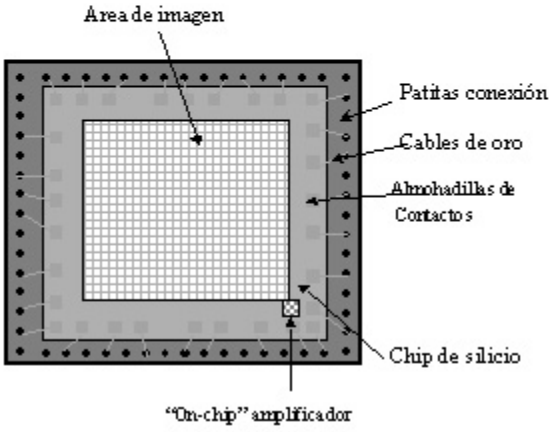
En los CCD se llevan a cabo las siguientes funciones:

- Registro de imagen, donde se realiza la conversión fotoeléctrica.
- Registro temporal, donde se almacena momentáneamente la carga de electrones.
- El drenaje, donde se efectúa la salida de la carga (transferencia).

Cada electrodo de registro de imagen (conversión fotoeléctrica) se encuentra unido a uno de registro temporal (o de almacenamiento), entre los cuales se produce un contacto alternativo a través de una capa aislante de aluminio. Hay que destacar que los elementos sensores sólo ocupan el 32% de la superficie total del CCD, por lo que el 68% de la luz incidente se pierde, a la vez se producen reflexiones que incrementan la borrosidad vertical. Los píxeles efectivos (los que realizan el análisis real de la imagen) no son todos los están.

Estructura de un CCD

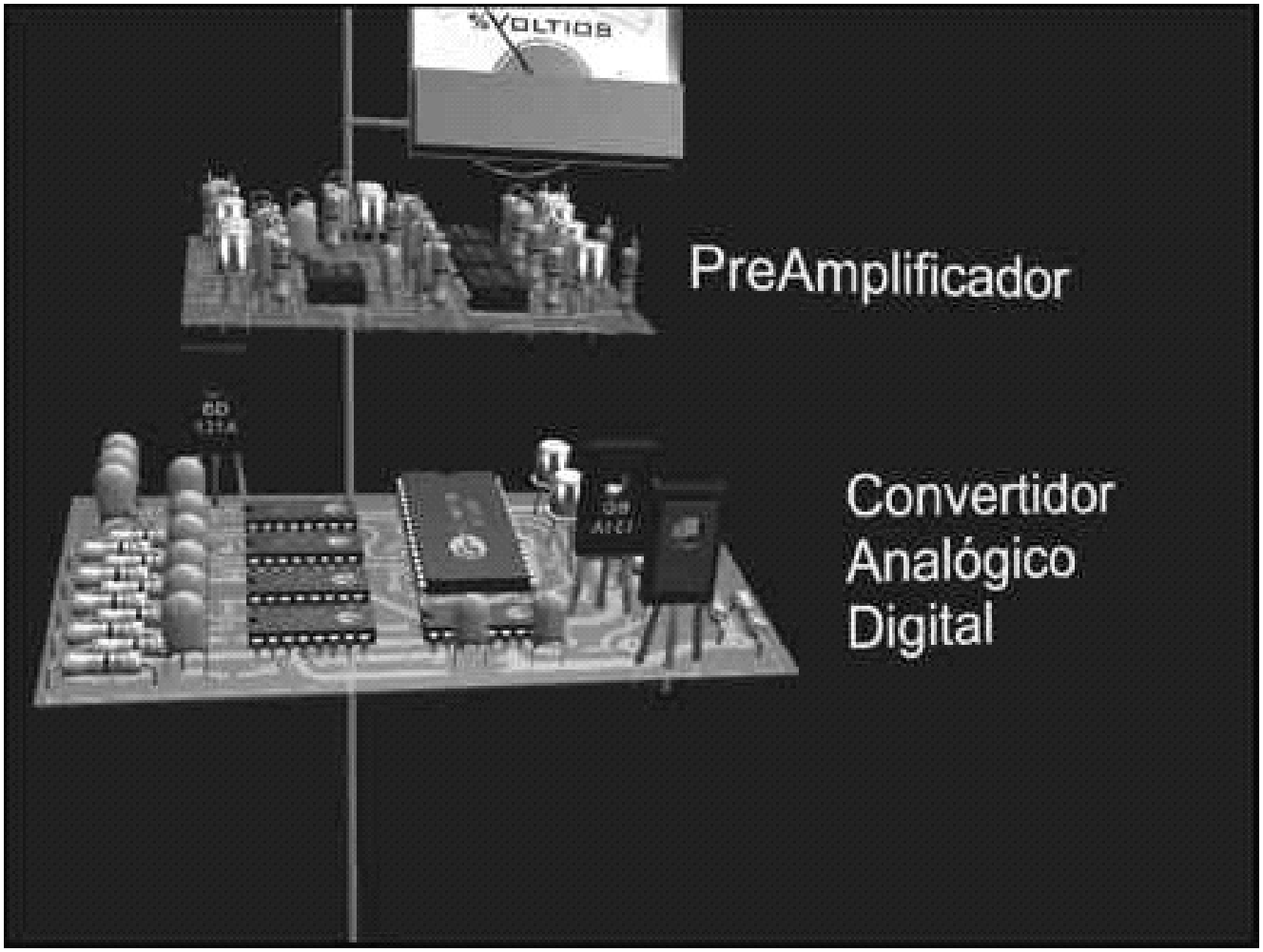




Las cámaras actuales utilizan básicamente tres tamaños de sensores CCD:

- 8,5 mm (1/4 de pulgada).
- 2,7 mm (1/2 de pulgada).
- 17 mm (2/3 de pulgada).

Hemos de tener en cuenta que la información obtenida del CCD es una señal analógica, y la conversión a digital se realiza en otro chip denominado ADC (convertidor analógico digital). Este circuito es el que se encarga de muestrear y cuantificar la señal para convertirla en ceros y unos.



Las características generales de los captadores digitales de imagen son:

- La necesidad de una elevada velocidad de muestreo.
- Circuitos con un funcionamiento muy rápido.
- Gran cantidad de energía para digitalizar la señal.
- Incluyen una memoria interna (mantenida por baterías) que ejecuta automáticamente los procesos de ajuste de la cámara. Estos ajustes pueden ser programados o enviados desde la CCU a la cámara. Los ajustes se mantienen cuando se desconecta la cámara y son recordados al ser encendida gracias a las baterías internas.
- Con la memoria programada, la cámara es capaz de chequearse automáticamente, detectando cualquier variación y corrigiéndola.

Actualmente, las cámaras de estudio digitales digitalizan la información y la envían multiplexada a través de un cable *triaxial* que permite cubrir una distancia elevada sin que se aprecie ninguna pérdida de calidad de la señal. Cuando intervienen varias cámaras en un programa, se pueden programar de forma idéntica; para ello, basta designar una de ellas como “mas-

ter" y los datos que se le introduzcan digitalmente determinarán los ajustes de las restantes cámaras.

2.1.2. Apertura rectangular

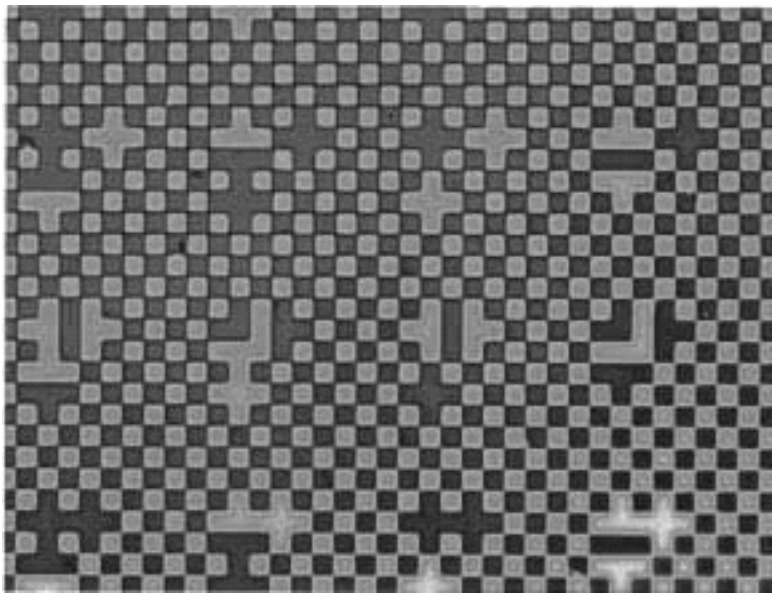
Los sensores CCD trabajan de una forma muy diferente a los tubos de cámara. En los tubos de cámara, la lectura se hace de forma continua, a través de una apertura circular, que es muy fina y perfecta en los tubos Plumbicón y algo deforme y grande en los Vidicón.

Tubo de imagen Plumbicón

Tubo de imagen Vidicón

La superficie sensible de un CCD está formada por una matriz de células estáticas de superficie finita (píxel). Cada célula queda bañada por la luz enfocada por el objetivo. Como

son elementos fotoeléctricos los fotones de la luz dan origen a la formación de cargas eléctricas (electrones).



Superficie fotosensible de un CCD

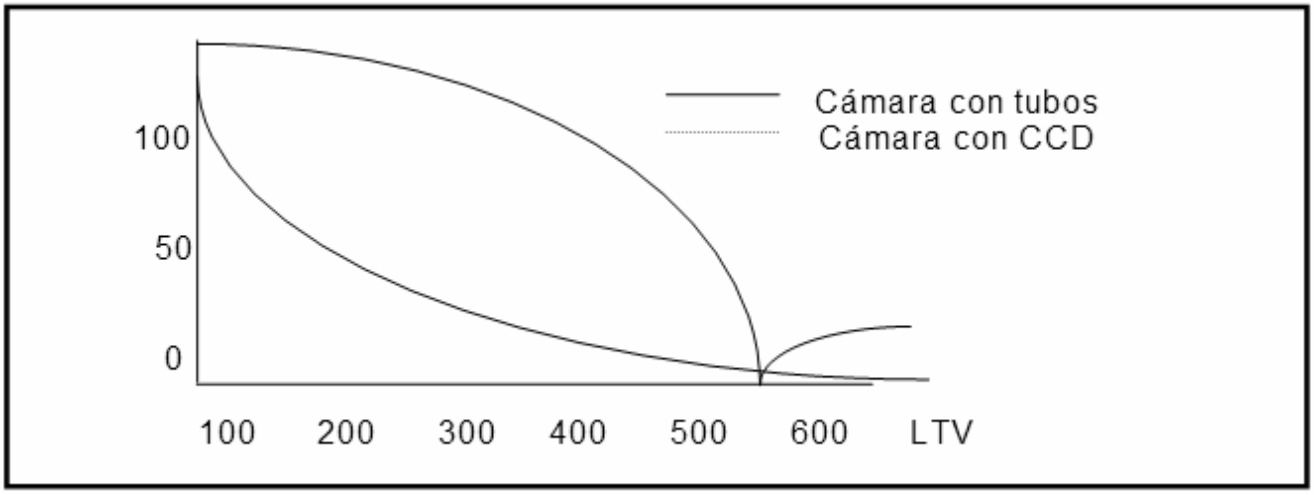
Estos electrones son transferidos, por medio de una señal de reloj, a la salida, en donde se obtiene la señal de vídeo. Cada célula sensible elemental tiene forma de minúsculo rectángulo y en consecuencia, la lectura de la zona sensible se realiza de una forma discontinua a través de una apertura rectangular.

Los dos tipos de apertura (circular o rectangular) dan origen a curvas de transferencia de modulación algo distintas y ello motiva, que existen ciertos matices diferentes cuando se graba la misma secuencia con cámaras de tubos o de CCD. En las cámaras de tubos se realiza una lectura continua a través de una apertura circular. En las cámaras con sensores CCD se realiza una lectura discontinua a través de una apertura rectangular.

2.1.3. Transferencia de modulación

Para evaluar la resolución estática de una forma objetiva se recurre a las curvas de transferencia de modulación. Estas curvas se obtienen por medio de una carta de ajuste patrón y un monitor de forma de onda, a través del cual se puede medir el nivel de diferentes resoluciones. Para ello, la cámara toma la imagen de una carta de resolución y mide los valores de amplitud de las siguientes resoluciones.

Estos valores se expresan como porcentajes de amplitudes con relación al valor de 0,5 MHz (norma CCIR), que equivale a una resolución de 40 líneas de TV. [En CCIT (625:50) se tiene la relación de equivalencia de 80 líneas de TV por cada 1 MHz.



En el dibujo anterior se muestran dos curvas típicas, mientras que la de CCD tiene forma senoidal, la de tubo tiene una forma más gausiana. Puede apreciarse que a 400 líneas de TV (5 MHz) el porcentaje de transferencia de modulación es del 40% en ambos elementos, si bien la pendiente del tubo es mucho menos pronunciada.

No existe una relación directa entre la curva de transferencia de modulación, que sería una observación objetiva, con una apreciación real, que sería la observación subjetiva.

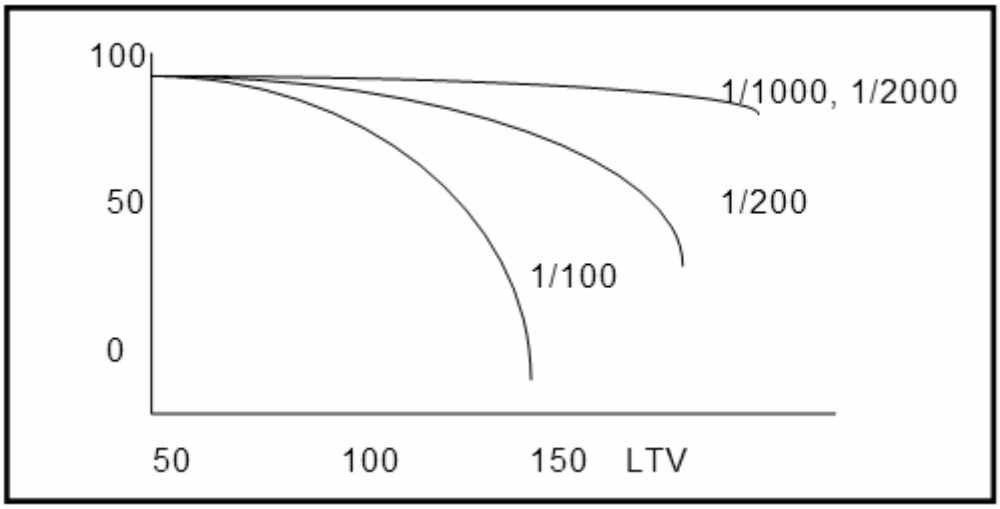
2.1.4. Resolución dinámica

La resolución dinámica dictamina la capacidad de conservar los detalles cuando la imagen está en movimiento. Una buena resolución dinámica es muy importante en imágenes congeladas o en cámara lenta. Esta posibilidad resulta interesante para analizar movimientos rápidos: deportes, náutica, aviación, psicomotricidad, zoología, medicina y en general, en todos aquellos casos en donde se requiera una visualización a cámara lenta con la máxima calidad.

Básicamente, la resolución dinámica queda afectada por dos factores primordiales: cambios en la exposición y arrastres de imagen. Si durante la exposición se producen cambios en la escena, las imágenes quedarán borrosas (esto también ocurre cuando se toman fotografías de sujetos muy rápidos con una velocidad de obturación reducida). Si el sensor de imagen retiene parte de la información durante el intervalo de borrado, se producirán arrastres que influirán en las imágenes sucesivas.

Para obtener una resolución dinámica elevada es necesario incrementar la velocidad de obturación de la cámara. Esta posibilidad requiere en las cámaras de tubos utilizar un disco mecánico giratorio acoplado al sistema óptico. En las cámaras con sensores CCD no se requiere utilizar un sistema mecánico; pues, con un simple sistema electrónico se puede modificar la velocidad de obturación. Un CCD contiene básicamente, dos zonas de trabajo: la zona de imagen y la zona de memoria. La zona de imagen es sensible a la luz, mientras que la zona de memoria almacena una réplica exacta de la zona de imagen y la transfiere a la salida en un momento determinado.

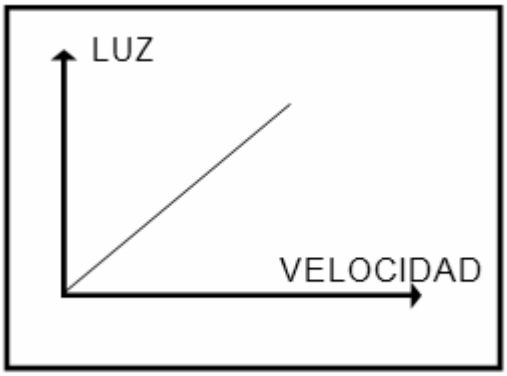
Por tanto, se puede controlar de una forma muy fácil la velocidad de obturación de la zona de imagen y en consecuencia, se puede mejorar la resolución dinámica. Una forma práctica de determinar la resolución dinámica de las cámaras CCD, consiste en desplazar, a velocidad constante, frente a la cámara una carta que contenga anchos de imagen (barras blancas y negras calibradas) y se mide a través de un monitor forma de onda, los diferentes niveles de resolución, y así se puede obtener la curva de transferencia de modulación.

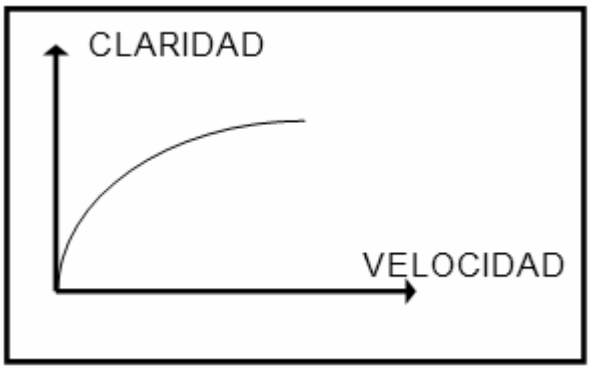


En el dibujo anterior se muestran los valores de resolución dinámica a cinco velocidades distintas de obturación. Se aprecia que cuando se pasa de 1/1000 a 1/2000 de segundo la respuesta es la misma.

2.1.5. Pérdida de sensibilidad

En fotografía, cuando se aumenta la velocidad de disparo de la cámara es necesario incrementar la apertura para garantizar una toma correcta. Con las cámaras CCD también ocurre algo parecido; ya que un aumento de velocidad de obturación conlleva a una disminución del tiempo de exposición y por tanto, será necesaria una apertura mayor para mantener el mismo nivel de la señal.





Es decir, que el aumento de la velocidad de obturación motiva una pérdida de sensibilidad; que se compensa abriendo el diafragma (pérdida de la profundidad de campo) o iluminando con mayor intensidad lumínica la escena. En el primer gráfico se muestra la relación existente entre el nivel de iluminación (sensibilidad) y la velocidad de obturación. La curva es lineal, es decir, que cada vez que se duplica la velocidad de obturación es necesario doblar la cantidad de luz, lo que a veces, resulta imposible. En el segundo gráfico se muestra la relación entre claridad de imágenes y velocidad de obturación. La curva sigue una ley exponencial, es decir, que un aumento notable de la velocidad de obturación no significa necesariamente una mejora sustancial de la imagen.

2.1.6. Limitaciones de los CCD

A) Ineficacia de la transferencia. Durante la transferencia puede ocurrir que cierto número de carga quede sin transferir; ello puede ser debido fundamentalmente a tres causas:

- A la existencia de defectos cristalográficos o impurezas químicas en el interface óxido/silicio que operan como trampas reteniendo dichas cargas.

- A una conmutación demasiado rápida de las fases de control, impidiendo que la transferencia se realice en su totalidad.

- A la estructura del propio CCD. Tecnológicamente existen dos posibles estructuras:

  a) CCD de canal enterrado (BCCD), en los que la transferencia se realiza en el interior del semiconductor. Considerando que en el interior del semiconductor la influencia de las trampas superficiales es mínima, y la movilidad de los portadores máxima, las transferencias son de menor duración.

b) CCD de canal superficial (SCCD) En los que la transferencia se realiza cerca de la superficie, donde la influencia de las trampas es mayor, la movilidad menor y produce transferencias de mayor duración.

B) La capacidad de almacenamiento de cargas de un CCD y la cantidad de cargas que pueden ser transferidas dependen de muchos factores. Existen CCD controlados por dos, tres y hasta cuatro fases de control. Los dispositivos controlados por dos fases permiten una mayor densidad de integración y una transferencia de cargas más rápida, pero su capacidad de almacenamiento es menor y mayor su complejidad tecnológica. Por otra parte los BCCD permiten una transferencia de cargas más eficaz y más rápida y con menores niveles de ruido, mientras que los SCCD almacenan mayor cantidad de cargas y son menos sensibles a la generación térmica.

C) El ruido que se observa en los CCD es muy bajo, y puede proceder de tres fuentes:

- El tipo de inyección de señal elegido.
- Las fluctuaciones propias del sistema de cargas.
- La circuitería de lectura de dichas cargas.

En un SCCD el ruido asociado a la inyección y a la lectura es inferior al de la propia transferencia, y en un BCCD ocurre lo contrario.

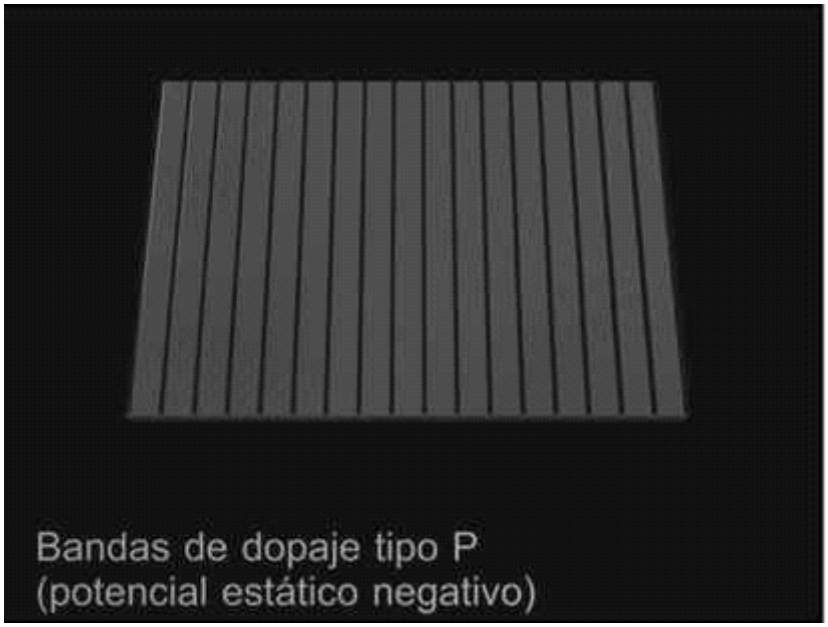
A) La no linealidad que pueden presentar los CCD es debida principalmente a las variaciones de capacidad que pueden existir entre las distintas etapas del mismo. El efecto combinado del ruido y la no linealidad limita el margen dinámico de los CCD a 60/70 dB.

B) Señal de oscuridad: si usamos la cámara en una escena totalmente oscura, se supone que el nivel de la señal dado por la cámara debe ser muy bajo. Este nivel será el del nivel de ruido que de la cámara. Pero en los CCD el nivel de ruido depende de la temperatura, como en cualquier dispositivo electrónico. De manera que cuando aumenta la temperatura aumenta el ruido, es decir la señal de oscuridad. Las cámaras profesionales disponen de un dispositivo de efecto Peltier acoplado al CCD que evacua el calor al exterior, evitando de este modo el calentamiento y la subida del nivel de oscuridad.

C) Traza vertical (smear): si se enfoca a un punto brillante de luz se origina un desbordamiento de la cámara en sentido vertical, que origina una traza borrosa vertical en la imagen. El problema se solventa, sólo en parte, intercalando un filtro de infrarrojos.

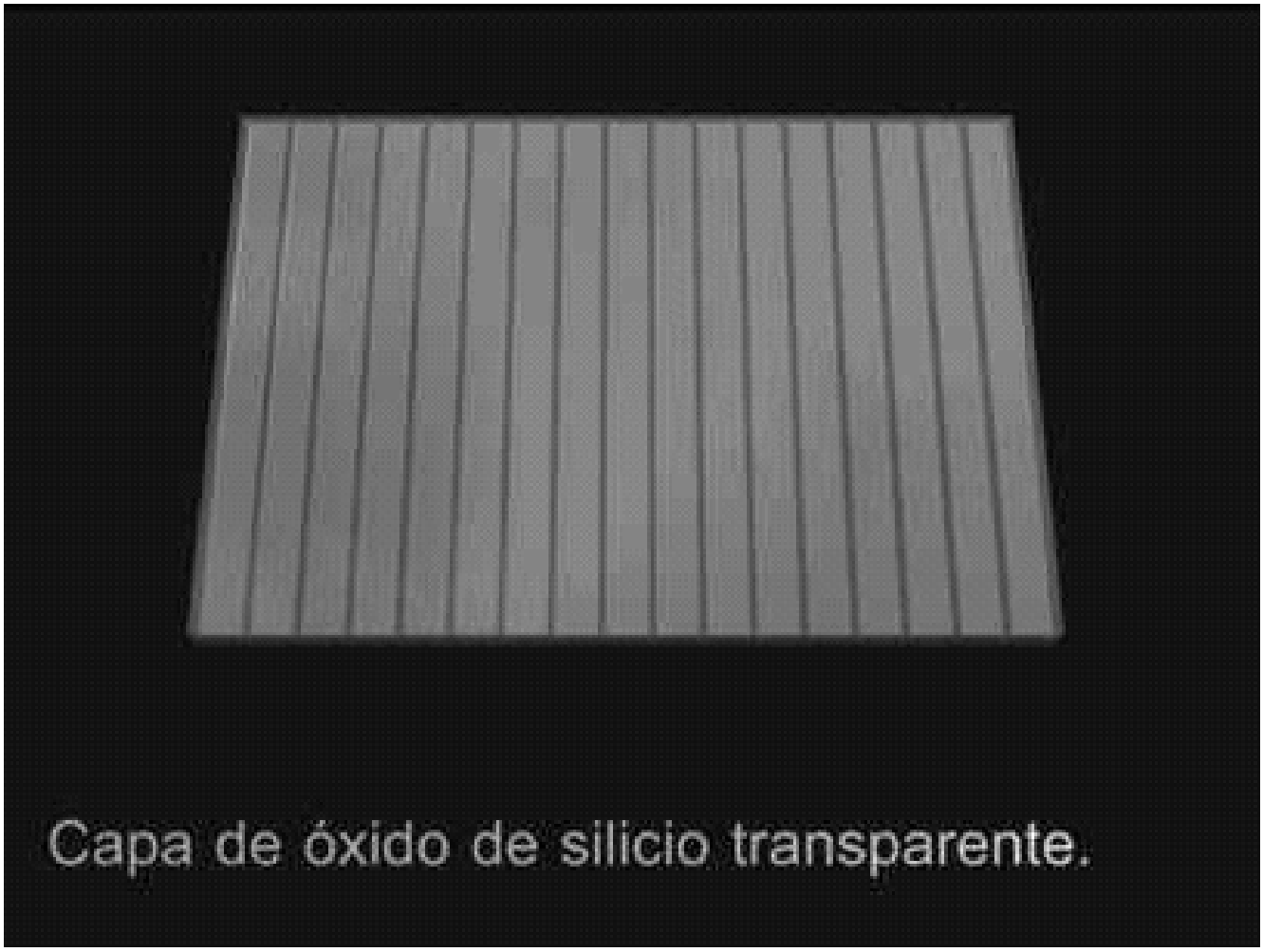
2.2. PARTES. ESTRUCTURA

Para fabricar un CCD se parte de una porción de Silicio muy puro al cual, durante el proceso de cristalización se introducen impurezas formando unas bandas según la figura.

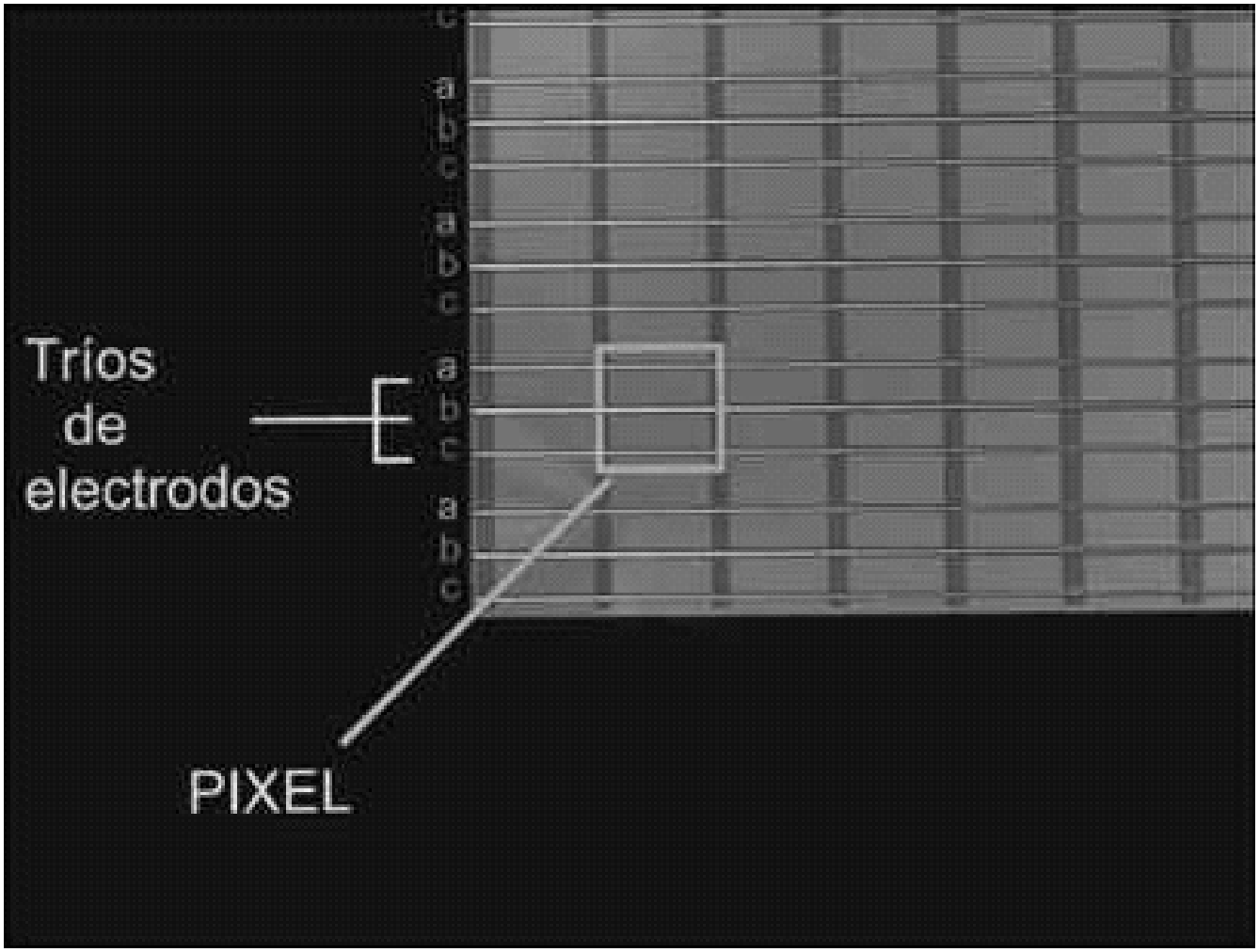


A esto se le llama DOPAR el cristal. Las impurezas alteran la estructura del cristal y sus propiedades eléctricas creando un semiconductor tipo P. Este tiene la propiedad de generar un campo electrostático permanente de valor negativo, es decir que repele electrones. Las bandas actúan como un aislante para los electrones impidiendo que estos puedan cruzarlas. Estas bandas se denominan Canales de Paro.

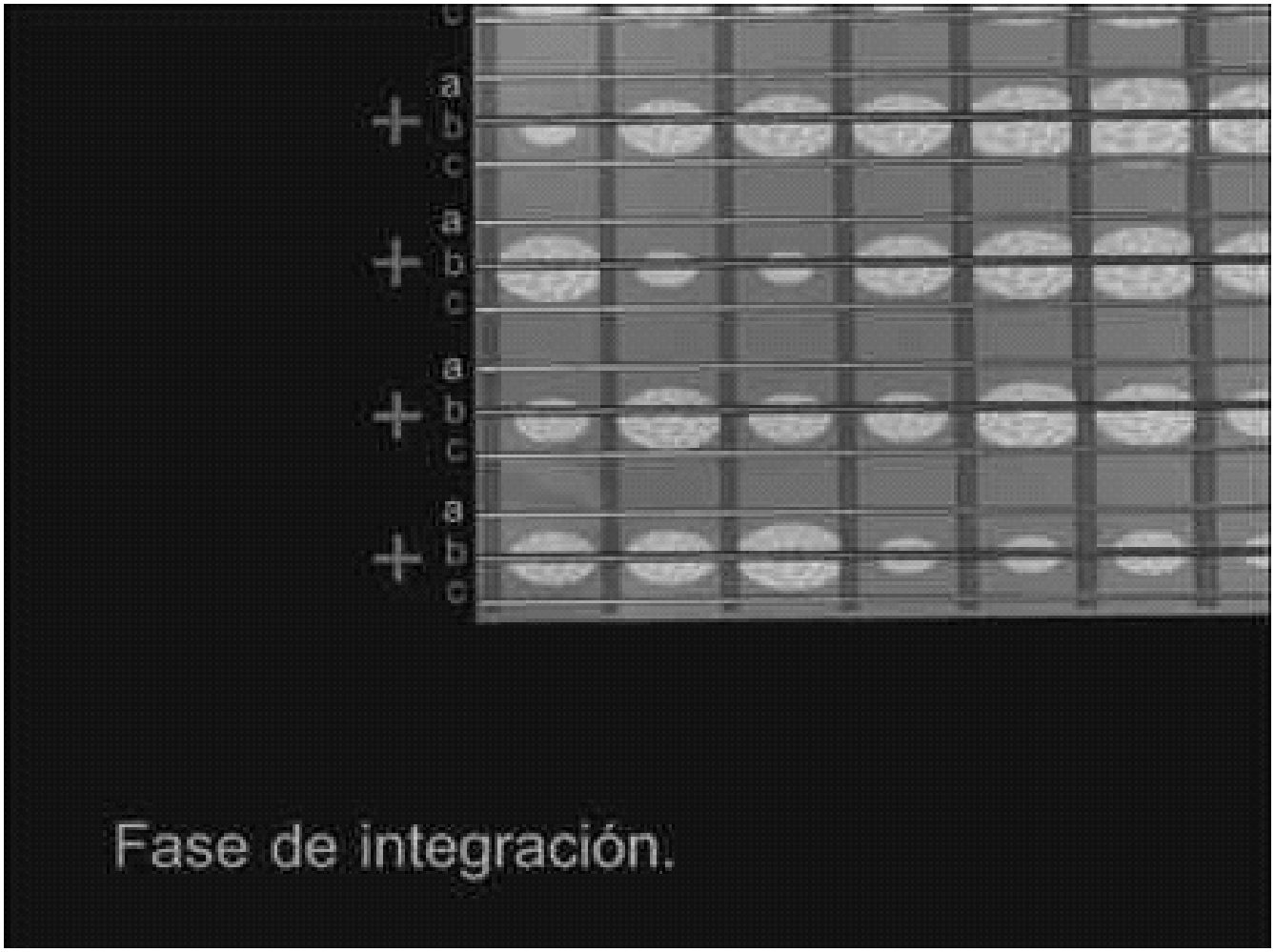
Sobre esta estructura se coloca una capa de Oxido de Silicio. El Oxido de Silicio es un material transparente pero eléctricamente aislante. Es decir permite el paso de fotones pero impide el de electrones.



A continuación se coloca una fina trama de conductores en sentido horizontal denominados **electrodos**. Los electrodos están agrupados formando tríos. La región que abarca un trío de electrodos y situada entre dos canales de paro se conoce con el nombre de **pixel**.

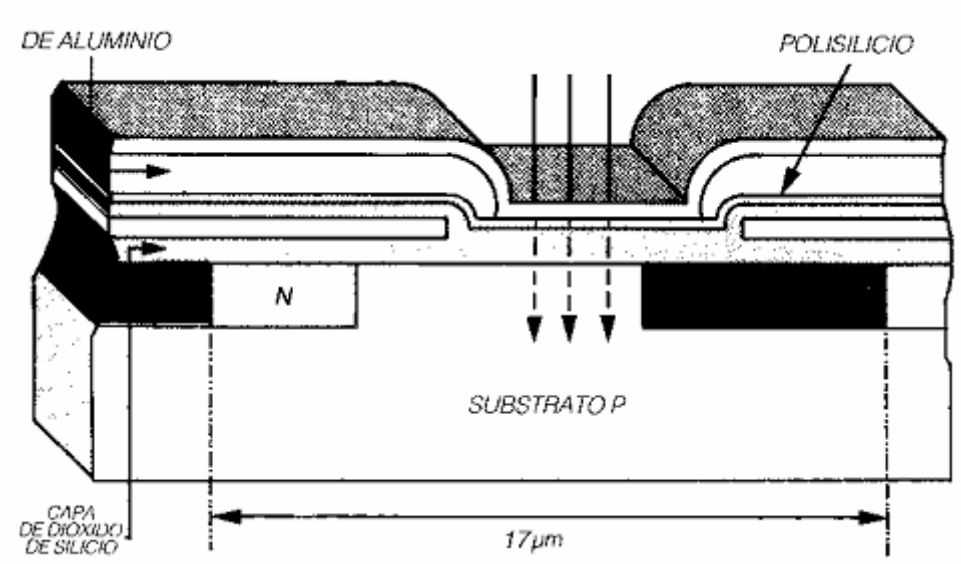


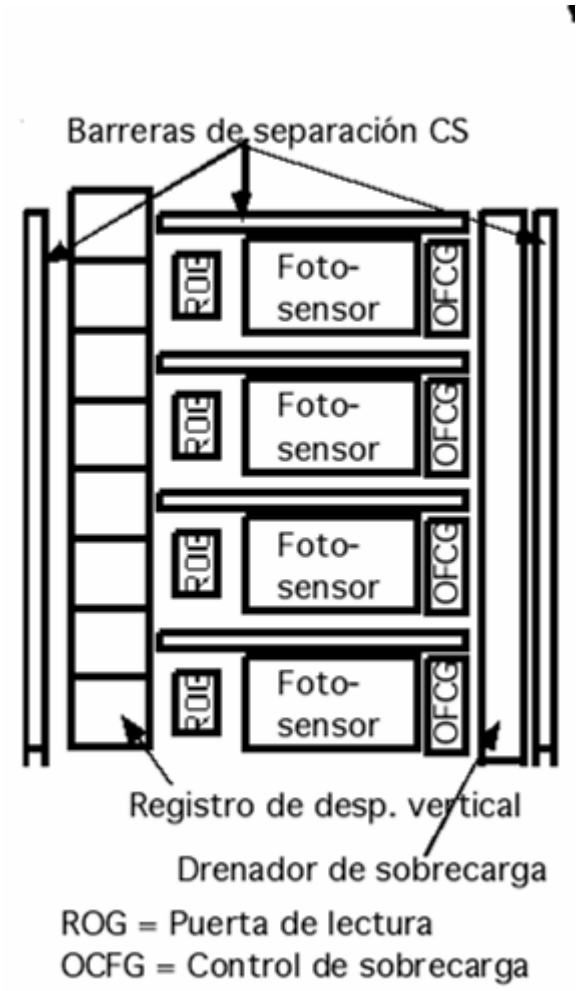
Todo el conjunto funciona como una trampa electrostática. El sensor CCD así formado se expone a la luz en el foco del objetivo. Previamente se aplica un potencial positivo a los electrodos centrales de cada píxel. De esta forma los electrones a medida que se liberan se ven atraídos por el electrodo mas cercano a su lugar de origen. No pueden alcanzar dicho electrodo porque se lo impide la capa aislante de Oxido de Silicio. Tampoco pueden recorrer longitudinalmente al electrodo porque se interponen los canales de paro. En estas condiciones los electrones se van acumulando en la proximidad del electrodo formando un paquete o carga de electrones. El número de electrones que integra el paquete es proporcional a la cantidad de luz recibida en la región el píxel.



Esta operación de exponer el sensor y atrapar los electrones formando paquetes o cargas se denomina tiempo de integración. El resultado es una imagen latente, pero constituida por un mosaico de cargas de electrones de distintos tamaños. Para que la imagen tenga una resolución suficiente es necesario que exista un gran número de estos paquetes, es decir, unos cuantos miles de píxeles.

Partes de un CCD





3. CCDs Y CTRs

3.1. CTR

El tubo de imagen de un televisor denominado tubo de rayos catódicos, es una ampolla de vidrio al vacío. La parte frontal interna del tubo está recubierta de una sustancia fosforescente, que produce brillo cuando incide sobre ella un haz de electrones. Este brillo es proporcional a la potencia del haz electrónico incidente. En la parte posterior del CTR se encuentra el cañón de electrones que produce el haz, está constituido por un cátodo que genera electrones de forma térmica y que depende de la señal de vídeo aplicada, de forma que a mayor señal de vídeo mayor haz electrónico y mayor brillo. La dirección del haz está controlada por el yugo de deflexión que consiste en una serie de bobinas electromagnéticas que rodean el cuello del tubo.

La relación que existe entre los tubos de imagen y los de cámara es complementaria. El tubo de cámara convierte las imágenes en forma de luz en la señal de vídeo analógica, señal que puede ser medida por un monitor forma de onda. El tubo de imagen convierte la señal de vídeo a un patrón de brillos que duplica la imagen luminosa.

Los movimientos del haz de electrones en cada tubo están totalmente relacionados entre sí, y mientras el haz en el tubo de cámara recorre el target de abajo hacia arriba y de derecha a izquierda, debido a la inversión de imagen que producen las lentes, el haz de electrones del tubo de imagen lo hace de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, para contrarrestar esta inversión, de forma que la imagen aparezca correctamente reproducida en el receptor.

El **CTR** (Tubo de Rayos Catódicos) se encuentra situado en el cuerpo de cámara. Actualmente su uso queda limitado a algunas cámaras de estudio y de alta definición. En este caso, se precisa un tubo para la captación de cada uno de los colores primarios.

Se encuentra compuesto por los siguientes elementos:

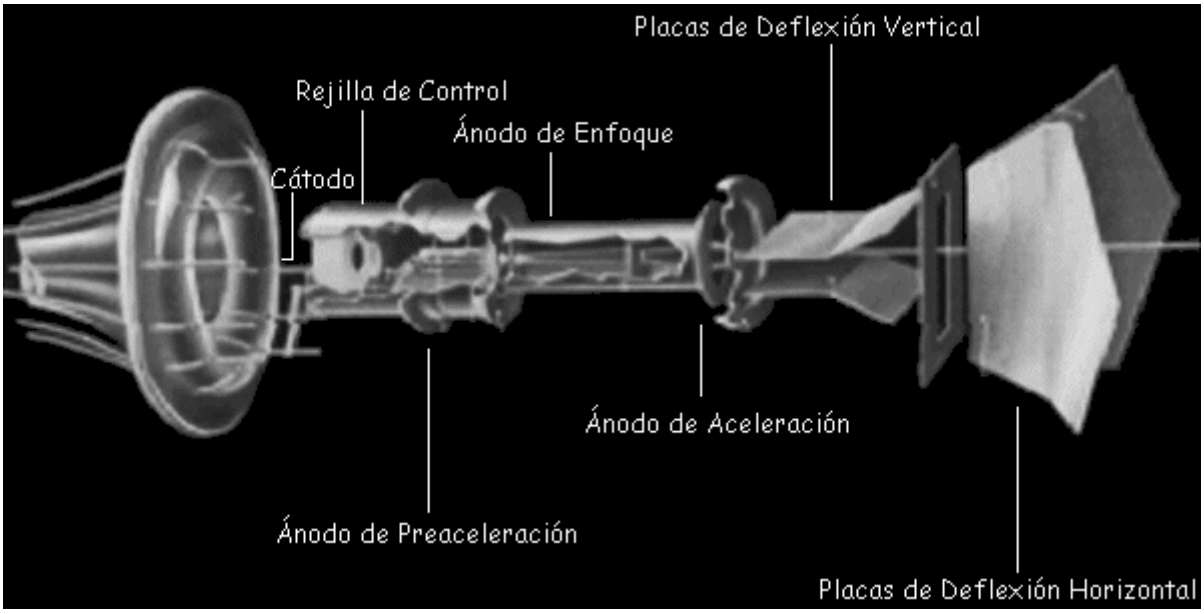
A) **Target:** es el elemento semiconductor que procede a convertir la señal luminosa en energía eléctrica. Consta de:

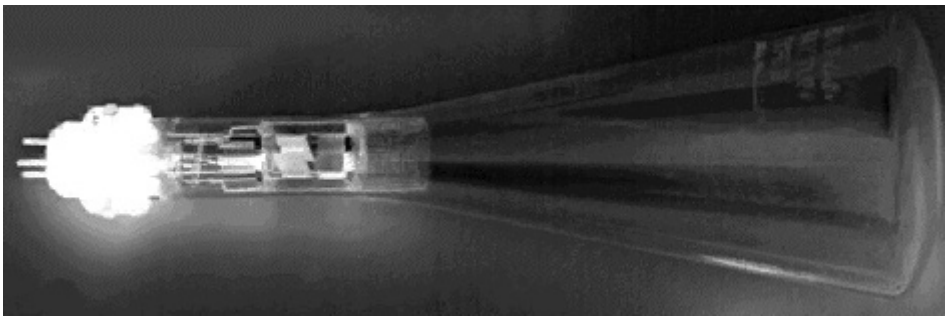
- **Placa de señal:** consiste en una lámina transparente de dióxido de estaño donde incide la luz cargándola positivamente.

- **Mosaico:** está compuesto, al menos, por 400.000 elementos (píxels) distribuidos en grupos de tres. En el caso de tratarse de un sistema de captación monotu-

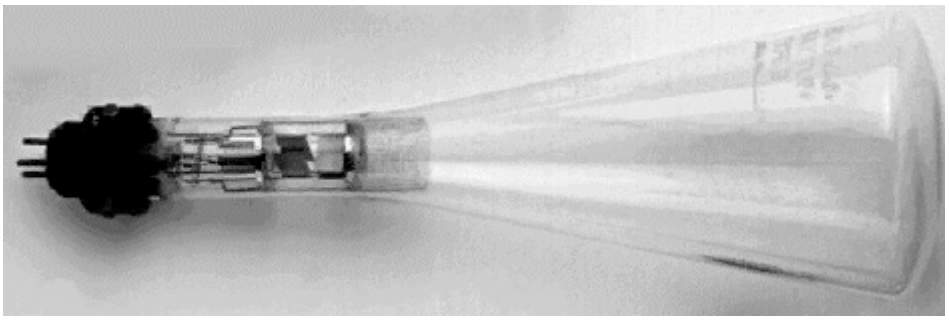
bo (que sólo emplease un tubo para captar la señal luminosa), cada píxel sería sensible a un color primario. Cada uno de los píxeles es analizado mediante el barrido de un cañón de electrones generado en el tubo de imagen; su lectura se produce en el mismo tiempo que 625 líneas.

B) **Tubo de imagen:** Consiste en un tubo de vidrio envolvente al vacío en cuyo interior un *cátodo* emite electrones al ser calentado por un *filamento*. Frente al cátodo se encuentra la *reja de control* que se encarga de concentrar los electrones en un haz. La *reja aceleradora* los atrae y les aporta la energía suficiente como para alcanzar el target. La *reja de enfoque*, junto con las *bobinas de enfoque*, permiten la concentración del haz. La *reja deceleradora* frena los electrones para que lleguen con velocidad nula al target, evitando así que éstos reboten contra la superficie. Las *bobinas de alineamiento* obligan al haz de electrones a seguir la dirección del eje del tubo y a incidir perpendicularmente sobre el target. Por último, las *bobinas deflectoras* gobiernan el haz, mediante la diferencia de carga, para éste realice la lectura del target por el sistema de exploración de barrido entrelazado.





En el cañón electrónico se forma un haz de electrones. La entrada al cañón electrónico es el caudal de electrones provenientes del cátodo.



Haz de electrones en un tubo de rayos catódicos

Después de todo este proceso, la señal vídeo sale gracias a su canalización a través de un cable.

Respecto a los CTRs, hay que tener en cuenta que:

- Tienen una sensibilidad muy alta (2870º K).
- El material fotosensible se va agotando con el tiempo.
- Se puede producir el arrastre del haz por la permanencia de cargas positivas sin neutralizar en el target; pueden producir lo que se denomina “cola de cometa” (como un arrastre de la imagen).

- Son capaces de compensar las distorsiones geométricas de las lentes gracias a la posibilidad de ajustar su posición respecto a ellas (ajuste de convergencia).
- Gran consumo de energía.

Los sistemas de TV fueron desarrollados hace 50 años, con las limitaciones tecnológicas de aquellos tiempos. Una de estas limitaciones fue el revestimiento de fósforo de los tubos de imagen. Cuando el haz de electrones incide sobre el fósforo éste produce brillo, tan pronto como el haz electrónico abandonaba el fósforo, para excitar el siguiente punto, este brillo empezaba a debilitarse. Si el tubo de imagen fuese barrido desde la línea 1 a la 625 (525 en la NTSC) sucesivamente, cuando el haz electrónico estuviera barriendo las últimas líneas, la parte superior de la imagen tendría el brillo totalmente debilitado, oscureciendo esa zona de la imagen. Para evitar esta problemática el haz de electrones explora un campo de 312,5 líneas y

vuelve a la parte superior de la imagen en el momento en que las líneas superiores comenzaban a perder su brillo, el haz electrónico al barrer el siguiente campo hace brillar las zonas entre dos líneas que estaban perdiendo su brillo.

El resultado de esta operación son imágenes con los brillos equilibrados, evitando que la imagen se vea con franjas oscuras y claras. Actualmente es posible diseñar sistemas con barrido progresivo de la línea 1 a la 625. Empleando este tipo de barrido desaparecerían una serie de problemas técnicos generados por la exploración entrelazada. Pero estos barridos son incompatibles entre sí y los receptores de TV no están preparados para visualizar imágenes con barrido progresivo. Esta es la razón del empleo actual del barrido entrelazado.

3.2. CCD

Una vez solucionados los problemas tecnológicos de alta densidad de integración y los de fabricación, los CCD presentan una serie de ventajas con respecto a los tubos de cámara. Como se mencionó anteriormente no son más grandes que una uña, pero además no tienen haz electrónico (por tanto no necesitan bobinas de deflexión para dirigirlo), ni los circuitos de control que conllevan. El sistema de exploración de las cámaras CCD es más pequeño y menos pesado que el de las tradiciones cámaras de tubos, pudiéndose encontrar cámaras profesionales no más grandes que una caja de zapatos y con un peso de tres kilogramos.

Los circuitos integrados, CCD, son mucho más baratos que los tubos de cámara. Las cámaras profesionales, utilizando los nuevos sensores, son más pequeñas, ligeras y más baratas. Por otra parte los CCD son más duraderos que los tubos de cámara, mientras la vida media de un tubo de cámara se puede cifrar en unas 5000 horas, un sensor de estado sólido puede durar el doble de tiempo. La tecnología de cámaras CCD reduce tanto los gastos de fabricación como los de mantenimiento. Además, los sensores de estado sólido, minimizan por su propia tecnología los problemas tradicionales de los tubos de cámara, zonas quemadas y arrastres.

En la actualidad existen dos tecnologías que conviven en perfecta armonía, los CCD y CMOS.

Como hemos indicado anteriormente los sensores pueden estar basados en dos tipos de tecnologías, CCD (Charged Couple Device) o CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Tanto los sensores de imagen CCD como CMOS capturan la luz sobre una pequeña rejilla de píxeles en sus superficies. Es cómo estos procesan la imagen y cómo se fabrican donde difieren entre sí. Los sensores CCD tienen mayor sensibilidad a la luz, más calidad y también precio más alto, en tanto que los de tipo CMOS son menos sensibles y de menor cali-

dad, pero al ser fáciles de fabricar son más baratos. Tradicionalmente se utilizaron los CCD para las cámaras profesionales y semiprofesionales y los CMOS para las cámaras de aficionados y las Web-cam. Pero ya la marca Canon ha incorporado en sus cámaras profesionales los sensores CMOS y su rendimiento es alto. Seguramente algunos fabricantes incorporarán a sus próximos modelos la tecnología CMOS, en tanto que otros continúan mejorando las prestaciones del CCD.

Canon EOS D60, basada en la tecnología CMOS

3.2.1. Sensores de imagen CCD

Los **CCD** (Dispositivo de Acoplamiento de Carga) surgen a partir de 1970. Consisten en elementos sólidos construidos con una configuración parecida a la de los circuitos integrados. El sensor CCD contiene un mosaico de elementos sensibles a la luz (alineados vertical y horizontalmente), que captan la luminosidad de la escena real a través de una ventana fotosensible sobre la que incide la luz, efectuándose internamente un proceso de barrido de imagen para conseguir su conversión en señal vídeo. Se trata de condensadores de silicio pequeños y compactos ante los cuales se coloca un filtro de infrarrojos para evitar que afecten al sensor y así evitar que capten imágenes no aceptadas como tales por el ojo humano.

El procesado de la imagen, desde su captación hasta su salida como señal vídeo, se realiza mediante las siguientes fases:

- **Conversión fotoeléctrica:** Un potencial de luz incide sobre la cubierta de aluminio y hace que la primera capa libere en el interior una cantidad de electrones proporcional a la intensidad luminosa.

• **Almacenaje de carga:** Cuando los electrones liberados han igualado la intensidad luminosa, son almacenados en la segunda capa.

• **Operación de transferencia:** La carga de electrones es transferida hacia el interior para realizar su lectura. La "puerta" de transferencia se abre en el tiempo correspondiente al retorno del haz de lectura de electrones. Mientras dura esta transferencia de electrones, no puede haber nuevas aportaciones de cargas eléctricas porque se mezclarían entre sí produciendo alteraciones en la imagen.

Estas tres fases son gobernadas por un reloj de sincronismo que garantiza un total control en cada uno de los procesos.

Se sitúan unidos de forma solidaria al bloque dicroico para obtener los tres colores primarios. En algunas cámaras de Estudio pueden encontrarse 4 CCDs porque se duplica el canal de verde para obtener una mejor respuesta en resolución y eliminar los problemas de aliasing (moiré).

En cuanto a los CCD, hay que tener en cuenta que:

• Se encuentran equilibrados de fábrica para trabajar con una temperatura color de 3200º K.
• Su expectativa de vida teórica, no tiene límite.
• No le afectan las luces muy altas.
• No tiene distorsiones geométricas, pero no puede compensar las distorsiones de las lentes; si se cambia el objetivo, la calidad de la imagen se modificará.
• Es inmune a los golpes.
• El tiempo de puesta en marcha es instantáneo.
• Es inmune a los campos eléctricos.
• Su consumo de energía es muy bajo.
• Su capacidad de resolución depende de la proporción de píxeles (CCD) por superficie.
• Tiene mayor sensibilidad a las luces bajas.
• Reduce el efecto moiré (aliasing).

En la imagen observamos el efecto aliasing en el suelo:

- Cuando se enfoca a un punto brillante, puede aparecer una mancha vertical (efecto smear).
- Tiene algunas restricciones en cuanto a colorimetría, particularmente a los rojos.

Los **HAD** (Hole Accumulator Diode = Diodo Acumulador de Huecos) consisten en CCD mejorados: son más pequeños, lo que permite mayor número de elementos por superficie y son más sensibles a las luces bajas.

Los captadores de imagen tienen además la característica de actuar como *obturador electrónico* de la cámara electrónica: en el momento en que se retira el barrido de lectura de electrones, se cierra la entrada de una nueva información lumínica; por lo tanto, hasta que los electrones comienzan una nueva lectura no se produce ninguna incidencia luminosa.

Los CCD se fabrican tan sólo en unas pocas factorías en todo el mundo, debido fundamentalmente a que son chips muy complejos y especializados en la captura de imágenes digitales.

Cuando los fotones que forma la luz llegan hasta el CCD, excitan los fotodetectores que se encuentran dentro de cada píxel. En función de la intensidad de esta luz se genera una carga eléctrica determinada, mayor si llegan muchos fotones y menor si llegan pocos. En esta fase la información del tono que debe mostrarse en cada píxel está aún en estado analógico.

Los datos del voltaje generados en cada píxel según la cantidad e luz recibida tienen que ser convertidos a datos digitales binarios, para que puedan ser entendidos por un ordenador. En un CCD este proceso se debe realizar fuera del sensor, en otro chip externo llamado ADC (*analog to digital converter*), convertidor analógico digital. Éste es en realidad el que determina el número de bits de color que podrá mostrar nuestra imagen final. Un sensor CCD puede tener capacidad para generar imágenes de 12 bits por color (36 bits en total), pero si el chip ADC tan sólo es de 24 bits, esos serán los que tenga la fotografía final. El resto de bits de color sencillamente se pierden porque el ADC no es capaz de procesarlos.

Al principio estos chips ADC eran un producto muy caro, por lo que se empleaban los de 8 bits por color (24 bits totales), ya que eran más asequibles. Pero, como en el resto de componentes que forman parte de la fotografía digital, la rápida expansión de este mercado está propiciando una continua bajada de precios considerable. Hoy en día, y cada vez más, algunas cámaras de gama media o alta llevan ADC de 1 byt, lo que permite obtener imágenes de 3 byt de color totales. En el caso de los escáneres ocurre lo mismo, y cada vez es más fácil encontrar dispositivos de este tipo con más de 24 bits de color.

Una de las principales diferencias entre un sensor CCD y un CMOS es que este último no necesita chips ADC. En los CMOS la conversión de datos analógicos a digitales se lleva a cabo dentro del propio sensor. A pesar del gasto extra que suponen éste y otros componentes necesarios en un CCD, éstos han sido desde su descubrimiento los sensores de captura digital más utilizados. Sobre todo porque ofrecían una calidad de imagen mucho mayor: menor ruido, mayor rango dinámico y una sensibilidad a la luz superior a la de los CMOS. Esto se debe precisamente a que constan de menos circuitos en el chip, lo que se traduce en una reducción de las interferencias que causan otros componentes electrónicos, y obteniendo imágenes finales mucho más limpias y con menos ruido.

A pesar de que el CCD tiene muchas desventajas con respecto al CMOS, incluyendo un precio más elevado, el hecho de poseer una mayor calidad de imagen le ha impuesto hasta hace bien poco en el mundo de la fotografía digital. Actualmente, casi todas las cámaras digita-

les, escáneres y respaldos digitales cuentan en su interior con un CCD, una de las partes más caras e importantes de estos dispositivos.

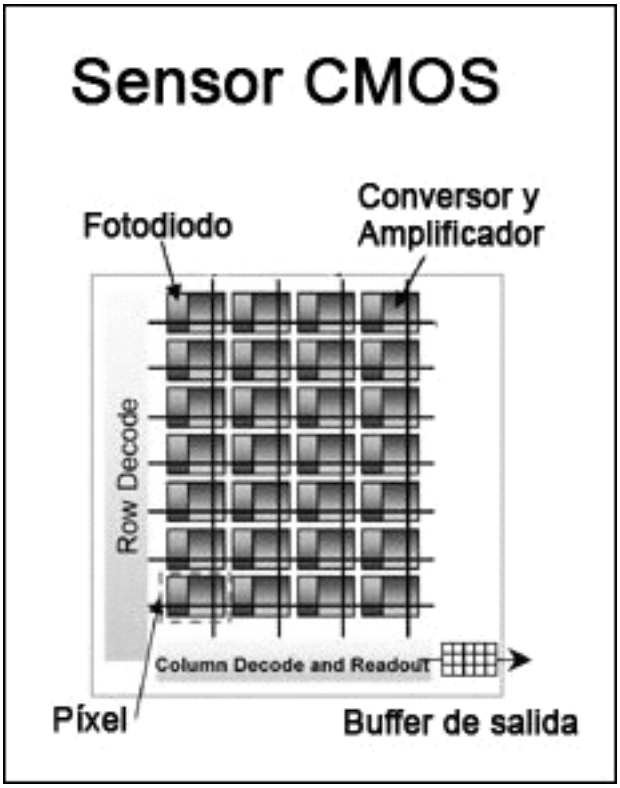
3.2.2. Sensores de imagen CMOS

Este tipo de sensor utiliza un proceso diferente llamado Metal-Oxido-Semiconductor con transistores complementarios (CMOS). Los sensores CMOS poseen varias ventajas con respecto a los CCD:

• *El coste:* Los CCD se utilizan tan sólo como sensores de imagen. Los CMOS, en cambio, tienen muchos otros usos; de hecho, vuestro ordenador llevará seguramente varios chips del tipo CMOS, igual que otros muchos productos digitales que podemos encontrar en cualquier tienda de informática. El que los chips CMOS se fabriquen para otros usos en muy grandes cantidades, hace que tanto los procesos como el material necesario para construir un sensor fotosensible CMOS sean más baratos que en el caso del CCD. Debido a este menor coste a la hora de producir el sensor, el precio de un CMOS suele ser sensiblemente inferior al de un CCD equivalente.

• Una de las mayores diferencias entre ambos sensores es el hecho de que los CMOS pueden *integrar en el propio chip gran parte de los procesos* que en un CCD se tienen que realizar fuera de éste. Así, la conversión de datos analógicos a digitales, compresión de imágenes, reducción de ruido, etc. tienen lugar directamente en el CMOS. Esta es posiblemente la principal ventaja sobre un CCD, ahorrando el espacio y el coste de chips y circuitos extra que necesita este último tipo de sensores. Esto permite a los fabricantes que emplean este sensor CMOS construir cámaras más pequeñas y asequibles.

• Además, los CMOS requieren *menor energía* para funcionar, permitiendo una mayor duración de las baterías y una mayor eficiencia del sensor. Esta característica también conlleva un menor calor en el chip y, por tanto, un menor ruido causado por la temperatura.



A pesar de estas ventajas, los sensores CMOS no han conseguido hasta hace pocos años ofrecer una calidad de imagen muy aceptable, por lo que se han visto ampliamente superados por los CCD. Precisamente una de sus mayores cualidades, la de integrar en el chip los circuitos que permiten gran parte del procesado de la imagen, ha supuesto un problema para su uso en las cámaras digitales. Esta circuitería genera interferencias electrónicas muy intensas, que aparecían en las fotografías finales como un ruido tan visible que desaconsejaba su uso. Tan sólo algunos escáneres planos de baja gama utilizaban hasta ahora este tipo de sensores de captura, sacrificando la calidad a cambio de un precio muy económico. Los intentos de instalar CMOS en el corazón de cámaras digitales han dado tan pobres resultados que el mercado está claramente dominado por los CCD, exceptuando algunas webcam y cámaras de seguridad económicas. Esto es especialmente visible en el segmento profesional de la fotografía digital, donde prácticamente todos los escáneres, respaldos y cámaras confiaban hasta hace poco en la tecnología CCD.

Esto ha sido así hasta que el año 2000, Canon introdujo la primera cámara profesional digital SLR (réflex de un solo objetivo) que llevaba un CMOS en vez de un CCD como sensor de captura. Ésta cámara, la EOS-D30, demostró que la tecnología CMOS puede ofrecer hoy en día resultados similares a los de un CCD, con las ventajas que caracterizan este tipo de chips. Canon ha apostado por emplear también un sensor CMOS en la EOS D60 y 1-Ds.

3.2.3. Comparación CCD/CMOS

• *El consumo de energía.* Uno de los problemas más grandes que tiene cualquier dispositivo portátil es el del consumo eléctrico. Las cámaras digitales no están exentas de este problema, en parte por el monitor LCD y en parte por el consumo del sensor. Los CMOS están altamente optimizados, de modo que consumen entre 30 y 50 mW, en tanto que un CCD consume entre 2 y 5 W. Este mayor consumo lleva a su vez al uso de baterías más costosas y pesadas, generando problemas de autonomía.

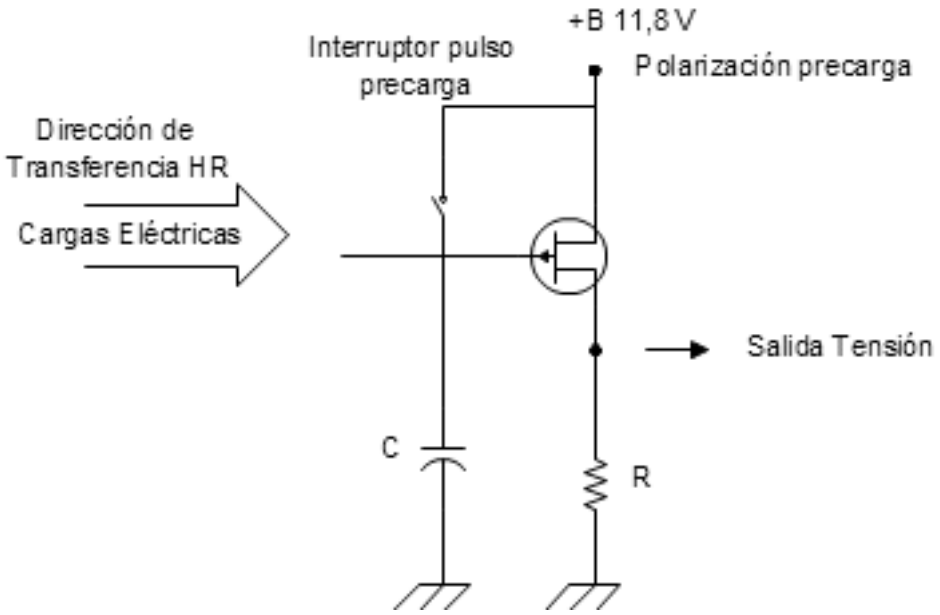
• *Diferencias tecnológicas.* Mientras que en el CCD toda la información es transmitida a través de las mismas celdas vecinas hacia sus bordes, donde la información es recolectada, el CMOS tiene capacidad de transmisión en cada una de las celdas. Esto evita el efecto de "blooming" o de contaminación entre píxeles vecinos cuando hay situaciones de sobre exposición y, además, permite mejores opciones de interpolación de la imagen.

• *Fabricación.* El interés en el CMOS por parte de la industria radica en que, a diferencia de la fabricación de CCD, que debe hacerse en plantas especializadas a partir de materias primas no comunes, los CMOS pueden ser fabricados en las líneas de producción normales de semiconductores a partir de materias primas muy baratas y de uso generalizado. Teniendo en cuenta entonces que la tecnología de fabricación del CMOS es la misma que la de los microprocesadores, tendrá que haber una baja de precios en cuanto la tecnología CMOS se adapte de manera eficiente a las cámaras digitales. Por las características de su fabricación, los CMOS son también más fáciles de interconectar a nuevos sistemas que los CCD. Porque en realidad podemos considerar al CMOS como un microprocesador. Esto quiere decir que los CMOS son una alternativa flexible para los fabricantes, y les permitirán nuevos desarrollos. Todavía el CMOS es muy sensible al ruido de imagen, tiene un rango dinámico reducido y presenta poca sensibilidad, pero sus características estructurales son mejores que las del CCD.

• *Evolución.* Hemos visto que la principal diferencia constructiva entre el CCD y el CMOS es que las operaciones matemáticas de conversión análogo-digital y de ajuste se hacen en el CMOS en el mismo chip, en vez de requerir un circuito adicional para el cálculo. Esto ahorra costos y permite diseños más compactos.

4. CONTROLES Y FUNCIONES

A) Uno de los circuitos que se incluyen en los dispositivos CCD, captadores de imagen, y que es de gran importancia, es el registro de salida mediante el cual se hace la extracción de señal de vídeo.



El condensador C representado no existe como tal dentro del dispositivo, sino que dada la alta impedancia de entrada del circuito se utiliza la pequeña capacidad parásita puerta-surtidor del transmisor FET.

Su funcionamiento es el siguiente: Durante el instante previo a la transferencia el impulso de precarga cierra el interruptor (SW) con lo que el condensador (C) queda cargado con el potencial de +B, seguidamente se abre el interruptor quedando la puerta de entrada del transistor de alta impedancia, a continuación el registro de H desplaza sus cargas a la puerta del transistor, por lo cual el condensador C se descarga de forma proporcional al nivel de cargas eléctricas aplicadas.

B) Función Knee (corrección de ángulo)

Dado que los circuitos de recorte de los picos del blanco, simplemente se limitan al nivel de vídeo de las zonas brillantes a un nivel concreto, no se reproducen los detalles de las imágenes en las áreas brillantes. Para solucionar este problema se utiliza la corrección de ángulo. Esto funciona com-

primiendo las señales que exceden de cierto nivel de vídeo denominado punto del ángulo.

C) Control de contraste dinámico (control Knee automático)

El Control de Contraste Dinámico (DCC) es una función que permite que la cámara reproduzca detalles de una imagen, inclusos en casos en los que deba manejarse un contraste muy alto. Por ejemplo si queremos grabar a una persona situada frente a una ventana desde dentro de una habitación, para poder reproducir los detalles del exterior de la ventana, solo se podría hacer con el DCC activado.

Este mecanismo es prácticamente igual que la corrección Knee, la diferencia es que el DCC permite una gama dinámica más amplia mediante el control automático del ángulo para un nivel de vídeo óptimo en la escena que se esté tomando. Por ejemplo, cuando no haya zonas de mucha luz, el punto del ángulo se ajustará en un punto cercano al recorte de los picos de blanco, de forma que los detalles de una imagen puedan reproducirse linealmente. Por otro lado, cuando la luz que entre exceda en mucho el nivel de recorte de los picos de blanco el circuito del DCC rebajará gradualmente el punto del ángulo según la intensidad de la luz. De esta forma, una escena que requiera una amplia gama dinámica puede reproducirse dentro del nivel de vídeo estándar.

D) Retención de la imagen

Se produce retención de imagen cuando se dirige directamente una cámara a un objeto muy brillante, como el sol, durante un rato. Esto produce una imagen, correspondiente al área del sensor expuesta a la luz intensa, que aparece cada vez que se utiliza la cámara durante cierto periodo de tiempo. En la mayoría de los casos, la imagen retenida en el sensor desaparecerá gradualmente con el tiempo, pero hay casos en que el sensor puede dañarse y es necesario cambiarlo.

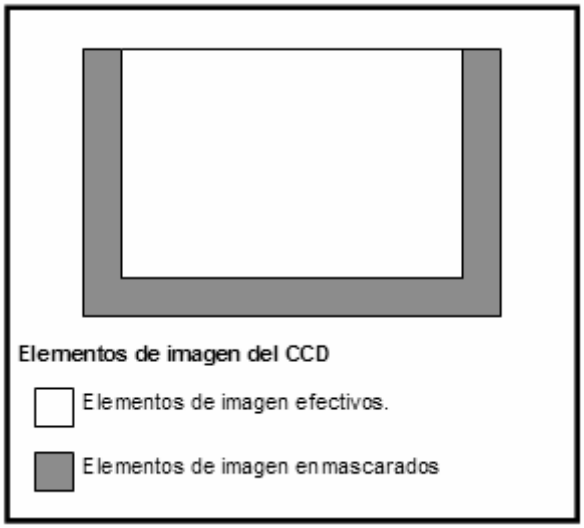
E) Circuito Linear Matrix

Pueden conseguirse todas las tonalidades cromáticas del espectro visible mediante la mezcla de los tres colores primarios, rojo, verde y azul. Las características del espectro ideal de estos colores indican que algunas áreas

contengan una respuesta espectral negativa, para obtener una reproducción fiel del color, las cámaras de vídeo con CCD deben tener en cuenta estos valores de luz negativa, y para ello incorporan un circuito "Linear Matrix" que compensa estos valores generando y añadiendo electrónicamente señales que corresponden a la respuesta espectral negativa para las señales de vídeo roja, verde y azul. Este circuito está situado antes de la corrección gamma, de forma que la compensación no varíe debido a la cantidad de corrección del gamma.

F) Elementos de imagen

La densidad de los CCD se indica mediante el número de elementos de imagen que haya dentro del área sensible. Cada elemento de imagen contiene un fotosensor para el muestreo de la luz de entrada. El número de elementos de imagen dentro del área sensible del CCD es el factor principal que determina la resolución resultante de la cámara. En el dibujo se observa que hay un área enmascarada a lo largo de los bordes del CCD. Estas áreas corresponden a los periodos de supresión vertical y horizontal, y se utilizan como referencia para el negro neutro. De los elementos sólo los efectivos se utilizan realmente para detectar la luz de entrada.



G) Pozo P

Los pozos P se emplean en los CCD, para reducir el Smear. El Smear es un fenómeno característico de las cámaras CCD que se produce cuando se graba con la cámara un objeto brillante o una fuente de luz. Este fenómeno

se observa en el monitor como una franja vertical por encima y por debajo del objeto de la fuente de luz, esto se debe a que los electrones filtrados son desplazados hacia abajo desde el registro vertical al registro horizontal, y produce borrosidad. La cantidad de borrosidad es generalmente proporcional a la intensidad de la luz desde el objeto o fuente de luz y al área que ésta ocupa en el CCD. Los pozos P reducen de forma efectiva la cantidad de electrones que entran en el registro vertical desde el substrato. El primer pozo P forma la toma de sobrecarga vertical con el substrato y el segundo pozo P bloquea los electrones que entran en el registro vertical desde el substrato.

H) Desplazamiento espacial

El desplazamiento espacial es un método utilizado para mejorar la resolución horizontal de la luminancia de las cámaras CCD. Con esta técnica es posible conseguir una mayor resolución de la que teóricamente puede esperarse con el número de elementos de imagen que tiene cada sensor CCD.

I) Obturador electrónico de velocidad variable

Esta función, que ha permitido el uso del CCD, es similar al obturador mecánico y se utiliza de una forma similar. Cuando está activado, permite que la cámara capte objetos en movimiento a altas velocidades sin que se desenfoque la imagen, teniendo en cuenta, que cuanto mayor sea la velocidad del obturador, menos luz se dirigirá hacia el CCD y más abierto estará el iris.

J) Los ajustes generales son:

- *Pulsadores de balances:* tiene dos posiciones para efectuar los balances de Blanco (WHT) y Negro (BLK). El balance de Blanco hay que efectuarlo siempre al comenzar una grabación; el de Negro siempre que cambiemos algunas de las características de grabación (iluminación, filtros, etc.).

Fotos diferentes con sólo variar el balance de blancos

• Memorias del balance de Blancos: Existen diferencias de memorización según se trate de una cámara Broadcast o una cámara Industrial.

a) Cámara Broadcast: permite almacenar 8 balances de blanco distintos, dos para cada posición de filtro.
b) Cámara Industrial: sólo permite almacenar dos memorias.

Ambas tienen en común la posición **preset**, que se refiere a un balance de blanco almacenado de fábrica para un valor estándar de 3.200ºK.

• *Selector Up-Down de Menús:* nos permite modificar la velocidad del *Obturador Electrónico Shutter*, *Clear Scan*, actuar sobre el fotómetro de la cámara, alterar las características de captación en cuanto el detalle o definición de la imagen y modificar el nivel de *Pedestal de Negros* para alterar el contraste de la imagen.

• *Shutter* (Obturador Electrónico): permite reducir los tiempos de exposición en los intervalos de captura de la imagen. Con ello se logra captar imágenes nítidas al ser reproducidas a cámara lenta. Cada subida

de su valor supone una reducción de la luz que llega al sensor de imagen.

• *Clear Scan:* permite variar la frecuencia de muestreo del sensor de imagen y adaptarla para captar imágenes de la pantalla del ordenador, cuya frecuencia de muestreo es superior a la de vídeo, sin que aparezca el "nervio" horizontal.

Pantalla de ordenador en la que no se ha usado la función clear scan

• *Selector de Ganancias:* se utilizará cuando no se disponga de luz suficiente para captar una imagen; también para trabajar con diafragmas más cerrados y contar con mayor profundidad de campo. Se mide en dB. La ganacia degrada la señal alterando negativamente la relación Señal/Ruido, ya que no es más que una amplificación de la señal, que amplifica también la señal de ruido. Cada aumento de 9 dB significa ganar un diafragma y medio.

• *Interruptor Selector de Salida de Vídeo:* permite seleccionar entre *Generador de Barras* (de forma que la óptica se cierra automáticamente) y *CAM*: donde ponemos en marcha los sensores de la cámara que comienzan así a ofrecernos imágenes.

• *Control Dinámico de Contraste* (Dinamic Control Contrast, DCC): Permite mejorar la relación de contraste en aquellas circunstancias en las que en la imagen coexisten zonas muy iluminadas y zonas de oscuridad.

• *Circuito Recortador:* fija el nivel máximo de la señal, recortando los valores que lo sobrepasen. Este circuito sólo actúa en aquellas condi-

ciones de iluminación muy elevada; para las condiciones normales, la transferencia es lineal y el circuito no actúa.

• *Rueda de Cambio de Filtros:* permite la selección de los filtros incorporados de fábrica en la cámara. La elección de cualquiera de ellos determina el balance de blanco, de negro y la cantidad de luz que va a llegar hasta el sensor de imagen. Los filtros son:

a) Filtro nº 1: estándar para temperatura color de 3.200ºK.
b) Filtro nº 2: para temperatura color de 5.600ºK + un filtro ND (densidad neutra) de factor ¼.
c) Filtro nº 3: para temperatura color de 5.600ºK.
d) Filtro nº 4: para temperatura color de 5.600ºK + un filtro ND de factor 1/16.

Puede ocurrir que se encuentren por separado los filtros de corrección de color y los de densidad neutra para combinarlos libremente, e incluso otra rueda de filtros de efectos especiales (cross, soft, etc.).

Los sensores CCD se encuentran equilibrados de fábrica para trabajar con una temperatura de color de 3.200ºK, por lo tanto el Filtro nº 1 no realiza ninguna función de corrección.

• *Control de Fase:* permite sincronizar varias cámaras de vídeo para evitar pérdidas de sincronismo.

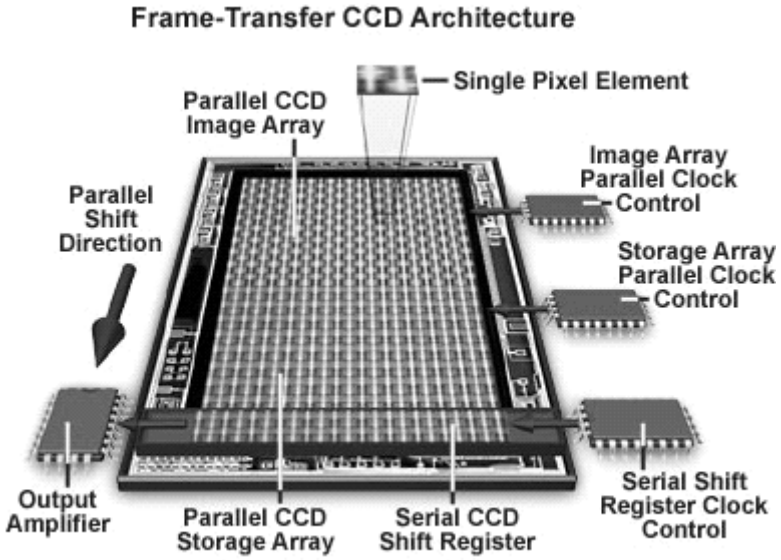
5. SISTEMAS, TIPOS Y FORMATOS

Existen dos tipos de sensores: *matriciales* o *lineales*, los matriciales son aquellos que disponen sus células en forma de tablero, de tal modo que cuando el obturador de la cámara se abre todas las células actúan al mismo tiempo. Sin embargo, en los CCD lineales las células forman hileras y, aunque actúan también a la vez, sólo cubren el ancho de la escena, necesitando un desplazamiento vertical de la luz para cubrir la altura de la imagen.

La diferencia se establece en cuanto al cuándo y al cómo se realiza la transferencia de carga. Como se dijo antes, la transferencia sólo se efectúa durante el retorno del haz de electrones. Los tipos son los siguientes:

5.1. CCD DE TRANSFERENCIA DE CUADRO (*FT* "Frame Transfer")

Uno de los primeros sistemas utilizados para la transferencia de cargas en los dispositivos CCD, fueron los denominados transferencia de cuadro. En ellos, la mitad superior del dispositivo está destinada a captar la imagen y la mitad inferior es la destinada a la lectura y almacenaje de la señal, por tanto no dispone de fotosensores asociados.



Durante el periodo de borrado vertical, las cargas detectadas en la parte fotosensible, son desplazadas rápidamente en dirección vertical hacia la zona de almacenaje (antes del inicio del nuevo cuadro), de este modo la parte captadora de imagen queda libre para recibir una nueva información, quedando la información previa en la zona de almacenaje.

Una vez dispuestas las cargas en la zona de almacenaje, la lectura se realiza de la forma siguiente: Durante el tiempo de borrado todos los registros desplazan su información de forma simultánea a su inmediato inferior, y durante el tiempo activo de línea el registro de salida entrega de forma secuencial y continuada toda la información constante de vídeo a la salida del dispositivo.

Estos dispositivos CCD, tienen varios defectos:

- Para conseguir una imagen de formato TV es necesaria una superficie extremadamente grande para su obtención (más del doble del tamaño utilizado para captar la imagen) con las consiguientes dificultades y costos de fabricación.

• Cada célula sensora debe duplicar sus funciones ya que además de captar la imagen propia debe transferir la señal de la célula que le precede, a la inmediatamente contigua, de tal modo que de quedar durante ese instante expuesta a la luz externa, esa información quedará sumada a la señal en proceso de transferencia (smear). La única solución para evitar esto es colocando un obturador que impida el paso de la luz durante el periodo de transferencia.

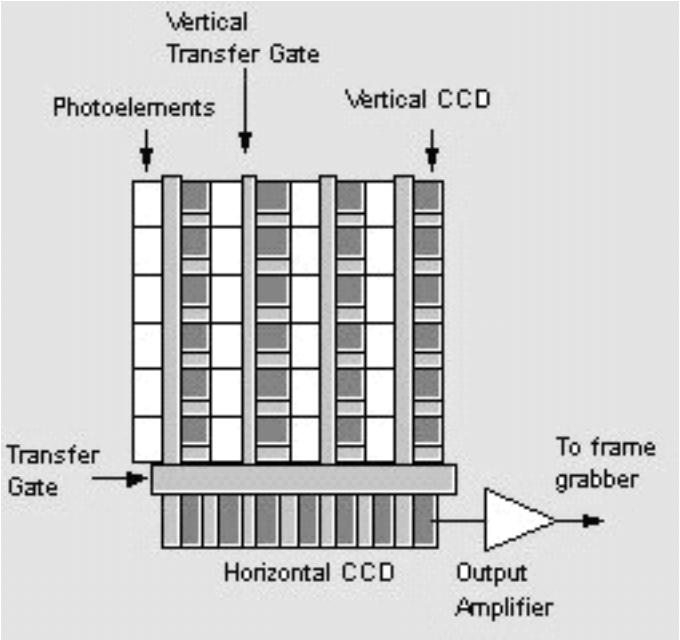
• La velocidad de transferencia para el volcado de información, debe ser muy rápida con altas frecuencias de reloj, lo que provoca una menor eficiencia en el proceso, provocando problemas de resolución vertical.

Para evitar el Smear surgieron nuevos CCD de transferencia de cuadro con obturador mecánico, con estos obturadores se consigue bloquear la llegada de la luz, durante el breve periodo de tiempo que se emplea para la transferencia vertical. Pero, el desarrollo de obturadores mecánicos de alta velocidad con sus sistemas de servocontrol, es un handicap para la cámara de CCD, ya que produce ruido, y aumenta el consumo y el peso.

5.2. CCD DE TRANSFERENCIA INTERLÍNEA (*FI* “Frame Interline”)

En este sistema se mejora notablemente las deficiencias del dispositivo de transferencia de cuadro.

Con esta estructura los fotosensores y los elementos de almacenaje están intercalados. Los registros de desplazamiento están cubiertos por una fina capa de aluminio opaco. Durante el tiempo de borrado vertical todas las cargas generadas en el fotosensor, son desplazadas lateralmente con un sólo tiempo de reloj, quedando inmediatamente almacenadas en su elemento correspondiente, desplazando verticalmente en cada intervalo de borrado de línea durante el campo siguiente, sin interferir para nada a los fotosensores que ya están libres para captar la imagen correspondiente al campo inmediatamente posterior.



Comparado con otras estructuras, parte del área óptica de imagen es utilizada para el almacenaje de cargas, con lo cual es fácil deducir que la sensibilidad es menor que si se utilizara toda la superficie para la captación de imagen. Sin embargo, el dispositivo tiene una serie de ventajas, que le hacen mucho más recomendable para la obtención de imágenes en cámaras de tipo industrial o broadcast:

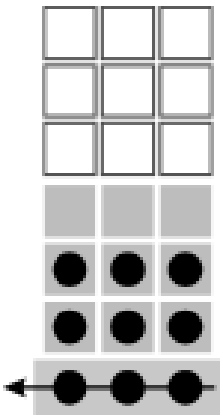
- La eficacia de la transferencia de carga es mayor.
- Mayor gama dinámica.
- Mejor relación señal/ruido.
- No hay efecto cometa o de persistencia.

Todo ello debido a que los pasos necesarios para la extracción de señal están drásticamente reducidos, ya que con sólo un impulso de reloj se realiza la transferencia de lectura durante el borrado vertical.

5.3. CCD DE TRANSFERENCIA DE CUADRO-INTERLÍNEA (*FIT* "Frame-Interline Transfer")

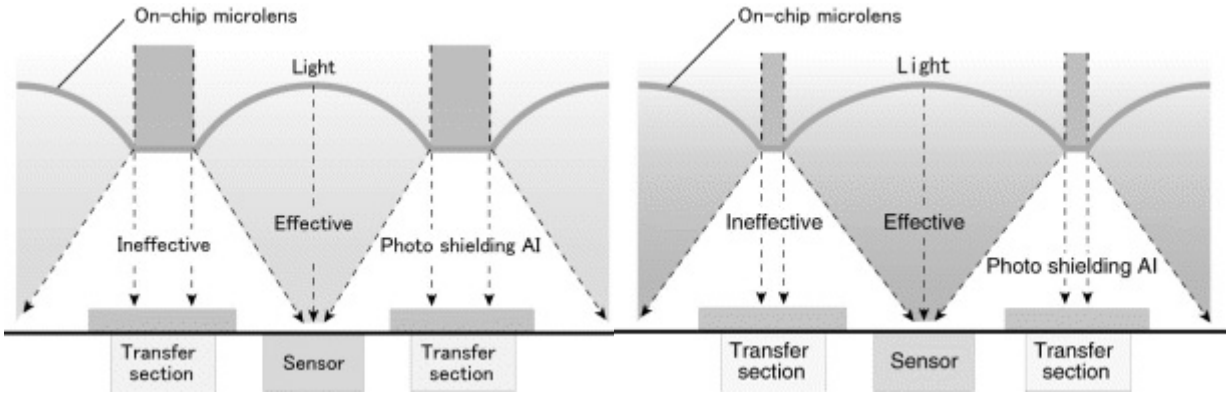
Este sensor toma lo mejor de las dos tecnologías, obteniendo las ventajas del mecanismo interlínea, y a la vez solucionando el efecto de smear vertical. Esto se logra mediante la transferencia de cuadro a alta velocidad, a la que sigue de forma inmediata la descarga de los paquetes desde los elementos de almacenamiento adyacentes.

Con esta doble acción de transferencia se evita el problema fundamental del sensor CCD de transferencia de cuadro, en el sentido de que las cargas son ocultadas a la luz incidente (en los sensores de almacenamiento adyacentes sellados a la luz) mientras se desplazan verticalmente hacia la parrilla inferior de almacenamiento. Por tanto, no se necesita obturador mecánico.



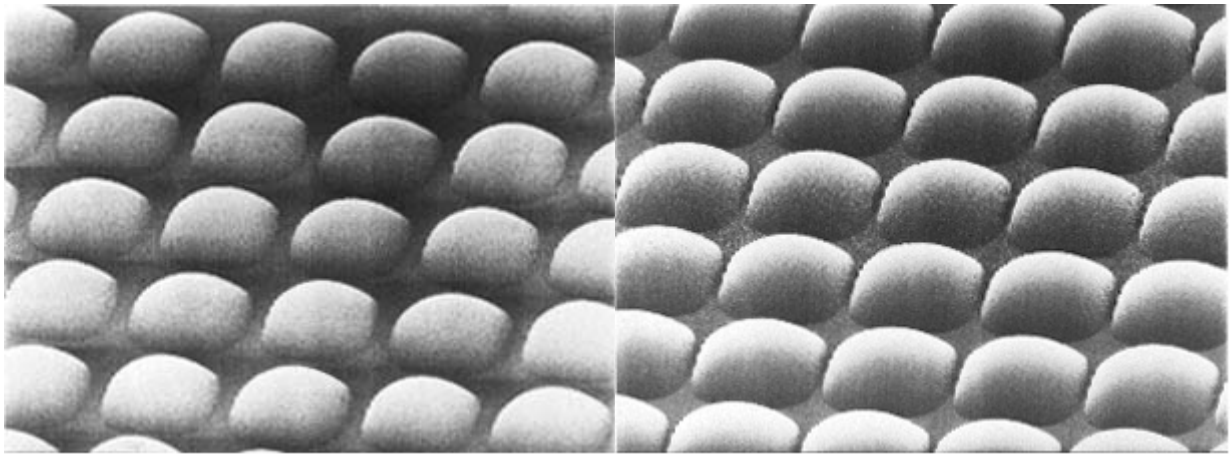
5.4. CCD HAD

El sensor HAD (Diodo de Huecos Acumulados) es un sensor de diodo que incorpora una capa de huecos acumulados en su superficie. Esta capa reduce de forma efectiva el ruido de corriente de oscuridad producido por los electrodos generados aleatoriamente en la capa limítrofe. La capa de huecos acumulados parea los huecos con los electrones generados en la superficie, reduciendo el número de electrones (cantidad de ruido de corriente de oscuridad) que entran y se acumulan en el sensor. La reducción del ruido de corriente de oscuridad proporciona la reducción correspondiente en el patrón fijo de ruido, una alta relación señal/ruido y un bajo oscurecimiento.



CCD Normal CCD HAD

La capa de huecos acumulados también juega un papel importante en la eliminación del retardo. La cantidad de retardo en las cámaras CCD está determinado por la eficacia de la transferencia de electrones acumulados en el fotosensor para el registro de desplazamiento vertical. En los CCD sin la capa de huecos acumulados, la parte inferior (potencial) de la cavidad fotosensora no está fijada y cierta cantidad de electrones pueden permanecer en la cavidad incluso después de la lectura. Sin embargo, con el sensor HAD, debido a que la capa de huecos acumulados fija la parte inferior de la cavidad fotosensora en un potencial concreto, los electrones acumulados caerán totalmente en el registro vertical. Así, los electrones no permanecerán en la cavidad fotosensora tras la lectura.



CCD Normal CCD HAD

El sensor CCD de tipo HAD ofrece cinco ventajas sobre los sensores convencionales:

1) Muy baja corriente de oscuridad. La corriente de oscuridad limita el rango dinámico de la cámara en el extremo bajo de la señal de vídeo. Los efectos de la corriente de oscuridad aumentan con la temperatura, además el nivel de corriente de oscuridad varía de un píxel a otro. El sensor HAD tiene una corriente de oscuridad cuyo nivel es unas diez veces más baja que los sensores tipo MOS.

2) Rango dinámico mejorado. El rango dinámico del CCD viene determinado por la porción de señal útil, entre el pedestal total de ruido y la capacidad del pozo sensor para acumular cargas. El sensor HAD tiene un rango dinámico de más de 80 dB.

3) Ausencia de arrastres. Ya que aumenta la sensibilidad, porque aunque el tamaño del píxel HAD es menor (al haber más píxeles en el área total) la relación entre zona sensible y área total es mayor.

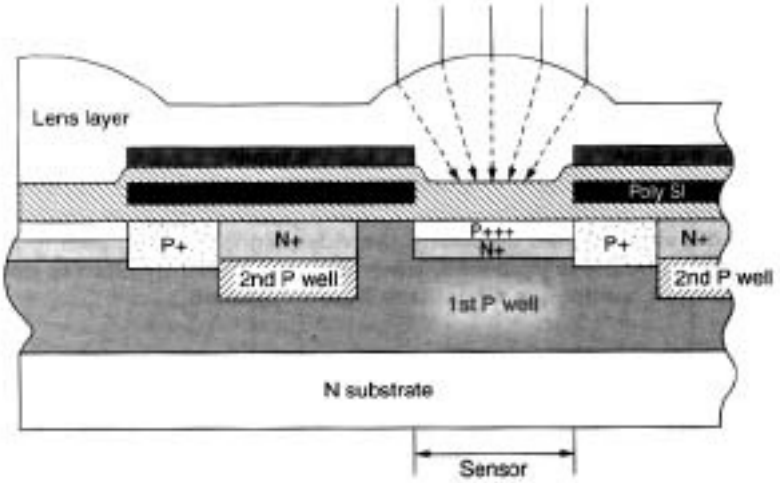
4) Mejora en las características espectrales. Se mejora la respuesta en azul (longitudes de onda cortas) a la vez que se ha ensanchado la curva espectral. Esto permite aproximar la colorimetría de las cámaras CCD a las cámaras de tubos.

5) Obturador electrónico para cada píxel. En el sensor HAD, cada píxel dispone de su propio obturador electrónico. Cuando se actúa sobre el obturador, el substrato reduce la barrera de potencial del pozo, descartando las cargas colectadas. Los pulsos aplicados al substrato, vacían periódicamente el pozo acumulador de cargas del sensor HAD. Esto equivale a cerrar el obturador durante un cierto tiempo.

5.5. CCD HyperHAD

El sensor HyperHAD combina todas las ventajas del chip HAD, con una sensibilidad enorme. Otra ventaja del HyperHAD es que el smear es inapreciable.

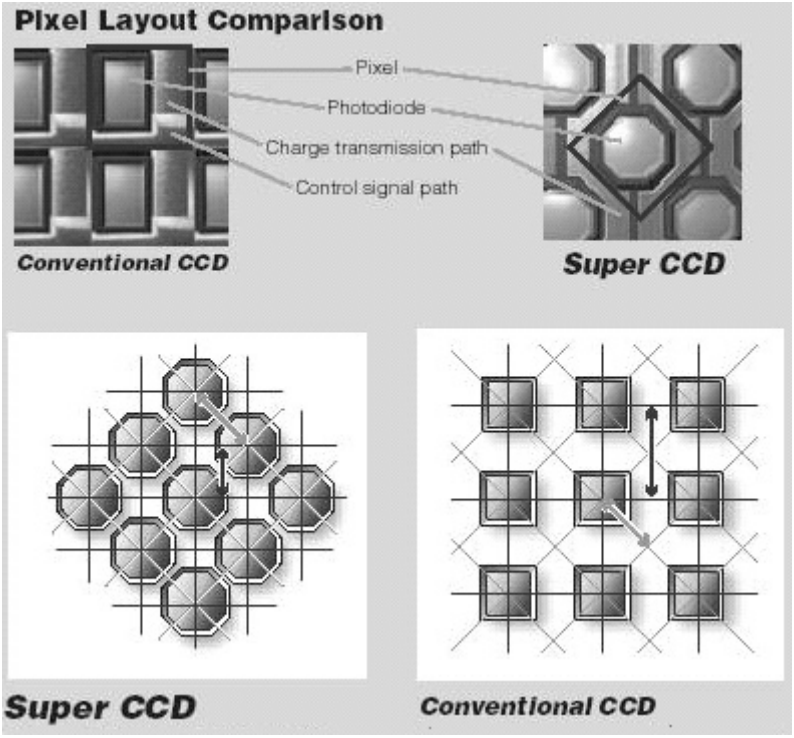
En los CCD corrientes, parte de la luz que llega al sensor se pierde, ya que estas células fotosensoras ocupan solamente el 32% de la superficie total del dispositivo CCD, con lo cual el 68% de la luz que incide sobre el mismo queda desaprovechada y produce reflexiones que inciden en el nivel de smear. Las células fotosensoras ocupan muy poco espacio por la propia estructura del dispositivo, ya que existen áreas de almacenamiento, de transferencia, de electrodos, etc.

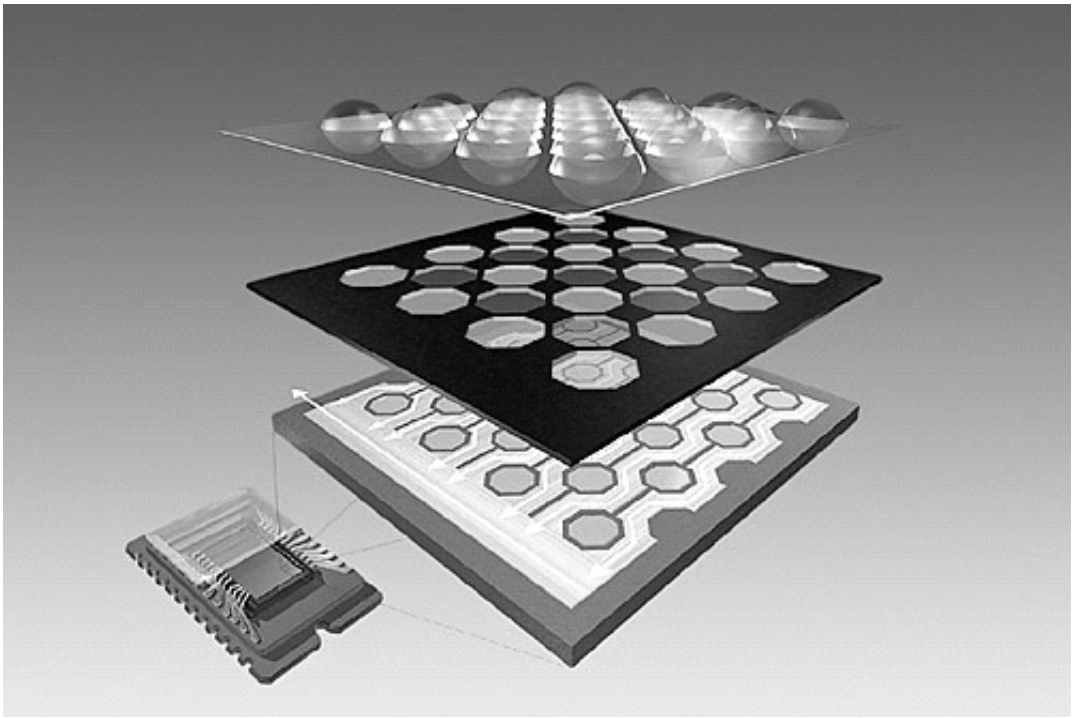


En el sensor HyperHAD manteniendo intacta la superficie del CCD, se ha colocado una lente convergente delante de cada célula fotosensora. En total, cerca de medio millón de diminutas lentes recogen gran parte de ese 68% de luz que antes se desperdiciaba, concentrándola hacia la parte sensible. Y todo ello se traduce en un gran aumento de la sensibilidad de la cámara.

5.6. SUPER CCD

El SuperCCD es el primer CCD que está basado en la visión humana, para poder conseguir mayor resolución. Se parte del conocimiento de que la retina humana está compuesta de 120 millones de células ópticas que trabajan en la oscuridad y alrededor de 6 millones en la luz. Aunque se distribuyen en un mosaico a través de la superficie de la retina, la sensibilidad de alta frecuencia de información es mucho mayor sobre los ejes horizontales y verticales que sobre los 45º diagonales. Se caracteriza por una forma octogonal con disposición en forma de panel de abejas de sus pixeles, donde se aprovecha el espacio de una forma óptima y además se aumenta el número efectivo de píxeles en uso.





6. ACCESORIOS DE CAPTACIÓN

6.1. CONVERSIÓN FOTOELÉCTRICA

Existen dos tipos de sensores: por fotodiodos y por sensores MOS, a nivel de sensibilidad o dinámica en la captación de imágenes el comportamiento es similar, pero en el caso del tipo MOS, las pérdidas de potencial eléctrico durante la transferencia es menor, por lo que en la captación de imágenes se ha generalizado su uso.

El fotosensor tiene una estructura de tres capas:

1) Capa de Polisilicio (forma transparente y conductiva del silicio).
2) Capa de dióxido de silicio.
3) Capa o substrato de silicio (canal P).

Cuando la luz incide sobre la capa sensora se produce una carga eléctrica proporcional a la intensidad de luz aplicada.

6.2. ALMACENAJE DE CARGA. COMPORTAMIENTO DE UN CONDENSADOR MOS

Cuando se aplica una tensión positiva en el electrodo, se genera una zona de baja energía justo debajo del punto de unión entre la capa de dióxido y la de silicio, esta zona suele denominarse "hueco de baja energía" (*low energy well*). De este modo dicha capa va a absorber todos los electrones resultantes de la fotoconversión de la capa superior.

El potencial acumulado en esta zona quedará almacenado y posteriormente será transferido a los elementos de lectura.

6.3. LECTURA

6.3.1. Impulso de transferencia al registro vertical

En los dispositivos CCD para captación de imagen, existen dos métodos de mayor utilización para la transferencia de cargas del fotosensor a los registros de desplazamiento, cada uno de los cuales requiere métodos distintos para el proceso.

- Sistema de transferencia de dos niveles. Este sistema requiere un doble reloj con el mismo patrón de frecuencia pero en fases distintas, y es utilizado en los CCD de transferencia de cuadro, ya que los fotosensores son utilizados para la transferencia de carga.

- Sistema de transferencia de tres niveles o triestado. Este es el sistema más utilizado, ya que no requiere la aplicación de ningún impulso especial en el fotosensor.

6.3.2. Señal triestado de fase cuádruple

Las ventajas de utilizar un sistema de fase cuádruple en lugar del típico de fase doble, radica en el hecho de que las células implicadas en la transferencia son siempre cuatro, quedando las cargas durante los instantes de espera almacenados en dos células contiguas, con lo que se aumenta el margen dinámico y permite una sustancial disminución en el tamaño total del dispositivo.

6.3.3. Impulso de transferencia horizontal y salida

Para la creación de impulsos de transferencia horizontal, en la mayoría de los casos se utiliza el sistema de doble fase, típico en todo dispositivo CCD, no solo en los captadores de imagen.

Otros accesorios de captación que actúan en combinación con el sensor de imagen son los siguientes:

1. **Bloque Dicroico:** se basa en el dicroísmo: la propiedad que tienen algunos cuerpos o substancias para cambiar de color según sea la dirección de los rayos de luz que los atraviesen. Es un *Sistema Óptico Separador* situado entre el objetivo y el sensor de imagen, formado por prismas que reflejan una determinada longitud de onda permitiendo el paso de las demás a su través. De esta forma distinguen los tres colores fundamentales que componen la imagen y los dirigen en distintas direcciones, donde cada color es recibido en su sensor de imagen correspondiente. En el caso de los CCD, éstos se encuentran unidos cada uno al prisma correspondiente. Las longitudes de onda que resultan reflejadas son las correspondientes al rojo y al azul, mientras que la longitud de onda verde atraviesa el prisma.

2. **Circuitos:** son de dos tipos:

- *Unidad de Servicio:* se ocupa del correcto funcionamiento del sensor de imagen, proporcionándole la alimentación necesaria y amplificando la señal que sale de él.

- *Unidad de Control:* es la parte inteligente de la cámara: se ocupa de dirigir la Unidad de Servicio y producir los sincronismos, tanto de línea como de cuadro. Estos sincronismos se pueden generar también de forma externa desde el Control de Cámaras si tenemos varias cámaras sincronizadas entre sí.

3. **Visor:** es el dispositivo que proporciona localmente la imagen encuadrada por la cámara. Permite el control continuo del encuadre así como la posibilidad de monitorizar diversas funciones. El visor electrónico es un pequeño monitor de tubo de rayos catódicos monocromo; es diferente según se trate de cámara ENG o una cámara de estudio.

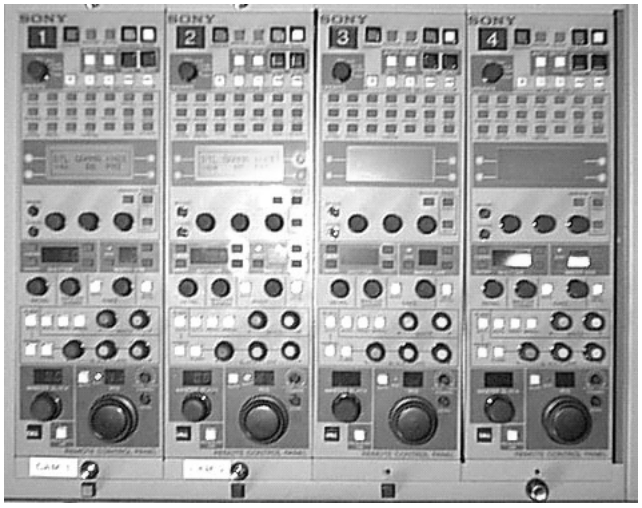
En la cámara de estudio, sus dimensiones son proporcionales a la diagonal del target y ofrecen una imagen que puede ser observada por el operador a 50/100 cm de distancia. Está equipado con una especie de tejadillo que permite la observación de la imagen en ambientes muy iluminados.

En la cámara ENG es más pequeño y requiere la aplicación directa del ojo para visualizar la imagen.

Las funciones que se pueden monitorizar son:

- *Interruptor Zebra:* nos ayuda visualmente a determinar el valor correcto del diafragma.
- *Shutter:* muestra en pantalla el valor de obturación seleccionado.
- *Clear Scan:* indica el valor de la frecuencia de muestreo elegida.
- *Filter:* indica el filtro que está colocado.
- *W/B:* nos confirma en el momento de realizar el balance si es correcto o indica los posibles problemas que lo impiden por medio de mensajes en pantalla.
- *Gain Up:* avisa cuál es la seleccionada.
- *Temperatura Color:* indica de forma aproximada el valor en grados K de la temperatura color existente.

4. **Unidad de Control de Cámaras** (CCU, Control Camara Unit): la mayoría de los parámetros y funciones que se especifican en el apartado 3, pueden ser modificados igualmente desde la CCU siempre que la cámara se encuentre conectada a ella. Dicha conexión se efectúa por medio de cable; el uso de un cable u otro determina la configuración de la CCU y, por lo tanto, las posibilidades de remotear determinadas funciones de la cámara.



Sony CCU

7. APLICACIONES DE HARDWARE Y SOFTWARE

Los CCD permiten realizar líneas de retardo capaces de retardar una información analógica. La señal analógica se introduce en el CCD en forma de paquetes de cargas mediante una conversión tensión/cargas. Dichas cargas avanzan media etapa a cada conmutación de la fase de transferencia. La etapa de salida realiza la conversión cargas/tensión y un circuito integrado de muestreo y retención permite obtener una señal de salida continua de excelente calidad (Para un registro n de células y siendo T el periodo de la fase de transferencia, retardo es n x T).

Estas líneas de retardo permiten el tratamiento de señales radar, sonar, TV, telecomunicaciones entre otras.

Los CCD constituyen por otra parte, los sensores ópticos para toma de imagen, cuya principal característica es la de ser dispositivos de estado sólido. Aparte de la utilización de los CCD en sistemas de captación de imágenes con niveles normales de iluminación, estos dispositivos pueden ser de gran utilidad en aplicaciones en las que los niveles de iluminación ambientales son más bajos de lo normal, como por ejemplo en sistemas de vigilancia tanto civiles como militares, en visión nocturna, en aplicaciones subacuáticas y espaciales, en observación astronómica, etc.

Un CCD debidamente refrigerado presenta un ruido extremadamente bajo, factor que posibilita su utilización para captar señales con bajo nivel de luz.

Pero independientemente de la mencionada refrigeración, también existe la posibilidad de acoplar el CCD a un intensificador de imagen luminosa mediante una pastilla de fibras ópticas y conseguir captar imágenes con niveles de iluminación mínimos.

Como complemento a estas aplicaciones con bajo nivel de luz y combinados con sistemas capaces de convertir radiaciones X a luz visible, los CCD encuentran otro amplio campo de aplicación dentro del ámbito industrial: control de equipajes, control de objetos en movimiento, inspección de defectos en el interior de materiales, cerámicos o metálicos, entre otras.

Los dispositivos de captación digital participan de la cadena multimedia de producción audiovisual como elemento capturador de la imagen, esencial para el posterior tratamiento de las imágenes. En este sentido, estaría conectado directamente al ordenador que fuese a realizar esta función. Además, tenemos la toma de imágenes por circuito cerrado, los

usos industriales, así como los usos sanitarios (las minicámaras introducidas en el cuerpo humano para le detección de cuerpos extraños).

Los CCD tienen aplicaciones de lo más diversas, aparte de las comunes que hemos tratado en el tema, las más comunes quizá son:

• *Medicina:* En la telemedicina, se utilizan cámaras CCD en radiología para adquisición de imágenes. Microcámaras con sensores CCD para realizar cateterismos, nanorobots, etc.

• *Astronomía:* Posibilidad de realizar observaciones incluso con un nivel elevado de polución lumínica, por ejemplo una noche de luna llena o incluso desde la ciudad. Muchas más personas podrían disfrutar de la astronomía puesto que no es lo mismo esperar turno para mirar a través del objetivo de un telescopio que disponer de una pantalla de ordenador en la que varios observadores pueden contemplar simultáneamente el objeto enfocado con un grado de detalles muy superior al que ofrece el objetivo de dicho telescopio. Una cámara CCD permitiría una visión mucho más "seria" de la astronomía ya que en la observación tradicional el astrónomo amateur veía limitadas sus posibilidades de investigación por el equipo que en ningún caso podía estar a la altura de los grandes telescopios usados por profesionales. La cámara CCD nos permite introducirnos en los siguientes campos: **Astrometría:** búsqueda y seguimiento de asteroides, estrellas dobles, etc. (actividades desarrolladas en el observatorio de Yebes). **Fotometría:** seguimiento de eclipses, ocultaciones, estrellas variables, etc. **Películas digitales:** realización de películas digitales de planetas rotando, del cometa Hyakutake, de eclipses de luna, etc.

• *Comercio:* La mayoría de los lectores de códigos de barras, usan tecnología CCD.

• *Seguridad:* En microcámaras de vigilancia, robotizadas, etc.

• *Industriales:* Tienen infinidad de usos, pero quizá el que más nos interesa por nuestro tema es que los sensores CCD se han comenzado a utilizar para controlar y regular sistemas de iluminación espectacular, e incluso de alumbrado público.

NOTA PRELIMINAR

Atendiendo a los avances tecnológicos que han tenido lugar en los últimos años se han realizado actualizaciones de parte del temario de la especialidad de ***Procesos y Medios de Comunicación*** perteneciente al Cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria, que tratan de dar respuesta a las necesidades de los opositores. En estas actualizaciones se ofrecen directrices sobre las innovaciones tecnológicas aplicables al sector audiovisual que serán de utilidad para conferir al desarrollo del temario un carácter más actual.

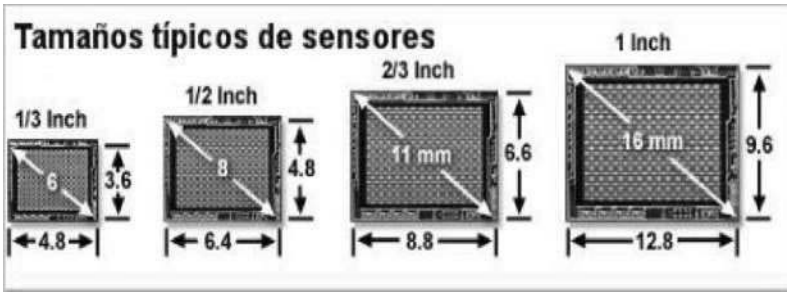
Se han actualizado los siguientes temas: 3, 4, 5, 7, 16, 17, 18, 21, 24, 26, 27, 29, 34, 37, 40, 41, 44, 45, 47, 53, 56, 59, 60 y 61.

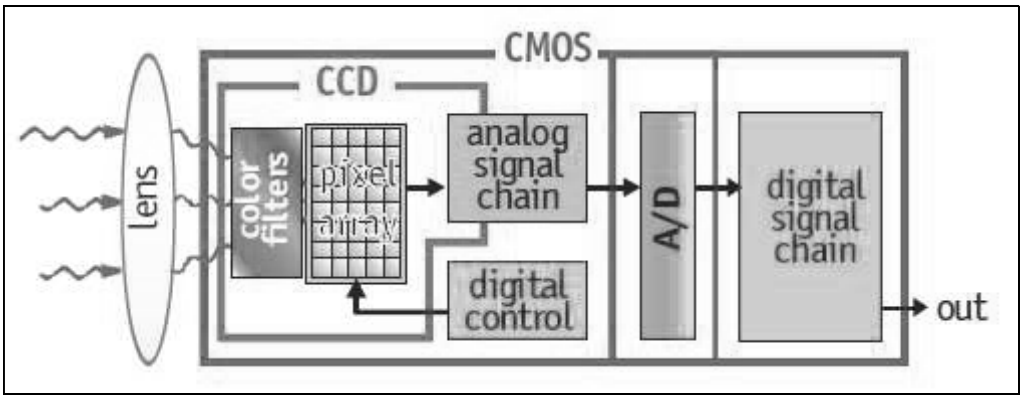
TEMA 5	**Captadores digitales de imagen. Características, partes y elementos tecnológicos. CCDs y CTRs. Controles y funciones. Sistemas, tipos y formatos. Accesorios de captación. Aplicaciones de «hardware» y «software».**
	3. CCDs y CTRs.

3. CCDs y CTRs.

Los sensores están en el plano focal de las cámaras digitales. Está compuesto por una matriz de millones de cavidades captadoras de luz llamadas 'fotodiodos'. Durante la exposición, los fotodiodos quedan al descubierto para recoger y almacenar la información de brillo y color de cada pixel. Actualmente se mantienen dos tipos de tecnologías utilizadas para la fabricación de sensores de cámaras.

- CCD (Charge Coupled Device)
- CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor).

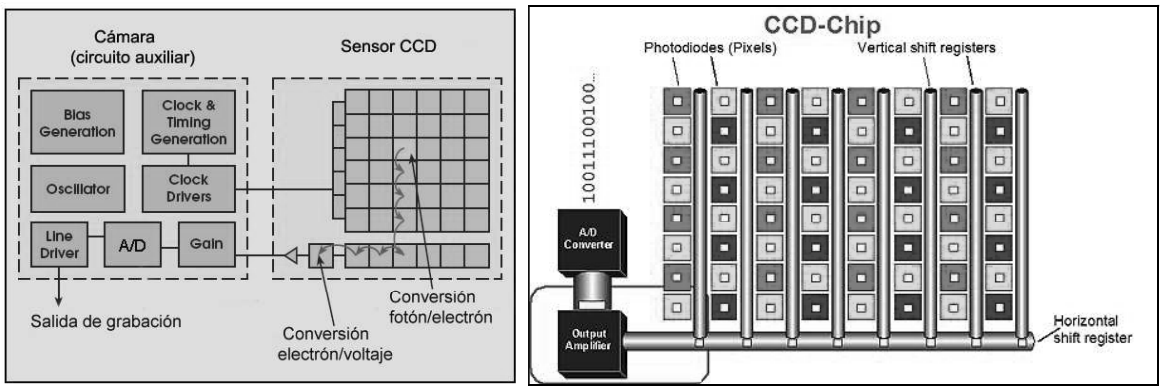




CCD y CMOS.

Actualmente existen dos tecnologías para la fabricación de sensores destinados a las cámaras digitales: los CCD (Charge Coupled Device o Dispositivo de Cargas Acopladas), que fueron los primeros en aparecer en el mercado, y los más recientes CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor o Semiconductor de Óxido de Metal Complementario).

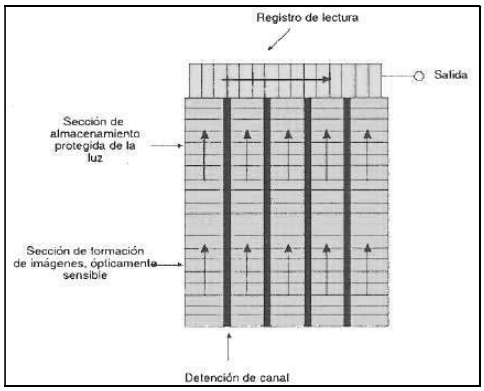
Tanto los sensores CCD como los CMOS están fabricados con materiales semiconductores, concretamente de Metal-Óxido (MOS) y están estructurados en forma de una matriz, con filas y columnas. Acumulan una carga eléctrica en cada celda de la matriz (o pixel) en proporción a la intensidad de la luz que incide sobre ella localmente.



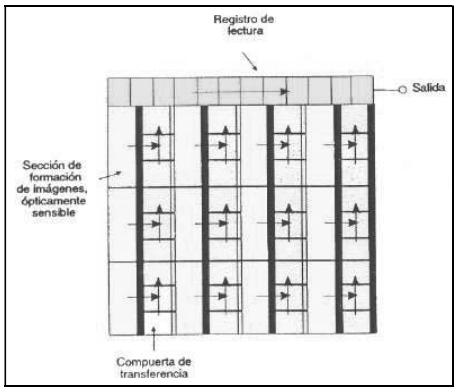
Esquema de un sensor CCD.

El CCD convierte las cargas en voltajes y entrega una señal analógica a su salida, que debe ser digitalizada y procesada por la circuitería de la cámara. Una forma de entender cómo funcionan es imaginarse al sensor como un panel (matricial) en dos dimensiones con miles (o millones) de celdas solares en miniatura, donde cada una de las celdas convierte la luz de una pequeña porción de la imagen (un píxel) en electrones. Lo siguiente es realizar la lectura del valor correspondiente a cada una de las celdas. En un sensor CCD, la información de cada una de las celdas es enviada a través del chip hacia una de las esquinas del panel, y ahí un convertidor analógico a digital traduce el valor de cada una de las celdas. De esta manera, se mantiene simple la estructura del sensor, a costa de la necesidad de una circuitería adicional importante que se encargue del tratamiento de los datos recogidos por él.

En un sensor CCD (Charge Coupled Device) o Dispositivo de Cargas Acopladas, para recuperar una imagen, se procede a la lectura de estas cargas, mediante desplazamientos sucesivos y de forma secuencial. El CCD convierte finalmente estas cargas en Voltaje y entrega una señal analógica a su salida, que debe ser digitalizada y procesada por la circuitería de la cámara.



CCD de transferencia de cuadro.



CCD de transferencia de interlínea.

© CEDE – www.cede.es

La lectura de la señal se lleva a cabo mediante la transferencia de paquetes de carga a CCD's adyacentes, para ser leídos como imágenes de vídeo.

La sencilla disposición de formación de imágenes en línea, según se acaba de presentar, no es idónea para los detectores por área, debido al tiempo requerido para transferir la carga a través del dispositivo. Para los detectores por área, los pixeles individuales están dispuestos en una matriz de MxN elementos.

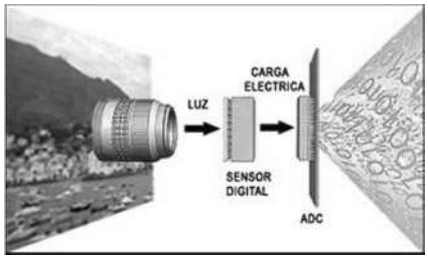
Los paquetes de carga son conmutados a una serie de almacenes y lecturas secuenciales mientras se graba una segunda imagen. Los formadores de imágenes por áreas deben ser capaces de transferir datos a velocidades compatibles con los sistemas convencionales de TV. Existen dos formas principales en las que es posible organizar información en una pastilla CCD, a saber, la transferencia de cuadros y la transferencia de interlíneas.

En la **transferencia de cuadros**, el arreglo se divide en columnas verticales entre las cuales hay detenciones de canal. Los electrodos están colocados en el arreglo, perpendiculares a las columnas. El arreglo es dividido en dos secciones, una región de almacenamiento protegida contra la luz y una región ópticamente sensible.

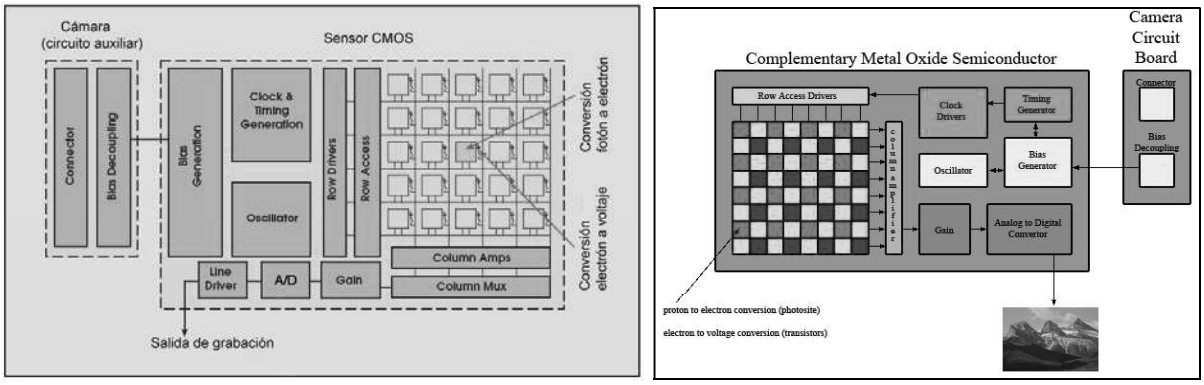
El principio básico de operación es que toda el área sensible es expuesta a la luz y luego la carga desarrollada es transferida al área de almacenamiento para su lectura. Esto es innecesario para las altas velocidades de lectura requeridas en los sistemas de TV y sólo entonces debido al tiempo necesario para la lectura y no para la transferencia de datos. Los datos son leídos secuencialmente, mientras se graba el siguiente cuadro.

En la **transferencia de interlíneas**, las secciones de lectura están mezcladas con los elementos sensibles. La salida de cada columna es tomada en paralelo utilizando un registro común. Aunque potencialmente es más rápida que la transferencia de cuadros debido a que las regiones sensibles a la luz están intercaladas con regiones no sensibles, se pierde la mitad de los puntos de la imagen.

La información obtenida por un CCD es una señal analógica. La señal es muy débil y requiere de un dispositivo auxiliar que amplifique la señal. La conversión a digital se realiza mediante otro chip denominado ADC (convertidor analógico digital), que es el que se encarga de muestrear y codificar la señal en código binario



En esta imagen vemos como se transforma la imagen captada por un objetivo en señal eléctrica y, posteriormente pasa al conversor de analógico a digital (ADC). En el ADC se realizan las tres fases del proceso de digitalización: muestreo, cuantificación y codificación.



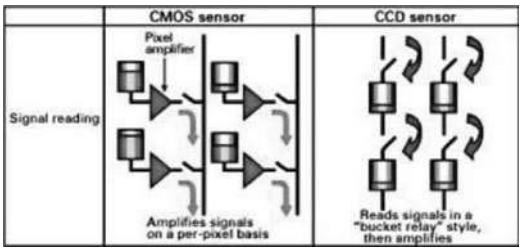
Esquema de un sensor CMOS o APS (Active Pixel Sensor).

Al contrario que en los sensores de tecnología CCD, las celdas de la matriz CMOS son totalmente independientes de sus vecinas. La principal diferencia radica en que en estos sensores la digitalización se realiza píxel a píxel dentro del mismo sensor, por lo que la circuitería accesoria al sensor es mucho más sencilla. En cada celda de una matriz CMOS encontraremos varios transistores, conformando cada uno de los pixeles del sensor, que amplifican y procesan la información recogida. Esta manera de efectuar la lectura de la imagen es más flexible, ya que cada pixel se lee de manera individual.

Al contrario que el CCD, el sensor CMOS realiza la digitalización píxel a píxel, ello conlleva que el resultado que entrega a la circuitería de la cámara esté ya digitalizado.

En los CMOS cada pixel lleva integrado su propio amplificador (por eso se les denomina APS), y el conversor digital se encuentra integrado en la propia estructura del sensor. Esto simplifica extraordinariamente el manejo de imágenes con grandes cantidades de datos (ventaja decisiva de uso para las cámaras de cine digital)

Los sensores CMOS son imprescindibles en aplicaciones de bajo consumo, poco tamaño y calidad media como teléfonos móviles y cámaras web.

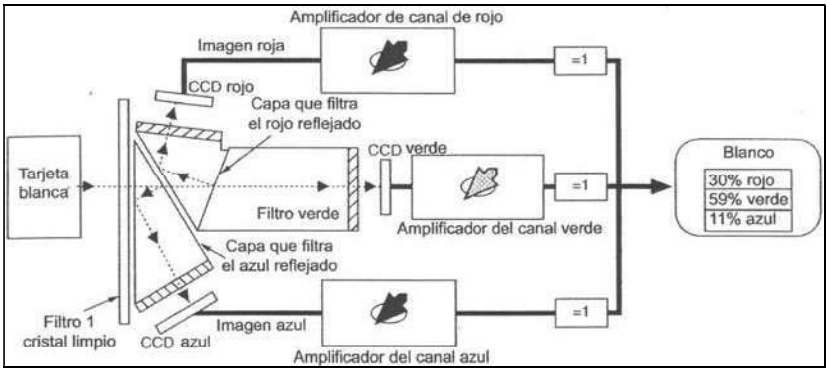


Obtención del color en la cámara de TV.

Los sensores electrónicos, a pesar de su fotosensibilidad (capacidad de reaccionar a las variaciones de intensidad de la luz) no distinguen los colores de la imagen. Existen dos procedimientos para obtener el color, mediante un sistema de tres sensores y mediante un sistema de un sensor

Cámaras de tres sensores

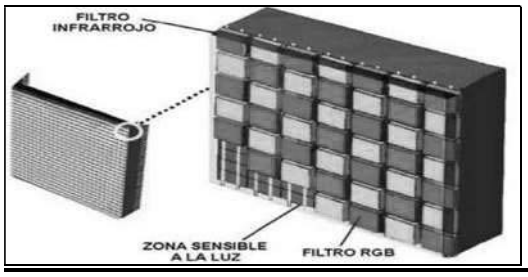
Se trata de las cámaras con prisma dicroico (separador de haz), que formando espejos dicroicos deja pasar unas longitudes de onda y refleja otra.

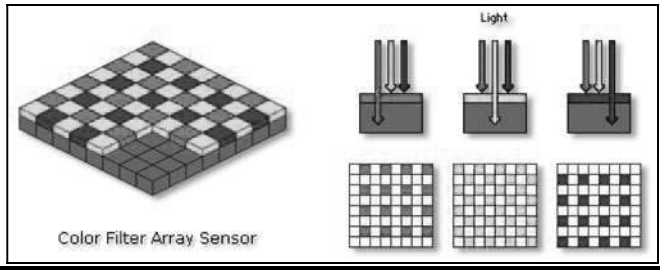


La imagen final se forma con los porcentajes correspondientes a la ecuación fundamental de la luminancia, de forma que el blanco generado por la cámara sea el blanco que reconoce como tal el ojo humano (30% de rojo, 59% de verde y 11% de azul)

Hasta hace poco tiempo, las cámaras de tres sensores eran la opción profesional clásica para la captura de imágenes en movimiento con buena resolución y calidad cromática. Esto ha cambiado. Las cámaras de cine digital optan por un solo sensor de dimensiones mucho mayores a las conocidas en video.

Cámaras de un solo sensor.

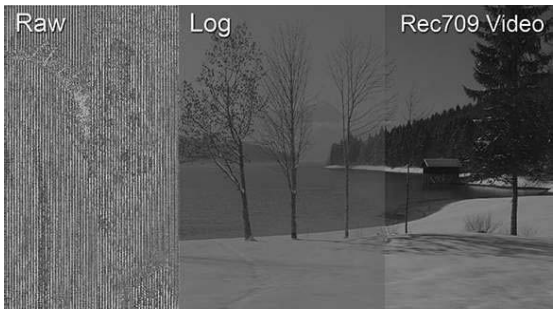




Utiliza un solo sensor que tiene en cada píxel su propio y minúsculo filtro de color. Este filtro de color es conocido como filtro CFA o mosaico Bayer.

Se trata de una malla cuadriculada de filtros rojos, verdes y azules que se sitúa sobre el sensor digital de imagen (CCD o CMOS) para hacer llegar así a cada píxel, el brillo de los tres colores primarios. Interpolando las muestras de varios píxeles se obtiene un pixel de color. (Para obtener un solo pixel de color se han de combinar las señales de pixeles adyacentes).

En los archivos RAW se guarda la información del patrón de Bayer de forma directa, sin interpolaciones. Por ello, al proceso de 'relevado RAW' también se le conoce como 'debayerización' (*debayering*).



La forma en que se disponen los colores R, G y B es el doble de píxeles con filtro verde que con filtro azul o rojo.

Aparte de los filtros de color del patrón Bayer, en un sensor hay otros elementos: un filtro de paso bajo para el *anti-aliasing*, un filtro de infrarrojos (IR), unas micro lentes y dependiendo de las cámaras unos filtros de densidad neutra (ND).

Resolución y tamaño del sensor de la imagen.

La **resolución** es el número de píxeles que tiene el sensor. Se mide en megapíxeles (millones de píxeles que forman imagen).

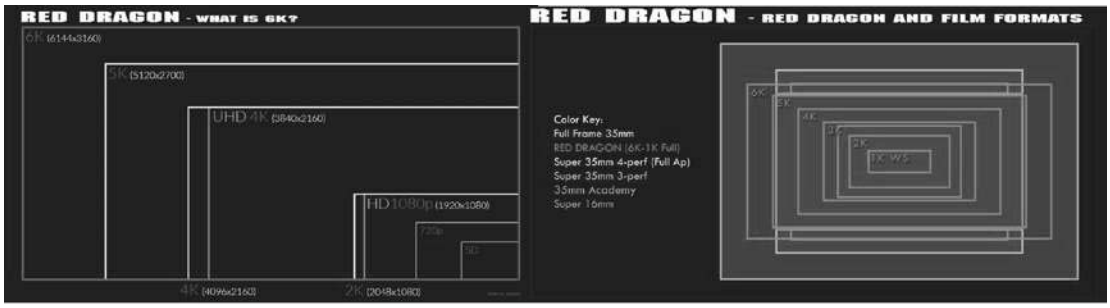
Cuando se habla de píxeles hay que tener en cuenta los siguientes conceptos:

- **Píxeles reales**: cantidad de sensores individuales de luz que tiene la cámara
- **Píxeles efectivos**: parte del conjunto total de píxeles del sensor que contribuyen a la formación de la imagen. Otros píxeles se utilizan para otras funciones (ajuste de colores, eliminación de ruidos, estabilización de imagen, etc.).
- **Píxeles totales**: píxeles reales + píxeles interpolados (se agregan por medio de software)

En vídeo y cine digital la resolución horizontal de cada fotograma en líneas es:

- 1K: 1024 píxeles
- 2K: 2048 píxeles (es decir, 2048 x 1152)
- 3K: 3072 píxeles (3072 x 1728)
- 4K: 4096 píxeles (4096 x 2304)
- 5K: 5100 píxeles (5100x2868)
- 6K: 6.144 píxeles (6144 x 3160)

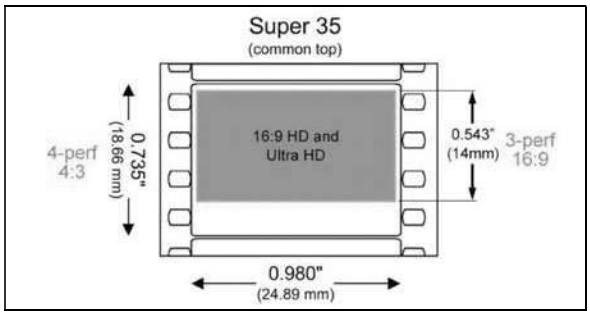
La resolución del negativo de 35 mm (cine) se ha establecido en 6K. Al pasar el negativo por un escáner láser podemos escanearlo a 6K, pero después se convierte normalmente a 4Ky 2 K para proyectarlo.



El tamaño del sensor determina el tipo de objetivo que se necesita. Las cámaras de cine tradicionales utilizaban película de 35 mm y la denominación de los tamaños de los sensores digita-

les sigue utilizando esta referencia, indicando así que los objetivos que se utilizaban en cine y en fotografía siguen siendo válidos para estas nuevas cámaras.

Los términos 35 mm, super 35 mm, *full frame*, etc. no son muy precisos puesto que el número 35 hace referencia al ancho en milímetros de una película fotoquímica considerando también la zona de las perforaciones y sin tener en cuenta la relación de aspecto. En la siguiente imagen se puede apreciar la correlación de tamaño de la película fotoquímica y los sensores digitales de Super 35 mm.



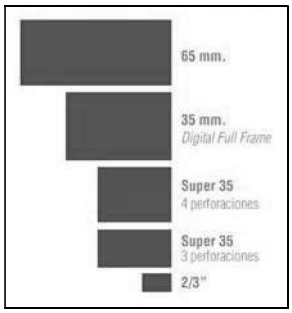
Tamaño de los sensores digitales de Super 35 en relación con la película de cine.

Las cámaras con sensores más grandes, por las características de la óptica que utilizan, dan menos profundidad de campo. Por este motivo, en televisión, se han utilizado habitualmente sensores pequeños con los cuales es más sencillo ajustar el foco porque dan mucha profundidad de campo. Es una característica muy conveniente y efectiva para grabaciones rápidas realizadas por un solo operador. En cine, con película de 35 mm, el foco era más crítico dando lugar a bellas imágenes que utilizan el enfoque selectivo. Las cámaras digitales de cine han heredado esa característica porque utilizan sensores grandes.

En cine, para aumentar la espectacularidad y la calidad de la imagen, se utilizó en algunas ocasiones la película de 70 mm. Recientemente Arri ha lanzado una nueva cámara con un sensor de 65 mm, la Arri Alexa 65. Lógicamente este nuevo sensor demanda nuevos objetivos fabricados específicamente para este tamaño.

En la siguiente figura se pueden comparar los tamaños de sensores más habituales en las cámaras profesionales 4K.

© CEDE – www.cede.es



Comparación de los tamaños de los sensores habituales para las cámaras 4K.

La mayoría de las cámaras de cine digital utilizan el sensor de Super 35-3 perforaciones: las Arri Amira y Alexa Classic, las de Red, las de Sony, las de Panasonic, etc.

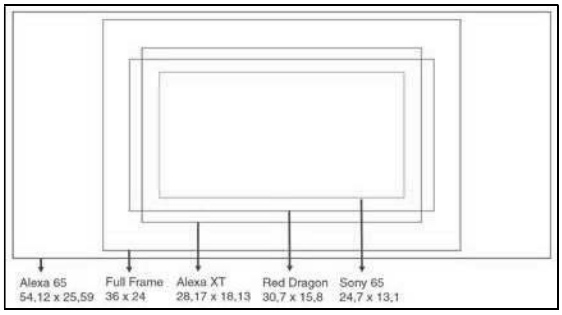
El sensor de las Arri Alexa XTS está más cercano al super 35-4 perforaciones con una proporción de 1,55:1 (modo llamado en las Alexa *Open Gate* 4:3). Esta relación de aspecto se utiliza en muchas ocasiones con lentes anamórficas 2x para hacer los formatos panorámicos *scope* 2,39:1.

El formato *Full Frame* se utiliza más en fotografía que para cine o televisión. Hay cámaras fotográficas DSLR, como la Canon 5D, que graban vídeo con un sensor *Full Frame*. La Sony A7 graba en 4K con sensor *Full Frame* y consigue unos resultados espectaculares en condiciones de baja luz y en cuanto a rango dinámico.

La única cámara digital que tiene un sensor de 65 mm es la Arri Alexa 65.

El sensor de 2/3'' se utiliza más en cámaras de televisión.

En la siguiente imagen se puede apreciar las diferencias considerables de tamaño entre sensores que se autodenominan con la etiqueta 'Super 35': Alexa XT, Red Dragon y Sony 65.



Tamaños de sensor de distintas cámaras de cine digital.

Sensor vídeo	Ratio	Diagonal (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
1/3″	4:3	6,0	4,8	3,6
1/2″	4:3	8,0	6,4	4,8
2/3″	4:3	11,0	8,8	6,6
2/3″	16:9	11,0	9,6	5,4
1″	4:3	16,0	12,8	9,6
Fotografía				
35mm	1,5:1	43	36	24
Cine				
35mm	1,33:1	31,1	24,89	18,67
16mm	1,33:1	12,7	10,26	7,49
Super16	1,78:1	14,4	12,4	7,49

Dimensiones de diferentes formatos.

© CEDE – www.cede.es