

Tecnología de los medios audiovisuales II

Francisco López Cantos

Tecnología de los medios audiovisuales II

Francisco López Cantos



UNIVERSITAT
JAUME·I

LICENCIATURA EN COMUNICACIÓ AUDIOVISUAL

■ Codi d'assignatura AB60

Edita: Publicacions de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions
Campus del Riu Sec. Edifici Rectorat i Serveis Centrals. 12071 Castelló de la Plana
<http://www.tenda.uji.es> e-mail: publicacions@uji.es

Col·lecció Sapientia, 26
Primera edició, 2010
www.sapientia.uji.es

ISBN: 978-84-693-0147-0



Aquest text està subjecte a una llicència Reconeixement-NoComercial-Compartir Igual de Creative Commons, que permet copiar, distribuir i comunicar públicament l'obra sempre que especifique l'autor i el nom de la publicació i sense objectius comercials, i també permet crear obres derivades, sempre que siguin distribuïdes amb aquesta mateixa llicència.
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/es/deed.ca>

ÍNDICE

Tema 1. Tecnologías de obtención de imágenes en movimiento.	4
1.1. Procesos fotoquímicos. El cinematógrafo.	5
1.2. La imagen electrónica. Los inicios de la televisión.	17
1.3. Sistemas de televisión analógica. Codificación PAL.	27
1.4. La señal digital de vídeo. Sensores MOS y CCD.	34
Tema 2. Procesado y grabación de señales digitales de vídeo.	38
2.1. Formatos y sistemas de vídeo digital.	39
2.1.1. Normas DVB y CCIR. Compresión de vídeo.	40
2.1.2. Soportes de grabación y almacenamiento.	49
2.2. Software de edición y tratamiento audiovisual.	55
2.3. Monitorización de la señal de vídeo y televisión.	60
Tema 3. Tecnologías de televisión digital.	67
3.1. El estudio de televisión.	68
3.1.1. Realización de programas. Equipamientos.	68
3.1.2. Enlaces y unidades móviles. Continuidad.	73
3.1.3. Tendencias tecnológicas.	77
3.2. Sistemas de televisión digital.	81
3.2.1. TDT, cable y satélite. Normas DVB.	83
3.2.2. Redes de comunicación. Internet TV.	84
Bibliografía.	87

TEMA 1

Tecnologías de obtención de imágenes en movimiento

RESUMEN

Este primer apartado del programa está dedicado íntegramente a analizar las distintas tecnologías que se han venido utilizando para la captación de imágenes en movimiento desde los inicios del cinematógrafo hasta la actualidad y las características de los sistemas de transmisión de imágenes a distancia desarrollados a lo largo del siglo xx, con el objetivo de contextualizar y valorar de manera adecuada las características de las actuales tecnologías de vídeo y televisión.

En primer lugar, se realiza un recorrido por la evolución que han tenido las tecnologías basadas en soportes cinematográficos para, después, estudiar con detalle las características de las tecnologías electrónicas que fundamentan los sistemas de vídeo y la televisión, deteniéndonos en analizar los elementos básicos que han hecho posible la universalización de los sistemas analógicos de televisión en color, con especial atención a los desarrollados utilizando la norma PAL. Finalmente, se estudian las características de los sistemas digitales de vídeo y de las nuevas tecnologías de captación basadas en sensores fotosensibles.

1.1. Procesos fotoquímicos.

El cinematógrafo

A lo largo de los primeros decenios del siglo XIX, y en un contexto de acelerada industrialización y consolidación de la hasta entonces emergente clase burguesa en el entorno de las nuevas y dinámicas ciudades, se comienzan a desarrollar artilugios e inventos, a caballo entre la ciencia y la simple atracción de feria y más o menos afortunados, basados en las nuevas posibilidades tecnológicas que ofrecen las constantes mejoras en ingeniería mecánica, y las investigaciones sobre la percepción humana. Esto da lugar a unas décadas de intenso desarrollo de las tecnologías escénicas en favor de una espectacularización cada vez mayor de las puestas en escena para regocijo de los emergentes públicos, que se tornarán masivos con el advenimiento del cinematógrafo.

La persistencia retiniana fue demostrada por William Herschel, eminente astrónomo que había promovido importantes avances en óptica, alrededor de la década de 1820, como resultado de una apuesta, que ganó, al mostrar que era posible que un chelín fuese visto al mismo tiempo por su anverso y por su reverso, su cara y su cruz. Para ello, utilizó una cuerda atada a cada uno de los extremos que tensaba una y otra vez para hacer girar el chelín sobre su eje, dando lugar de este modo a la superposición visual de ambas caras de la moneda, y mostrando así que era posible. Al tiempo, sentó las bases experimentales del fenómeno perceptivo llamado *efecto phi*, que formularía en 1912 Max Wertheimer y complementaría Hugo Münsterberg algunos años más tarde, en 1916, postulando que la persistencia retiniana producía este efecto psicológico de continuidad perceptiva del movimiento cuando se mostraban imágenes sucesivas con una cadencia suficiente.

Pero aunque se tardó cierto tiempo en llegar a una definición formal del efecto, los artilugios que aprovechaban la persistencia retiniana empezaron a proliferar y a exhibirse en todo tipo de acontecimientos públicos, maravillando a los asistentes y cubriendo de éxito a científicos-feriantes que realizaban tan espectaculares demostraciones de tales ilusiones perceptivas. Uno de estos primeros inventos basados en el ingenio de Herschel se denominó *thaumatropio*, un artefacto que utilizaba de manera similar una superficie de dos caras desarrollado por John Paris y que alternaba una jaula vacía con un papagayo, entre cuyas rejillas se encerraba al hacer girar el juguete.

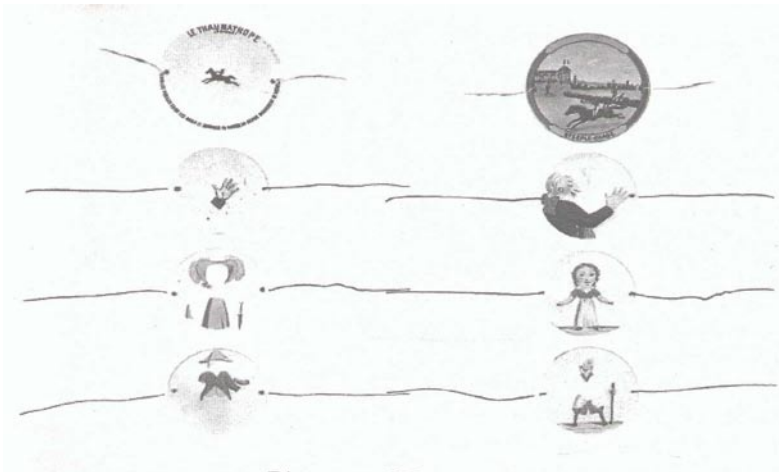


Ilustración 1. Thaumatropio

Poco después, hacia 1829, Plateau inventó el *fenakitoscopio*, un juguete consistente en una placa circular intercambiable que se observaba frente a un espejo a través de unas hendiduras que tenía practicadas coincidiendo con cada una de las 16 viñetas que contenía alrededor de su perímetro, determinando así como óptima la cadencia de 16 imágenes por segundo, a partir de la cual se observaba el movimiento con fluidez (por debajo de 12 es visible la oscuridad intermitente).



Ilustración 2. Fenakitoscopio

A partir de 1834 se empezaron a desarrollar diversas versiones de estos juguetes estroboscópicos, es decir, que alternaban luz y oscuridad, con diversas denominaciones más o menos ingeniosas, como el *zootropo* de William G. Horner, que utilizaba un tambor circular en lugar de una placa lisa enfrentada a un espejo. También por esas fechas se empezaron a combinar estos juguetes con la linterna mágica, que no era otra cosa que un proyector de diapositivas con luz incorporada, consiguiéndose interesantes efectos escénicos, como en las proyecciones públicas que ofrecía el Barón Franz Von Uchatius, en las que colocaba varios proyectores alineados con diapositivas en fases distintas de movimiento, lo que le permitía,

pasando una antorcha iluminada sucesivamente por cada uno de ellos, obtener una ilusión de movimiento muy creíble para los atónitos espectadores. Esto dio lugar a las entonces sofisticadas técnicas de proyección que utilizaría décadas más tarde el escenógrafo Joseph Reynaud para la proyección de un espectacular *Pauvre Pierrot* con el que deleitó al público a finales de un siglo XIX, en 1891, en el que se sentaron las bases del espectáculo contemporáneo.

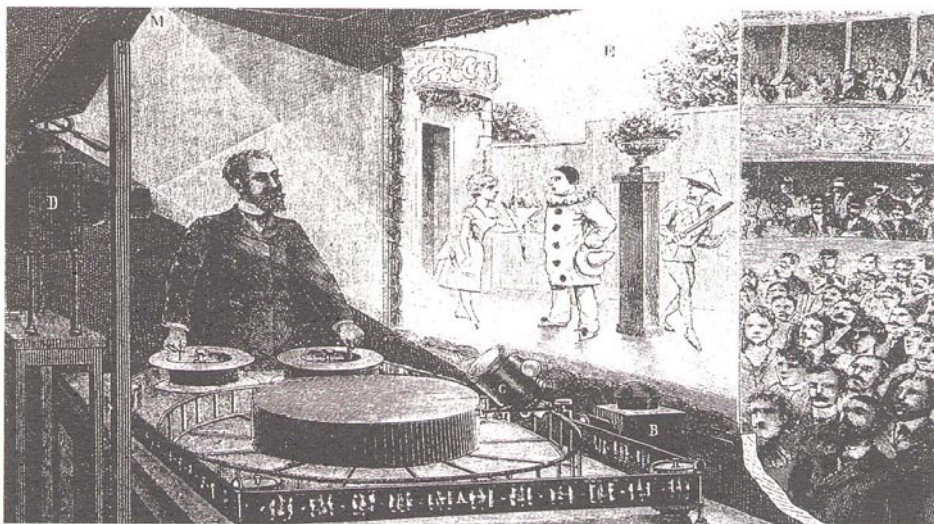
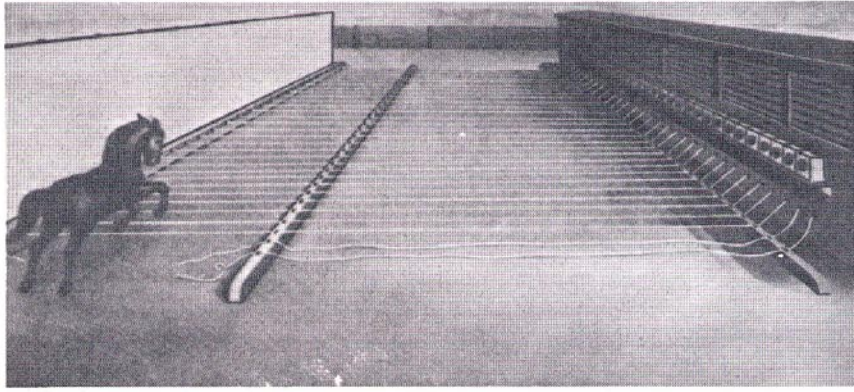


Ilustración 3. Praxinoscopio

En esa época empiezan a converger los conocimientos y tecnologías necesarios para dar origen al cinematógrafo, sobre todo a partir de los nuevos hallazgos e inventos llevados a cabo en torno a la descomposición del movimiento que se fueron desarrollando como resultado del ingenio de un personaje como Eadware Muybridge, inglés mitad vagabundo y mitad fotógrafo que andaba por California, quien, espoleado por la necesidad acabó consiguiendo ser contratado por el gobernador del Estado para que le ayudase a ganar una apuesta de 25.000 dólares que tenía con un amigo. El reto consistía en determinar si un caballo durante su galope llegaba, o no, a tener sus cuatro patas en el aire al mismo tiempo. Corría el año 1877 y, para demostrar que el gobernador estaba en lo cierto, Muybridge ideó un sistema de 24 cámaras fotográficas en fila que se accionaban al paso del caballo sobre un cable disparador. Ver al año siguiente a la yegua Sally poner simultáneamente sus 4 patas en el aire costó 40.000 dólares, pero el gobernador ganó con satisfacción sus 25.000.



Serie de cámaras instaladas por Muybridge para sacar los movimientos del caballo que, al pasar, rompía los cordones que disparaban las máquinas

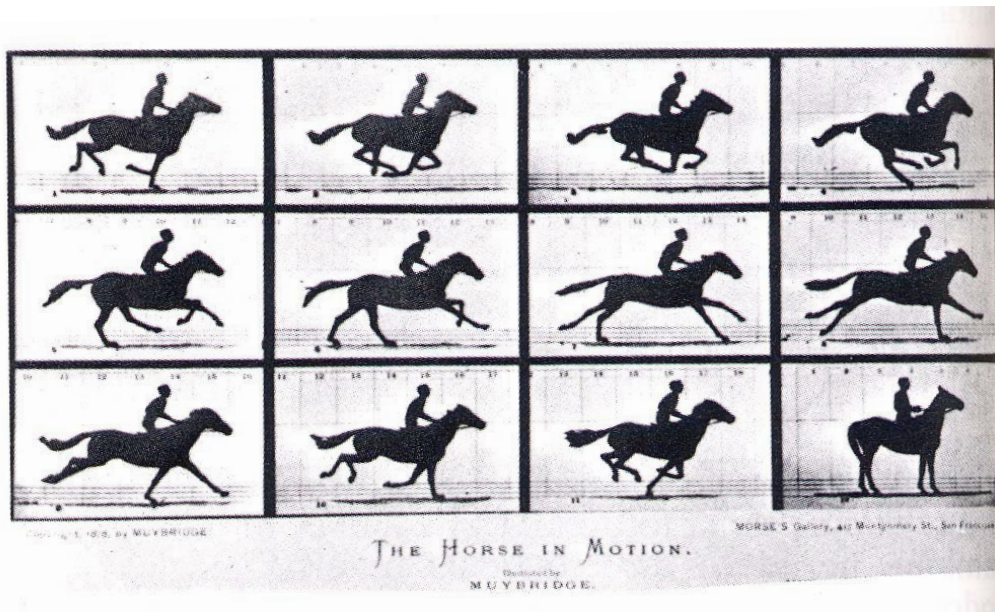


Ilustración 4. El galope de la yegua Sally Gardner, 1878

Poco más tarde, Muybridge desarrolló su técnica montando 48 cámaras y después poniendo las fotografías obtenidas sobre un fenakitoscopio circular combinado con una linterna mágica, lo cual le permitió realizar proyecciones públicas de sus fotografías en movimiento, bautizando su artefacto con el nombre de *zoopraxiscopio*. En esa época empiezan a converger los conocimientos y tecnologías necesarias para dar orígenes. Posteriormente viajó a París para encontrarse con Jules Marey, quien ya había obtenido, desde 1882, imágenes en movimiento utilizando una sola cámara a modo de *fusil fotográfico*. Hacia 1888 Marey sustituyó las placas fotográficas por película de papel, en lo que llamó *cronofotografías*, consiguiendo así automatizar la captura del movimiento y dando un impulso sin precedentes, de manera paralela a Muybridge, al desarrollo de la tecnología cinematográfica.

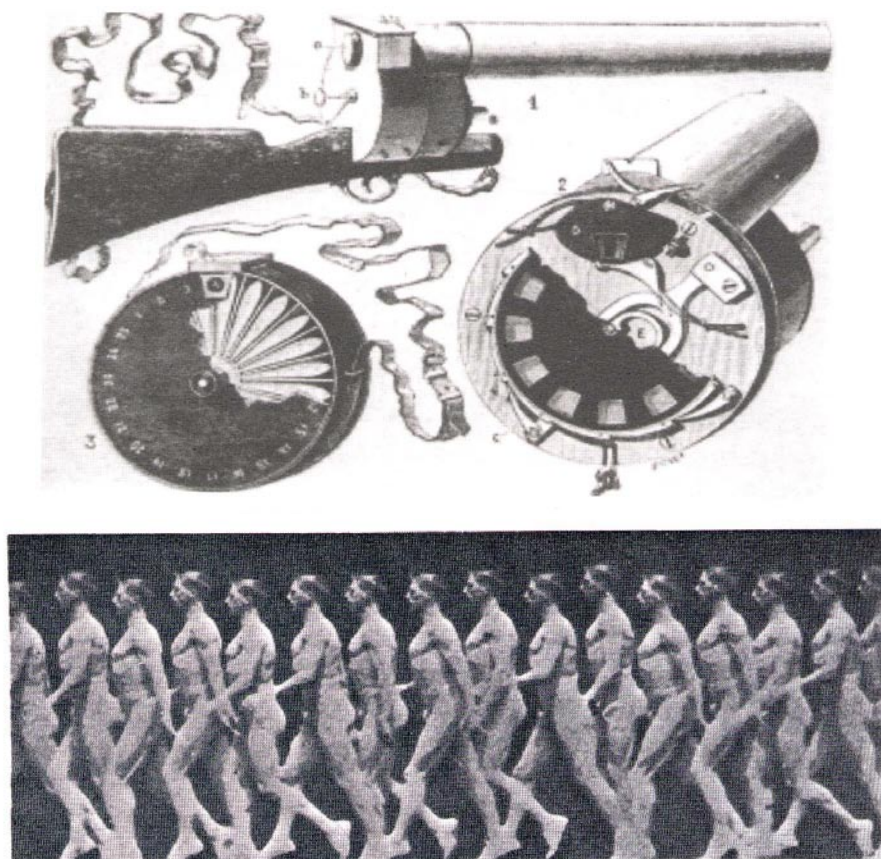


Ilustración 5. Fusil fotográfico y cronofotografía

Para ello, Marey había aprovechado el inestimable avance que supuso para la fotografía la sustitución de las placas fotográficas, poco manejables y frágiles, por los nuevos rollos de papel fotográfico que empezó a comercializar George Eastman-Kodak hacia 1884, que más tarde acabaría poniendo en el mercado, en 1889, la película sobre celuloide y, un año después, la primera cámara fotográfica automática del mundo, la Kodak nº 1, dando el pistoletazo de salida a un siglo pronto venidero, el siglo xx, que se iba a caracterizar por el extraordinario desarrollo y popularización de las tecnologías de la imagen y de la industria audiovisual y del entretenimiento, que ya se venía produciendo desde la invención de la imprenta y de la fotografía, pero que se extendería de manera vertiginosa y calaría hondo en la sociedad y en la cultura a partir de la invención del cinematógrafo.

Al igual que había hecho Marey, Thomas Alva Edison, eminente inventor que había hecho una fortuna con la comercialización de patentes para la emergente industria eléctrica y de telecomunicación, de la que se había convertido en un magnate en pocos años, invitó a Muybridge a sus laboratorios y le dejó espacio en sus talleres para que trabajara con suficiente financiación, con el objetivo de que desarrollara el sistema que hasta entonces Edison utilizaba para grabar sonidos, el *fonógrafo*, pretendiendo que aquel creara un sistema de grabación de fotografías sobre cilindro de cera y poder reproducir imágenes y sonidos sincronizados, aunque sin

éxito. La sincronización de imagen y sonido no fue posible hasta finales de la década de 1920, aunque no se dejó de intentar desde entonces, al tiempo que se desarrollaba la tecnología de registro de imagen en movimiento.

Sería otro de los empleados de Edison, su director de proyectos, Dickson, quien en 1889 inventó un sistema de captación de imágenes al que llamó *kinetofonógrafo*, y que luego patentó Edison como de su propiedad, llamándole *kinetoscopio*. La primera película grabada con este sistema, *Record of a sneeze*, parece registrada en 1893 o 1894, y no hay evidencia de que se hubiese conseguido un sistema de sincronización con el sonido, aunque sí se conserva la película registrada sobre una tira de celuloide. Aunque el sistema funcionaba, la calidad de la proyección era muy escasa y, por ello, y por motivos meramente comerciales, Edison separó el invento en dos patentes, el *kinetógrafo* para la grabación y el *kinetoscopio* para la proyección, y empezó a comercializarlos de manera individualizada, estos últimos insertos en máquinas de visionado privado que se ponían en fila y funcionaban introduciendo una moneda de cinco peniques, un nickel, término que daría más tarde lugar a *nickelodeon*, tal como serían llamadas las salas grandes, los odeones, que se destinaban para la proyección cinematográfica.

La máquina de cinco peniques de Edison funcionaba colocando en el kinetoscopio una película sinfín, es decir, con el comienzo y el fin unidos, que pasaba una vez por moneda, aunque la imprecisión del sistema no garantizaba que coincidiese siempre con el principio. La película se veía sin montaje alguno y tenía una duración de unos 20 segundos con una cadencia de 40 a 46 fotogramas, que era la velocidad de grabación con que funcionaban los kinetógrafos. El enorme éxito provocó una febril actividad en la factoría de Edison, cuya producción cinematográfica seguía bajo la dirección de Dickson, lo cual impulsó la creación, en 1893, del primer estudio cinematográfico del mundo, el *Black Maria*, con el fin de incrementar la productividad y mejorar las condiciones lumínicas de grabación, entonces pésimas dado el lento desarrollo tecnológico que todavía había en este aspecto y la escasa sensibilidad de los soportes fotoquímicos utilizados para el registro cinematográfico. Edison introdujo pronto la perforación en las películas propuesta por Kodak, y empezó a perfeccionar los proyectores, aunque la iluminación para proyectar era insuficiente para grandes públicos y la película se rompía con facilidad. Compró también la patente de los hermanos Lantham por la que habían desarrollado una presilla especial para mantener la película sobre sus guías y evitar roturas o movimientos en fotogramas durante la proyección y la adaptó a un nuevo equipo al que llamó *vitascopio* y, aunque había todavía evidentes problemas de combustión de los nitratos que contenía la película y de inestabilidad de la proyección, se acabó por instalar por doquier estos equipos dando lugar, a partir de 1905, a los ya mencionados *nickelodeones*, el primero de ellos en Pittsburg, herencia espectacular de aquellas máquinas de cinco peniques.

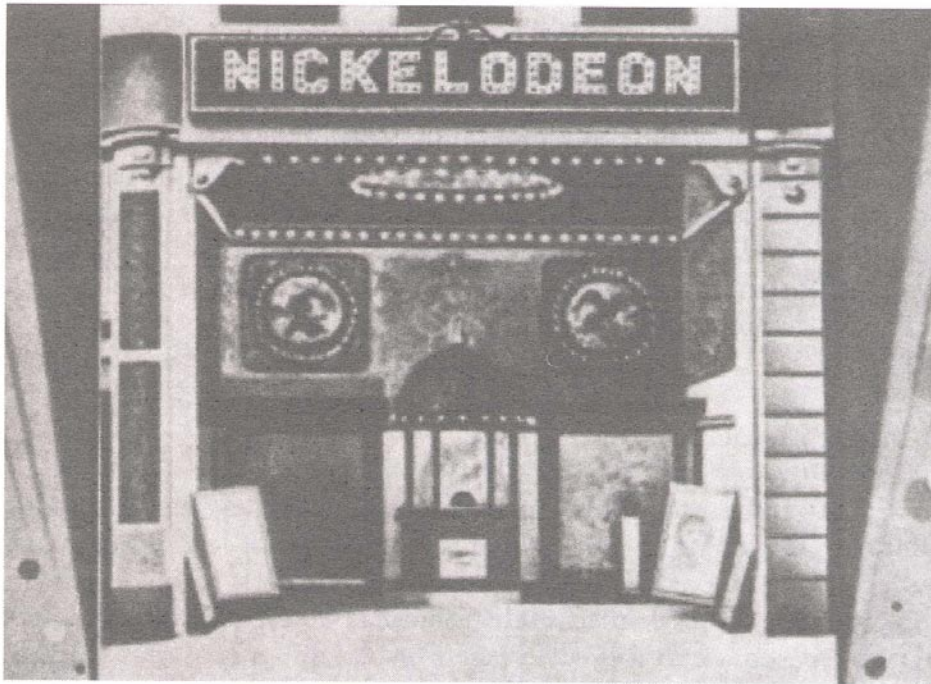
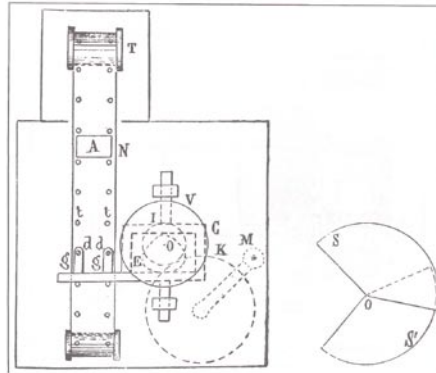
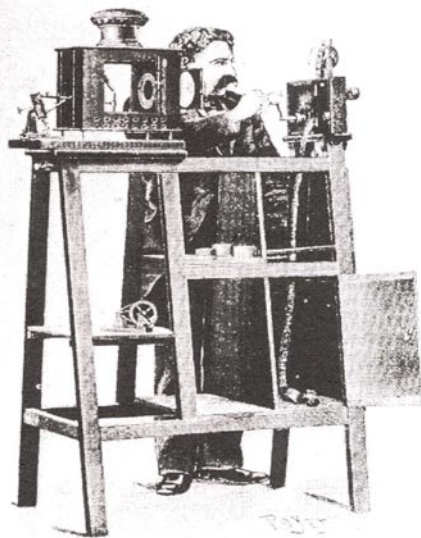


Ilustración 6. Nickelodeon

No obstante, al otro lado del Atlántico, en Francia, también se trabajaba en el desarrollo de tecnologías para la obtención de imágenes en movimiento, y a Marey le siguieron los hermanos Lumière, quienes desde 1894 habían comenzado a trabajar con el *kinetógrafo* y el *kinetoscopio* de Edison, como consecuencia del desarrollo que se estaba produciendo en la fábrica de placas fotográficas que regentaba su padre, que comenzaba a producir película en forma de celuloide. Pronto crearon su propio sistema, en 1895, y le llamaron *cinematógrafo*. Tenía la particularidad de que funcionaba con película perforada de 35 mm y 16 fotogramas por segundo proyectados de manera intermitente utilizando un obturador y, a diferencia de los equipos eléctricos y pesados que comercializaba Edison, era mucho más manejable porque era portátil y manual. La presentación pública del cinematógrafo se produjo el día 28 de diciembre de 1896 en el Grand Café de París, considerada de esta manera la primera proyección cinematográfica en una sala con público de la historia.



CINÉMATOGRAPHE



LUMIÈRE

Véritable Maison LUMIÈRE

CRÉÉE EN 1896

GRAND CAFÉ

14, Boulevard des Capucines, 14

Entrée: 1 fr.

La situation de la Salle, l'installation des appareils pour l'exécution parfaite des projections animées, éclairées par l'eau et l'électricité (*nouvelle invention remplaçant la lentille*), le choix et le nombre variés des vues, rendent ce spectacle incomparable.

Séances de 2 h. à 6 h. et de 8 h. 1/2 à 11 h.

Ne pas confondre avec les Établissements similaires qui n'ont pas été créés par la

MAISON LUMIÈRE

Tous les Samedis, changement du programme à 8 h. 1/2 du soir.

PROGRAMME

12 TABLEAUX

dont plusieurs sont d'une durée de 10 à 15 minutes

CORTÈGES, DÉFILÉS MILITAIRES, DANSES, VUES COMIQUES, ETC.

Les Familles peuvent assister aux Séances dont la moralité est assurée
SÉANCES EN VILLE & EN PROVINCE

Le Cinématographe peut fonctionner dans les Salons

Piano de la Maison GAVEAU

Tenu par M. Emile MARAVAL, Pianiste-Compositeur.

Ilustración 7. Cinematógrafo de los hermanos Lumière

Para entonces se desencadenó una competencia poderosa entre Lumiere y Edison y en la que participaban otras empresas como las francesas Gaumont y Pathe y las americana Biograph que había fundado Dickson y la Vitagraph de John Stuart Blackton, que en 1906 ya empezó a realizar las primeras películas de dibujos animados. Los intentos más o menos afortunados de sincronizar la imagen y el sonido se fueron sucediendo a lo largo de las siguientes décadas con escaso éxito, pero la industria audiovisual, con el inicio del siglo xx, ya había iniciado su imparable expansión e implantación social y económica global.

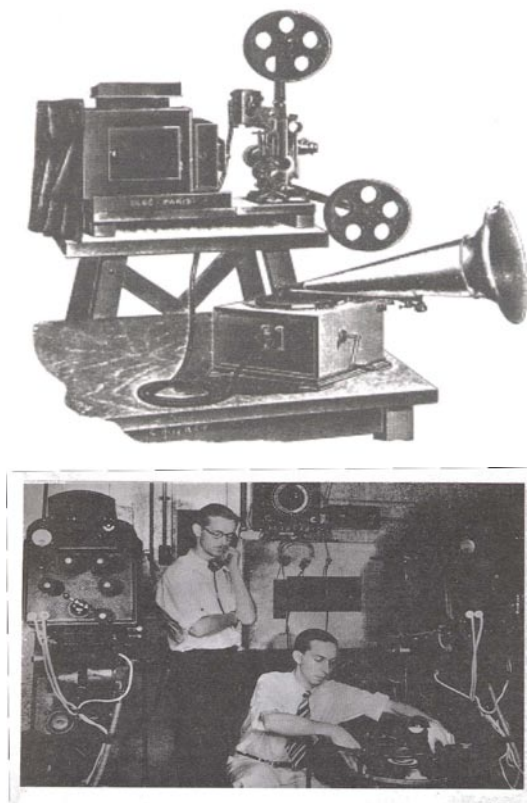
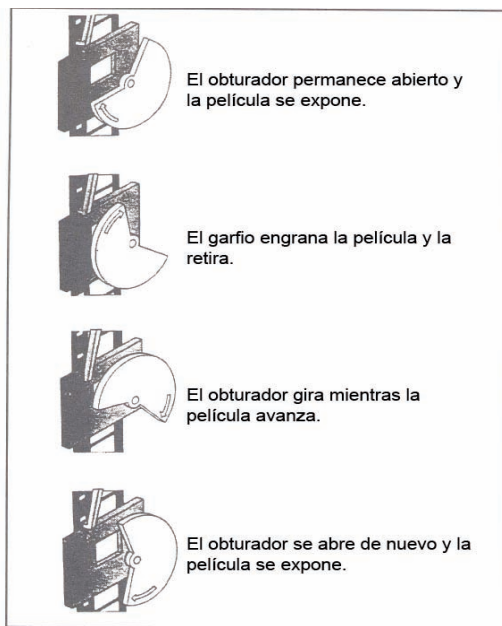


Ilustración 8. Sistemas de sonido sincrónico Elgephone (Gaumont) y Vitaphone (Edison)

A lo largo del siglo xx se ha desarrollado enormemente la ingeniería mecánica y con ello ha mejorado notablemente la precisión de los equipamientos cinematográficos, al tiempo que se han comercializado diversos formatos, sistemas y soportes fotoquímicos dando un amplio abanico de posibilidades a una tecnología que se puede considerar madura.

A continuación podemos ver el funcionamiento del obturador en el registro, así como los distintos formatos cinematográficos sobre película de 35 mm, y un ejemplo del sistema óptico adoptado para registrar el sonido modulado sobre el lateral de la película cinematográfica.



FORMATO DIMENSIONES
Alto X Ancho(mm)

FORMATO	DIMENSIONES Alto X Ancho(mm)		
TODOS	18,66 x 24,89		35 mm ventanilla abierta, <i>Full Aperture</i> o <i>Silent Aperture</i>
1,37:1	16,02 x 22,05		35 mm de la Academia
1,85:1	11,33 x 20,95		35 mm ventanilla de 1,85:1
1,33:1	13,60 x 24,11		35 mm para televisión (zona de seguridad recomendada por SMPTE)
2,35:1 o 2,40:1	18,67 x 22,05		35 mm anamórfico con compresión 2X horizontal
2,40:1	10,01 x 24,00		Panavision 35 mm para comprimir 2X en positivadora óptica y proyectar desanamorizando
1,85:1	12,98 x 24,00		Super 35 Panavision para comprimir en positivadora óptica y proyectar desanamorizando
1,33:1 o 1,85:1	13,87 x 24,89		Ventanilla abierta para tres perforaciones por fotograma



Ilustración 9. Obturación, formatos y sonido en cinematografía (Martínez y Serra)

En la base del cine se encuentran los soportes fotoquímicos de registro de imágenes, herederos de la fotografía y que han evolucionado a la par que ésta en cuanto a sensibilidad y facilidad de uso, pasando de las primeras emulsiones sólo sensibles al azul, a las películas ortocromáticas y, después, al registro del color desde la década de 1930 con la aparición del sistema Technicolor y la comercialización de las películas en tres o más capas sensibles, aunque hubo intentos anteriores como

el sistema Dufaycolor, que utilizaba microesferas de albúmina a modo de mosaico de filtros sobre una emulsión monocromática, o el sistema Pathecolor, entre otros, en el que se realizaba una imprimación de tintes sobre tres emulsiones en las que se había formado imagen de cada uno de los colores primarios que luego se ponían en registro para la proyección.

Con la invención del Technicolor, que hacía más repetibles y mejoraba la calidad del color en relación a las técnicas utilizadas por los hermanos Pathé, se acabó por consolidar la tecnología cinematográfica alcanzando un nivel de sofisticación técnica que, aunque todavía seguiría siendo mejorado en las siguientes décadas, ya permitía utilizar los recursos tecnológicos sin limitaciones y explorar en toda su extensión sus posibilidades expresivas. De esta manera en la actualidad todavía conviven las producciones cinematográficas en blanco y negro con las de color, pero ya no como una imposición tecnológica o económica sino por su valor expresivo, de manera similar a la utilización de nuevas y mejoradas ópticas, como el zoom, o sistemas y soportes de cámara como las grúas, cabezas calientes, steady-cam, etc., que han supuesto avances tecnológicos que han influenciado de manera evidente las distintas corrientes cinematográficas desde los inicios del cine hasta la actualidad aunque, siempre, como vemos a continuación, basándose en soportes y procesos de registro fotoquímicos, un aspecto que con el advenimiento de la tecnología digital está provocando transformaciones profundas en la industria cinematográfica en las dos últimas décadas.

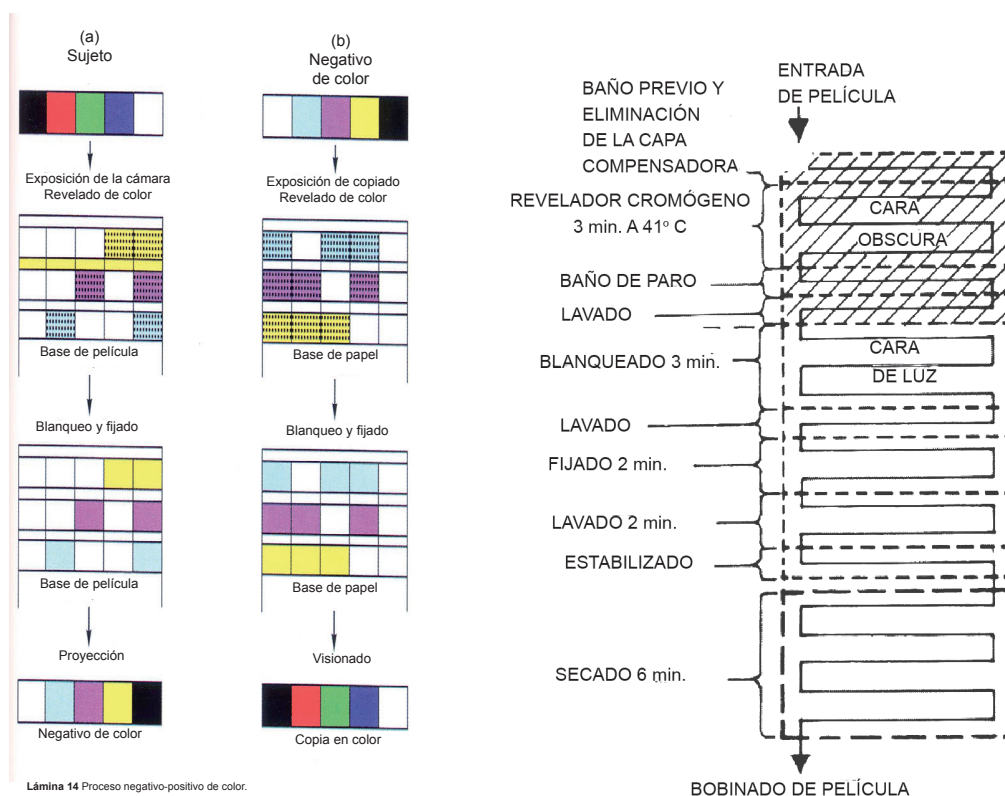


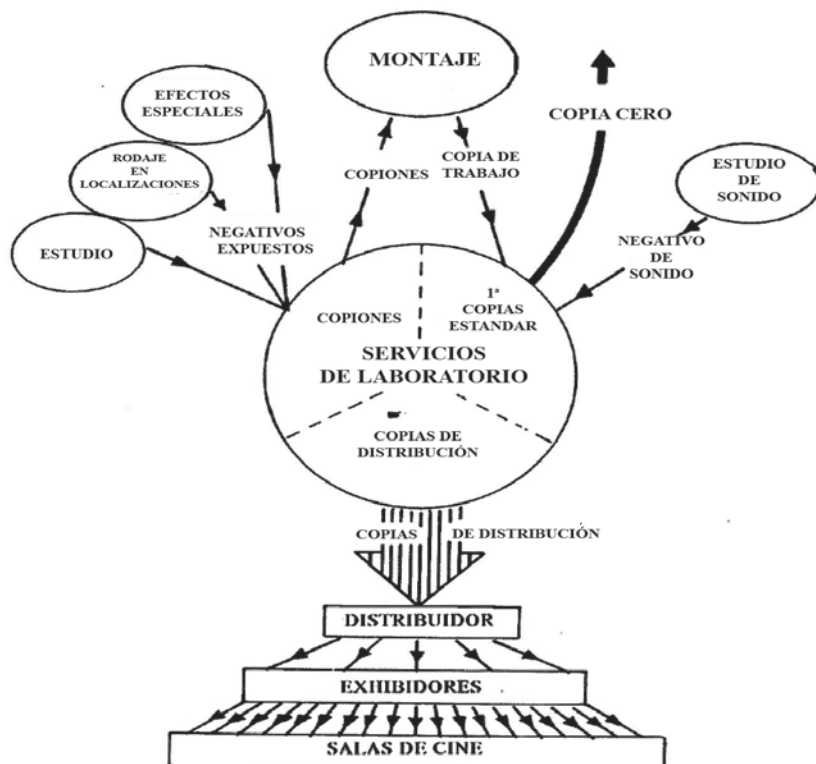
Lámina 14 Proceso negativo-positivo de color.

SECUENCIA DEL PROCESAMIENTO DEL NEGATIVO A COLOR. En el proceso ECN-2 de alta velocidad, se usan temperaturas de 38° a 41 °C para reducir el tiempo total. Una máquina pequeña con 15 bastidores de soluciones de hasta 30 m cada una y 5 bastidores de secado puede funcionar a 30 m por minuto. La misma máquina sirve para procesar las películas intermedias de color, para originales positivos y negativos duplicados.

Ilustración 10. Registro y revelado sistema fotoquímico (Langford)

Todo ello ha dado lugar a un sistema de producción y distribución cinematográfico consolidado a lo largo de todo el siglo y con fuerte implantación industrial aunque sujeto a profundos cambios ante la irrupción de la tecnología digital, y a la adopción de nuevas estrategias para aumentar la espectacularidad de la proyección en un intento de sobrevivir a la enorme competencia entre medios que se viene produciendo desde mediados del siglo pasado con la irrupción de la televisión o, más contemporáneamente, con las nuevas plataformas multimedia digitales de distribución audiovisual.

PRODUCCIÓN



DISTRIBUCIÓN

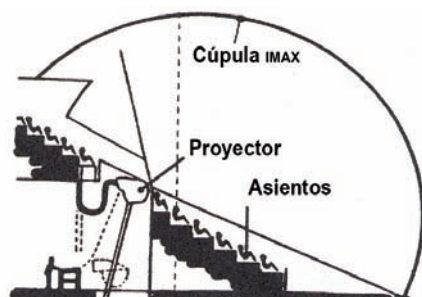


Ilustración 11. Sistema de producción cinematográfico y proyección Omnimax (Mappe)

1.2. La imagen electrónica.

Los inicios de la televisión

A lo largo del siglo xx, y de manera simultánea y complementaria a la implantación global de los modelos socioeconómicos contemporáneos, se han extendido con carácter universal las culturas e industrias audiovisuales impulsadas, en un principio en la industria discográfica y cinematográfica y, poco después, con el desarrollo vertiginoso de los sistemas de radio y televisión hasta la reciente implantación de las redes de telecomunicación mundiales. Los sistemas de registro de imágenes por medios fotoquímicos, tanto fotográficos como cinematográficos, tal y como venimos relatando, fueron madurando a lo largo de las primeras décadas del siglo hasta consolidarse y convertirse en elementos constitutivos fundamentales del orden social contemporáneo, aunque desde finales del siglo anterior ya se empezaban a anticipar los cambios que acontecerían en el sistema audiovisual, y en el conjunto de la sociedad, al empezar a extenderse las tecnologías fundamentadas en el gran nuevo descubrimiento de la época, la electricidad, bien conocida, y bien rentabilizada como ya contábamos, por algunos magnates de la comunicación como Edison.

La extensión de las redes telegráficas y telefónicas se empezó a hacer realidad en los últimos decenios del siglo xix, hasta acabar constituyendo una entramada red de telecomunicaciones global que ha llegado hasta nuestros días, y que provocó no pocos enfrentamientos y batallas políticas y económicas en los entonces bloques de poder que dominaban el territorio en base a los repartos coloniales establecidos en los siglos precedentes (para profundizar en ello se puede consultar el material didáctico de la asignatura Tecnología de los Medios Audiovisuales I).

En ese contexto, muy tempranamente y de manera paralela a lo que se venía desarrollando en el ámbito de las tecnologías de registro de imágenes utilizando soportes fotoquímicos, se realizaron una serie de descubrimientos y experimentos con la tecnología eléctrica que podemos considerar la antesala del enorme desarrollo que se produjo a partir de la década de los años 30 y que supuso la implantación del uso de la televisión en los hogares y la expansión de las tecnologías de grabación videográficas.

Ya desde la década de 1860-1870, May y Smith empezaron a experimentar con elementos y compuestos químicos cuyas propiedades variaban al entrar en contacto con la luz, pero no del modo que ocurría con los ya empleados entonces haluros de plata para el registro fotoquímico, posible debido a los procesos de oxidación y consecuente ennegrecimiento de la plata, si no que experimentaban con elementos como el selenio, que era capaz de translucir la energía luminosa en eléctrica en función de la intensidad recibida, es decir, de forma que convertía una energía de manera análoga en otra, en este caso eléctrica. Posteriormente se descubrió que otros elementos como el cadmio o el cesio también variaban sus propiedades al ser expuestos a la

luz, en estos casos variando su resistencia eléctrica de manera igualmente proporcional a la intensidad lumínica recibida.

May y Smith expusieron sus descubrimientos en 1873 y no mucho más tarde, en 1875, se empezaron a diseñar las primeras placas matriciales basadas en células de selenio que, tal como hizo Carey, conectadas en paralelo de dos en dos y célula a célula, se podían utilizar para la transmisión de imágenes a distancia, y para lo que entonces ya se podía hacer con los soportes fotoquímicos, es decir *elaborar imágenes y ver mediante la electricidad*. Un año después, en 1876, Alexander Graham Bell hizo posible la transmisión telefónica de imágenes complejas, que eran codificadas en el emisor y decodificadas en el receptor haciendo posible la telecomunicación.

El problema que había entonces, y que aún hoy día sigue habiendo a pesar de los enormes avances en investigación de materiales conductores, es el relativo a las limitaciones del canal de transmisión, esto es, al ancho de banda que conocemos en terminología contemporánea, lo cual restringía mucho la cantidad de información que era posible transmitir y, en consecuencia, la implantación efectiva de sistemas de transmisión de imágenes que permitiesen alcanzar unos mínimos de calidad. Además de ello, los sistemas de captura, transmisión y recepción que funcionaban en paralelo multiplicaban los costes de manera prohibitiva, y sólo podían asumirse en investigaciones de laboratorio respaldadas por socios financieros muy solventes.

La solución que se encontró a ambos problemas vino primero de la mano de Senlecq, quien en 1878 desarrolló un sistema de barrido secuencial de las placas matriciales, de modo que la intensidad eléctrica resultante de cada célula fotoreceptora de selenio era leída de manera ordenada constituyendo un flujo eléctrico continuo en el que se iban sucediendo cada una de las lecturas y, de este modo, utilizando un solo canal de transmisión para todas ellas, independientemente de su número. La complejidad residía, claro está, en la cantidad de lecturas en el tiempo que podía realizar el sistema, algo que en el entorno digital actual con la debida distancia y sólo a título informativo podemos traducir a Kb/sg, es decir, cantidad de información por segundo. Sin embargo, independientemente del ancho de banda posible, entonces francamente escaso, se había conseguido aunar las características de las líneas telefónicas convencionales y los sistemas de registro eléctrico de imágenes, sentando así las bases para el desarrollo que a lo largo de todo el siglo xx se iría produciendo en el ámbito de las telecomunicaciones multimedia, especialmente intenso durante los dos últimos decenios del siglo xx.

El sistema de Senlecq no era muy practicable, y sólo empezó a desarrollarse un prototipo viable de sistema de visión de imágenes a distancia, es decir, de televisión, a partir de 1884, año en que se atribuye el diseño del sistema mecánico-eléctrico ideado por Nipkow basado en un sistema secuencial de lectura sobre dos discos idénticos y sincronizados, uno en el registro y otro en la proyección, en los que se practicaban 24 agujeros equiespaciados formando una espiral que giraba a 600 revoluciones por minuto. Aunque no pudo construir el sistema, sentó las bases

de la televisión y de los equipos de recepción que se empezaron a implantar unas décadas más tarde, cuando la tecnología mecánica y eléctrica estaba suficientemente desarrollada para ello.

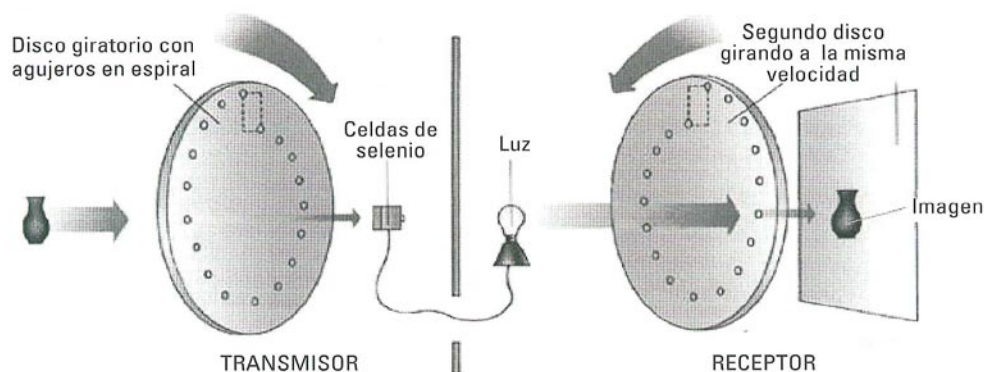


Ilustración 12. Disco de Nipkow (Pérez y Zamanillo)

Una vez sentadas las bases de los sistemas mecánico-eléctricos de transmisión de imágenes empiezan a producirse avances importantes de manera vertiginosa a ambos lados del Atlántico que impulsan definitivamente el desarrollo de la tecnología de la televisión, sobre todo a partir de los años 20, una vez finalizada la primera gran contienda mundial.

Desde 1922 en EEUU, y de la mano de C. F. Jenkins, se comienzan a desarrollar y perfeccionar sistemas de reproducción de imágenes con métodos eléctricos y, en 1925, se transmiten por primera vez imágenes utilizando las redes radiofónicas. Se consigue establecer una transmisión entre Washington y Filadelfia, y RCA (Radio Corporation of America, una de las más importantes cadenas radiofónicas del país) compra las patentes para comercializar el sistema. En los Estados Unidos igualmente H. C. Ives realiza pruebas experimentales, en el mismo año 1925, para transmitir imágenes fijas en color utilizando las redes telefónicas, consiguiendo hacerlo con éxito y gracias a la asociación que había llevado a cabo con Bell Telephone y ATT, las dos mayores compañías de telefonía del país, en 1927 consigue realizar la transmisión de imágenes fijas en color de gran calidad entre Washington y Nueva York, impulsando así, entre otras, las infraestructuras disponibles para el intercambio de informaciones periodísticas, que hasta el momento sólo permitían la transmisión de información de carácter textual.

Al otro lado del Atlántico, en Europa, se venían igualmente sucediendo los avances en las tecnologías de comunicación de imágenes y, igualmente en 1925, John L. Baird conseguía transmitir imágenes a través de las redes de cable y, poco después, en 1927, realizó una transmisión vía telefónica entre Londres y Glasgow. El siguiente año, en 1928, consiguió emitir televisión en color y un par de años después sincronizar la imagen con el sonido, lo que puede dar una idea de la rapidez con que se sucedían las innovaciones y aceleraban los cambios durante esos años.

El impulso e implantación de la televisión en Europa fue propiciado por la BBC británica (entonces cadena radiofónica de la RCA en EEUU homóloga en cuanto a tecnología, implantación y solidez industrial en Gran Bretaña), en cuyo seno se realizó, en 1929, la primera transmisión-recepción de imágenes con un sistema mecánico-eléctrico similar al de Nipkow, alcanzando una resolución horizontal de 30 líneas. Las pruebas fueron un éxito y se empezaron a comercializar receptores con gran rapidez y aceptación por los públicos, llegando a contabilizarse en Inglaterra hacia 1932 unas ventas que alcanzaban los 10.000 receptores con este sistema de disco de Nipkow y 30 líneas. Unos años después, la empresa Marconi, en asociación con EMI, desarrolló un sistema comercial de 405 líneas y totalmente eléctrico, utilizando el iconoscopio que había desarrollado previamente V. K. Zworykin en 1907 en el Instituto Tecnológico de San Petersburgo.

Los sistemas de televisión totalmente electrónicos basados en los tubos de rayos catódicos (TCR), como el iconoscopio, fueron descritos por primera vez en 1908 en la Revista *Nature* por Campbell y Swinton, a partir de los prototipos de TRC desarrollados por K. F. Braun en 1897 en Estrasburgo. Concedor de tales desarrollos y con el diseño del iconoscopio ultimado, Zworykin emigró a EEUU y empezó a trabajar para Westinghouse y RCA, obteniendo resultados bien pronto, en 1923, año en que se diseñó el primer receptor de televisión que funcionaba con rayos catódicos; estaba basado en un cátodo para la generación de un flujo de electrones que se direccionaban mediante deflexión electrostática y electromagnética para la exploración de la imagen formada en un mosaico cargado eléctricamente.

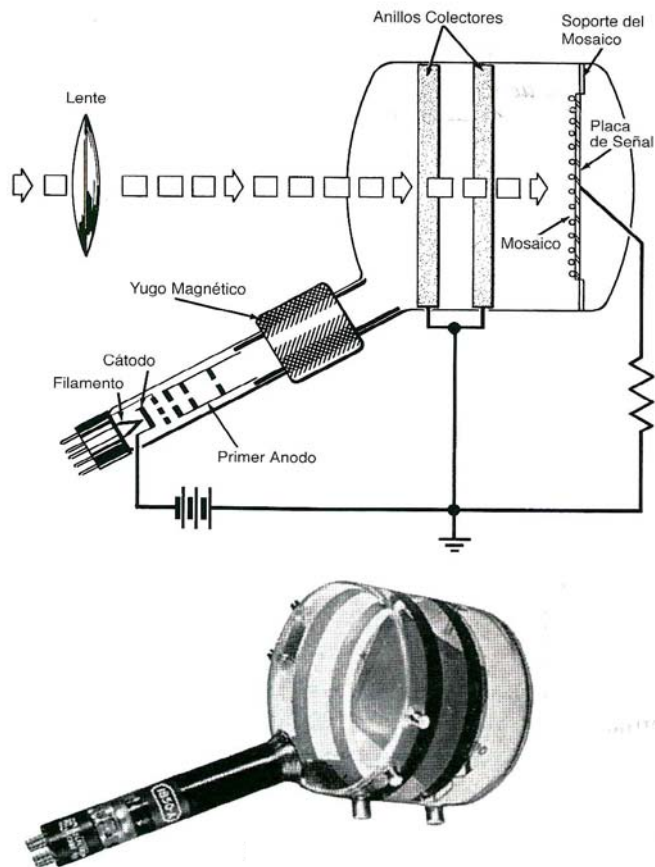


Ilustración 13. Iconoscopio (Pérez y Zamanillo)

El sistema se utilizó con éxito, y en 1925 se registró una nueva patente basada en los mismos principios pero que ya funcionaba en color. Había nacido la televisión tal como la hemos conocido hasta la actualidad, aunque hoy en día ya muy evolucionada y en constante proceso de transformación con el advenimiento de las tecnologías digitales. El primer gran acontecimiento retransmitido por televisión fueron los Juegos Olímpicos de Berlín de 1936 y poco después, además de en Alemania, se adoptó el sistema en la NBC, en EEUU y en el año 1939, comenzando así a transmitir televisión con regularidad a ambos lados del Atlántico, aunque muy pronto comenzaría la Segunda Guerra Mundial y los usos de la televisión y los sistemas de comunicación se derivarían hacia fines bélicos, y así, por ejemplo, en 1942 se hacía un uso muy eficiente de la televisión como medio de vigilancia aérea, pero eso ya es otra historia.

Más adelante se desarrollaron otros sistemas de TRC, como el vidicón, aunque el principio subyacente para la generación de la señal de televisión seguía siendo el mismo, la consecución sucesiva de señales eléctricas de intensidad variable en función de la luminosidad de la escena utilizando un sistema fotoconversor más o menos sofisticado.

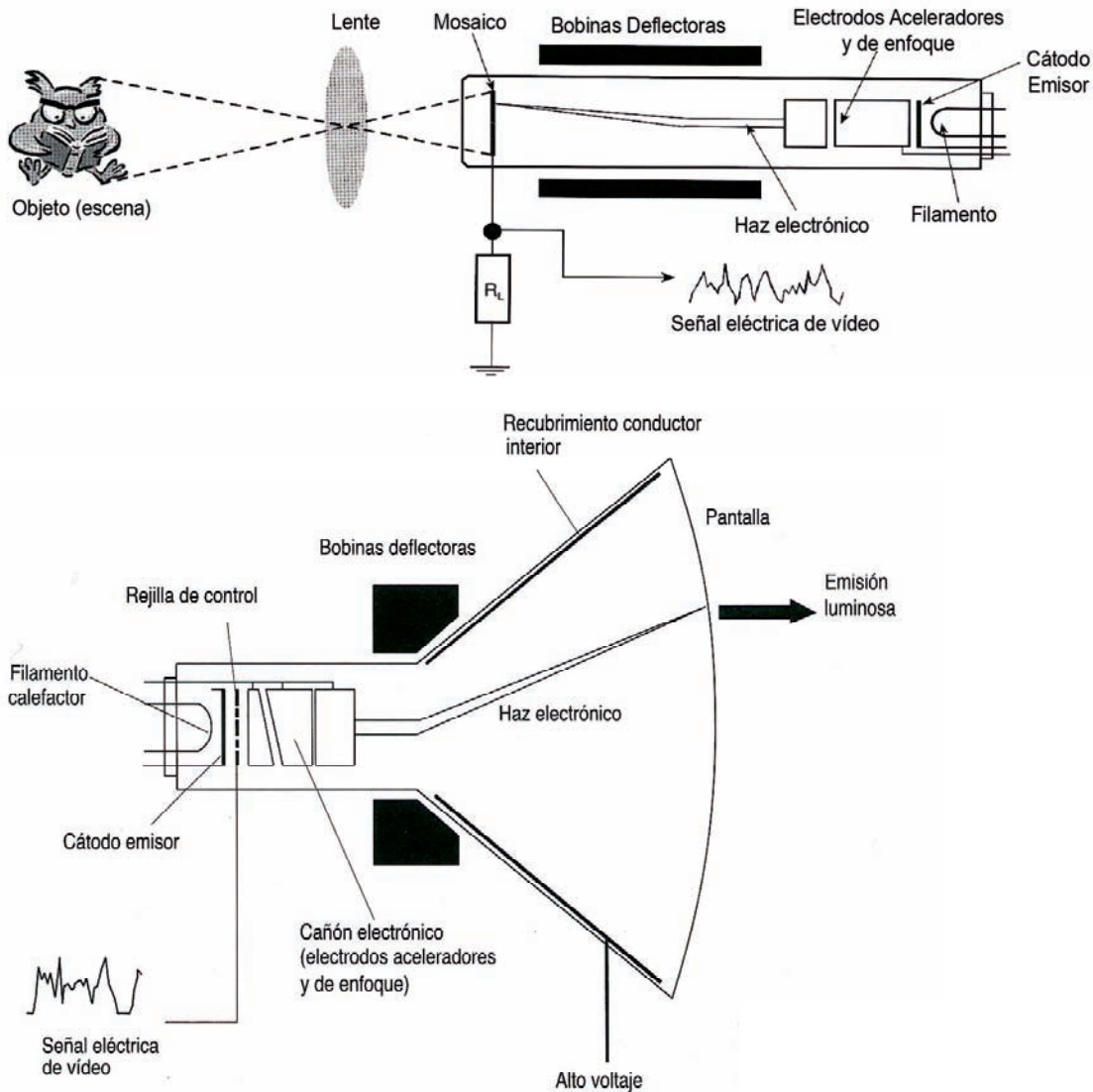


Ilustración 14. Funcionamiento TRC en captación y recepción TV (Pérez y Zamanillo)

De este modo, explorando la imagen en la captación y reproduciéndola de manera sincronizada en el equipo de proyección, ambos con funcionamiento electrónico basado en TRC, se hacía posible reproducir una imagen cualquiera, o una carta de pruebas como la que vemos a continuación, registrando las diferencias de luminosidad existentes y convirtiéndolas, de manera efectiva, línea a línea, en impulsos eléctricos de intensidad variable hasta obtener la imagen completa, que es restituida durante la proyección siguiendo las mismas pautas, aunque naturalmente en blanco y negro, tal como fue la televisión en sus inicios, y en algunos países como el nuestro durante muchos años después ya que no se popularizó hasta la década de 1970, como una más de las consecuencias de la larga noche gris en que estuvo sumido el país hasta la restitución de la democracia.

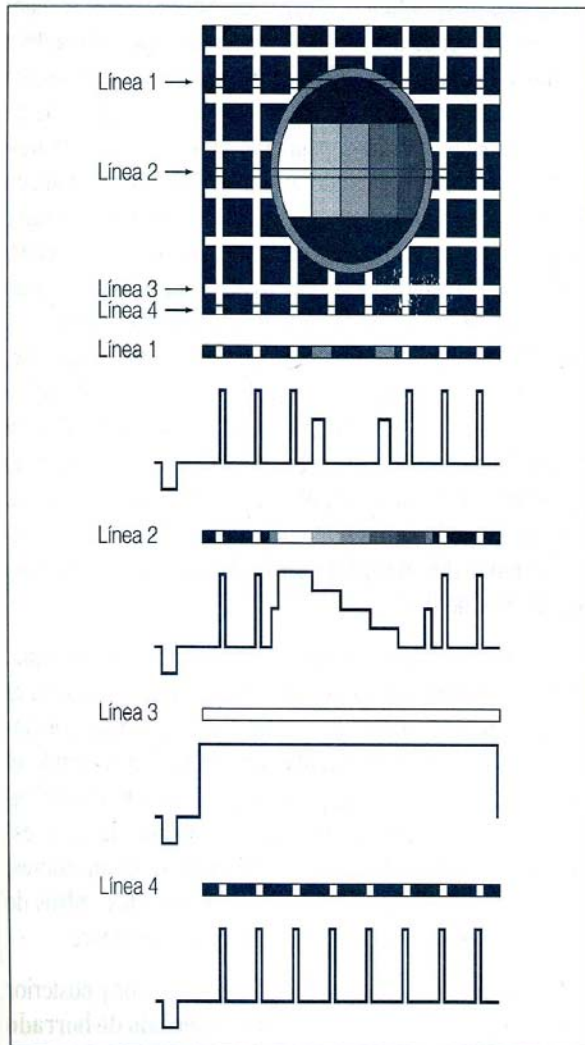
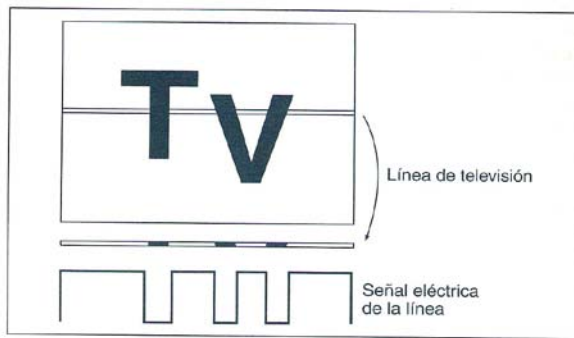


Ilustración 15. Exploración de una línea y carta de ajuste (Félix Molero)

Los principios fundamentales de los sistemas de generación de imágenes en color eran conocidos hacía tiempo, desde las primeras investigaciones de Newton sobre la luz y los posteriores trabajos de Maxwell, entre otros (para profundizar en ello se puede consultar el material docente de la asignatura Tecnología de los Medios

Audiovisuales I), y ya se estaban utilizando tecnologías fotográficas y cinematográficas que permitían la captación y reproducción del color, y tal como contábamos más arriba, se habían realizado las primeras pruebas de televisión en color en las décadas de los años 20 y 30.

El reto consistía en la construcción de equipamientos basados en el principio de separación de los colores primarios para, así, poder generar imágenes con la riqueza cromática del espectro visible. Los primeros equipamientos de captación disponían de tres tubos de rayos catódicos y un sistema de filtros que permitía descomponer la luz visible y dirigir cada uno de los colores primarios a su correspondiente tubo, unos equipos de cámara que, aunque evolucionaron con los tiempos y ganaron en ligereza y precisión, siempre presentaban problemas constantes de ajuste y sincronización. Los sistemas actuales a partir de las últimas décadas ya incluyen sistemas fotosensibles de captación matriciales, cuyas características veremos un poco más adelante, y que permiten la obtención de imágenes en color basándose en los mismos principios, tal como vemos a continuación, utilizando filtros dicróicos para la separación del color integrados en el bloque óptico.

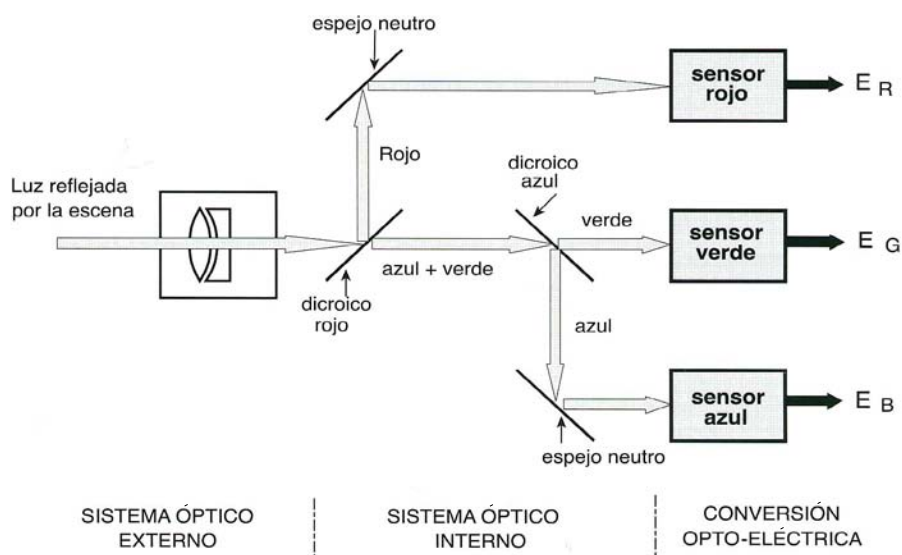
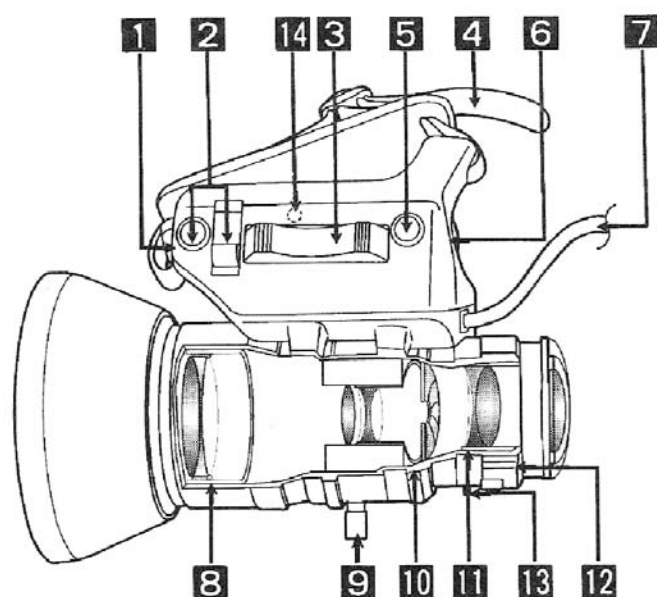
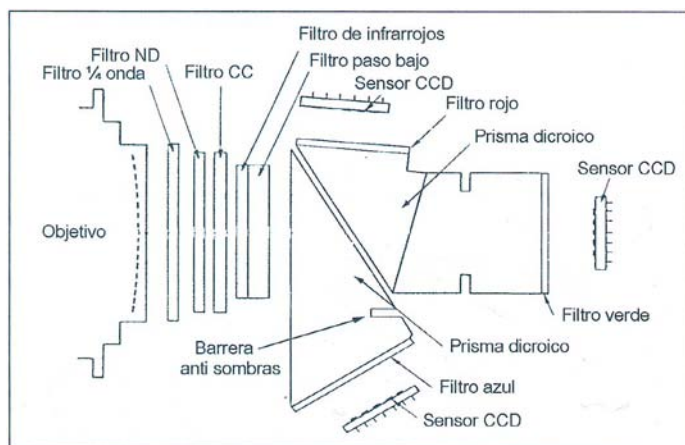


Ilustración 16. Sistema óptico de análisis de color (Pérez y Zamanillo)

El sistema óptico de los sistemas de captación actuales permite múltiples operaciones para regular la captación de la imagen de manera previa a su tratamiento electrónico, podemos ver a continuación los controles típicos que encontramos en una óptica habitual en los equipos de cámara actuales, muchos de ellos automatizados.



- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| 1. Ajuste de velocidad de iris | 8. Anillo de enfoque |
| 2. Selector iris automático/manual | 9. Anillo de zoom |
| 3. Control del zoom | 10. Anillo de iris |
| 4. Correa de mano | 11. Anillo de foco trasero |
| 5. Comprobación de grabación | 12. Anillo de macro |
| 6. Paro/marcha de grabación | 13. Fijación de foco trasero |
| 7. Cable de control de lente | 14. Selector de zoom manual |

Ilustración 17. Bloque óptico y controles en objetivo zoom (E. Félix)

En el siguiente bloque del equipo de captación es donde se realiza la conversión óptico-electrónica y se genera la señal de vídeo en color. Si se tratase la información directamente recibida de los sensores sin más estaríamos ante un sistema de vídeo por componentes o RGB, es decir, que permitiría mantener la señal original correspondiente al sensor rojo (R), al verde (G) y al azul (B), sin embargo esta opción, de máxima calidad, sólo es posible asumiendo un alto coste de los equipos debido a la multiplicación de los circuitos electrónicos y la complejidad del sistema de construcción, por lo cual se utilizan estrategias de codificación utilizando varios

métodos. El primero de ellos consiste en separar la información de luminancia (Y) de la de crominancia (C), de manera que a efectos prácticos la señal resultante discurre de manera separada en los dos valores, es decir, dos cables físicos, normalmente montados sobre un mismo conector, por ello se le llama señal Y/C o de vídeo separado. El segundo de los sistemas para conseguir insertar en una única señal eléctrica toda la información de color que, tal como vemos procede de tres señales distintas correspondientes a cada uno de los colores primarios RGB, utiliza un método de integración que, aunque de menos calidad, permite la utilización de un único flujo de vídeo, es decir, sólo un cable físico, y por ello a esta señal se le llama de vídeo compuesto.

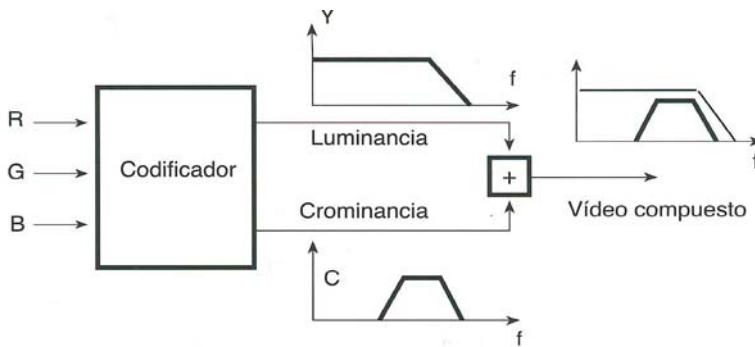
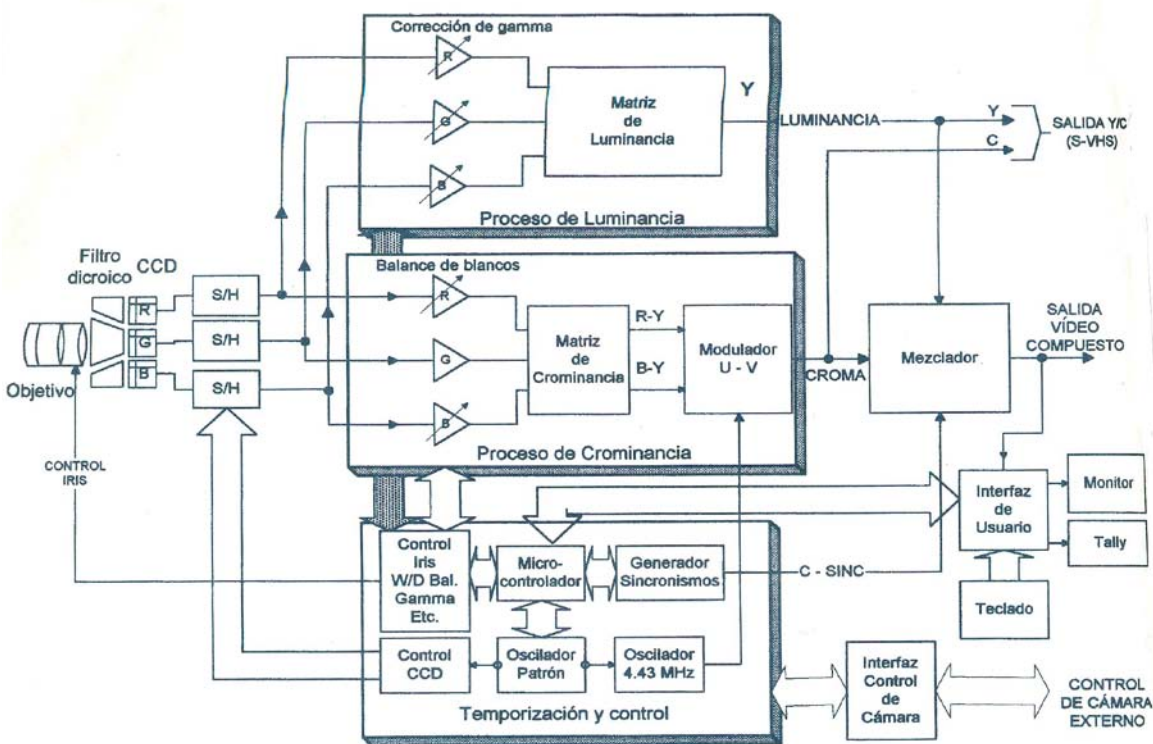


Ilustración 18. Bloque conversor de cámara y sistema genérico de vídeo compuesto (E. Félix)

Este tipo de señal es la que se ha utilizado para transmitir imágenes en color a distancia, es decir, la que ha permitido la televisión en color. La señal que vemos en el gráfico anterior con modulación U-V corresponde a la señal con codificación en el sistema PAL que, como veremos un poco más abajo, es sólo uno de los sistemas de televisión en color utilizados, pero hay otros como NTSC o SECAM, aunque todos entrarán en desuso en breve tiempo debido a la implantación de la Televisión Digital, de la que nos ocuparemos en el último capítulo.

1.3. Sistemas de televisión analógica.

Codificación PAL

Un sistema cualquiera de televisión consiste, de manera muy esquemática, en la captación de imágenes y sonidos y su transmisión a distancia para poder ser reproducidos en un receptor.

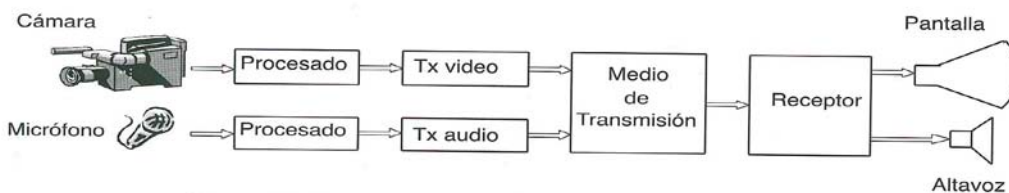


Ilustración 19. Sistema básico de televisión (Pérez y Zamanillo)

Ahora bien, este modelo simple puede ofrecer dificultades importantes para su ejecución práctica, tanto en la construcción de los equipos de captación y recepción como en función de las características del medio de transmisión utilizado, tradicionalmente y hasta fechas muy recientes, las ondas electromagnéticas, también llamadas en el ámbito de la tecnología de televisión ondas hertzianas, que se transmiten de manera similar a las ondas radiofónicas y sobre cuyas infraestructuras y sistema empresarial se diseñaron inicialmente las redes de televisión de la mayoría de los países, con la excepción de la utilización temprana en algunos lugares, como en los países bajos, de las infraestructuras de cable.

El problema principal con que se contaba al desarrollar los sistemas de televisión en blanco y negro era la dificultad de alcanzar niveles de calidad óptimos debido a los problemas de ingeniería en la construcción de equipos de captación que, como hemos visto, se solventaron enormemente cuando hablábamos más arriba del desarrollo de los sistemas de TRC, y también debido a las dificultades para la transmisión de la gran cantidad de información que se generaba utilizando medios con ancho de banda limitado.

La primera solución que se adoptó, ya con la televisión en blanco y negro, consistió en realizar la exploración de la imagen en dos fases; es decir, en lugar de analizar la imagen de manera continua línea a línea, se exploraba y transmitía de forma entrelazada, primero las líneas impares y después, las pares. De esta manera, cada imagen estaba formada, y lo está en los sistemas actuales, por dos campos, par e impar, que, transmitidos de manera sucesiva, son percibidos como una única imagen, debido precisamente al mecanismo psicológico del que ya hablamos, el efecto *phi*. Así, la televisión transmite 50 campos por segundo para formar 25 imágenes.

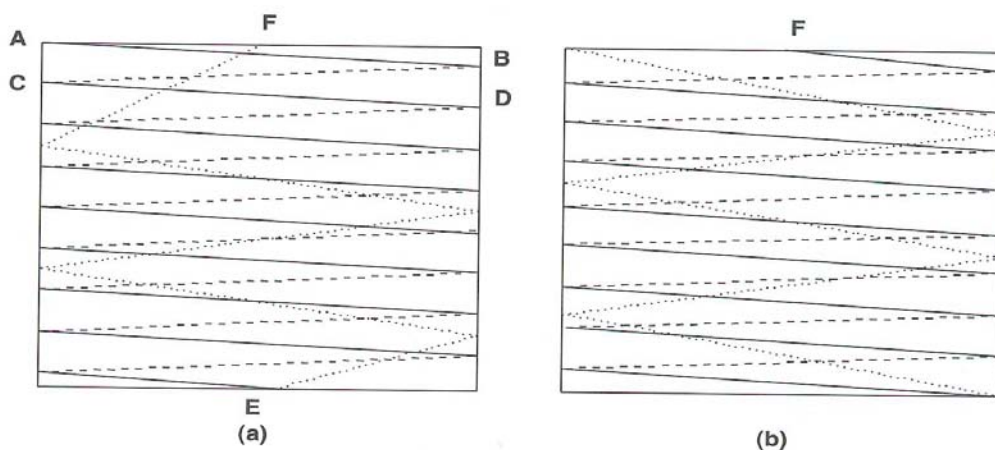


Ilustración 20. Barrido entrelazado en dos campos (White)

Pero si la transmisión de televisión en blanco y negro ya presentaba dificultades importantes, la implantación de sistemas de color multiplicaba los retos y condicionantes, uno de los más importantes era que su popularización no debía suponer un cambio traumático en los sistemas ya existentes para facilitar que los receptores ya instalados pudieran continuar recibiendo señal en blanco y negro y la transición a la nueva tecnología fuera gradual, al contrario que ha ocurrido con la actual transición digital que hace necesaria la renovación de todo el parque de equipamientos en los hogares.

De esta manera, al desarrollar la televisión en color sobre el sistema preexistente de televisión en blanco y negro se contaba con varios condicionantes: la señal debía estar modulada de manera distinta a la principal, es decir a la de blanco y negro o luminancia, y separada de ella para evitar interferencias; debía ocupar, además, el menor espectro o ancho de banda posible para poder ser transmitida; y tendría que transmitirse junto con el resto de señales, para lo cual necesitaría una subportadora que permitiese codificarla de manera individual. Era necesario además contar con sistemas precisos de sincronización para evitar errores durante la captura de imágenes y la recepción.

Todos los sistemas de televisión en color se diseñaron, además, a partir de dos premisas: la primera de ellas era que había que tomar como referencia la señal de luminancia (Y), lo cual los hacía compatibles con los sistemas de blanco y negro, y que ésta debía ser la suma de las señales de color en una proporción similar a la forma en que se perciben los colores por el ojo humano, determinando que la fórmula sería $Y = 0,59 G + 0,3 R + 0,11 B$; la segunda de ellas era que todos los sistemas transmitirían una señal de luminancia (Y) y dos señales diferencia de color ($R-Y$ y $B-Y$) por el mismo canal, lo cual permitía utilizar una señal compuesta de flujo continuo y disponer de la señal de cada uno de los componentes de color a partir de su codificación mediante la fórmula relativa a su percepción indicada.

Como resultado de todo ello, se diseñaron tres sistemas diferentes de televisión que, aunque basados en los mismos condicionantes y premisas básicas, funcionaban con tecnologías ligeramente diferentes, determinadas por criterios de calidad pero, también, por las características propias de las infraestructuras y sistemas preexistentes en los países donde se desarrollaron y como resultado de las disputas y estrategias geopolíticas de la época en el ámbito tecno-industrial.

De este modo, en Estados Unidos se desarrolló el sistema NTSC (National Television System Committee) con 525 líneas de resolución y que funcionaba con una cadencia de 30 imágenes por segundo, de manera adecuada a la frecuencia de la red eléctrica del país, que es de 60 hz, y se expandió por algunos países latinoamericanos y en el ámbito anglosajón. Posteriormente en Europa, en 1963 y concretamente en Alemania y en el seno de la empresa Telefunken, se desarrolló el sistema PAL (Phase Alternative Line), con 625 líneas de resolución y una cadencia de 25 imágenes por segundo, y que mejoraba notablemente las distorsiones en el color del sistema americano al introducir 90° de desfase en la señal de cada línea y evitando así las intermodulaciones, y se extendió por Europa, África y, en general, por las zonas históricas de influencia colonial de los países europeos. Excepto en Francia, el Magreb y el resto de los territorios francófonos, en las que se implantó un sistema propio denominado SECAM (Sequence a Memorie), que utilizaba una memoria intermedia para recomponer en la recepción la imagen a partir de los dos cuadros par e impar. De un modo u otro, y con cualquiera de los tres sistemas, la televisión en color se pudo hacer realidad desde la década de los años 50 en adelante y se expandió en toda su extensión como tecnología dominante a nivel mundial hacia los años 60-70, dejando atrás con rapidez la época del blanco y negro, que pronto se tornó, en una tecnología arcaica y obsoleta, a pesar de que los nuevos sistemas estaban diseñados sobre ella y con sus condicionantes.

El sistema PAL, presente en nuestro país, proporciona una imagen determinada por las siguientes características: se trata de una imagen entrelazada en la que cada cuadro contiene dos campos, par e impar, y se recibe con una cadencia de 25 imágenes por segundo, conteniendo cada campo 312,5 líneas y la imagen o cuadro 625 en total, con lo que cada línea requiere $64 \mu\text{s}$ (microsegundos) para completarse; cada vez que se debe comenzar a leer el siguiente campo desde la primera línea correspondiente se introducen impulsos de sincronización vertical; de las 625 líneas hay 34 en total, 17 por campo, sin información de imagen, que

primero se utilizaban para ecualizar y estabilizar eléctricamente el sistema y, con las mejoras en la precisión de los equipamientos, se derivó su uso a introducir información textual adicional que se codifica y decodifica con un módulo específico y nos permite disponer del teletexto. Todo ello modulado en una señal eléctrica de 1 voltio.

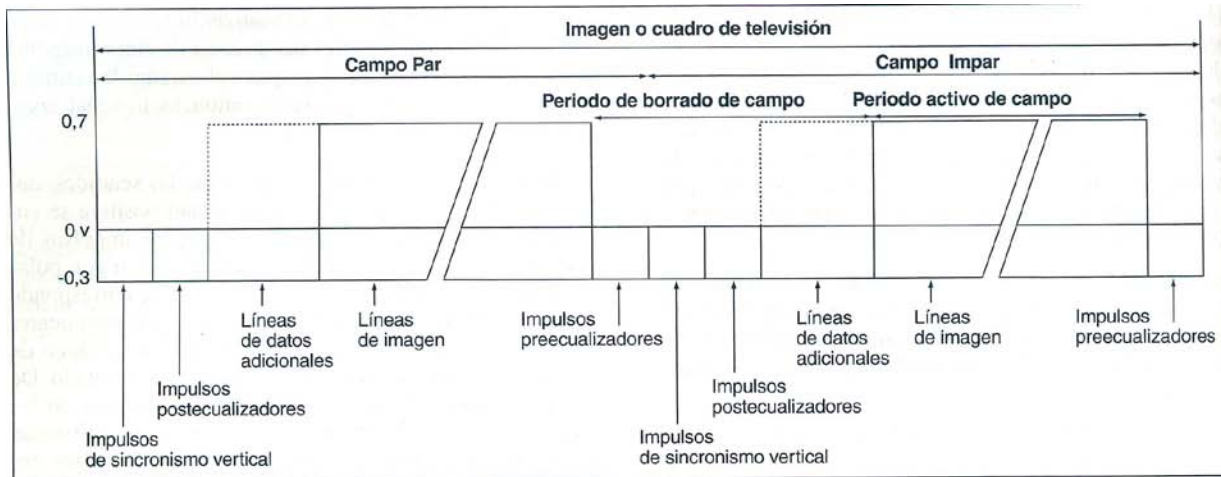
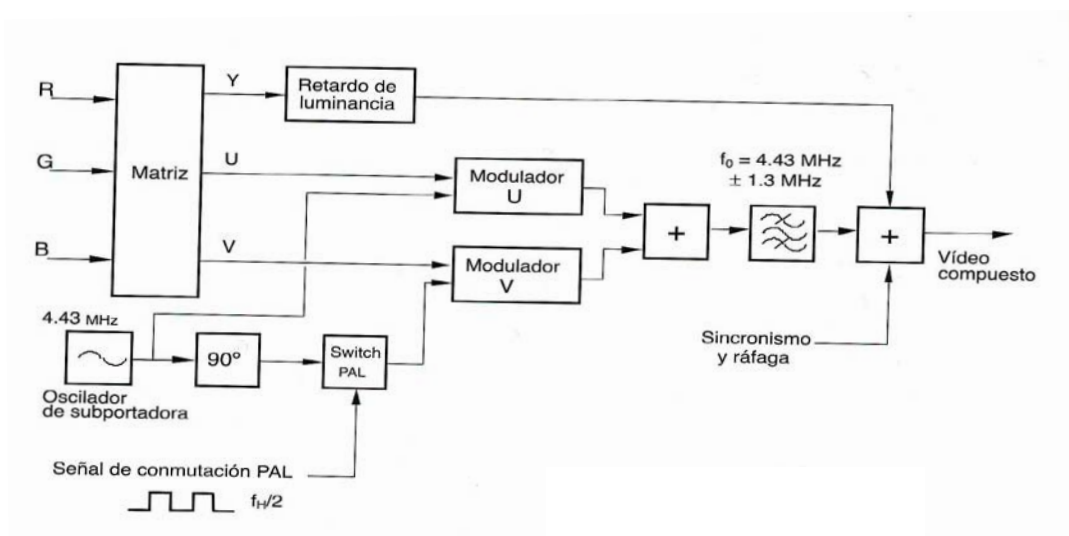


Ilustración 21. Estructura de la imagen de televisión PAL

La codificación de la señal en el sistema PAL se realiza modulando en amplitud la información de color, utilizando una subportadora para cada señal de diferencia de color (R-y o B-y) que funcionan a 4,43 Mhz y desfasadas 90°, de manera que en una línea se introduce una señal de luminancia y una de color, y en la siguiente la señal de luminancia y la otra señal de color, es decir, el color percibido es el fruto de dos líneas consecutivas y; de este modo, si se producen errores durante la transmisión, ambas señales se distorsionan y compensan.



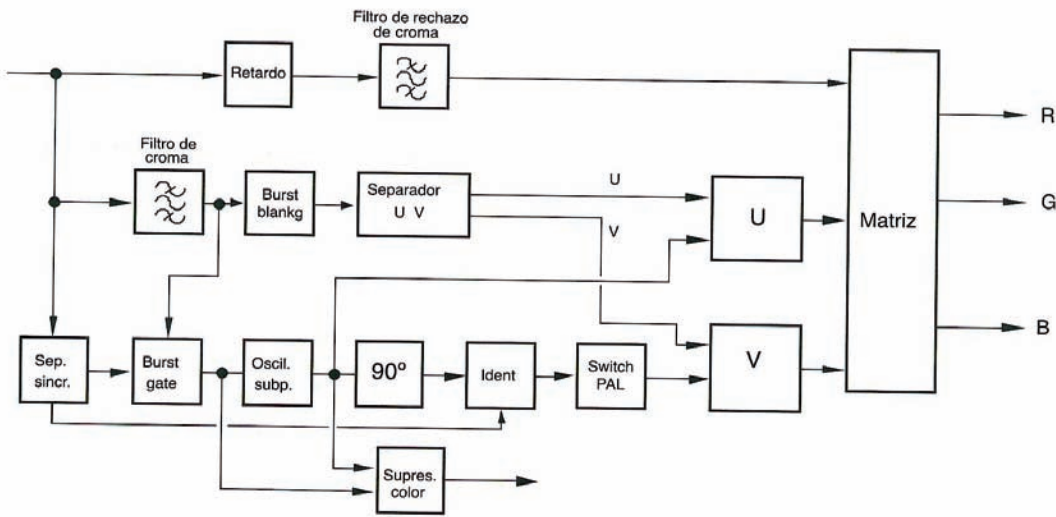


Ilustración 22. Codificación y decodificación sistema PAL (Pérez y Zamanillo)

Las señales se definen vectorialmente como u y v , de manera que la amplitud del vector define su intensidad y, su ángulo, el color al que corresponde y, naturalmente, cada uno de los colores está definido por un valor determinado, tal como podemos ver en el esquema siguiente, correspondiente a la imagen de barras de color que comúnmente utilizamos para calibrar los equipos de captación y reproducción.

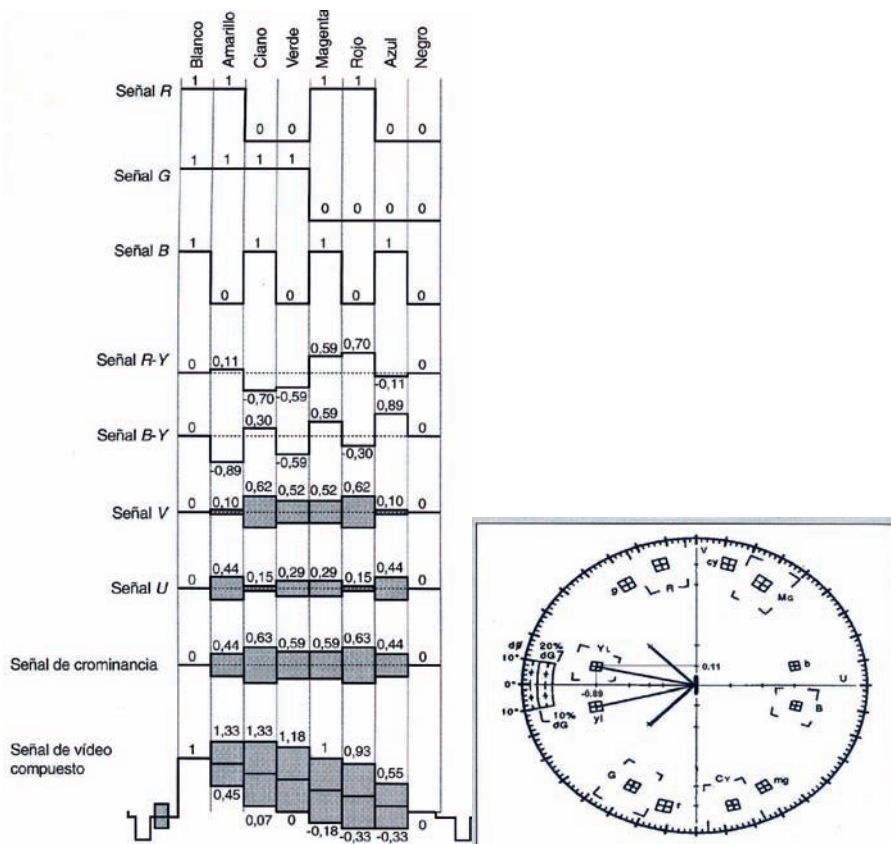
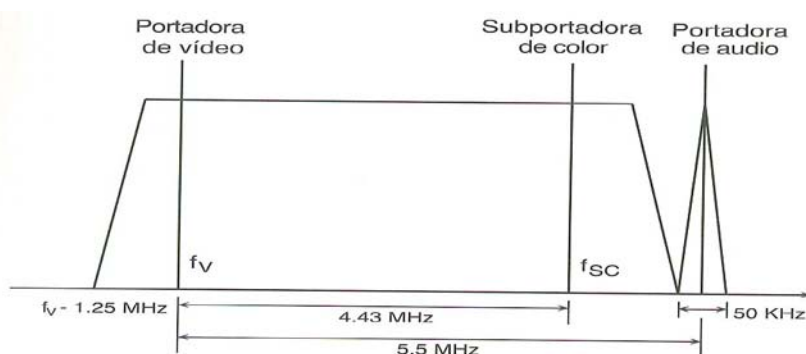
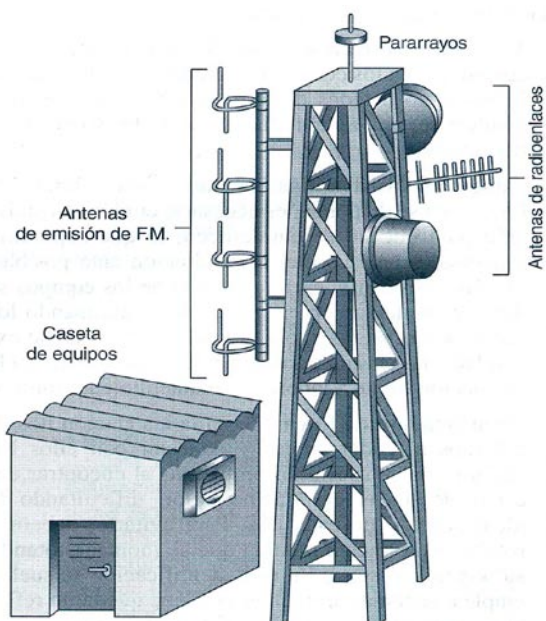
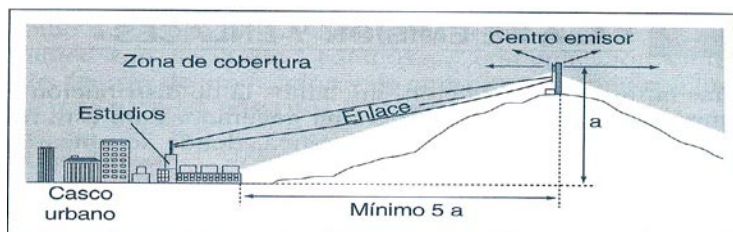


Ilustración 23. Valores de señales de barra de color y vector correspondiente al amarillo (E. Félix)

De esta manera, la captura y codificación de imágenes en color es ya apta para su transmisión y recepción, aunque para ello es necesario desplegar una red de emisores que permitan llevar la señal desde los centros de producción hasta los usuarios finales, los televidentes, utilizando para ello un sistema de transporte de la señal que permita hacerlo posible y reservar una parte del espectro radioeléctrico para cada emisión televisiva, para cada canal.



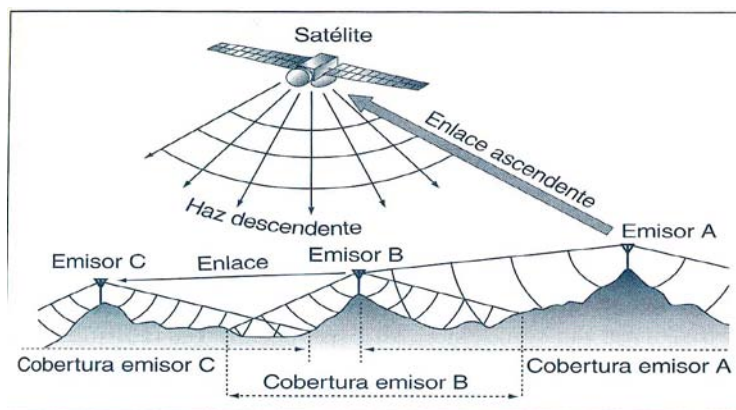
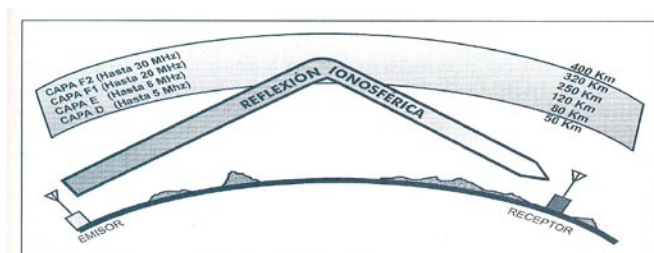
Notas: La configuración de la figura corresponde a sistemas de 625 líneas. En los sistemas de 525 líneas la separación entre la portadora de vídeo y la subportadora de color es de 3.58 MHz y entre las portadoras de vídeo y audio de 4.5 MHz. El ancho de banda del canal es de 6 MHz para los sistemas de 525 líneas y de 7 u 8 MHz (según el estándar) para los sistemas de 625 líneas.

Banda	Canales	Rango de frecuencias
I (VHF)	2 - 4	47 - 68 MHz
III (VHF)	5 - 12	175 - 230 MHz
IV (UHF)	21 - 37	478 - 606 MHz
V (UHF)	38 - 69	606 - 862 MHz

Tabla 1.1.

Ilustración 24. Ancho de banda de la señal PAL y canales emisión TV. (Pérez y Zamanillo)

Las redes de transmisión pueden ser de distintos tipos y utilizar unas infraestructuras de cable o telefonía, aunque lo más mayoritario, por el momento, es la transmisión por ondas electromagnéticas bien por propagación directa o por reflexión ionosférica, o utilizando las amplias coberturas a que dan acceso los satélites geostacionarios.



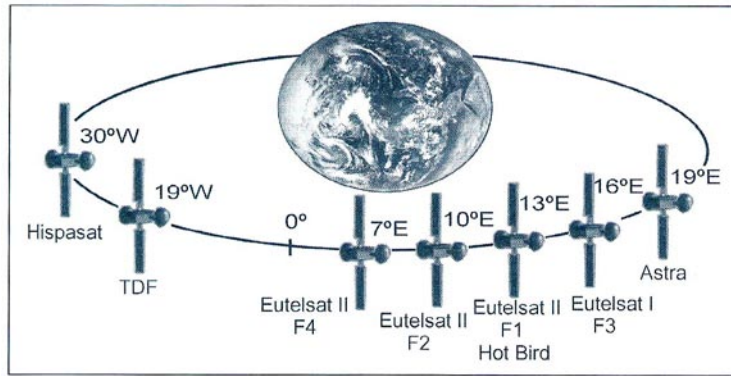


Ilustración 25. Sistemas de distribución de TV por ondas (E. Félix)

1.4. La señal digital de vídeo.

Sensores MOS y CCD

Los últimos desarrollos tecnológicos que se están implantando en las tecnologías de captación de imágenes en movimiento vienen determinados por los sistemas de registro y tratamiento digital, que veremos en el siguiente capítulo, y por los nuevos avances en los sistemas de captura que han sustituido en los últimos 20 años a las poco prácticas cámaras basadas en tubos de rayos catódicos, los sensores MOS.

Como ya vimos, en los orígenes de la televisión ya se empezó a experimentar con sistemas de imagen construidos a partir de matrices de células fotosensibles, aunque sólo a partir del último tercio del siglo XX se dieron las condiciones tecnológicas adecuadas para poder comenzar a desarrollar sistemas de estas características, principalmente debido a los avances en microelectrónica con la progresiva integración de circuitos en microchips y el dominio de nuevos materiales semiconductores que lo hacían posible.

De este modo, se pudo empezar a reducir el tamaño y el peso de los equipos de captación de imágenes sustituyendo los tubos por sensores fotosensibles y los engorrosos circuitos eléctricos por microcircuitos electrónicos que permiten el análisis y tratamiento de la información que registran.

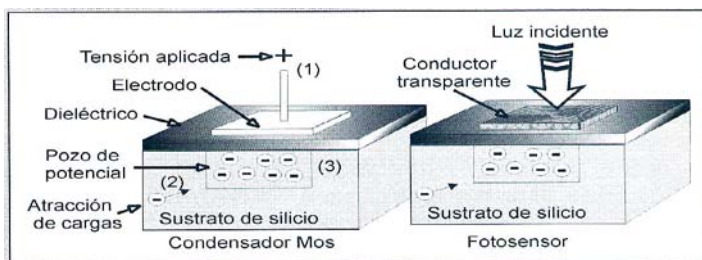


Ilustración 26. Condensador MOS (E. Félix)

Los sensores actuales están basados en un condensador tipo MOS (Metal-Oxid Semiconductor) de silicio dopado que dispone de un pozo de potencial cuya carga eléctrica depende de la intensidad de la energía luminosa que recibe. Las cargas se pueden transferir a células adyacentes utilizando variaciones de potencial eléctrico, y en este caso los sensores se denominan CCD (Charge Coupled Device).

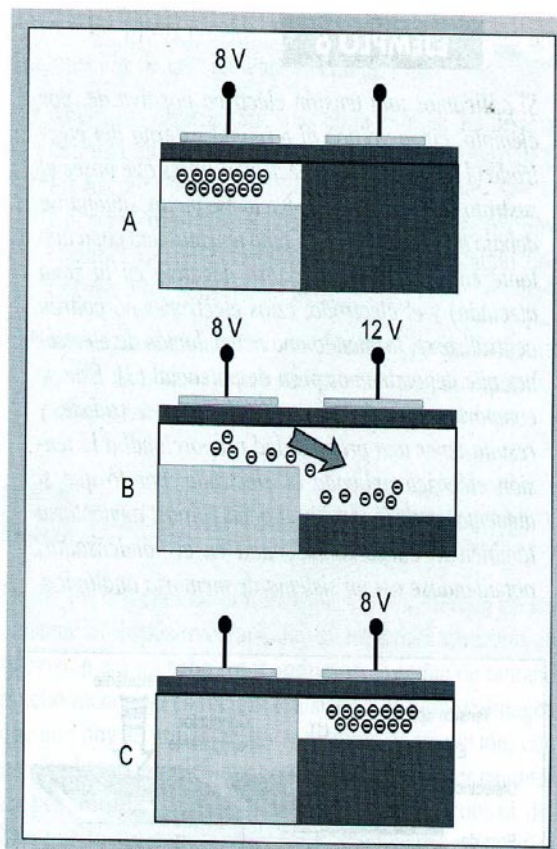
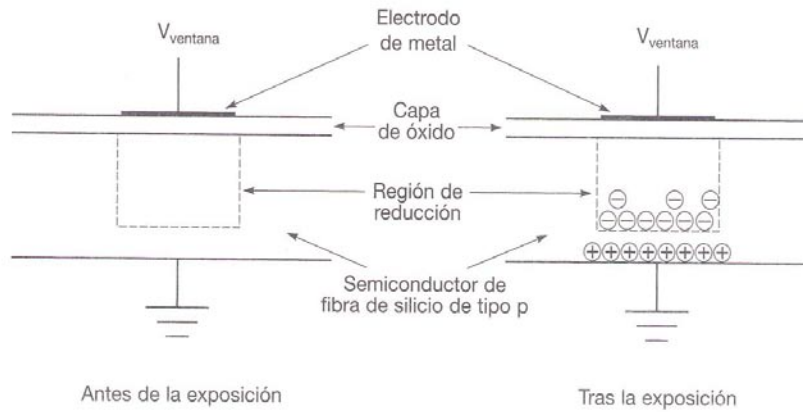


Ilustración 27. Funcionamiento sensor MOS y transferencia cargas en CCD (E. Félix)

Multitud de estos fotosensores dispuestos en una matriz permiten el análisis de la imagen punto a punto una vez establecido un sistema de lectura de la información de salida que permita obtener un flujo secuencial de valores eléctricos de intensidad variable en función de la luminosidad recibida por cada célula fotosensible, como por ejemplo el mostrado a continuación denominado FT o de transferencia de cuadro, que reserva un área de almacenamiento para proceder a la lectura ordenada de los datos registrados dejando libre la superficie sensible para seguir capturando imágenes. El ritmo con que se realice esta operación de transferencia de cargas y su lectura determinará la cadencia en el registro de imágenes que, tal como ocurría con los sistemas estudiados, es comúnmente de 25 imágenes por segundo.

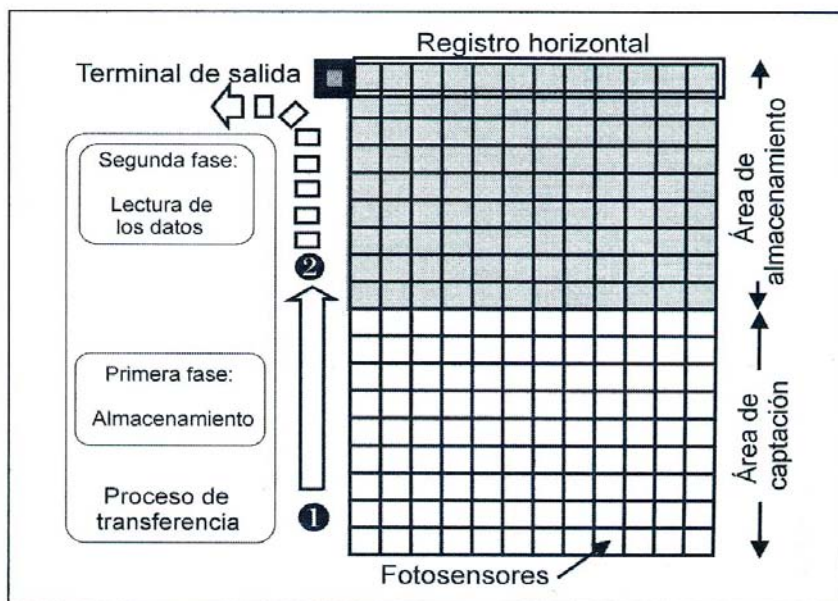


Ilustración 28. Matriz fotosensible tipo FT (Frame Transfer)

De este modo, debemos distinguir, en primer lugar, entre la superficie real de la matriz y la superficie que es efectivamente fotosensible, lo que se viene denominando relación de apertura y se ha de tener en cuenta, además, que existen ciertas limitaciones en la capacidad de almacenamiento de cargas en función de las características de la imagen captada y las propias del pozo de electrones disponible en la célula fotosensible que pueden provocar problemas de desbordamiento y, como consecuencia, distorsión de la imagen captada. Además de ello, el silicio dopado no deja penetrar por igual todas las longitudes de onda y algunas lo hacen con mayor profundidad, lo que provoca serios problemas de diseño, e importantes diferencias en la calidad de la imagen obtenida en función de la calidad de los materiales empleados y los procesos de fabricación, dando como resultado distintas gamas de equipos disponibles para el consumidor final en función de su coste y calidad.

La tendencia actual consiste en integrar en los sistemas de captación de imágenes sensores tipo CMOS (Complementary Metal-Oxid Semiconductor), que funcionan de manera similar a los sensores CCD, es decir, se trata de condensadores acoplados pero, a diferencia de estos, la transferencia de carga no se hace de manera secuencial sino que cada célula tiene su propio transistor que detecta y almacena la carga pudiendo además amplificarla y tratarla de manera individualizada, permitiendo así realizar operaciones sobre conjuntos de células o ventanas de interés. De este modo, los sensores CMOS ofrecen evidentes ventajas, tales como mayor integración de funciones (balance de blancos, nivel y velocidad exposición, autofocus, etc.) que pueden ser controladas electrónicamente en el propio momento de la captura en el sensor, y otras ventajas de no menor importancia como la reducción de tamaño, de consumo y de precio y la posibilidad de comercialización de cámaras más compactas. Los últimos desarrollos vienen determinados por la adecuación de los sensores para su uso en los equipos de cinematografía digital de alta definición, aumentando sobremanera su resolución y, a veces, disponiendo células con forma ortogonal para aumentar su sensibilidad, y adoptando matrices con dimensiones de 24x36 mm para mayor facilidad de integración en la industria del cine al adecuarse al formato cinematográfico de 35 mm y así poder utilizar las ópticas y accesorios ya existentes en el mercado.

Una vez enviada la información en un flujo eléctrico continuo de valores correspondientes a la lectura de cada línea de células hasta completar la imagen registrada en la matriz, se realiza el proceso de digitalización de la señal habitual en cualquier sistema de conversión analógico-digital (para profundizar en ello se puede consultar el material docente de la asignatura Tecnología de los medios audiovisuales I), dando como resultado una señal codificada apta para su tratamiento con sistemas digitales de vídeo.

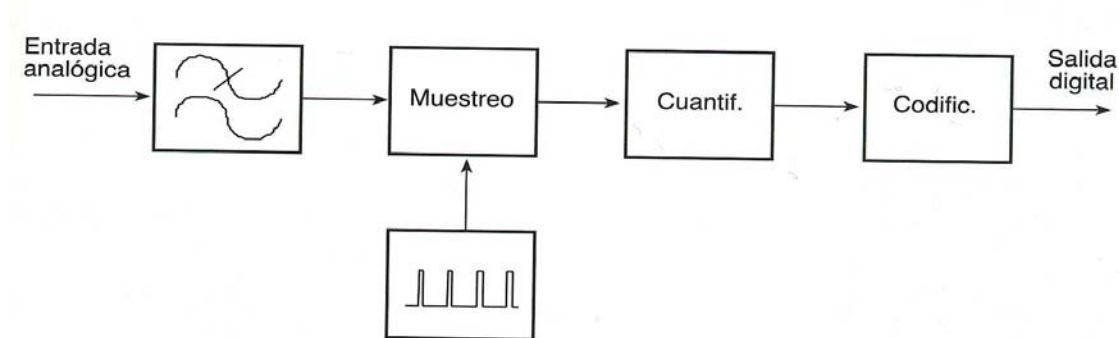


Ilustración 29. Esquema básico de conversión A/D (Pérez y Zamanillo)

TEMA 2

Procesado y grabación de señales digitales de vídeo

RESUMEN

En este segundo tema del programa se analizan con detalle los fundamentos y características de las tecnologías digitales, con el objetivo de valorar las mejoras que se introducen respecto a los sistemas analógicos y conocer las posibilidades tecnológicas y sistemas de equipamientos de uso profesional en el sector audiovisual.

En primer lugar, se hace un recorrido por los distintos sistemas y formatos de vídeo digital existentes en el mercado, estudiando las características de las normas más comunes para, posteriormente, detenernos en el análisis de la variedad de soportes y tecnologías de almacenamiento existentes para pasar, después, a analizar las mejoras y las facilidades de tratamiento de la imagen que permiten los entornos digitales que se comercializan en la actualidad. Finalmente, se estudian las características de las tecnologías y los sistemas de proyección disponibles en el mercado, tanto domésticos como destinados al sector profesional y a la proyección en grandes salas.

2.1. Formatos y sistemas de vídeo digital

El proceso de digitalización, tal como hemos visto, es el resultado de varios procesos o fases sucesivas que, de manera esquemática, denominamos muestreo, cuantificación y codificación, obteniendo como resultado una imagen en forma de señal digital de vídeo con la información que se obtuvo de la señal analógica captada por los sensores fotosensibles, cuya calidad final está determinada por las operaciones realizadas en cada una de las fases del proceso de conversión A/D, analógico/digital.

La frecuencia de muestreo de la señal analógica debe al menos cumplir la condición de Nyquist, es decir, debe ser como mínimo el doble de la frecuencia de la señal original, y a medida que se utilice una frecuencia mayor para analizar la imagen, obviamente, se obtendrán más muestras de la misma y, por tanto, los datos resultantes representarán con mayor precisión la señal original.

En la fase de cuantificación, por su parte, la mayor o menor profundidad de bits para representar digitalmente, generalmente en código binario, los valores de cada una de las muestras determina igualmente la precisión y fidelidad de la señal resultante respecto a la original, es decir, una cuantificación con 8 bits, que permite representar un rango de 255 valores, es menos precisa que una cuantificación de, por ejemplo, 10 bits, con la que se puede abarcar un rango de 1.024 valores distintos, esto es, permite distinguir hasta 1.024 muestras, en lugar de 255.

Finalmente, en la fase de codificación de la señal se realiza la ordenación de los datos en función del formato de vídeo digital que se quiere obtener como resultado y se aplican algoritmos de compresión que pueden producir pérdidas de información o no pero que, en todo caso, reducen el flujo final de datos de la señal para hacerla manejable por los sistemas de tratamiento digital, de manera que en esta fase, al igual que en las anteriores, la calidad de la señal está determinada por el tipo de algoritmo aplicado.

Además de todo ello, en la mayoría de sistemas de vídeo digital se ha adoptado por convención que la señal de color sea de tipo Y/C, es decir, contenga de forma separada los componentes de luminancia (Y) y crominancia (C), llamados estos últimos en el entorno digital C_r , equivalente a $R-Y$ (rojo) y C_b , equivalente a $B-Y$ (azul). Y se ha establecido igualmente como norma una frecuencia de muestreo óptima de 13,5 Mhz para la luminancia y 6,75 Mhz para la crominancia, con el objetivo de facilitar la ingeniería electrónica de los equipos audiovisuales utilizando para ello frecuencias de muestreo múltiplos de 2,25 Mhz, valor válido tanto para los sistemas de 625 líneas como para los de 525 líneas, es decir, para los sistemas PAL y NTSC, ya que la luminancia en los sistemas profesionales necesita un ancho de banda mínimo de 6 Mhz, y el color de sólo 1,3 Mhz, con lo que para cumplir esos condicionantes de estandarización y la condición de Nyquist 13,5 Mhz y 6,75 Mhz son los valores adecuados, ambas señales con una profundidad mínima durante la

cuantificación de 8 bits, suficientes para representar de manera adecuada la información.

2.1.1. Normas DVB y CCIR. Compresión de vídeo

Con todas estas premisas se empezaron a desarrollar los primeros sistemas de vídeo digital hacia finales de la década de 1980, y unos pocos años después comenzó su comercialización de la mano de Sony y su Betacam Digital, que pretendía sustituir al muy extendido y solvente formato Betacam SP, que era analógico, iniciando así una transición digital, ya prácticamente concluída, que ha sido imparable desde entonces y, aunque todavía conviven sistemas analógicos y digitales, ha transformado radicalmente el sector audiovisual durante los últimos años.

Los primeros formatos digitales se impulsaron desde el seno de la Digital Video Broadcasting, DVB, una organización en la que participan las mayores industrias del sector y otros agentes y organizaciones con intereses diversos en el ámbito audiovisual entre cuyos objetivos se encuentra el desarrollo de formatos de vídeo digital óptimos para su comercialización e implantación como estándares del mercado que, tal como vemos en el siguiente gráfico, ha dado como resultado la normalización de diversos formatos digitales, o formatos D, con características específicas para cada tipo de aplicación y que, después, se han podido utilizar para desarrollar sistemas comerciales como DV o DVCPRO por empresas como Sony o Panasonic, permitiendo que terceros, con las pertinentes licencias, puedan incluir tales especificaciones en el diseño de sus equipamientos audiovisuales y facilitar así la interconexión y la normalización de los sistemas independientemente de las patentes de la marca que los comercializa.

Formato	Submuestreo	Bits/píxel	Compresión	Mb/s
D-1	4:2:2	8	1:1	172
D-2	Compuesto	8	1:1	94
D-3	Compuesto	8	1:1	94
D-5	4:2:2	8 o 10	1:1	220
D-7, DV, DVCAM, DVCPRO	4:1:1 ó 4:2:0	8	Intra 5:1	25
D-9, Digital-S, DVCPRO50	4:2:2	8	Intra 3,3:1	50
Digital Betacam (Sony)	4:2:2	8/10	Intra 2,3:1	95

Ilustración 1. Formatos de vídeo DVB

De manera similar ha ocurrido en relación a los sistemas de compresión, en este caso agrupando en el seno de la Motion Picture Expert Group, MPEG, a la industria y organizaciones con intereses en el sector audiovisual con el fin de mejorar la calidad de los algoritmos de compresión, desarrollando diversas normas, en función de las características y el uso a que se destinen las imágenes.

De este modo, el algoritmo de compresión MPEG-1 está orientado a las imágenes para el mercado de usuarios no muy exigentes, y precisa gran capacidad de almacenamiento, con lo cual se pueden utilizar soportes CD-ROM y usarlo en aplicaciones como enseñanza, empresariales y similares, y de este formato ha derivado la aplicación específica para compresión de audio conocida como MP3, cuya nomenclatura da lugar a confusión pero que es resultado del algoritmo MPEG-1-Layer 3.

El sistema de compresión MPEG-2, en cambio, está orientado a aplicaciones profesionales y a teledifusión, pues proporciona una alta calidad que permite incluso difusión en HDTV, es decir, en alta definición, y es mucho más sofisticado y eficiente, y además permite un flujo de datos variable en función del uso específico a que se destine, entre 4 y 100 Mb/sg, frente a los sólo 1,5 Mb/sg que proporciona el sistema MPEG-1.

Se han desarrollado algunos otros sistemas en el seno de este grupo de expertos, como el MPEG-3, inicialmente pensado para HDTV pero que fue abandonado, y el MPEG-4, algoritmo destinado a la codificación de objetos audiovisuales y orientado a la transmisión de vídeo por Internet a baja velocidad, en el rango de 28,8 a 500 Kb/sg, y que ha tenido enorme éxito dando como resultado los conocidos sistemas DivX y Xvid. Hay una última norma de interés, aunque no contiene algoritmo de compresión alguno, desarrollada por el grupo MPEG, el denominado MPEG-7, que está destinado a la descripción de contenidos audiovisuales para facilitar la indexación en bases de datos y las búsquedas documentales con el fin de hacer posible la interpretación semántica de la información audiovisual, ámbito en el que en los últimos años se está produciendo un impulso importante, y necesario, que está dando lugar a diversos formatos de archivos contenedores de datos que puedan facilitar la catalogación y el intercambio de información de carácter audiovisual.

Además de los formatos MPEG, hay varios sistemas de compresión, como por ejemplo el H.263 y otros, que se están imponiendo con fuerza en el mercado debido a su efectividad para el tratamiento y transferencia de los datos en Internet con aumentos muy perceptibles de calidad respecto a otros algoritmos existentes. Igualmente, como vemos a continuación, hay diversas normas destinadas específicamente a la compresión de audio, como PCM o MPEG-2 AAC, destinado este último a los sistemas de audio de alta fidelidad, y utilizado como MPEG-2 para aplicaciones profesionales y, también, para la Televisión Digital, los soportes DVD y Blue-Ray y la TVHD.

Estándar/Formato	Ancho de banda típico	Ratio de compresión
CCIR 601 (D1)	172 Mb/s	1:1 (Referencia)
M-JPEG	10-20 Mb/s	7-27:1
H.261	64 Kb/s – 2000 Kb/s	24:1
H.263	28,8-768 Kb/s	50:1
MPEG-1	0,4-2,0 Mb/s	100:1
MPEG-2	1,5-60 Mb/s	30-100:1
MPEG-4	28,8-500 Kb/s	100-200:1

Formato	Frec. Muestreo (KHz)	Canales	Caudal por canal (Kb/s)	Uso
PCM (G.711)	8	1	64	Telefonía
CD-DA / DAT	44,1:48	2	705,6:768	Audio Hi-Fi
MPEG-1 Layer I	32:44,1:48	2	192-256 variable	
MPEG-1 Layer II	32:44,1:48	2	96-128 variable	
MPEG-1 Layer III (MP3)	32:44,1:48	2	64 variable	Hi-Fi Internet
MPEG-2 AAC	32:44,1:48	5.1	32-44 variable	Hi-Fi Internet

Ilustración 2. Formatos compresión vídeo y audio

Las estrategias y algoritmos de compresión de vídeo pueden ser diversas y más o menos efectivas. En el sistema de compresión MPEG, por ejemplo, se realizan dos tipos de compresión, intracadro e intercadro, es decir, en cada imagen se intenta eliminar información redundante, de manera similar a la compresión fotográfica de los archivos JPEG (llamados así por haber sido definidos en el seno de la Joint Picture Expert Group, una entidad similar homóloga, aunque anterior, a la creada para las imágenes en movimiento MPEG), y también se realiza compresión espacial entre imágenes sucesivas.

Para maximizar la calidad reduciendo en todo lo posible la cantidad de datos, el sistema MPEG-2 divide la imagen en bloques de 8 píxeles, antes de aplicar el algoritmo de compresión denominado DCT, basado en la Transformada Discreta del Coseno, que asigna un coeficiente a cada punto de imagen en función de su variación dentro de cada bloque de 8 puntos o píxeles. La eficacia del algoritmo está fundamentada en la constatación estadística de que muchos puntos cercanos de una imagen contienen información parecida lo cual permite, al inicio del análisis, definir los valores reales y, posteriormente, asignar valores a los siguientes en relación a ellos, sabiendo que muchos coeficientes tomarán valor 0 porque no habrá variación alguna con el anterior. De este modo, el primer dígito de cada par resultante del análisis DCT indica cuántos valores 0 aparecen de manera consecutiva, y el segundo dígito el valor del siguiente distinto de 0. Una vez leídos los datos y constituido el flujo de coeficientes se le aplica una nueva codificación para eliminar información redundante, operación que se realiza bloque a bloque de

8 x 8 muestras hasta completar todos los puntos, todos píxeles (término abreviado de picture elements y de uso común) o elementos de la imagen, operación más o menos costosa en función de su resolución total y complejidad de contenido.

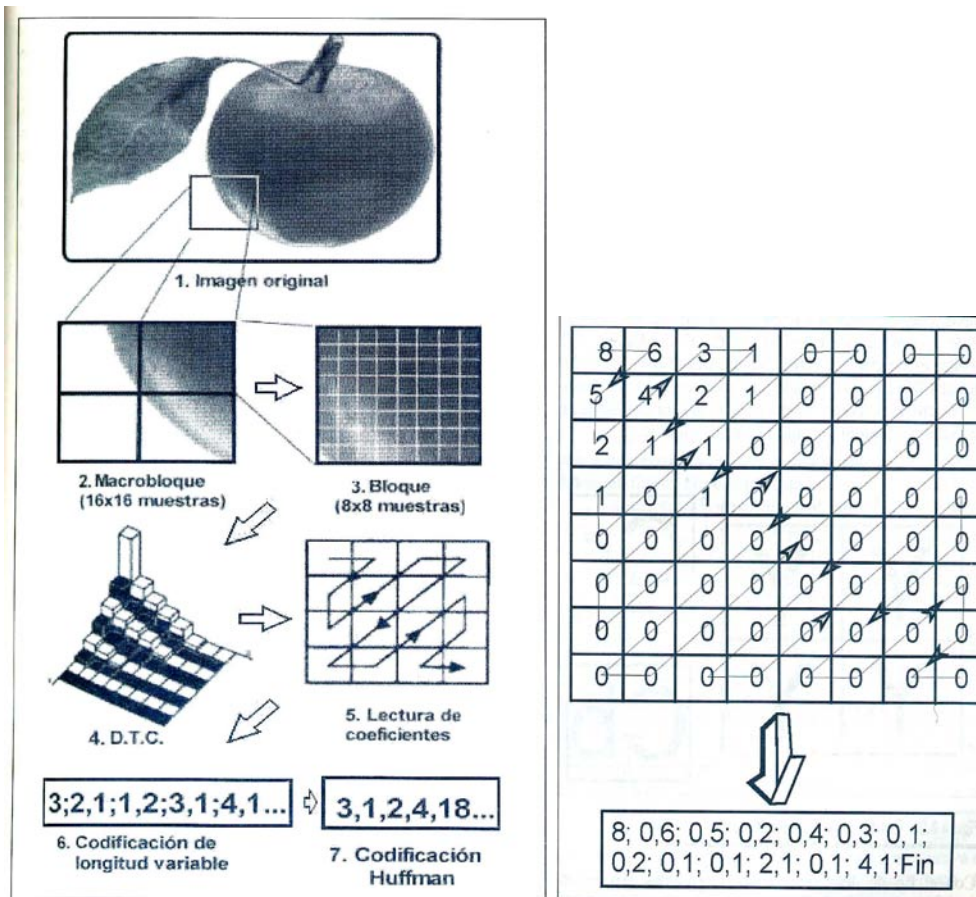


Ilustración 3. Análisis DCT de bloques y lectura de coeficientes (Pérez y Zamanillo)

En el sistema MPEG-2, para completar su eficiencia, se aplica también compresión espacial, para lo cual, se definen varios tipos de fotogramas denominados I, B y P, es decir, imágenes Índice, a las que se practica compresión intracadro DCT tal como venimos contando; imágenes Predictivas, que se refieren a imágenes I o P anteriores y sólo contienen la información de los cambios producidos respecto a aquellas en forma vectorial; y entre las imágenes I y P se encuentran otras con referencia Bidireccional en las que se aplica la máxima compresión al estar referidas tanto a la imagen I o P anterior como a la posterior. La mayor o menor compresión de las imágenes I y P y, sobre todo, la mayor o menor presencia de imágenes B, determinan la complejidad de cálculo que debe hacerse y la suavidad de la transición entre las sucesivas imágenes, aspecto perceptible sobre todo cuando se producen movimientos en la escena, lo cual hace necesario, si se quieren registrar con calidad, el aumento de las imágenes B para que no se perciban desagradables saltos y bandas de píxeles entre imágenes. A cada grupo de imágenes IBP se le denomina GOP, y el flujo sucesivo de datos se estructura de manera jerárquica, desde los

bloques más pequeños a que se aplica compresión DCT hasta la constitución de secuencias formadas por sucesivos GOP que, a su vez, están constituidos por imágenes tipo I, B o P divididas en macrobloques que contienen aquellos más pequeños.

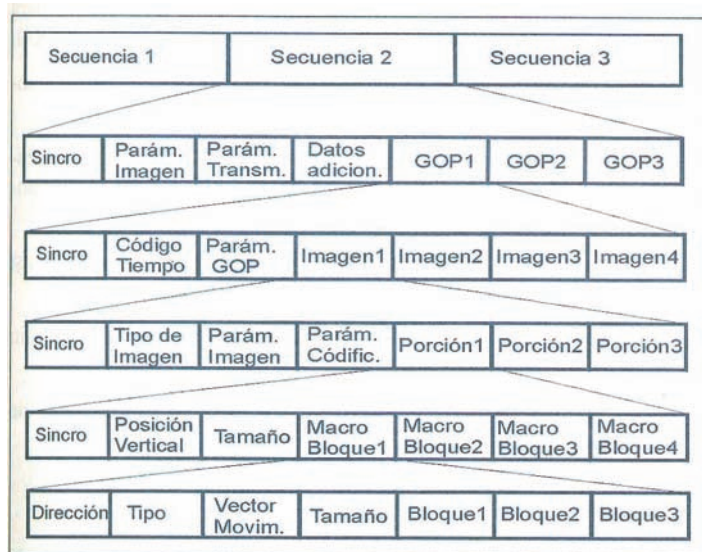
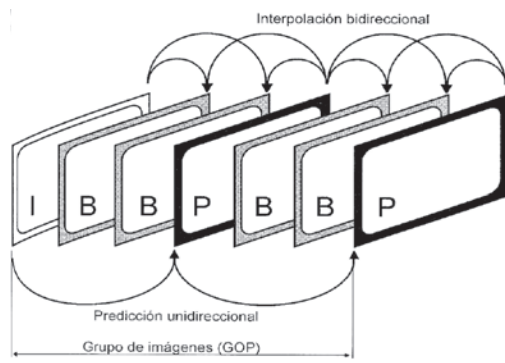


Ilustración 4. Grupos de imágenes gop y jerarquía de datos en MPEG-2

Con todo ello, en el sistema MPEG-2 se pueden definir diferentes niveles de compresión que dan como resultado señales de vídeo con características específicas en función de la aplicación a que están destinadas, variando la resolución y flujo de datos resultante y que, tal como vemos a continuación, puede cubrir desde el mercado doméstico hasta los estándares de calidad necesarios para emisión de televisión en alta definición.

Nivel	Resolución	Bitrate	Aplicaciones
Bajo	352 × 240	4 Mbps	Grabación doméstica en vídeo
Principal	720 × 480	15 Mbps	Calidad de estudio profesional (CCIR 601)
Alto 1440	1.440 × 1.152	60 Mbps	Televisión de alta definición doméstica (HDTV)
Alto	1.920 × 1.080	80 Mbps	Producción en alta definición (SMPTE 240)

Ilustración 5. Niveles de aplicación MPEG-2

Todos los sistemas desarrollados en el seno de los grupos mencionados, y otros existentes, han acabado por formar parte de un conjunto de normas de carácter global dictadas desde la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, que agrupa a los organismos nacionales de normalización en la inmensa mayoría de los países del mundo, en España la Agencia Española de Normalización (AENOR), quienes, entre otros sectores, se ocupan del establecimiento de reglas en el ámbito de las telecomunicaciones en conjunción con otros organismos ministeriales y entidades de interés para el sector. Las normas que emanan como resultado de los trabajos desarrollados por la UIT entre todos sus miembros son de obligado cumplimiento en todo su territorio de implantación, en virtud de los acuerdos establecidos entre los países participantes al respecto. Además de ello, la UIT también impulsa estudios y realiza recomendaciones en sus ámbitos de competencia con el objetivo de facilitar el desarrollo económico e industrial. Para tratar los aspectos relativos a las telecomunicaciones, uno de los Comités Consultivos Internacionales creados en su seno es el denominado precisamente de Radiocomunicaciones, CCIR, encargado principalmente de definir las normas y canales reservados para cada tipo de emisión en el espectro radioeléctrico a nivel mundial y nacional, y, así, clarificar las constantes disputas que se tienen entre países, en estos días menores pero se puede consultar el material didáctico de la asignatura Tecnología de los Medios Audiovisuales I en relación a la ocupación de las ondas para emisión radiofónica hacia mediados del siglo XX.

En el seno del CCIR se creó un grupo de trabajo, el 601, cuya tarea consiste en aunar criterios y dictar normas de uso común en todos los países en el ámbito de la grabación de vídeo, para ordenar la industria de equipamientos audiovisuales ante los constantes avances tecnológicos y la multiplicación de formatos resultante. El CCIR 601 sólo es el eslabón final de un sistema de I+D+I que capitanean corporaciones

con intereses globales como Sony, Panasonic, JVC, Thomson, etc. agrupadas en entidades diversas, como DVB y MPEG, cuyos desarrollos tecnológicos se imponen desde su propia infraestructura industrial y sus específicas estrategias de marketing en el mercado de equipamientos audiovisuales. El CCIR 601, por tanto, sólo recoge el trabajo de terceros en un intento de hacer factibles y razonables las telecomunicaciones mundiales, aunque con un poder real limitado, pues es el propio mercado y las propias multinacionales del sector las que dictan la dirección de los cambios en función de sus intereses, especialmente en el ámbito de los equipamientos y tecnologías de producción audiovisual, tal como ha ocurrido recientemente con la imposición del formato Blue-Ray, de Sony, sobre el HD-DVD, de Panasonic.

En lo relativo a los formatos y sistemas de vídeo, lo que se ha hecho desde la UIT y el CCIR 601 es sintetizar los aspectos genéricos de los nuevos desarrollos tecnológicos para dar lugar así a tres niveles diferentes de producción que se corresponden con los establecidos desde DVB pero, promulgándolos en su seno, dándoles carácter normativo y global. El primero de ellos es el denominado CCIR 601 4:4:4, un formato por componentes RGB o Y, R-Y y B-Y que permite la máxima calidad y el copiado sin pérdida pues no tiene compresión alguna, pero a costa de un elevado flujo de datos, 249 Mb/sg a 8 bits por canal, lo cual supone para una imagen en el sistema PAL que cada segundo ocupe aproximadamente 31 MB. El segundo es un formato de menor calidad y el más utilizado, pues es apto para el mercado de producción profesional y de estudio, y se conoce como CCIR 601 4:2:2 porque, a diferencia del anterior, utiliza la mitad de información para muestrear el color en relación a la señal de luminancia, aprovechando así las características de la percepción que permiten disminuir el flujo de datos sin pérdidas apreciables de calidad colorimétrica, reduciendo el volumen de datos necesarios para un segundo a 21MB. La tercera norma promovida se denomina CCIR 601 4:1:1 o CCIR 601 4:2:0 en función de si está destinada a digital información en el sistema americano NTSC o europeo PAL, respectivamente, y es idónea para el mercado doméstico y para aplicaciones de periodismo electrónico pues, aunque se produce una disminución apreciable de la calidad colorimétrica de la imagen, el reducido flujo de datos que necesita, 25 Mb por segundo, permite la fabricación de equipos audiovisuales de muy bajo coste y alta versatilidad.

Entre las patentes más implantadas en el sector de producción audiovisual basadas en la norma CCIR 601 4:2:2 podemos encontrar equipamientos y sistemas de vídeo como, por ejemplo, Betacam Digital, del que ya hablamos, y que tiene como características específicas un ratio de compresión muy bajo, 1,77:1, que consigue con un algoritmo propio de Sony denominado BRR, Bit Rate Reduction, lo que permite un flujo de datos de sólo 127,8 Mb/sg con muestras de 10 bits y cuatro canales de audio. Otros sistemas desarrollados con esta norma son los comercializados en competencia directa con Sony por Panasonic, el DVCPRO 50, que consigue un flujo de 50 Mb/sg con un ratio de compresión de sólo 3,3:1, o por JVC, el Digital-S, de menor calidad que los anteriores y que, además, compiten con los nuevos formatos comercializados Betacam SX y Betacam MPEG-IMX, ambos igualmente de Sony y que integran algoritmos MPEG-2 con distinta tasa de compresión y destinados a específicos sectores de producción televisiva y videográfica de alta calidad.

Con la norma CCIR 4:1:1 o 4:2:2 podemos encontrar en el mercado los denominados sistemas DV, basados en el D7 promovido desde DVB, con compresión intra-frame de 5:1 y un flujo de 25 Mb por segundo; sistema que, en el caso de Sony, ha derivado a su formato propio DVCAM y HDV, que utilizan cintas ligeramente más anchas y permiten una resolución mayor; y, en el caso de Panasonic, se ha comercializado como DVCPRO 25. El DV, genéricamente, es el que comercializan normalmente las marcas posicionadas exclusivamente en el mercado de consumo doméstico de vídeo digital, excepto algunos equipos que se están distribuyendo en fechas recientes basados en MPEG-4 que utilizan algoritmos de compresión como DivX o Xvid, que reducen enormemente el flujo de datos y permiten abaratar drásticamente los costes.

A continuación podemos ver la multiplicidad de formatos de vídeo existentes y sus diferencias específicas, a los que hay que añadir constantemente los nuevos sistemas que se comercializan actualmente como XDCAM, de Sony, y P2, de Panasonic. Sus particularidades respecto a los existentes no radican tanto en sus fundamentos, pues están basados en la norma CCIR 601 4:2:2, sino en algunas características diferenciales de carácter mercadotécnico pero, sobre todo, y esto sí está suponiendo un cambio de gran calado y una pugna titánica entre las dos marcas en este momento con mayor pulso industrial, diferenciadas por la adopción de soportes DVD-BlueRay, por Sony, y de memorias tipo flash, por Panasonic, con el fin de superar los inconvenientes del almacenamiento en cinta y, por extensión, mejorar su posicionamiento en el mercado.

Formato	Tipo de cinta	Anchura de pista (µm)	Grabación imagen	Muestreo	Longitud de muestra	Tipo de compresión	Ratio de compresión	Flujo binario (Mbps)	Grabación de audio	Número de canales	Frecuencia de muestreo (kHz)	Longitud muestras
DV	1/4"	10	Componentes	4:2:0 PAL 4:1:1 NTSC	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2/4	48/32	16/12
DVCAM	1/4"	15	Componentes	4:2:0	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2/4	48/32	16/12
HDCAM	1/2"		Componentes	3:1:1	8	DCT Intracuarto	7,1:1	140	PCM	4	48	16
Betacam SX	1/2"	32	Componentes	4:2:2	8	MPEG 2	10:1	18	PCM	4	48	16
Betacam Digital	1/2"	21,7	Componentes	4:2:2	10	DCT Intracampo	2:1	95	PCM	4	48	20
D1	3/4"	45	Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	Sin compresión	175	PCM	4	48	20/16
D2	3/4"	39	Vídeo compuesto	17,72 MHz	8		Sin compresión	94	PCM	4	48	20
D3	1/2"		Vídeo compuesto	17,72 MHz	10		Sin compresión	94	PCM	4	48	20
D5	1/2"		Componentes	4:2:2	10	DCT Intracuarto	Sin compresión	270	PCM	4	48	20
D5 HD	1/2"		Componentes	4:2:2	10	DCT Intracuarto	4,5:1	270	PCM	8	48	20
D6	3/4"		Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	Sin compresión		PCM	2/12	48	20/24
DVCPRO (D7)	1/4"	18	Componentes	4:1:1	8	DCT Intracuarto	5:1	25	PCM	2	48	16
DVCPRO 50	1/4"	18	Componentes	4:2:2	8	DDCT Intracuarto	3,3:1	50	PCM	4	48	16
DVCPRO HD	1/4"		Componentes	4:2:2	8	DDCT Intracuarto	6,7:1	100	PCM	8	48	16
Digital S (D9)	1/2"	20	Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	3,3:1	50	PCM	2/4	48	16
D9 HD	1/2"		Componentes	4:2:2	8	DCT Intracuarto	3,5:1	100	PCM	4	48	16
IMX	1/2"		Componentes	4:2:2	8	MPEG-2	3,3:1	50	PCM	4	48	16

Ilustración 6. Sistemas de vídeo digital (E. Félix)

También en el sector de alta definición se están produciendo importantes cambios y desarrollos tecnológicos que permiten hacer posible la producción de cine digital, con todo lo que ello supone para un sector industrial, el cinematográfico, sólidamente fundamentado en los soportes fotoquímicos tradicionales.

Para este segmento del mercado específico, Sony ha desarrollado el que ha denominado CineAlta, comercializando equipos digitales de cámara con CCD que mantienen las dimensiones del fotograma de 35mm, lo cual permite utilizar todo el sistema de lentes con montura PL de uso común en el cine tradicional, y una resolución de 1.920 x 1.080 píxeles para cada canal RGB, permitiendo velocidades de grabación de entre 1 y 50 fps (frames, cuadros, por segundo) en formato 4:4:4 o 4:2:2 sobre cinta o disco duro.

Por su parte, Panasonic ha optado por sistemas basados en tarjetas de memoria flash de 32 o 64 GB que permiten una alta velocidad de transferencia y hasta 64 minutos de grabación al utilizar el nuevo algoritmo AVC-Intra, basado en MPEG-4 y de altísima eficacia, llamando a su sistema Varicam/P2, y añadiendo además otras prestaciones a sus equipos de cámara como posibilidad de grabación de archivos MXF de datos para identificar las imágenes y conexión inalámbrica, USB, IEEE1394 y de red por cable que permiten una adecuada interconexión y altas tasas de transferencia de datos para el trabajo con sistemas informáticos de edición.



Ilustración 7. Cámara de cine digital y tarjeta P2 de Panasonic

2.1.2. Soportes de grabación y almacenamiento

El registro de la señal propiamente dicha se realiza en la actualidad utilizando mayoritariamente las tecnologías magnéticas, aunque se están imponiendo con gran rapidez los soportes de grabación magnetoópticos y las memorias de estado sólido tipo flash. El sistema de grabación más tradicional, aunque prácticamente ya en rápido proceso de sustitución, es el realizado sobre cinta magnética. Funciona con los mismos principios que todos los soportes magnéticos, es decir, aprovechando el campo magnético que genera de forma inherente cualquier corriente eléctrica de manera proporcional a su intensidad, lo cual permite polarizar en mayor o menor medida las partículas suspendidas sobre una superficie magnetizada, en este caso una cinta que se desplaza a determinada velocidad por la cabeza lectora/grabadora. Tal como vemos en el gráfico, la variación en la posición inducida a las partículas magnéticas sirve de registro de la intensidad de la señal eléctrica recibida y, al contrario que en los CD o DVD que sólo graban datos digitales, 1 o 0, la señal grabada en las cintas puede ser analógica o digital, aunque lo común es que todos los sistemas de registro sean ya digitales en la mayoría de los sistemas de producción profesional de vídeo.

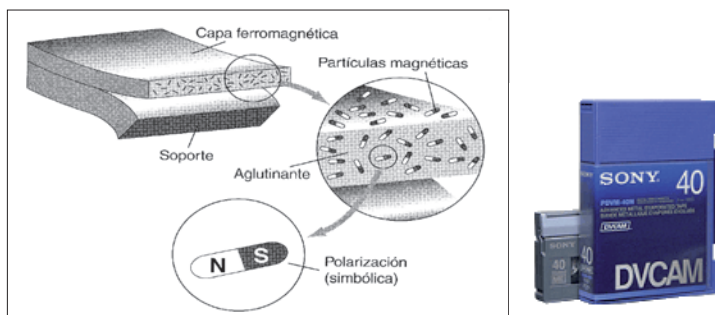
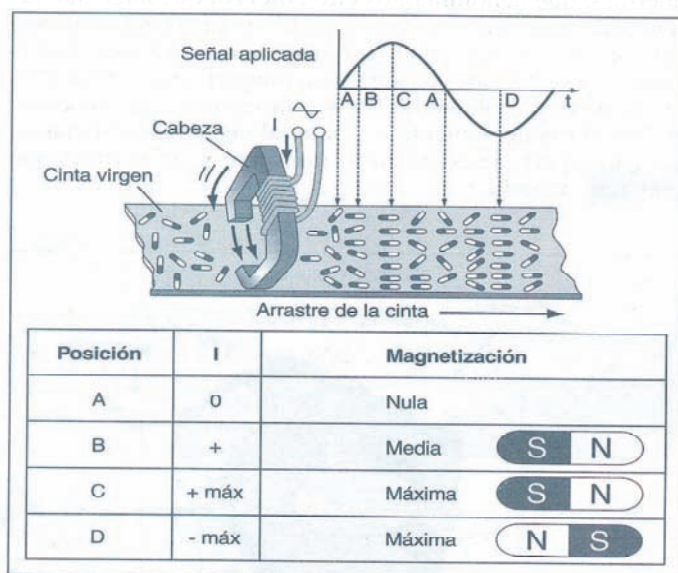


Ilustración 8. Soporte de grabación magnético (E. Félix)

Igualmente, entre los soportes actualmente más utilizados para la grabación de archivos de vídeo, encontramos aquellos que utilizan tecnología láser tales como DVD o BlueRay, o el llamado Profesional Disc, utilizado por Sony, en principio como soporte para sistemas XDCAM, aunque ha sido sustituido por tarjetas de memoria tipo flash en el sistema que la empresa denomina SxS Pro como respuesta tecnológica al sistema P2 de Panasonic, en un intento de contrarrestar la rápida expansión y la creciente cuota de mercado obtenida desde su comercialización. Como soporte de transición entre ambas tecnologías, magnetoóptica y de almacenamiento en memorias de estado sólido, podemos encontrar los sistemas que graban sobre disco duro; un soporte magnético de acceso aleatorio y utilización directa en soportes informáticos, pero con la desventaja de los excesivos consumos eléctricos y la dificultad para trabajar en condiciones difíciles, dada la delicada ingeniería de funcionamiento que utiliza, basada en una cabeza lectora con gran dependencia de elementos mecánicos.

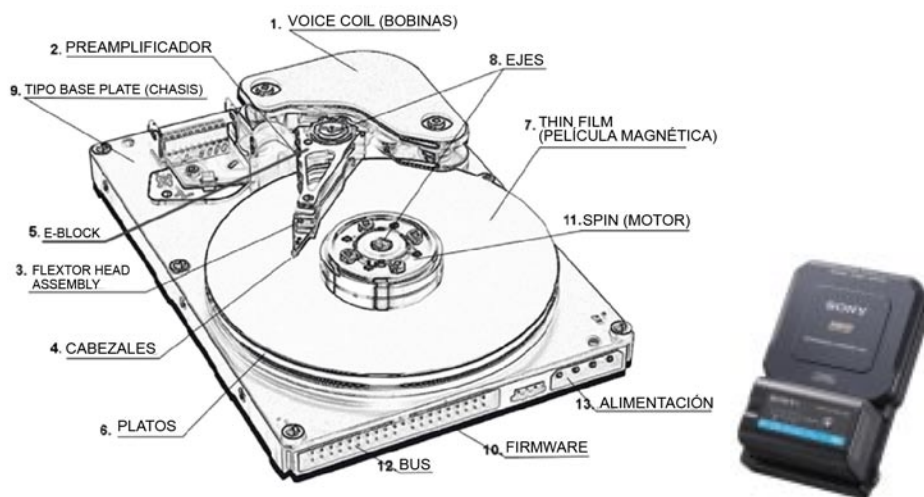


Ilustración 9. Sistema de grabación magnética sobre disco duro

En los sistemas ópticos de discos flexibles el registro de los datos se puede realizar de manera permanente sobre una superficie deformable microscópicamente, o sobre una superficie magnetizada que permite el borrado y reescritura de los datos. En los sistemas ópticos, el sistema de luz láser, tal como veremos a continuación, está fundamentado en un diodo emisor cuya luz atraviesa una lente colimadora, y se concentra aún más; para después, con un sistema de enfoque, hacerla llegar hasta la superficie de un disco giratorio sobre la que el calor del haz produce deformaciones microscópicas superficiales que, posteriormente, podrán ser leídas e interpretadas utilizando la reflexión del láser sobre la superficie, aunque funcionando de esta manera, tal como veremos a continuación, el soporte no podría volver a ser reutilizado por haber sido transformado físicamente sobre su superficie.

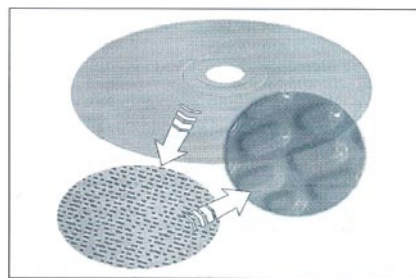
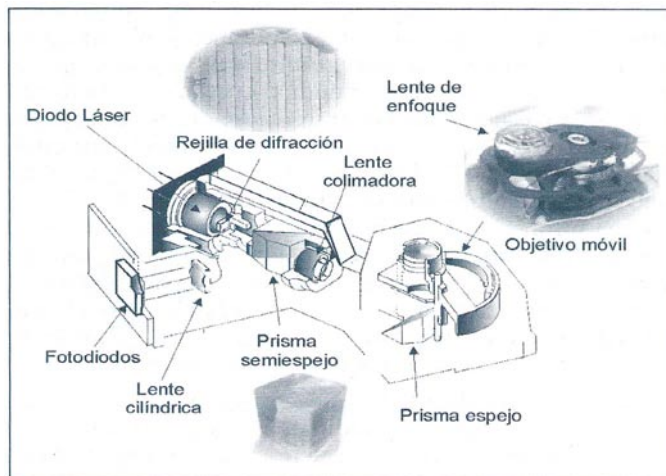


Ilustración 10. Sistema de grabación óptica (E. Félix)

Para aunar las ventajas de los sistemas magnéticos, reutilizables, y los sistemas ópticos, de acceso directo a los datos, se desarrollaron sistemas que utilizaban ambas tecnologías, los soportes de grabación magnetoópticos, que funcionan cambiando la polarización de las partículas magnéticas de la superficie de un disco flexible al hacer incidir sobre ellas el haz láser, registrando así los datos de manera permanente pero, al tiempo, pudiendo volver a realizar la misma operación multitud de veces sobre el mismo soporte y variar dicha polarización y, consecuentemente, la información de los datos registrados. Entre los más extendidos en el mercado profesional de vídeo se encuentran los llamados Professional Disc y BlueRay, ambos de Sony, que todavía apuesta fuertemente por este sistema por razones de integración vertical de mercados, desde el profesional al doméstico, aunque está siendo superado por los sistemas basados en memorias de estado sólido, en el que se está introduciendo igualmente con desarrollos propios para minimizar el impacto de la competencia de los nuevos soportes.



Ilustración 11. Disco BlueRay y Professional Disc de Sony

Las tarjetas de memoria tipo *flash* son sólo un tipo de memoria que genéricamente se denomina EEPROM (Erasable Programmable Read Only Memory), y cuya característica definitoria es que puede ser borrada y programada con impulsos eléctricos y está formada por un conjunto de celdas distribuidas en filas y columnas que tiene dos transistores en cada intersección separados por una fina capa conductora, uno de ellos llamado puerta flotante y el otro puerta de control, que están unidos eléctricamente o no, pudiendo así registrar dos estados distintos correspondientes a 0 y 1, fácilmente conmutables aplicando una tensión eléctrica que varíe el estado de conexión de ambos transistores, el cual permanece así hasta que sea de nuevo cambiado al estado contrario en otra operación posterior. Las memorias tipo flash están basadas en ello, aunque trabajan por bloques y lo hacen con más rapidez, con ligeras diferencias de funcionamiento según la implantación estructural específica y la forma de registrar los datos, pudiendo distinguirse así varios tipos como CompactFlash, Smart Media, SecureDigital, MemoryStick, etc.



Ilustración 12. Memorias tipo flash más comunes

Existen varias razones para usar memoria flash en lugar de otros soportes, como por ejemplo, que no hacen ruido, permiten el acceso rápido y, sobre todo, son ligeras, muy pequeñas y además no tienen partes móviles lo que las hace especialmente aptas para su transporte y utilización, además de tener costes reducidos y

ser reutilizables, todo ello de gran utilidad para hacerlas candidatas solventes a convertirse en el soporte de todos los equipamientos digitales, incluidos los sistemas y equipamientos destinados a ser comercializados para el sector profesional audiovisual en un futuro inmediato, y prueba de ello es la apuesta realizada por Panasonic, primero, y Sony, después, por esta tecnología en sistemas como el p2 y el SxS Pro, respectivamente, basados en tarjetas flash de alta capacidad de almacenamiento.

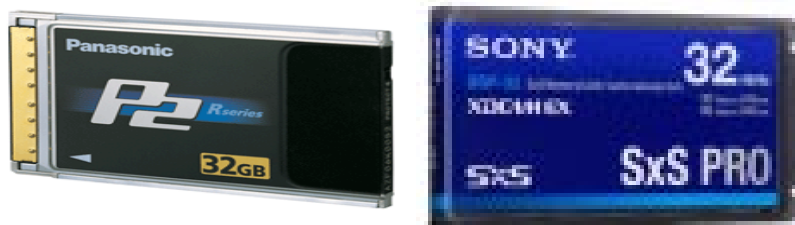


Ilustración 13. Tarjetas p2 y SxS Pro

No obstante, es todavía muy común en muchos centros de producción, especialmente en centros de enseñanza, la utilización del sistema DVCAM / HDV, un desarrollo particular del formato DV que utiliza la cinta y la tecnología magnética como soporte de grabación comercializado por la empresa Sony y destinado al mercado semiprofesional, con características que permiten su utilización para el registro de imágenes listas para su emisión sin que se aprecien diferencias reseñables de calidad respecto a otros sistemas más profesionales, aunque éstas existen.

El sistema introduce mejoras en la grabación sobre cinta para evitar la intermodulación entre pistas y permite la grabación de códigos de tiempo y hasta cuatro canales de sonido. Pero la más importante diferencia respecto a otros formatos de grabación, es el modo de muestreo de color, mucho más limitado que en sistemas más profesionales como Betacam Digital, por ejemplo, con ratios de compresión general mucho menores, del orden de 5:1 frente a los 2:1, lo cual facilita la reducción del flujo de datos hasta los 25 Mbps, tasa muy inferior a los 95 del formato Betacam Digital o los 140 del HDCAM. En cuanto a la calidad del sonido grabado las diferencias son menos apreciables.

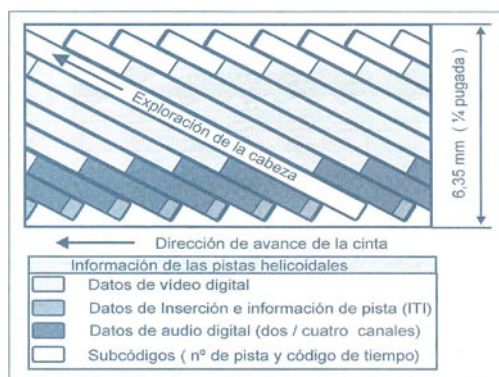


Ilustración 14. Estructura de la grabación en cinta en formato DVCAM

Por su parte, el HDV, también un desarrollo específico de Sony, es un formato de 1.440x1.080 píxeles de resolución que se sitúa como un sistema intermedio en HighDefinition, cuyo estándar está en 1.920x1.080 píxeles, frente a los 720x576 píxeles del resto de sistemas, incluidos los formatos Betacam de Sony o DVCPro de Panasonic y el propio formato DV/DVCAM. El sistema HDV emplea el formato de compresión MPEG-2 (MP@H-14 para vídeo), que utiliza grabación en componentes digitales de 8 bits con una relación de muestreo de 4:2:0.; para la compresión de audio se emplea MPEG-1 Layer II, lo que permite la grabación de dos canales con una frecuencia de muestreo de 48 kHz/16 bits. Emplea la misma anchura de pista y la misma velocidad de cinta que el formato DV, y ofrece un tiempo de grabación idéntico, máximo 63 minutos en una cinta mini.

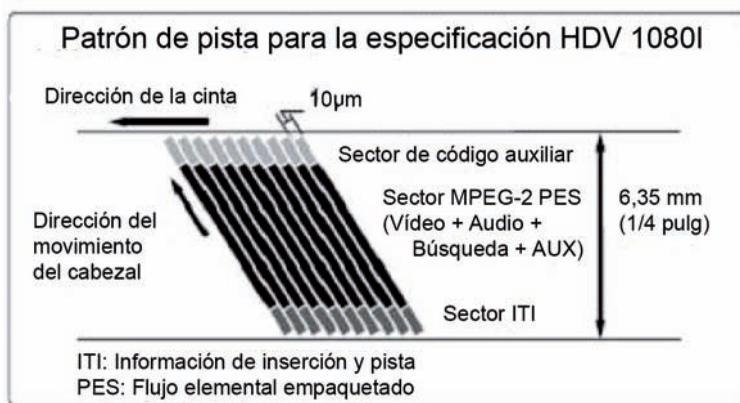


Ilustración 15. Grabación HDV

Los sistemas de vídeo que utilizan equipamientos y soportes de grabación digitales se vienen implantando de manera generalizada desde la última década, dejando rápidamente obsoletos los sistemas analógicos tradicionales, pues proporcionan ventajas importantes respecto a ellos que suponen mejoras sustanciales en la productividad, tales como rapidez de funcionamiento gracias al acceso aleatorio a los datos, mucho más eficiente que en los sistemas basados en soportes de grabación secuencial en cinta magnética; mayor fidelidad en la reproducción sin degradaciones a largo plazo y ventajas importantes en la edición, permitiendo además una configuración versátil en cuanto a compresión y resolución en función del tipo de distribución a realizar; y, sobre todo, costes de mantenimiento y operación mucho menores, determinante para facilitar una comercialización óptima y una implantación extensiva e intensiva de la nueva tecnología, que está produciendo en muy pocos años una radical transformación en el conjunto de la industria audiovisual.

2.2. Software de edición de vídeo

Los procesos de edición tradicionales suponían un alto coste en tiempo y recursos ya que al realizarse directamente sobre magnetoscopios que funcionaban con cinta y contenían grabaciones analógicas había que ir recorriendo constantemente las cintas con las imágenes registradas para buscar los mejores cortes y, una vez seleccionados y grabados los elegidos sobre la cinta final o *master*, resultaba muy engorroso subsanar cualquier error, pues había que repetirse de nuevo todo el proceso, y la sincronización de todos los equipamientos y su número resultaba inconveniente.

Estos sistemas de edición analógicos, tal como vemos en el gráfico, requerían de varios magnetoscopios de entrada controlados y sincronizados de manera precisa a los que se podía añadir un procesador de efectos y mezcla que permitiese realizar transiciones entre planos.

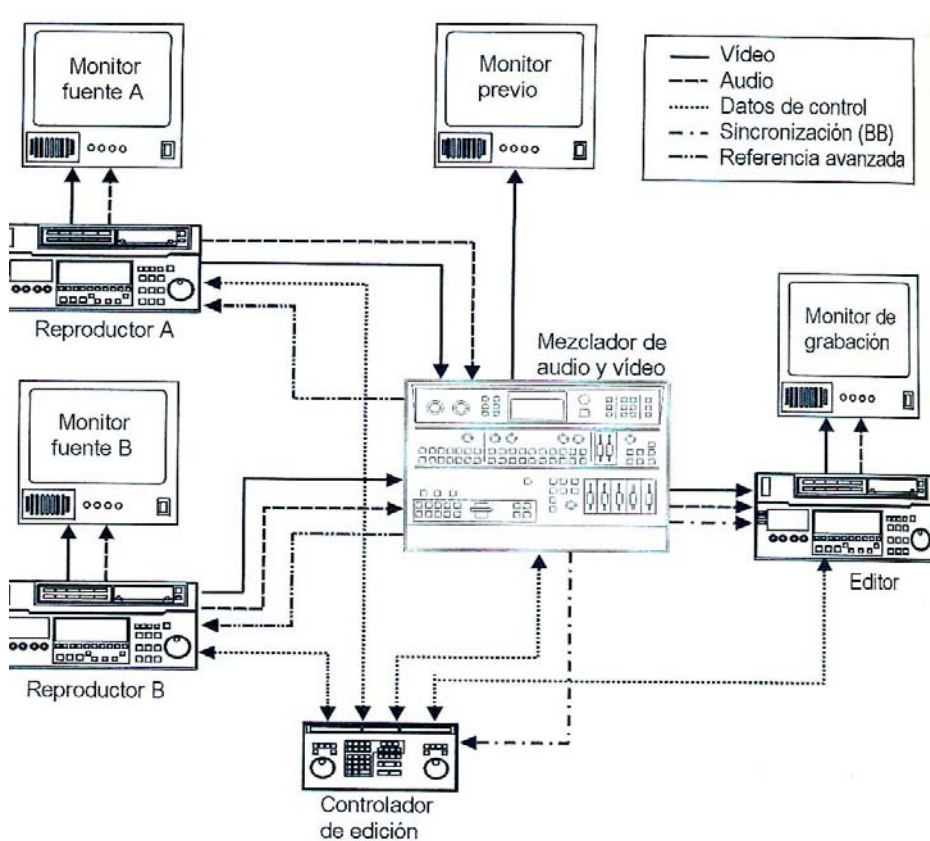


Ilustración 16. Edición de vídeo lineal (E. Félix)

La utilización de los sistemas analógicos y las ediciones de vídeo lineal, afortunadamente, ha sido sustituida por los actuales sistemas de tratamiento digital, también llamados *ediciones no lineales* por permitir el acceso directo a los datos

relativos a una secuencia de imagen archivados frente al acceso secuencial que realizaban los sistemas tradicionales o *ediciones lineales*.

Tal como podemos observar, los actuales sistemas permiten el trabajo en grupo y aumentan la productividad de manera notable, facilitando además multitud de operaciones de edición y tratamiento de imagen que resultaban muy poco factibles en los sistemas analógicos tradicionales. La salida del sistema de edición permite grabación en múltiples formatos, incluidos los clásicos de cinta u otras modalidades de distribución como, por ejemplo, *webcast* o *IPTV*, en función de las prestaciones del sistema y, como no, de su coste.

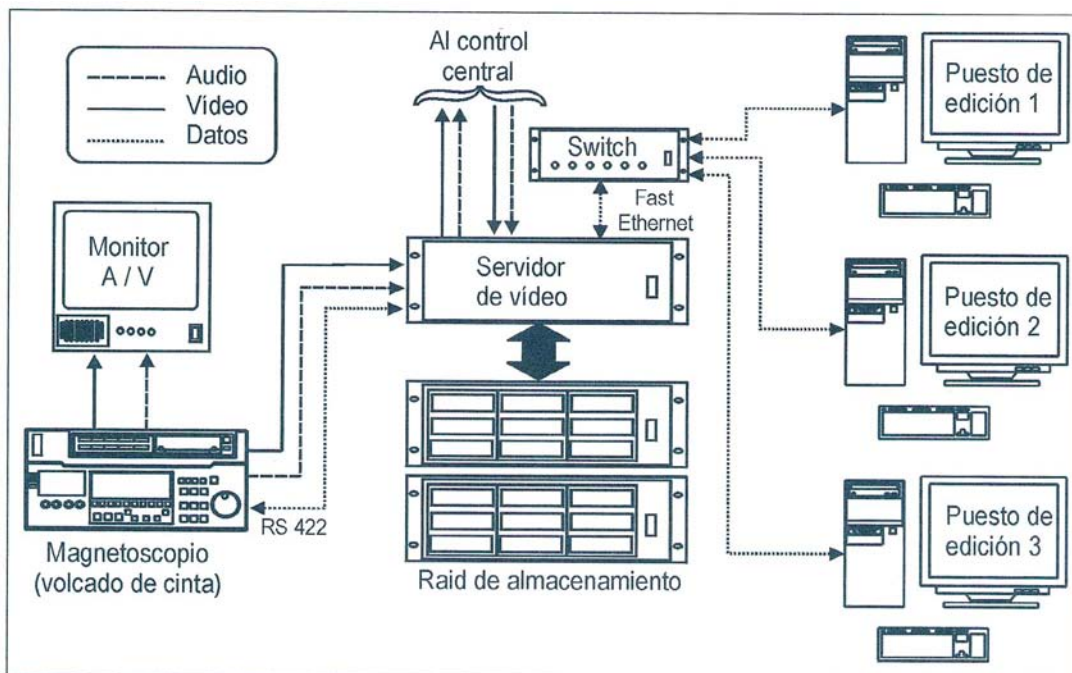


Ilustración 17. Sistema digital basado en servidor (E. Félix)

Entre los programas informáticos de edición más populares se encuentra *Final Cut*, que junto a *Avid* y, en menor medida, *Premiere*, dominan el mercado de la edición profesional de vídeo. Éste es el aspecto que ofrece la interface del programa, aunque puede ser configurada con gran flexibilidad en función del tipo de edición a realizar.



Ilustración 18. Espacio de trabajo programa Final Cut

En la parte superior izquierda podemos observar el clip original grabado de cámara, elegido entre los que se encuentran en la parte inferior, y la derecha de la pantalla nos muestra el resultado final y la línea de tiempos con la secuencia de clips incluidos en la edición. *Final Cut* soporta los siguientes formatos de vídeo:

Standard Definition	High Definition
DV, DVCPRO, DVCAM	HDV
DVCPRO 50, IMX	DVCPRO HD, XDCAM HD
Uncompressed 8- and 10-bit SD	Uncompressed 8- and 10-bit HD

El programa dispone de eficientes herramientas de edición y soporta multitud de efectos y filtros en tiempo real parametrizables, además de permitir la edición de audio de calidad en el mismo programa, con hasta 24 canales de audio.



Ilustración 19. Mezcla de sonido en Final Cut

Final Cut funciona de similar manera a la mayoría de los editores de video en el mercado, es decir, cada edición se considera un proyecto en cual se incluyen las grabaciones de cámara, llamados *clips* una vez son archivos informáticos accesibles en un ordenador y *brutos* en el entorno analógico cuando están sólo grabados en cinta magnética. El proyecto se define por parámetros relativos al formato de trabajo e incluye una línea de tiempo, en la que se van insertando las partes de cada clip en el orden decidido conformando una secuencia final como resultado.

El programa permite gran versatilidad y precisión para la distribución multiplataforma y para ello dispone de diferentes sistemas y formatos de compresión, además de otras herramientas de ayuda a la edición profesional como Color, Motion, Soundtrack o DvdStudio, imprescindibles para, por ejemplo, realizar un etalonaje de calidad e, incluso, grabación de sonido multicanal 5.1 o una masterización a dvd, lo cual facilita mucho el trabajo y la integración de procesos al mantener la cadena de producción digital íntegra desde la grabación hasta el tratamiento y posterior distribución.

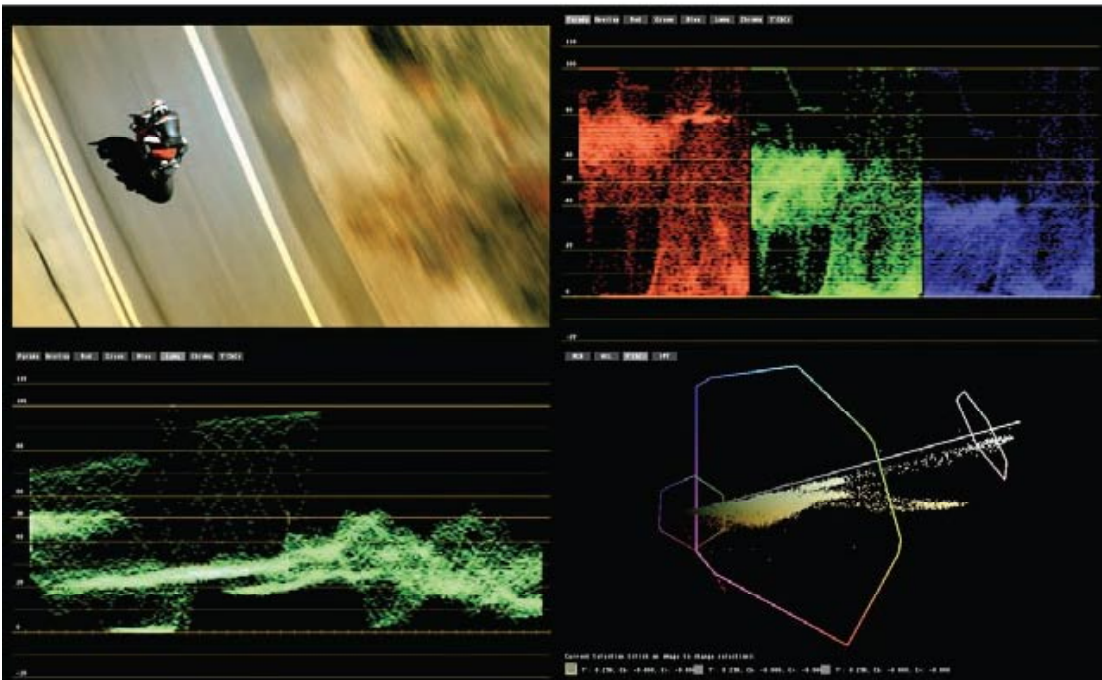


Ilustración 20. SoundTrack y Color

2.3. Monitorización de la señal de vídeo y televisión

En el sector de los equipamientos de visionado y proyección de imágenes, de igual modo que está ocurriendo con el resto de segmentos de la industria audiovisual, se están produciendo importantes desarrollos tecnológicos en los últimos años de rápida implantación en el ámbito profesional y en los hogares.

La tecnología de visionado más consolidada a lo largo de los últimos decenios ha sido la derivada de la aplicación de los tubos de rayos catódicos (TRC) sobre los que ya hablamos en epígrafes anteriores en lo relativo a los sistemas de captación de imágenes. El sistema CRT adaptado para la proyección de imágenes es similar al utilizado para la captación pero, en lugar de servir para determinar la energía luminosa que llega a un elemento fotosensor, la intensidad de energía eléctrica de la señal de imagen, análoga a la captada originalmente, se aplica directamente a un elemento fosforescente que la transduce en energía luminosa. El color se obtiene mediante la mezcla del efecto que se produce en fósforos rojos, verdes y azules y, para ello, se va alterando el ángulo del cañón de electrones con los haces correspondientes a cada color con un deflector magnético que permite recorrer la pantalla de arriba a abajo y de izquierda a derecha. La velocidad con que se realice esta operación se denomina *refresco de pantalla* y se mide en Hz, de modo que si cada cuadro se representa, por ejemplo, 75 veces en un segundo, es decir se hace un refresco a 75 Hz, la calidad de la imagen será menor que si lo hace a 100 Hz, sobre todo perceptible en imágenes con movimientos bruscos.

Existen varios tipos de pantallas CRT, diseñadas para minimizar los problemas inherentes a este sistema, uno de los más importantes deriva de la distorsión y dispersión del haz de electrones, lo cual obligaba a diseñar las pantallas curvadas en forma de barrilete para equiparar la distancia del haz del centro y los extremos. Para ello se usan máscaras, como por ejemplo en el sistema FST (Flat Square Tube) que permite así disponer de televisores y monitores CRT con mucha menor curvatura que los estándares, o en el sistema Trinitron, de Sony, que, buscando el mismo objetivo, utiliza una apertura en forma de rejilla, en lugar de una máscara, para evitar así la pérdida excesiva de luminosidad que ésta produce; por su parte, el sistema ChromaClear, diseñado por NEC, utiliza una máscara combinada con una rejilla practicando hendiduras verticales alineadas sobre aquélla, pudiendo así enfocar el fósforo de manera rectilínea; otras empresas, como Hitachi, para mejorar la eficiencia del sistema y la resolución, se centran en la implementación del fósforo y, en lugar de utilizar modelos de triángulos equiláteros, reduce la distancia horizontal entre los fósforos y crea puntos de color ovales en lugar de redondos, mejorando la calidad final.

En cualquiera de los casos, la proyección CRT se considera actualmente como una tecnología robusta, madura y bien conocida que permite una alta resolución que

proporciona excelente calidad y control de la imagen, aunque tiene como inconveniente que sigue siendo una tecnología de proyección analógica y, por tanto, sujeta a distorsiones electromagnéticas propias del sistema o de campos cercanos y, además, para implantarse requiere siempre equipos muy voluminosos y pesados.

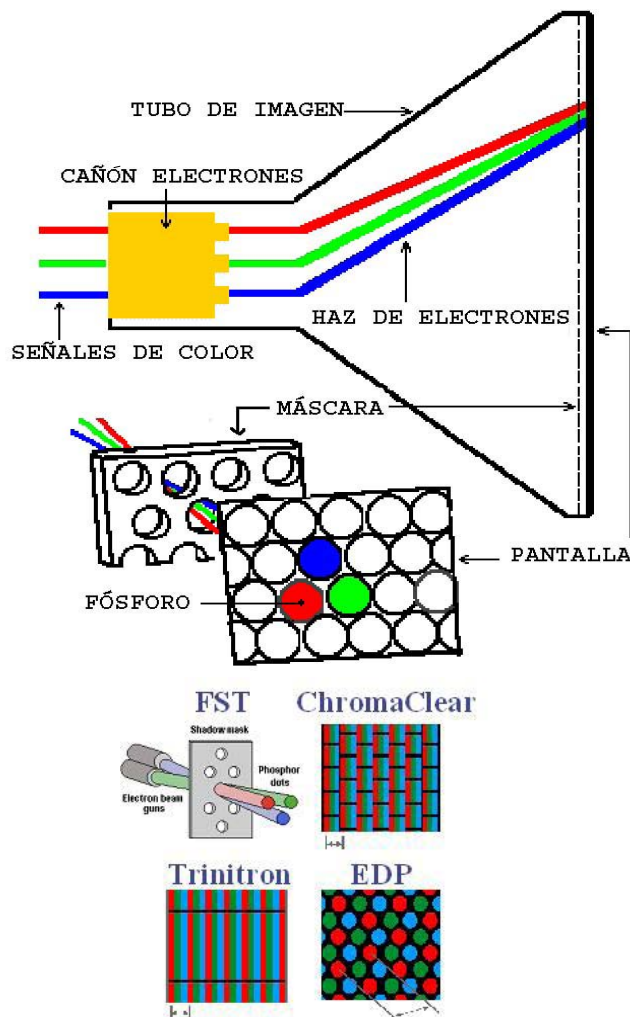


Ilustración 21. Pantalla CRT

Como tecnología novedosa, aunque ya ampliamente extendida, se presentó hace poco más de dos décadas la proyección LCD (Liquid Crystal Display). A diferencia de lo que ocurre en las pantallas CRT en el fósforo, que emiten luz, las pantallas de cristal líquido están fundamentadas en el filtraje de la luz a partir de la utilización de dos filtros polarizados colocados perpendicularmente entre sí, de manera que al aplicar una corriente eléctrica al segundo de ellos, y por tanto cambiar la polaridad, dejaremos pasar o no la luz que atraviesa el primero y lo hará también a través del segundo, en función de la intensidad eléctrica suministrada. Para obtener los colores se añaden filtros rojo, verde y azul distribuidos sobre cada par de distinta polarización.

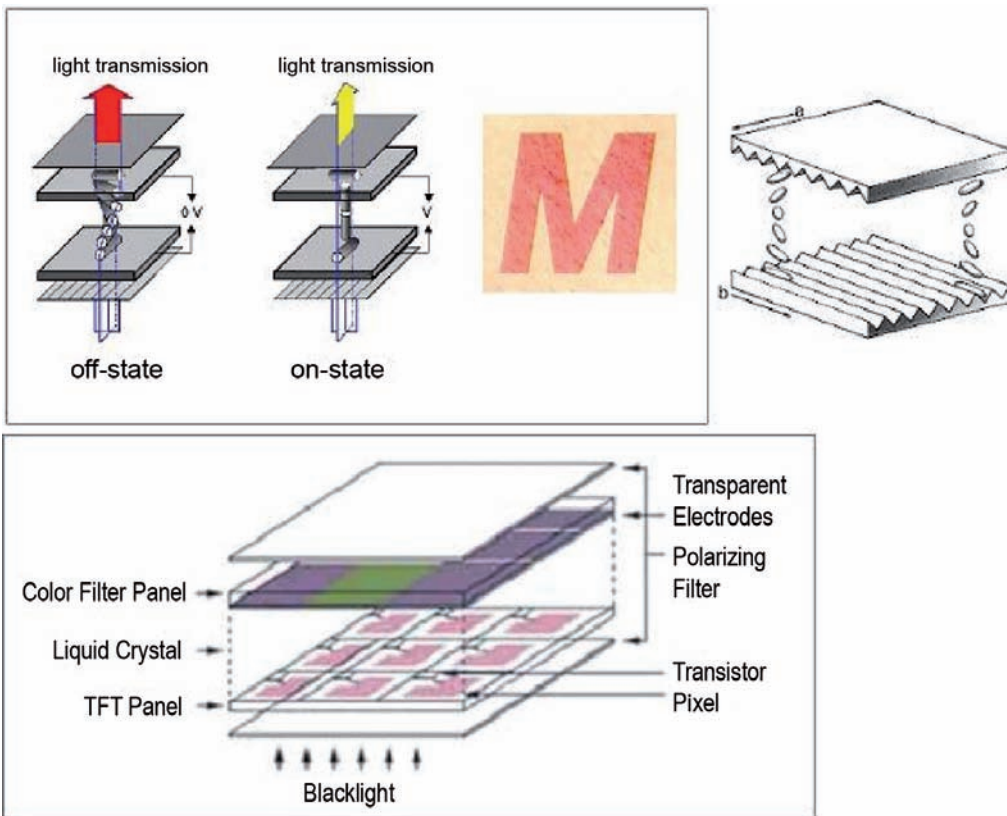


Ilustración 22. Pantalla LCD

Existen dos tipos de pantallas LCD, las denominadas de matriz pasiva y las de matriz activa. Las primeras están diseñadas con una base de líneas conductoras horizontales alineadas y dispuestas de un extremo a otro de la pantalla, lo cual genera un problema debido al mayor tiempo empleado para activar cada elemento y refrescar la pantalla, muy considerable sobre todo en pantallas de gran tamaño, que ha sido minimizado, aunque sólo en parte, con lo que se ha denominado Dual Scan, es decir, dividiendo cada línea en dos secciones que son escaneadas desde el extremo más cercano. No obstante, siguen siendo menos efectivas que las pertenecientes al segundo tipo, las pantallas LCD de matriz activa, que permiten un mayor ángulo de visión y son mucho más rápidas, aunque mucho más complejas de fabricar, al permitir direccionar cada elemento de manera individual ya que están diseñadas a partir de una rejilla de transistores independientes situada en una capa por debajo de los elementos de pantalla, y más caras.

La tercera de las tecnologías más implantadas, la que fundamenta el funcionamiento de las pantallas de plasma, PDP, es en realidad muy antigua, pues está basada en que ciertos gases emiten luz cuando son sometidos a una corriente eléctrica, principio ya conocido por John L. Baird y considerado ya entonces como un posible modo de producir imágenes en una pantalla, aunque no se pudieron desarrollar equipamientos de proyección con esta tecnología hasta las últimas décadas del siglo xx.

Las primeras pantallas de plasma estaban construidas con dos láminas cubiertas por líneas conductoras entre las cuales había atrapado gas neón y eran monocromas,

de baja resolución y muy ineficientes en cuanto a consumo. El funcionamiento era similar a las pantallas LCD, al pasar la corriente eléctrica por cada línea conductora se excitaba el gas produciendo imagen. Las PDP actuales continenen una mezcla de gases que al ser activados eléctricamente emiten luz UV, ultravioleta, radiación que se utiliza para excitar una capa de fósforo superpuesta, de manera similar a cómo ocurría en las pantallas CRT, manteniendo una muy buena resolución y velocidad de refresco pero disminuyendo de manera ostensible el volumen y peso, pudiéndose comercializar de este modo pantallas planas de amplio tamaño, aunque tienen el inconveniente, frente a las pantallas LCD, de su limitada vida útil debido a que se pueden producir con facilidad indeseados efectos de quemado de las celdillas de píxeles, y su coste de fabricación es mayor.

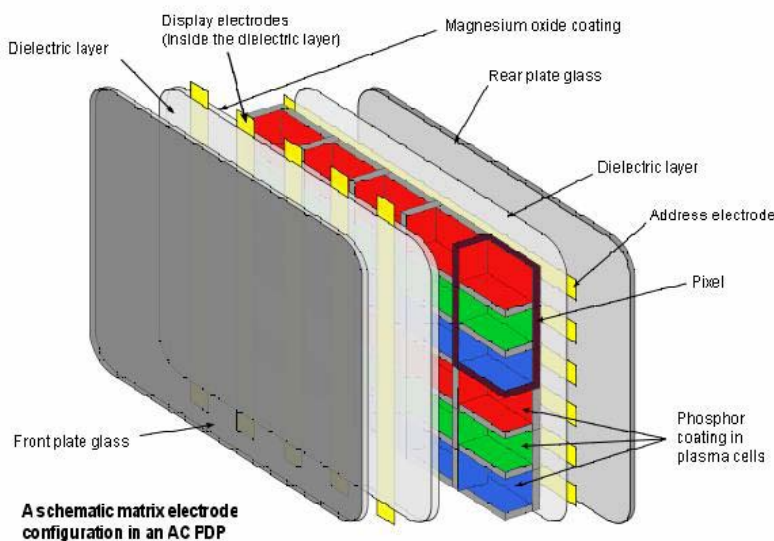
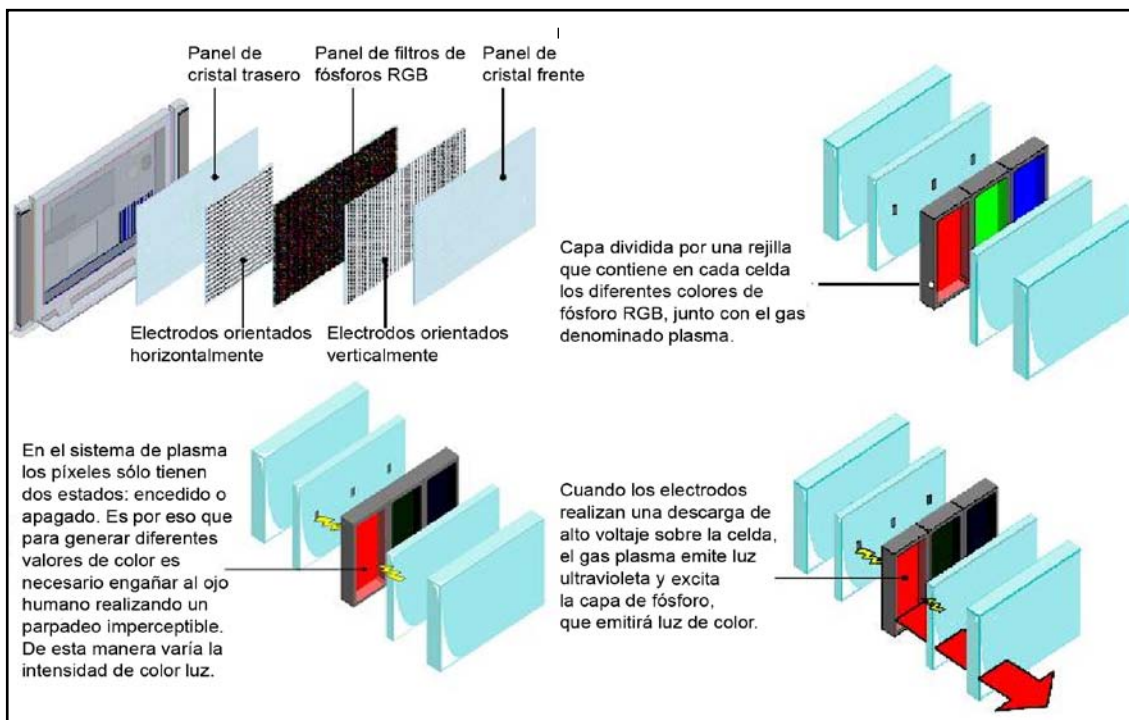


Ilustración 23. Pantallas de plasma

Entre los desarrollos más recientes se encuentran la nueva tecnología SED (Surface-conduction Electron-emitter Displays), desarrollada por empresas como Toshiba y Canon y que funciona proyectando electrones que excitan una capa de fósforo, de manera similar a las pantalla CRT aunque posibilitando la comercialización de equipamientos tan delgados como los TFT o LCD; y la tecnología OLED (Organic Light-Emitting Diode), adoptada por parte de la industria de equipamientos audiovisuales y dispositivos móviles multimedia y basada en una capa de componentes orgánicos que reaccionan ante la estimulación eléctrica produciendo luz, y que permite reducir ostensiblemente los consumos respecto al resto de tecnologías y comercializar pantallas flexibles.

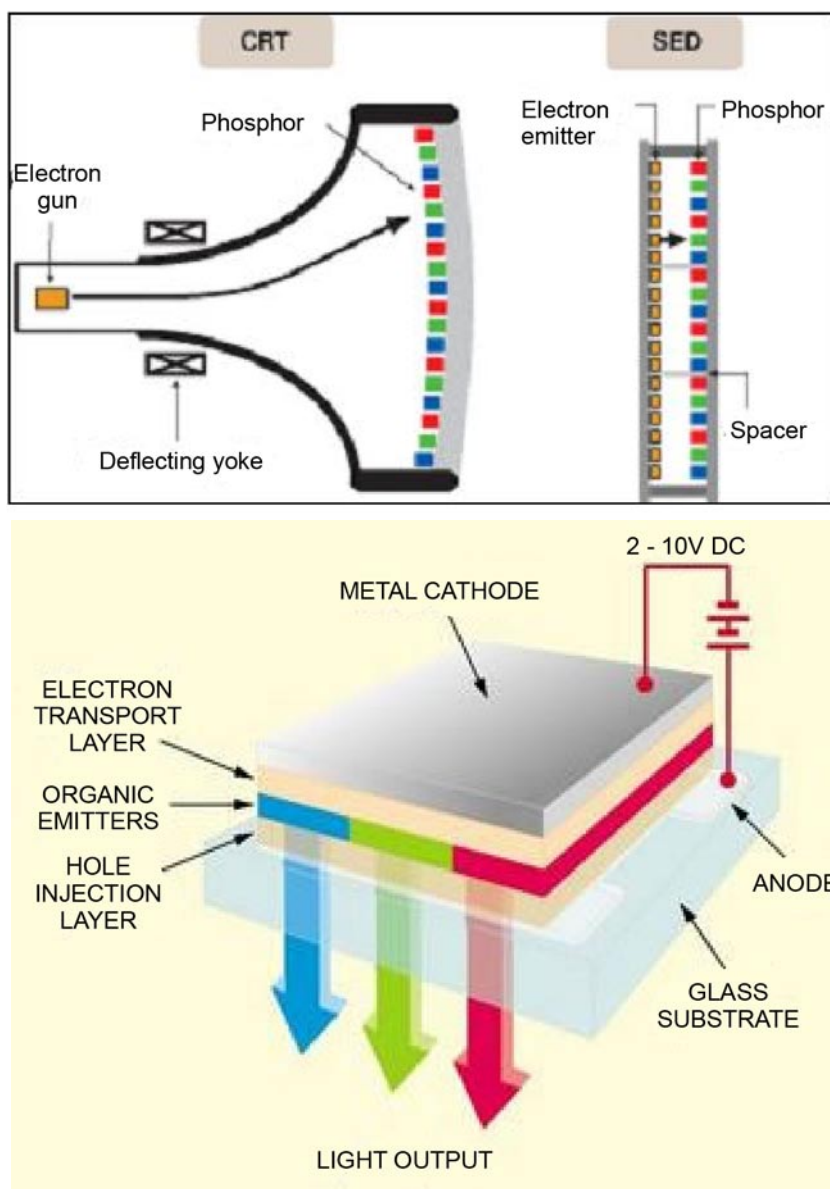


Ilustración 24. Tecnologías SED y OLED

El segmento tecnológico de equipamientos audiovisuales destinados a la proyección espectacular a grandes públicos cada vez más está asumiendo los desarrollos descritos aunque todavía no alcanza los tamaños de pantalla necesarios y aún priman las tecnologías de proyección cinematográfica con una creciente implantación de sistemas de proyección digital, algunos de los cuales también están introduciéndose en los hogares implantados en equipos de bajo coste, normalmente basados en diminutas pantallas de cristal líquido en que se representa la imagen interpuesta a una fuente luminosa que permite, en consecuencia, proyectar en tamaños amplios. En los equipamientos para grandes salas la tecnología más implantada es la desarrollada inicialmente por Texas Instruments y conocida como DLP (Digital Light Processing), y que comercializan algunas otras marcas, como por ejemplo Barco y NEC, y consiste en un sistema de un chip y un filtro circular móvil o de tres chips de espejos móviles, uno filtrado para cada color y sobre el que se hace pasar la luz una vez dividido el haz mediante un prisma. Los diversos equipamientos permiten resoluciones, en constante aumento y con mejoras cada vez más notables en la calidad de la imagen, a partir de 2 k (2.048x1.080) o, más comúnmente, 4 k (4.096x2.160), pudiendo representar del orden de 16,7 millones a 35 trillones de colores, en función de la cantidad de espejos microscópicos insertados en cada uno de los chips, un mínimo de 2 millones.

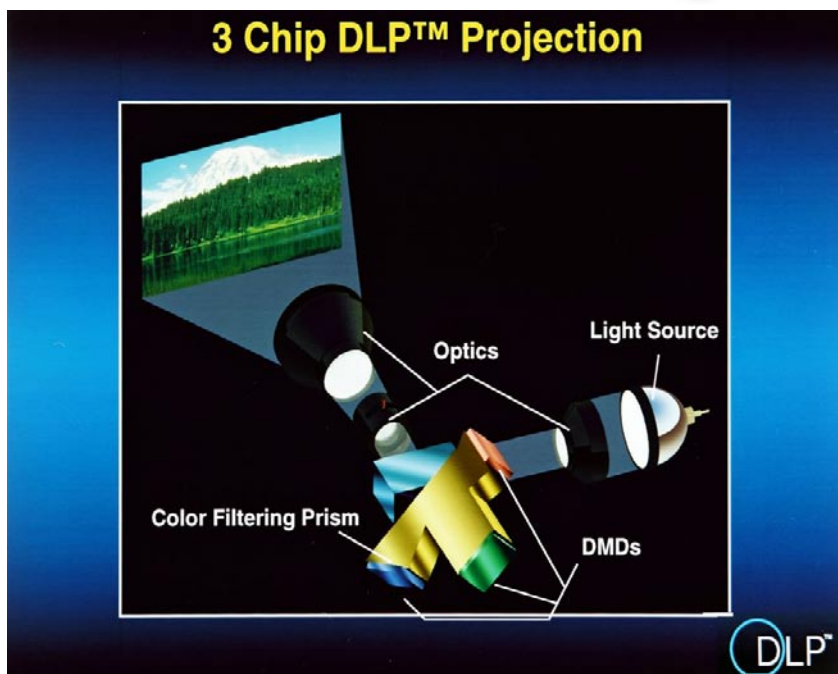
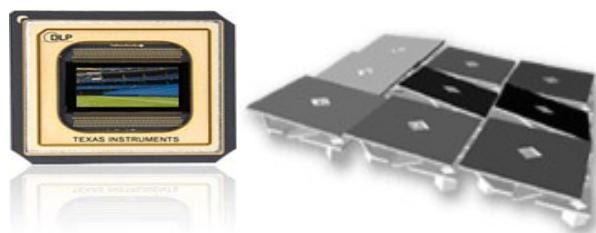


Ilustración 25. Sistema de proyección DLP

Paralelamente, algunas marcas como Sony o JVC están desarrollando y comercializando sistemas con tecnologías propias en la que utilizan otros tipos de chip de silicona, en el caso de Sony implantados en su denominado sistema SXR D, y en el de JVC en el llamado sistema de proyección D-ILA, aunque los principios de funcionamiento son similares a los sistemas DLP.

La tendencia generalizada, en cualquier caso y como ya hemos señalado, es la digitalización de todos los procesos audiovisuales y, en esta área específica, los esfuerzos industriales están dirigidos especialmente al desarrollo de equipos digitales que sustituyan en óptimas condiciones de calidad los sistemas de proyección filmica todavía ampliamente implantados en las salas cinematográficas. Se observa igualmente un creciente interés por aumentar la espectacularidad de las imágenes implantando sistemas de 3D en algunas salas pero, sobre todo, se tiende con rapidez a la integración de los sistemas de proyección destinados a los grandes públicos con redes que faciliten y disminuyan los costes de distribución de contenidos digitales, utilizando para ello todos los medios de transmisión disponibles en la actualidad y sistemas basados en servidores de contenidos.

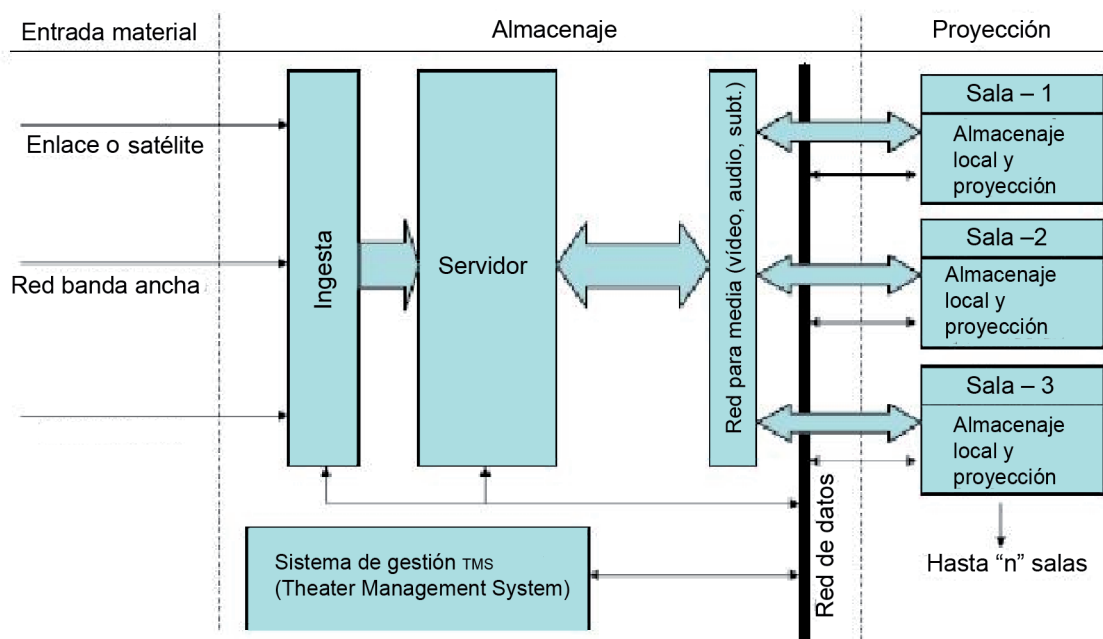


Ilustración 26. Sistema de distribución de cine digital

TEMA 3

Tecnologías de televisión digital

RESUMEN

En este tercer y último tema del programa se estudian las características y equipamientos de los centros de producción digital y las nuevas normas de emisión digital de televisión, con el objetivo de aportar una visión panorámica del contexto tecnológico actual en el que se inscriben los procesos de comunicación audiovisual.

En primer lugar, se analizan con exhaustividad los distintos equipamientos de producción televisiva imprescindibles en un estudio de televisión, así como las tendencias tecnológicas que se están imponiendo en las distintas áreas operativas de los centros de producción para, posteriormente, estudiar las características de las normas de televisión digital en sus distintas modalidades de emisión y las posibilidades de implantación que ofrecen en un futuro inmediato.

3.1. El estudio de televisión

Las tecnologías digitales, tal como venimos relatando, se están implantando y transformando con rapidez en todos los segmentos de la industria audiovisual, aunque todavía alguno de ellos, como el sector cinematográfico, está en las primeras fases de la transición. En el sector televisivo, sin embargo, estos cambios ya prácticamente están concluidos pues el último de los tramos que quedaba por digitalizar, la emisión y recepción, ya es una realidad desde el 3 de abril de 2010, la fecha establecida normativamente para el apagón analógico.

Los sistemas de producción de televisión, tal como vemos a continuación, están tendiendo a sustituir los sistemas de tratamiento y archivo por equipamientos informáticos que permitan el tratamiento integral de la señal digital desde la captación hasta la emisión, estableciendo para ello modelos basados en servidores y redes de datos, facilitando así la interconectividad, el trabajo en grupo y la accesibilidad inmediata, además de las múltiples posibilidades de tratamiento audiovisual que ofrecen los entornos digitales y los notables aumentos en la productividad resultantes de dicha integración.

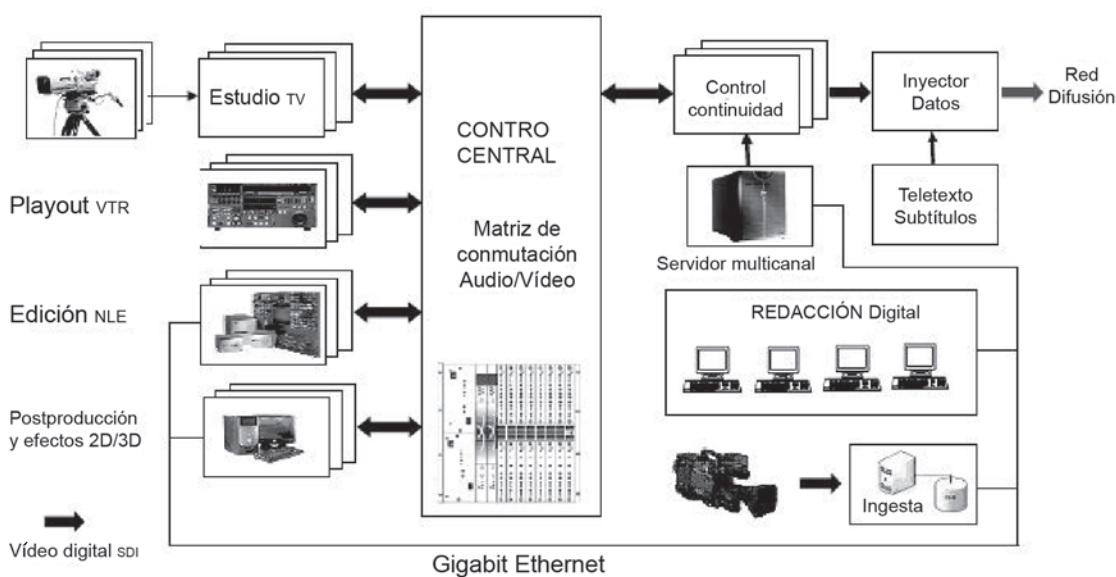


Ilustración 1. Centro de producción digital de tv

3.1.1. Realización de programas. Equipamientos

Los equipamientos necesarios para la realización de programas en plató en un centro de producción de televisión, tal como podemos observar en el esquema siguiente, son de cuatro tipos: los utilizados para la captación de la imagen y los necesarios para adecuar las condiciones de iluminación para que ésta sea posible;

los empleados para el registro del sonido; y, finalmente, los equipamientos de interconexión y comunicación.

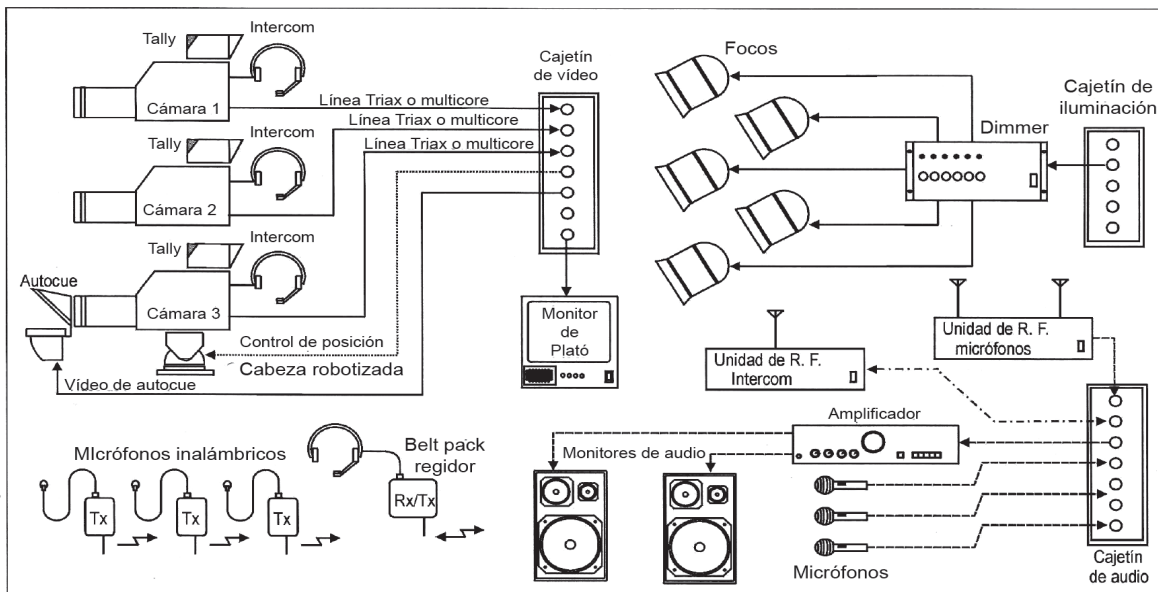


Ilustración 2. Equipamiento de plató de tv (E. Félix)

Los equipos de intercomunicación se utilizan para establecer permanente contacto entre el plató y las distintas secciones del control de producción y, en definitiva, entre todos los integrantes del equipo técnico de realización.

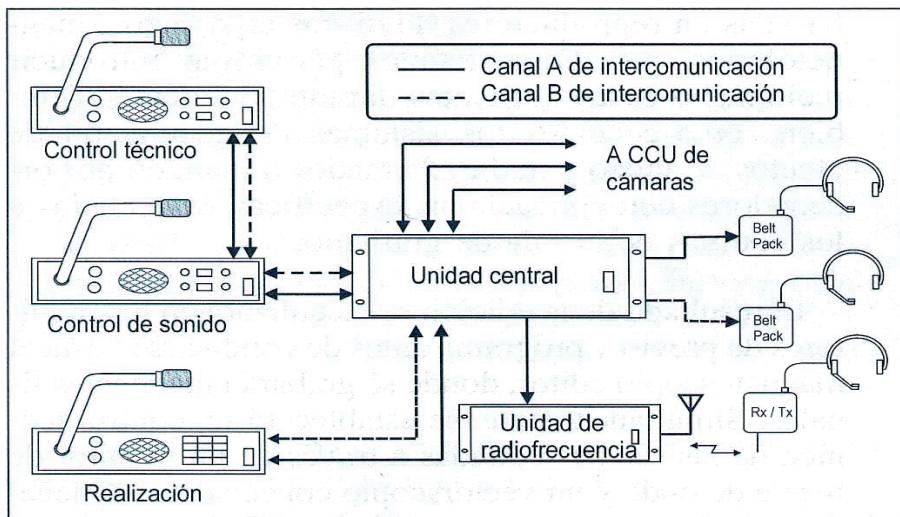


Ilustración 3. Sistema intercomunicación (E. Félix)

Para la distribución interna de imágenes y sonido se utilizan diversos sistemas y tipos de cableado adecuados a las conexiones de cada uno de los equipamientos, entre ellos el que vemos como ejemplo abajo, denominado *triax*, que se utiliza para conectar las cámaras con el control de producción y que porta diversa información multiplexada, esto es, codificada de manera que pueda luego extraerse de manera individual, tal como la propia información de imagen, el sonido, las órdenes de intercomunicación, etc.

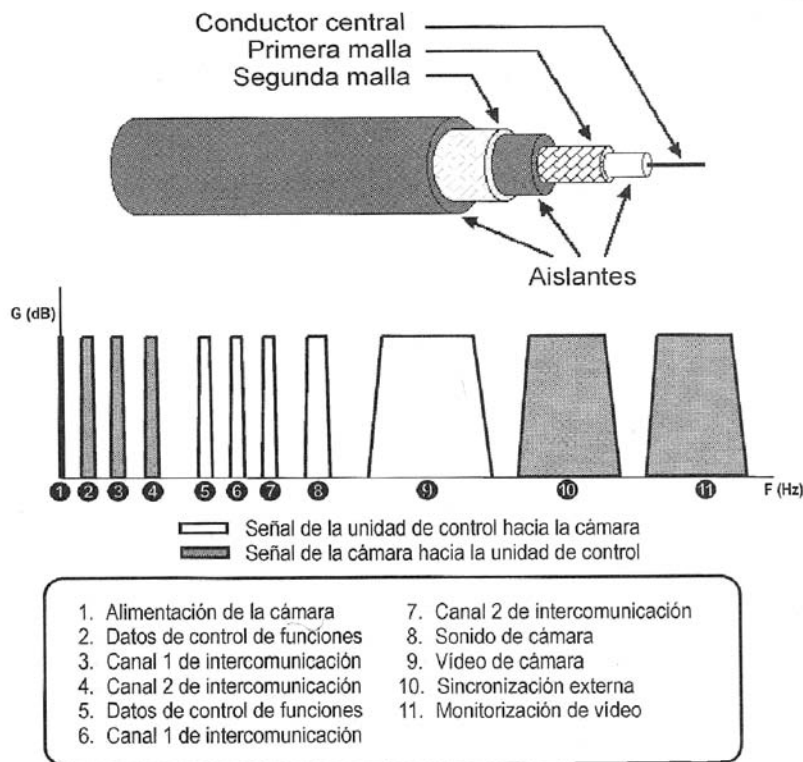


Ilustración 4. Conexión de cámara (E. Félix)

A la sección específica del control de producción destinada al control de la imagen, tal como vemos a continuación, llegan las fuentes de imágenes a un distribuidor, llamado *patch pannel*, desde señales directamente captadas en plató desde las CCU (Camera Control Unit), equipamientos utilizados para la operación remota básica y control de la señal de vídeo de cada una de las cámaras que operan en plató, o desde los reproductores en los que se han insertado imágenes pregrabadas. Las señales se monitorizan, tanto en el visionado de la imagen en monitores convencionales como en su representación como señal de vídeo en el osciloscopio y vectorscopio, equipamientos específicos para la medida y control técnico de la calidad de la señal, y se encauzan hacia una matriz de conmutación, la mesa de mezclas, a cuya salida obtendremos una única señal de vídeo resultante de la selección y/o conjunción de una o algunas de las señales de entrada.

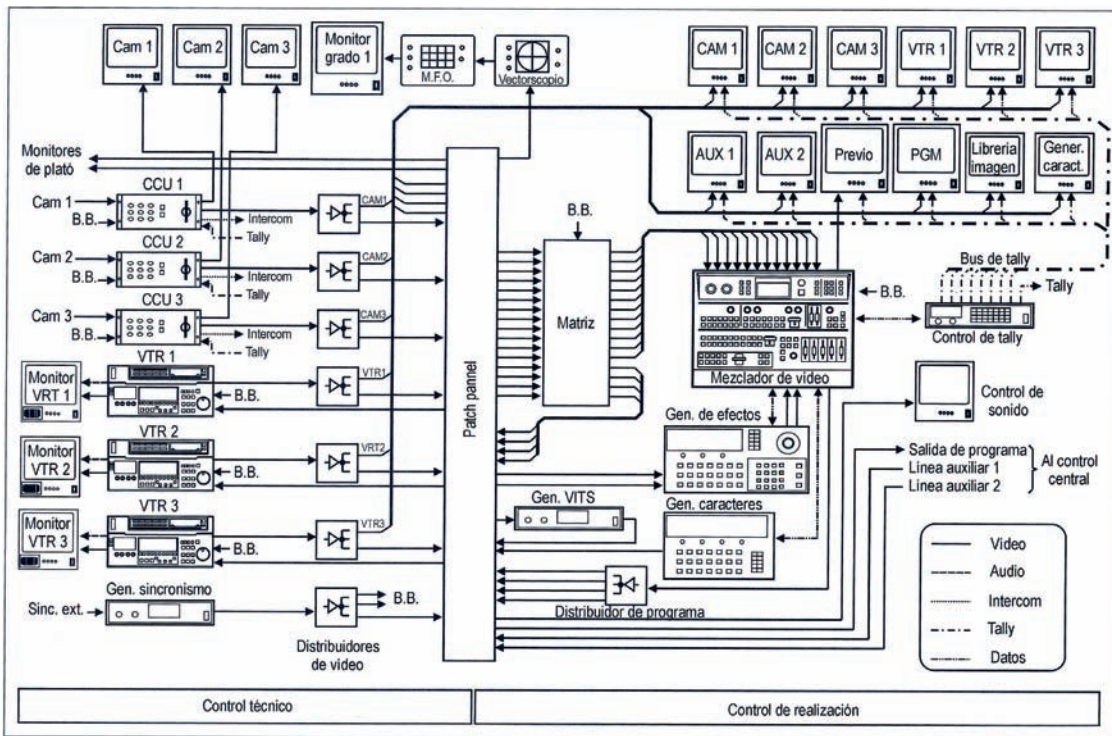


Ilustración 5. Control de producción de vídeo (E. Félix)

Como vemos de manera muy esquemática, en una mesa de mezclas de imagen encontramos diversas entradas de vídeo que pueden mezclarse o direccionarse de manera individual hacia la salida, también llamada señal de programa, indicando, si se trata de una cámara, su activación y entrada en programa con una señal de retorno llamada *tally*. A cualquier entrada de vídeo, sea de cámara o pregrabada, se le pueden insertar caracteres y efectos especiales mediante procesos de *key* o *DSK*, que permiten que partes de la imagen sean sustituibles por otra en función de su similitud cromática o lumínica, a veces utilizando equipamientos externos específicos para ello, aunque cada vez con más frecuencia todas las funciones de tratamiento están integradas en entornos informáticos que incluyen múltiples opciones de mezcla y efectos.

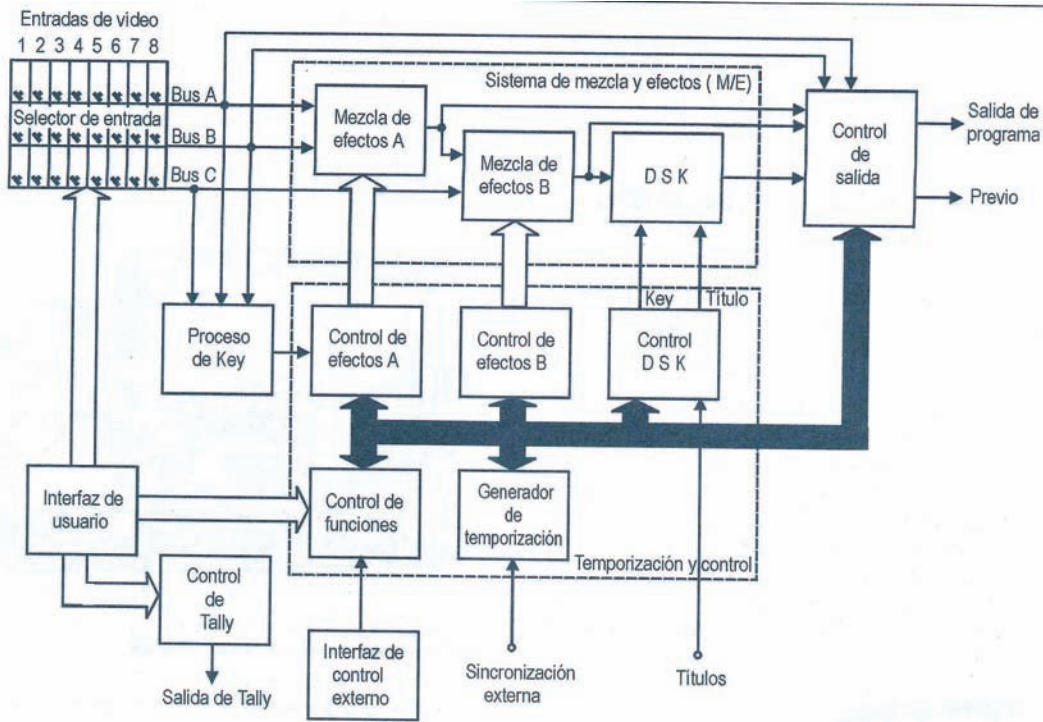


Ilustración 6. Mezclador de imagen

Para el control y tratamiento del sonido, de manera similar, cada una de las diversas fuentes se dirige hacia una mesa de mezclas para obtener una señal única de audio de programa una vez realizado su procesamiento, a veces utilizando equipos procesadores auxiliares, aunque suelen estar integrados en las mesas de mezcla digitales.

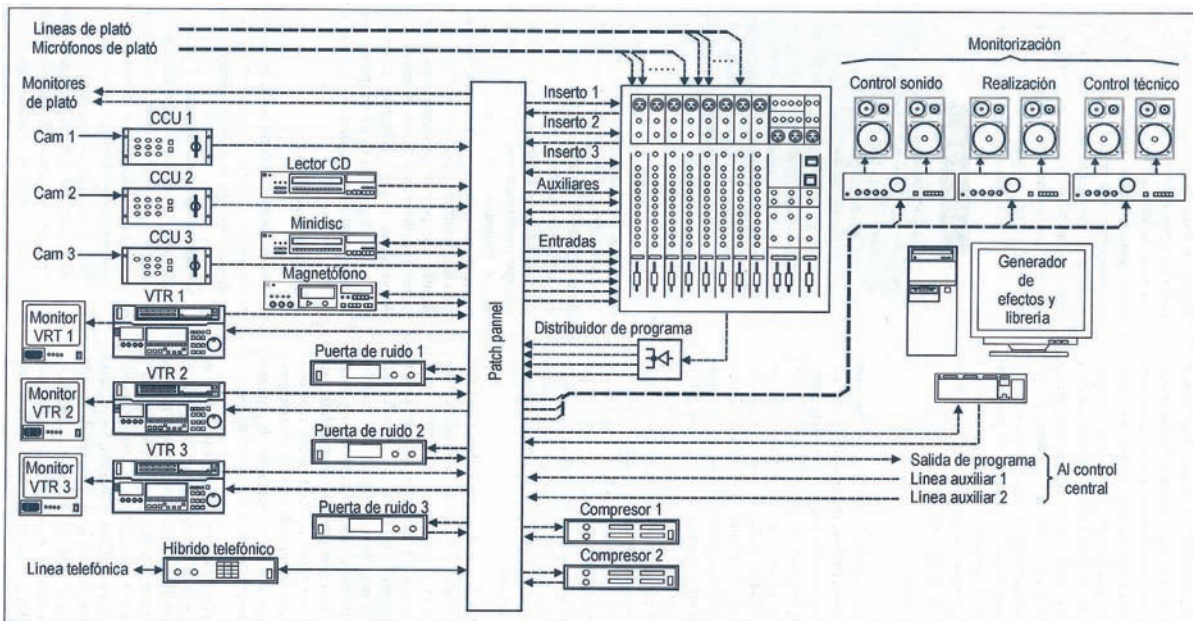


Ilustración 7. Control de producción de audio (E. Félix)

3.1.2. Enlaces y unidades móviles. Continuidad

En los centros de producción de televisión, uno de los aspectos más críticos es la adecuación técnica y sincronización de señales procedentes de diversas fuentes y es común encontrar un control técnico centralizado, en el que se integran y redistribuyen las señales procedentes tanto del propio centro de producción, que puede tener varios platós, como las recibidas desde enlaces externos, así como sirve también para realizar conversiones entre formatos y copias. Además de ello, suele haber una sección específica dedicada a la emisión y recepción de señales.

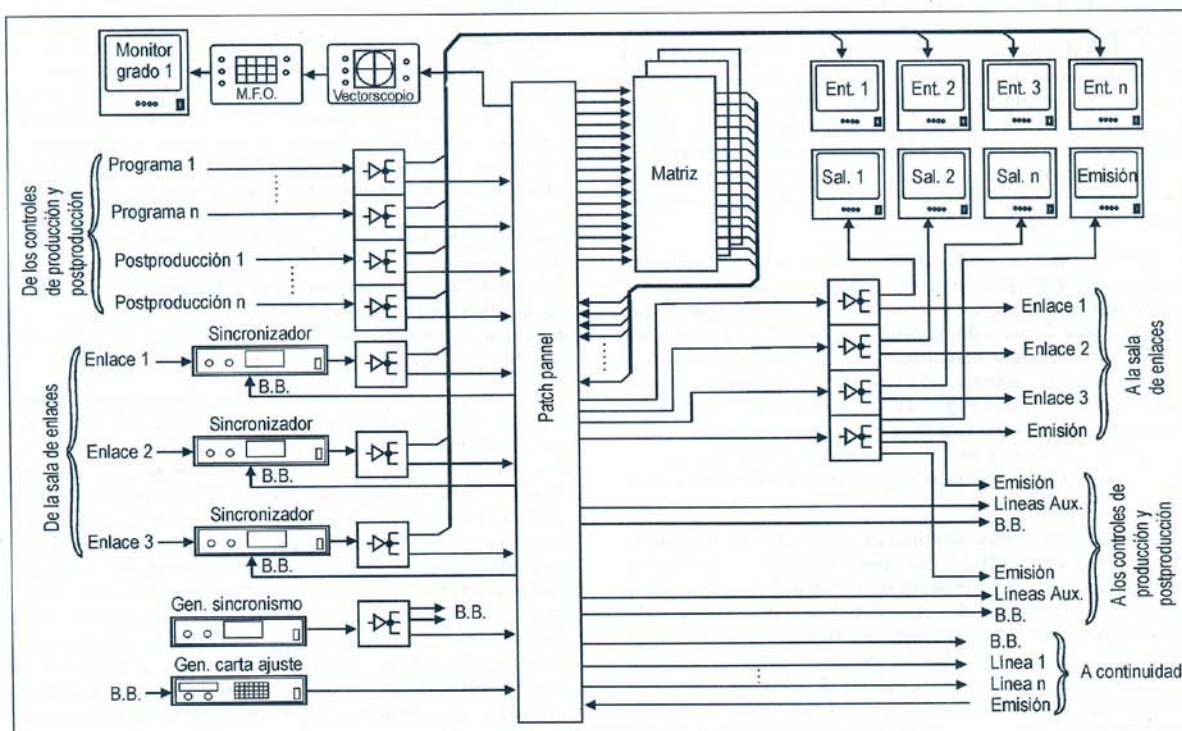


Ilustración 8. Control central técnico (E. Félix)

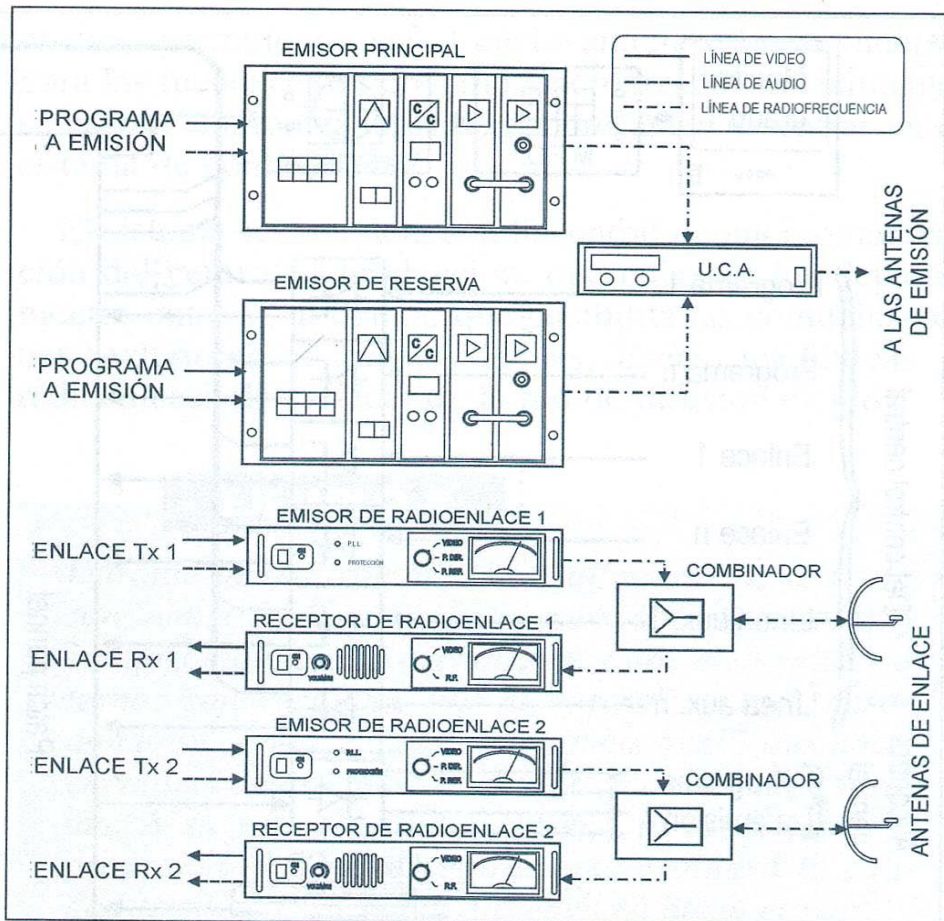


Ilustración 9. Sala de enlaces (Felix)

Como se observa en el gráfico, la sala de enlaces, por un lado, alberga los emisores, incluido uno de reserva para evitar posibles cortes en la emisión de televisión, y diversos receptores y emisores de señales de radioenlace para conexiones con unidades móviles o recepción de señales diversas.

Figura 19.20. Unidad móvil.

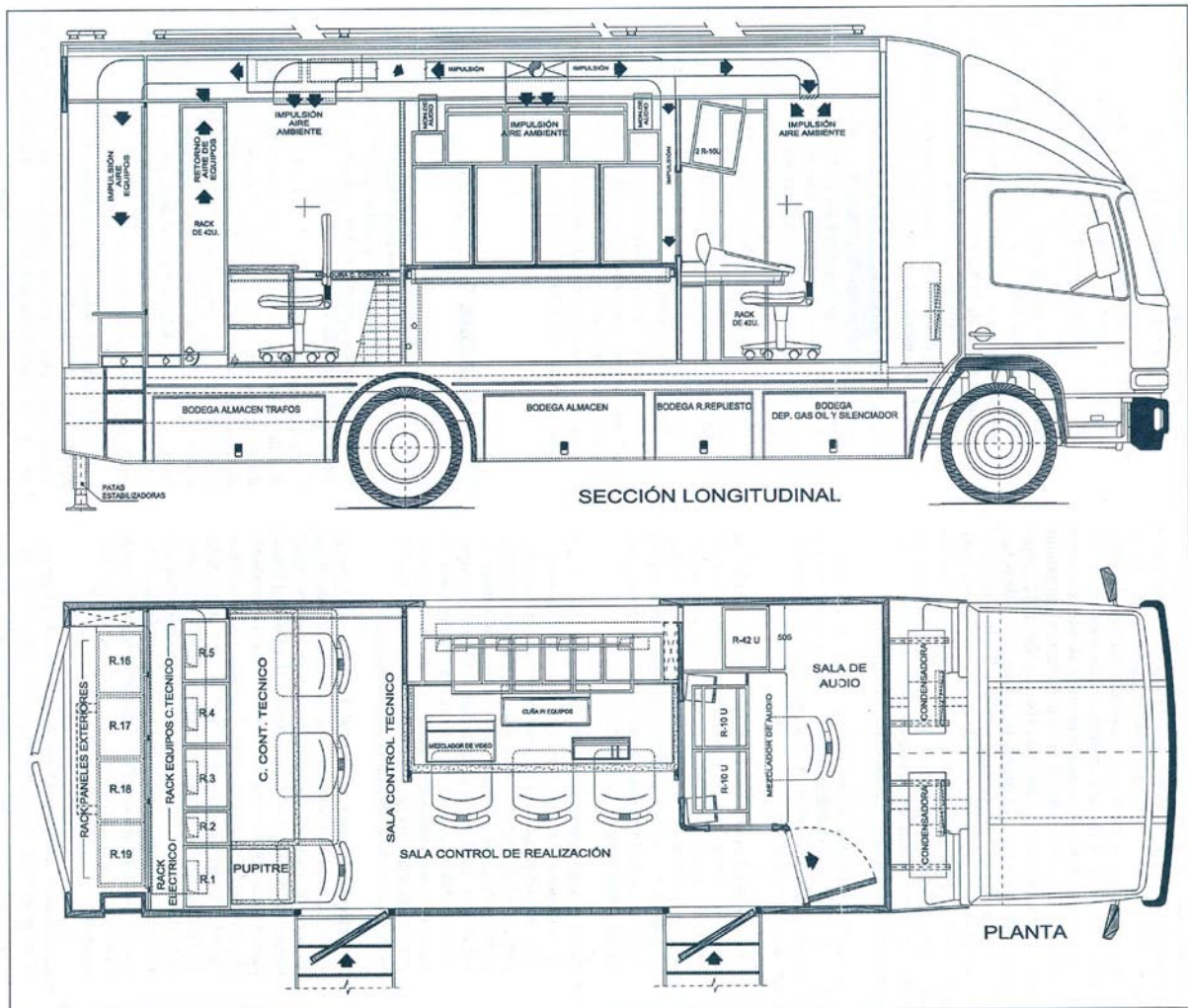


Ilustración 10. Unidad móvil (E. Félix)

Este tipo de señales de emisión o enlaces se realizan utilizando ondas electromagnéticas y suelen estar codificadas en AM o FM, es decir, modificando una señal portadora modulada en amplitud o en frecuencia, a partir de los cambios de la señal original, aunque en los sistemas de televisión digital se codifica la señal con desplazamiento de fase, lo que se denomina PSK (Phase Shift Key), de manera que cada uno de los dos estados posibles de la señal, 0 y 1, se codifica en una fase distinta y, comúnmente en QPSK (Quadrature Phase Shift Key), es decir, codificando los bits por parejas utilizando cuatro fases, tal es así en los sistemas de televisión digital que veremos un poco más adelante.

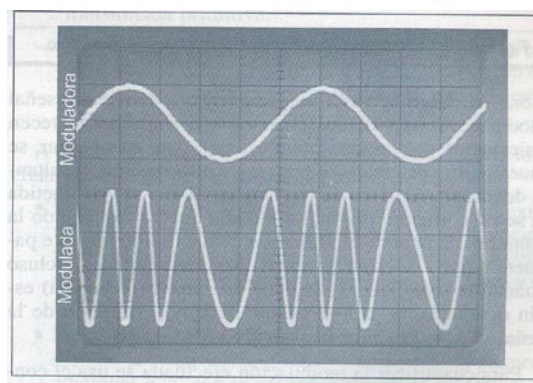
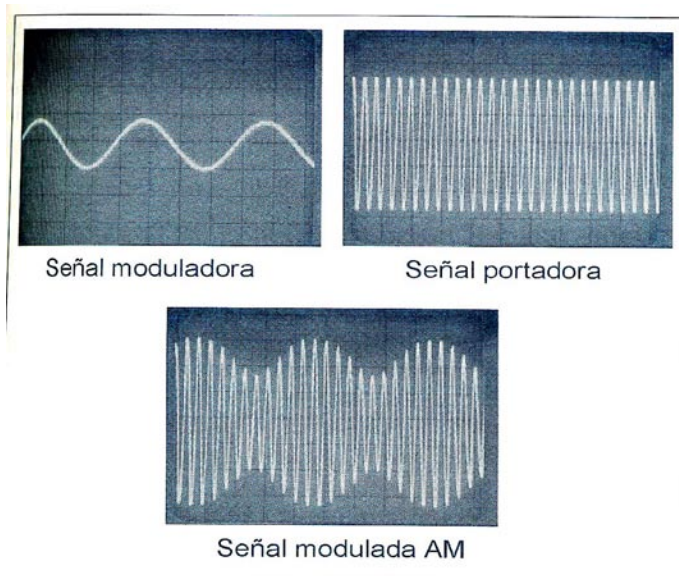


Ilustración 11. Modulación AM y FM

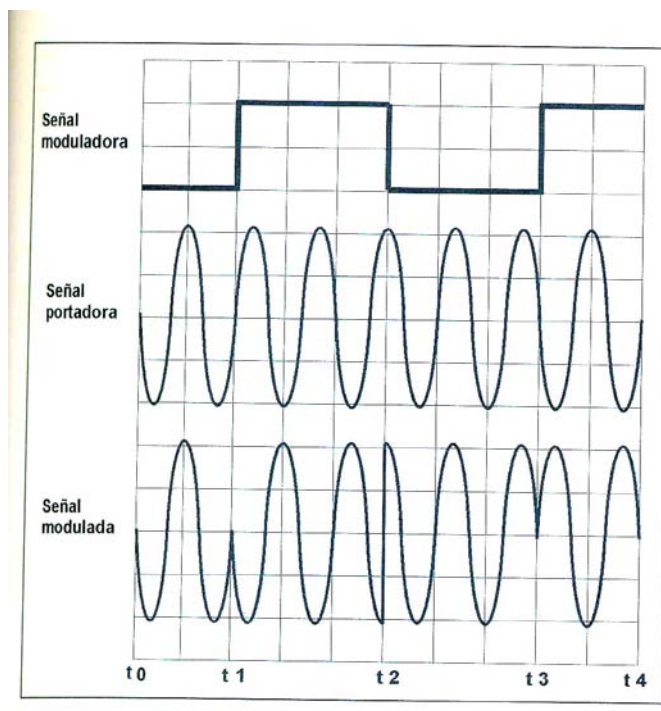


Ilustración 12. Modulación PSK

3.1.3. Tendencias tecnológicas

El sector de producción y emisión de televisión, como venimos diciendo, asume con rapidez los cambios tecnológicos y ha venido concluyendo la transición digital en estos tiempos, y la tendencia es a seguir implantando infraestructuras y equipamientos que mejoren la productividad y, en definitiva, la cuenta de resultados de las empresas del sector.

Entre los primeros departamentos que se automatizaron se encuentra el de continuidad, que ya en la actualidad dispone de sistemas informáticos que permiten situar en el flujo de emisión fuentes de todo tipo de procedencias y características.



Ilustración 13. Continuidad automatizada (VectorBox)

En el control de producción, por su parte, se están introduciendo cada vez con más intensidad los sistemas integrales de mezcla y tratamiento de imágenes en soportes informáticos que permiten gestionar multitud de fuentes además de introducir facilidades de titulación, efectos especiales y control de calidad de la imagen con un mismo software cada vez más sencillo de utilizar y efectivo.



Ilustración 14. Mezcla y tratamiento de imagen digital (Tricaster)

De similar manera, el control del estudio se está informatizando, especialmente para la creación de escenografías virtuales que permiten el diseño de ambientes altamente atractivos a partir de imágenes de síntesis desarrolladas con facilidad en entornos gráficos 3D, pudiendo incluso en algunos casos complementarse con sistemas robotizados de control de cámaras que permiten operarlas, incluso en cuanto a movimiento, completamente a distancia en herramientas que encuentran gran aceptación en multitud de programas televisivos, pero específicamente usadas sobre todo en distintos tipos de programas del género informativo.

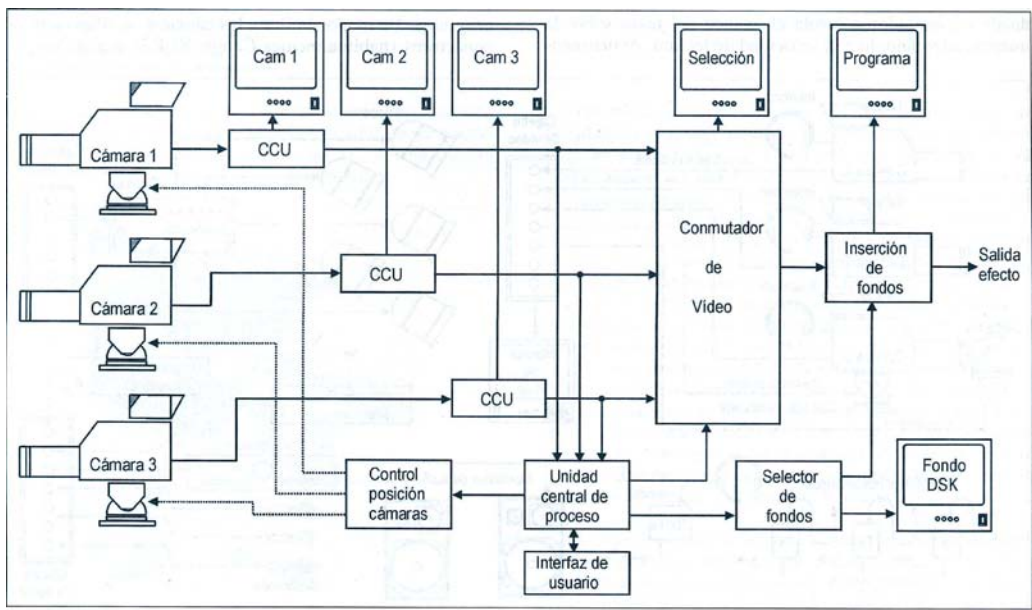


Ilustración 15. Escenografía virtual (Brainstorm)

En definitiva, las diferentes áreas de producción de televisión se intentan integrar al máximo para así automatizar todos los procesos en la medida de lo posible, un poco más abajo vemos un sistema de producción integral multiformato en red, con el fin de agilizar el flujo de trabajo y propiciar notables incrementos de productividad

y calidad final de los productos elaborados y, sobre todo, con la subsiguiente disminución de costes que de ello se puedan derivar para obtener mejoras sustanciales en los resultados económicos de las empresas.

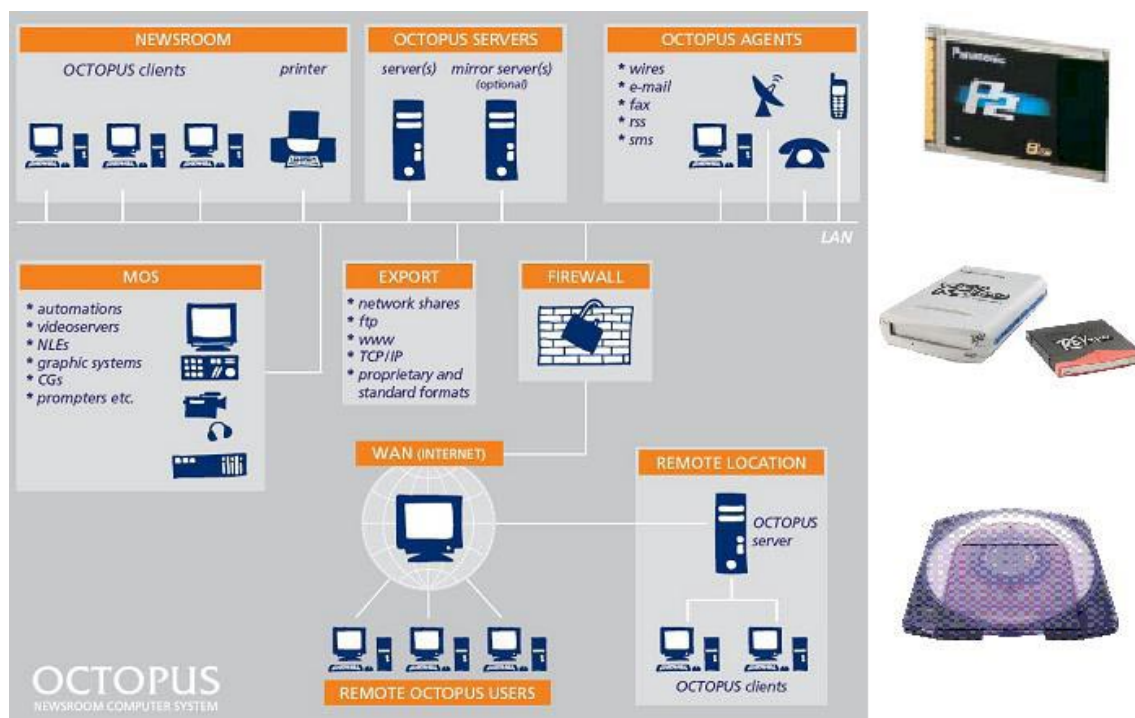


Ilustración 16. Sistemas integrales en red multiformato (Octopus)

De manera paralela, también, se están produciendo constantes mejoras en los estándares de vídeo introduciendo nuevos formatos y sistemas de compresión que permitan altas cotas de calidad en la imagen y el sonido disminuyendo ostensiblemente el flujo de datos de la señal y, en consecuencia, la complejidad y costes de los equipamientos necesarios para su tratamiento y difusión, tal como el algoritmo MPEG-4 AVC, especialmente apto para HDTV, televisión en alta definición, y que introduce importantes mejoras frente al ya estudiado MPEG-2.

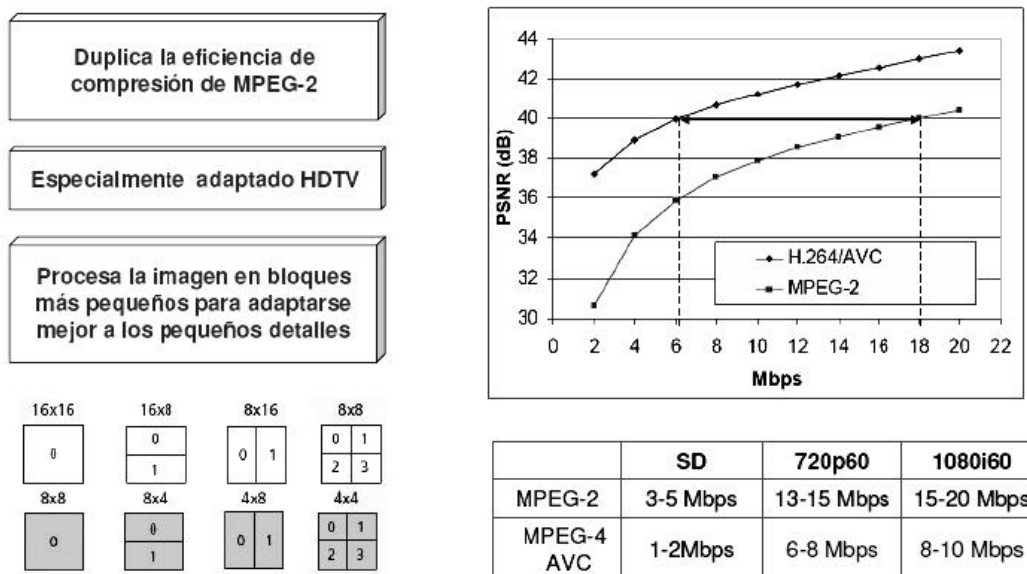


Ilustración 17. Codec AVC

3.2. Sistemas de televisión digital

Tal como venimos diciendo, la televisión ya ha realizado la transición de las tecnologías analógicas y, aunque aún hay empresas de televisión en proceso de adaptación, podemos considerar que el sector está enteramente digitalizado. El último de los tramos del sistema televisivo, la recepción, ya es igualmente digital desde la promulgación de las normas legales para implantar las normas DVB en sus distintas modalidades.

El mayor condicionante que había de contemplar cualquier norma que pretendiese desarrollar un sistema de televisión digital para mejorar los sistemas analógicos existentes y poder implantarse con éxito se puede resumir en la necesidad de que la transmisión de datos fuera eficiente en la relación calidad/cantidad y siempre dentro de los límites de los anchos de banda disponibles en el espectro electromagnético para emisión de televisión.

Para ello, en el proceso de digitalización de la señal suministrada por los equipamientos de captura había, en primer lugar, que tomar el mayor número de muestras para garantizar una buena calidad de imagen, al menos con una frecuencia doble de la señal a muestrear tal como corresponde a la ley de Nyquist, pero surge el inconveniente de que a medida que aumenta el número de muestras lo hace en igual medida la cantidad de información a transmitir, con lo cual harían falta grandes anchos de banda si se quisiera llevar hasta los receptores una señal de calidad óptima. Para reducir la cantidad de datos sin comprometer la calidad, una de las soluciones consistió en tomar menos muestras de color que de luminancia, ya que

la capacidad del ojo humano para discernir el color es mucho más reducida que para percibir las variaciones en intensidad; además de ello, y al contrario que ocurría con la señal analógica de televisión en sistema PAL, no era necesario transmitir información que no fuera imprescindible, como por ejemplo las señales de sincronismo, y se podían aplicar sistemas de compresión que redujesen todavía más la cantidad de datos sin pérdidas apreciables de calidad en la imagen final. De este modo, se estableció que la normas de codificación seguirían los estándares 4:2:2, con frecuencias de muestreo de 13,5 Mhz para la luminancia (Y) y 6,75 Mhz para la crominancia (Cr y Cb), con lo cual, al trabajar con múltiplos de 2,25 Mhz, el nuevo formato de televisión es válido tanto para sistemas de 625 y 525 líneas, es decir es compatible con los sistemas PAL y NTSC ya existentes; con similar criterio en cuanto a la reducción de datos a los estrictamente necesarios, se decidió que con una cuantificación a 8 bits, es decir, 255 valores de gris, era suficiente para garantizar la calidad de la señal. En último lugar, se optó por utilizar el algoritmo de compresión MPEG-2, de probada eficiencia y el más avanzado en el momento en que se desarrollaron las actuales normas vigentes de televisión digital.

El sistema de televisión digital, como consecuencia de todo ello, podemos entenderlo tal como se muestra en el siguiente esquema, en el que, además de contemplar las distintas modalidades de transmisión por satélite, ondas terrestres, cable y redes informáticas de telecomunicación, se introducen los procesos específicos, y reversibles en la fase de recepción, de compresión, codificación y, en su caso, encriptación para proteger la información ante terceros en sistemas de televisión de pago, así como la protección contra errores, que elimina los problemas de degradación de la señal e interferencias producidas por perturbaciones atmosféricas o electromagnéticas tan comunes y perceptibles en forma de artefactos y pérdida de señal en los sistemas de televisión analógicos.

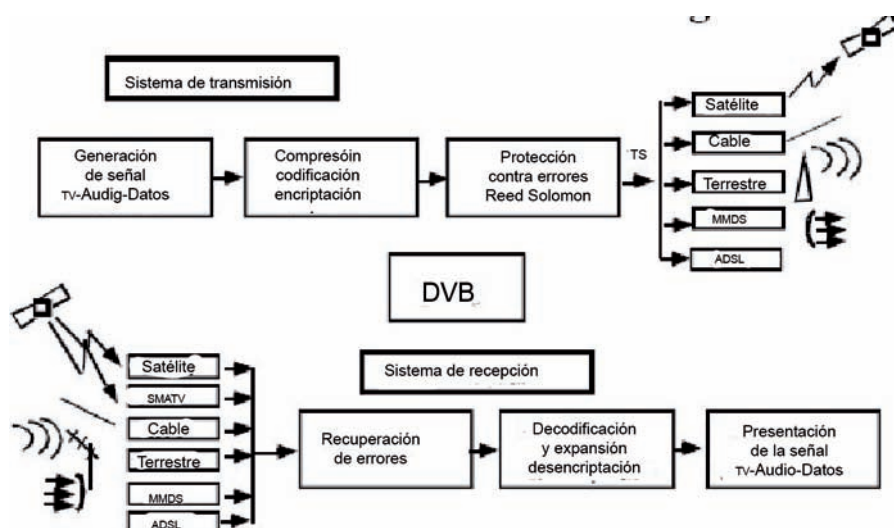


Ilustración 18. Distribución de TV digital

3.2.1. TDT, cable y satélite. Normas DVB

La transmisión de televisión digital es ligeramente distinta en función del canal de transmisión que se utilice y, para ello, se elaboraron en primer lugar diferentes normas en relación a los medios de transmisión existentes en ese momento, con ligeras diferencias entre ellas. Para la digitalización de la televisión convencional por ondas terrestres se desarrolló la norma DVB-T, o TDT, que utiliza la modalidad de transmisión COFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), y establece canales con un ancho de banda de 8 Mhz y un flujo de datos de 16 Mb/sg, con lo cual se pueden emitir con calidad óptima hasta 4 programas en el mismo canal utilizado hasta el momento para uno solo de televisión analógica, multiplicando así de manera importante la oferta de canales de televisión; por su parte, la norma DVB-S, diseñada para la televisión digital por satélite, utiliza modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Key), 36 Mhz de ancho de banda con una tasa de datos de 39 Mb/sg, lo que permite insertar hasta 10 canales en una misma frecuencia de emisión; y las normas DVB-C para la transmisión de televisión por cable, con modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation), un ancho de banda de 8 Mhz, flujo de datos de 32 Mb/sg, y hasta 8 programas por canal. También hay normas específicas, que veremos un poco más abajo, para la emisión con microondas y para la transmisión mediante telefonía móvil e internet, aunque una de las mejoras más significativas que introduce la tecnología digital en los centros de producción y distribución de televisión es la posibilidad de difusión multiplataforma de la señal, con lo cual se accede con gran facilidad a las distintas ventanas de comercialización y se amplían significativamente las oportunidades de negocio.

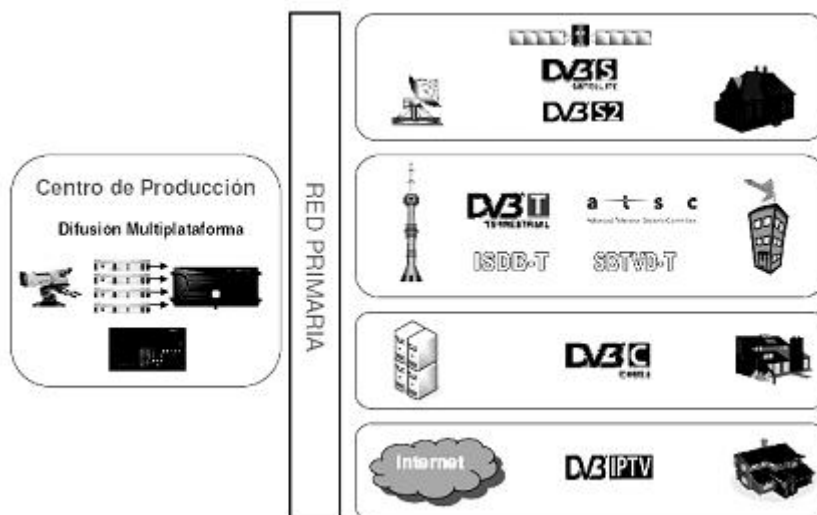


Ilustración 19. Normas DVB

En definitiva, con las nuevas normas se consigue transmitir varios programas por un mismo canal y elegir con flexibilidad la calidad de dicha emisión, se introducen además sistemas seguros de codificación para limitar el acceso y se obtiene una

mejora notable en la calidad de la imagen e inmunidad ante interferencias y, además, se pueden ofrecer servicios adicionales como EPG, Electronic Program Guide; VOD, Video On Demand; PPV, Pay Per View, etc., sin duda, mejoras significativas en relación a los anteriores sistemas analógicos de televisión.

Una de las grandes apuestas de los sistemas de televisión digital desde sus inicios es la introducción de interactividad con los usuarios finales del servicio al modo que es habitual en los medios de comunicación contemporáneos basados en infraestructuras de redes informáticas, aunque este aspecto todavía hoy no ha tenido un desarrollo e implantación adecuado debido a las dificultades encontradas para establecer un canal de retorno que responda de manera óptima a las necesidades de intercambio de datos, y sólo con la integración de los sistemas de televisión digital en los entornos de las redes de comunicación e internet se está haciendo posible, en la emisión por ondas terrestres o satélite es todavía algo que está lejos de ser una realidad, aunque hay algunas implantaciones que utilizan las líneas telefónicas para ello, en todo caso poco desarrolladas y que proporcionan facilidades interactivas y operatividad limitada, como en el caso de la compra de programas de pago para los que se desarrollan decodificadores y sistemas de acceso condicional, mediante tarjeta o similar, específicos de cada plataforma de emisión y todavía poco normalizados.

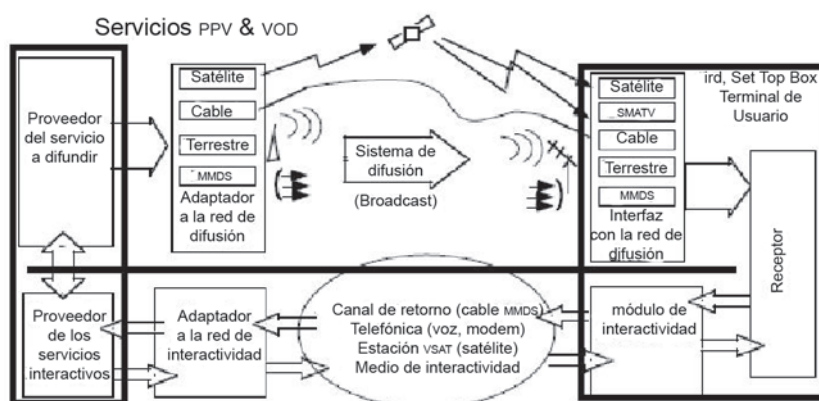


Ilustración 20. Interactividad en televisión

3.2.2. Redes de comunicación. Internet TV

En este contexto de rápida transición de tecnologías de televisión analógicas a digitales, las sinergias que se producen entre los diversos medios de telecomunicación son evidentes e inevitables y, por ello, cada vez más se están desarrollando sistemas que utilizan las plataformas e infraestructuras de redes diseñadas inicialmente para otros usos para transmitir televisión, tal como ocurre con las redes de telefonía móvil y con Internet, que cada vez ofrece mayores velocidades de transmisión y que, en conjunción con la mejora significativa en los sistemas de compresión de datos, se está convirtiendo en un serio competidor de los medios tradicionales de emisión de televisión.

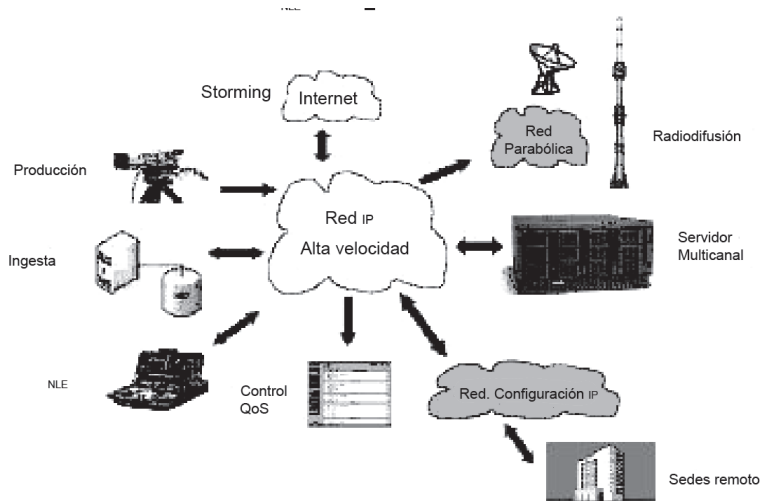


Ilustración 21. Sistema de TV por Internet

Para ello se ha impulsado una nueva norma, denominada DVB-H, y destinada a la televisión para telefonía móvil e Internet este contexto de rápida transición de tecnologías de televisión analógicas a digitales, a partir de la norma DVB-H original pero que permite mantener consumos mínimos de batería, imprescindible para su funcionamiento en los dispositivos móviles, y hace posible la transmisión de los paquetes de datos audiovisuales por lotes y via TCP/IP. De manera simultánea, y en consonancia con el creciente desarrollo de los sistemas de telecomunicación inalámbricos por microondas, se han desarrollado estándares de televisión digital, DVB-MS y DVB-MT, que permitan el despliegue de infraestructuras y redes de difusión en lugares con población dispersa con mucho menor coste de instalación que las actuales, para así hacer posible la universalización de las redes de telecomunicación multimedia.

Todo ello está dando lugar a una reordenación del sector televisivo y de telecomunicaciones en la que intervienen como agentes activos las administraciones y los concesionarios de televisión públicos y privados, la industria de producción de contenidos, los fabricantes de equipos y desarrolladores de aplicaciones, y el gestor del multiplex, distinto al transportista y difusor de la señal, y, finalmente, el gestor de la interactividad.

En lo que respecta a la modalidad de televisión vía Internet, conocida como IPTV, estamos ante una de las opciones de futuro más prometedoras, dadas las amplias posibilidades interactivas y de integración multiplataforma que permite, una vez haya sido mejorada la capacidad de transmisión de las actuales redes. Por una parte, se pueden establecer redes privadas de transmisión de datos, lo cual garantiza la calidad de los usuarios que tienen acceso, modalidad adecuada para redes de pago con garantía de calidad en la recepción; y por otra, se puede ofrecer televisión en las redes convencionales con sistemas P2P o de streaming.

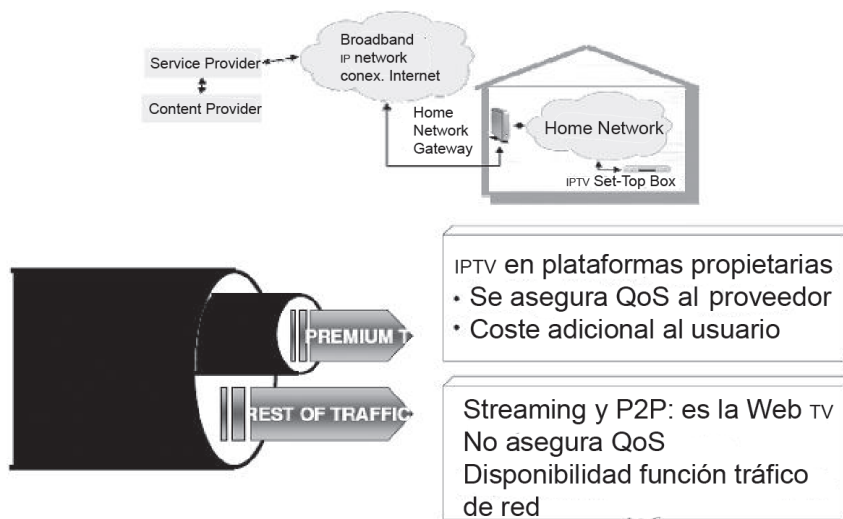


Ilustración 22. IPTV

Los clásicos sistemas de streaming funcionan con modalidades de transmisión de carácter jerárquico, es decir, al haber un emisor único y ser la emisión unidireccional si se aumenta el número de usuarios a los que se quiere hacer llegar la señal, dado que la velocidad de transmisión es limitada, es necesario ampliar el ancho de banda para no perder calidad; en cambio, los sistemas P2P, *peer to peer*, son económicamente mucho más efectivos, pues al estar basados en redes multinodales, es decir en forma de malla, cualquier usuario/receptor que recibe la señal se convierte al tiempo en transmisor, de manera que la calidad final que llega a cada uno de los usuarios es el resultado conjunto de los integrantes de la red, y la distribución de televisión puede extenderse de manera ilimitada sin coste alguno, opción tecnológica sin duda muy a tener en cuenta en el futuro inmediato.

Bibliografía

Bibliografía básica

- BARROSO, J. (2008): *Realización Audiovisual*, Síntesis, Madrid.
– (2009): *Realización del documental y el reportaje*, Síntesis, Madrid.
- BETHENCOURT, T. (2001): *Televisión digital*, Beta, Madrid.
- BROWN, B. (1992): *Iluminación en cine y televisión*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- CUENCA, I. y E. GÓMEZ (1995): *Tecnología básica del sonido (I y II)*, Paraninfo, Madrid.
- FÉLIX, E. (2001): *Sistemas de radio y televisión*, McGraw-Hill, Madrid.
- FERNÁNDEZ, J. L. y T. NOHALES (1999): *Postproducción digital*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- GAWLINSKI, M. (2004): *Producción de televisión interactiva*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- LLORENS, V. (1995): *Fundamentos tecnológicos de vídeo y televisión*, Paidós, Barcelona.
- MILLERSON, G. (1983): *Técnicas de realización y producción en televisión*, IORTV, Madrid.
– (1994): *Iluminación para televisión y cine*, IORTV, Madrid.
- PÉREZ, C. y J. ZAMANILLO (2003): *Fundamentos de televisión analógica y digital*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander.
- WATKINSON, J. (1992): *El arte del vídeo digital*, IORTV, Madrid.
- WHITE, G. (1984): *Técnicas del vídeo*, IORTV, Madrid.

Bibliografía complementaria

- ALTEN, S. (1994): *El manual del audio en los medios de comunicación*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- BERNARD MAPPE, L. (1993): *La película y el laboratorio cinematográfico*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- HART, D. (2000): *El ayudante de cámara*, IORTV, Madrid.
- MARTÍNEZ, J. y J. SERRA (2000): *Manual básico de técnica cinematográfica y dirección de fotografía*, Paidós, Barcelona.
- RAY, S. (1977): *Las lentes y sus aplicaciones*, Escuela de cine y vídeo, Andoain (Guipúzcoa).
- RUMSEY, F. y T. MCCORMICK (2004): *Sonido y grabación. Introducción a las técnicas sonoras*, IORTV, Madrid.
- SAMUELSON, D. (1982): *La cámara de cine y el equipo de iluminación*, IORTV, Madrid.