

VIDEO ANÁLOGO

1.1 VIDEO ANÁLOGO

En un sistema análogo, la información se transmite mediante alguna variación infinita de un parámetro continuo como puede ser la tensión en un hilo o la intensidad de flujo de una cinta (véase la Figura 1). En un equipo de grabación, la distancia a lo largo del soporte físico es un elemento análogo continuo más del tiempo. No importa en que punto se examine una grabación a lo largo de toda su extensión: se encontrará un valor para la señal grabada. Dicho valor puede variar con una resolución infinita dentro de los límites físicos del sistema.

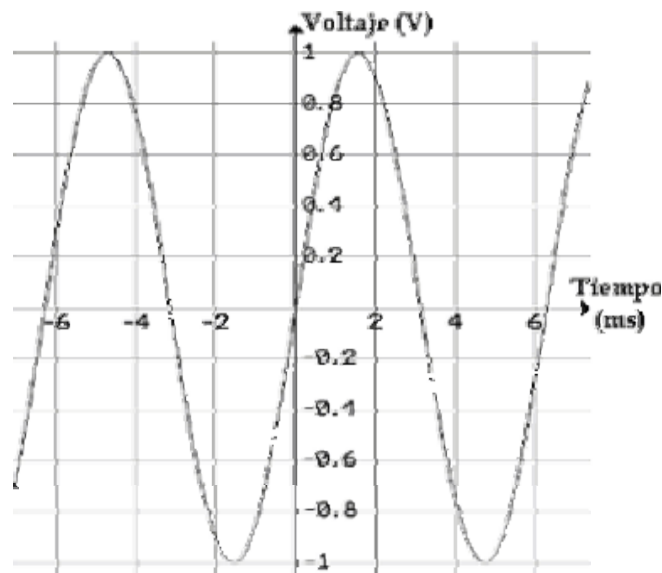


Figura 1. Variación infinita de un parámetro continuo en función del tiempo

Dichas características suponen la debilidad principal de las señales análogas. Dentro del ancho de banda permisible, cualquier forma de onda es válida. Si la velocidad del soporte no es constante, una forma de onda que sea válida pasará a ser otra forma de onda también válida; no es posible detectar un error de base de tiempos en un sistema análogo. Además, un error de tensión tan sólo hace variar un valor de tensión válido en otro; el ruido no puede detectarse en un sistema análogo. Se puede tener la sospecha de que existe ruido, pero no se sabe qué proporción de la señal recibida corresponde al ruido y cual es la señal original. Si

la función de transferencia de un sistema no es lineal, se producirán distorsiones, pero las formas de onda distorsionadas aún serán válidas; un sistema análogo es incapaz de detectar distorsiones.

Es característico de los sistemas análogos el hecho de que las degradaciones no puedan ser separadas de la señal original, por lo que nada pueda hacerse al respecto. Al final de un sistema determinado la señal estará formada por la suma de todas las degradaciones introducidas en cada etapa por las que haya pasado. Esto limita el número de etapas por las que una señal puede pasar sin que quede inutilizable. [1]

1.2 PROCESO DE EXPLORACIÓN DE LA IMAGEN.

Se debe recordar que todas las normas vigentes de televisión en la actualidad, NTSC (National Television Systems Comitee), PAL (Phase Alternation Line) y SECAM (Systeme Electronique Color Avec Memoire) se derivan, directa o indirectamente, de los estándares en blanco y negro definidos en los años 40 y 50.

Estas primeras emisiones utilizaban un barrido progresivo (todas las líneas de la imagen se barren consecutivamente, como se puede ver en la Figura 2).

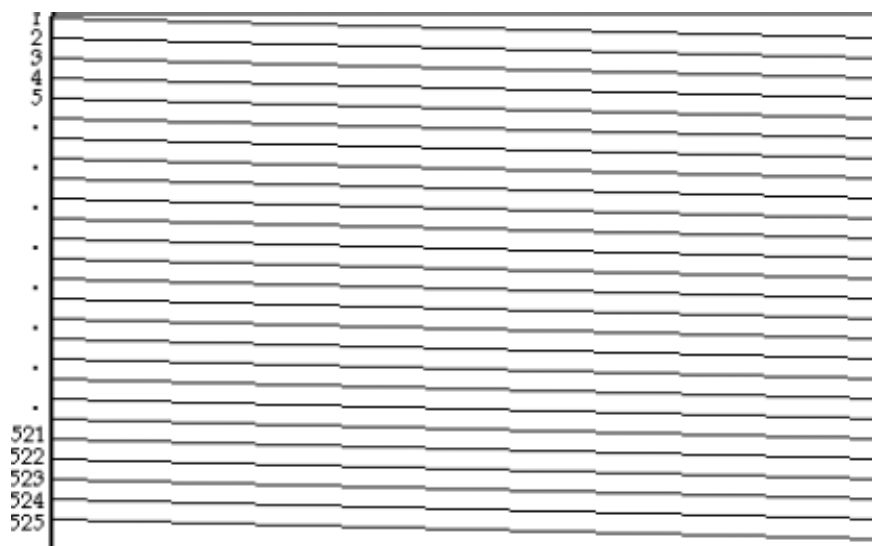


Figura 2. Representación simplificada del barrido progresivo

Por razones de orden práctico (radiaciones debidas a fugas magnéticas de los transformadores de alimentación, filtrados imperfectos), fue indispensable utilizar una frecuencia de imagen que estuviera relacionada con la frecuencia de la red (60 Hz en EE.UU., 50 Hz en Europa) para minimizar el efecto visual de estas imperfecciones; la frecuencia de exploración fue, por tanto, de 30 imágenes/s en EE.UU. y de 25 imágenes/s en Europa. Estas primeras imágenes presentaban un parpadeo bastante molesto (también llamado flicker de campo).

Tiempo después la captación de la imagen se hizo electrónica, haciendo que las definiciones alcanzaran un mayor número de líneas, esto gracias al barrido entrelazado. [1]



Fig. 3. representación electronica de una imagen.

Vamos a ver la forma en que representamos electrónicamente las imágenes, la señal de video y sus componentes. Tomemos una imagen, por ejemplo, la casa de la foto. Necesitamos convertir una superficie plana, con tonos de gris, zonas oscuras y claras en una sucesión de valores analógicos, una señal, para que la imagen pueda transmitirse. Bien, pues para obtener esta señal se escanea la imagen del siguiente modo: Empezando por la esquina superior izquierda se rastrea una línea de la que tomamos los valores de luminosidad, en adelante, Luminancia (Y). Este proceso se denomina Barrido horizontal.

Acabada la primera línea se rastrea la siguiente en sentido descendente hasta que, línea tras línea, tengamos rastreada toda la imagen. Este proceso se denomina Barrido vertical. Cada barrido vertical se corresponde con un cuadro de imagen o frame. De la sucesión rápida de cuadros en el tiempo se obtiene la sensación de movimiento. ¿Y el color? Se obtienen los tres valores de luminancia de cada color primario (en luz son el rojo, el verde y el azul). Es decir, se hacen en realidad, tres barridos simultáneos, uno para cada color básico y se obtienen, en consecuencia, tres señales de luminancia: RGB del inglés red, green & blue.

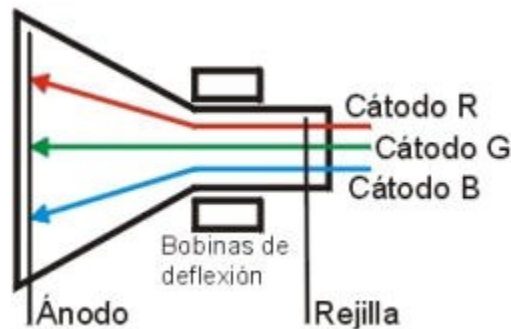


Fig. 4. tubo de rayos catódicos.

Las pantallas de TV y de ordenador son unos tubos de rayos catódicos adaptados a la proyección de imágenes. Tienen tres cátodos, uno para cada señal de luminancia (RGB) y el ánodo es, en realidad, la pantalla donde impacta el haz de electrones proveniente del cátodo. Para reconstruir la imagen se sigue el proceso que hemos explicado, pero a la inversa. Es decir, se dirigen los haces de electrones provenientes del cátodo para que efectúen los barridos horizontal y vertical sobre la pantalla. Esto se consigue mediante el uso de las bobinas deflectoras que se encargan de dirigir el haz de izquierda a derecha y de arriba abajo. A tal efecto, las bobinas reciben una señal sincrónica con el barrido, un diente de sierra que se construye a partir de los sincronismos horizontal y vertical.

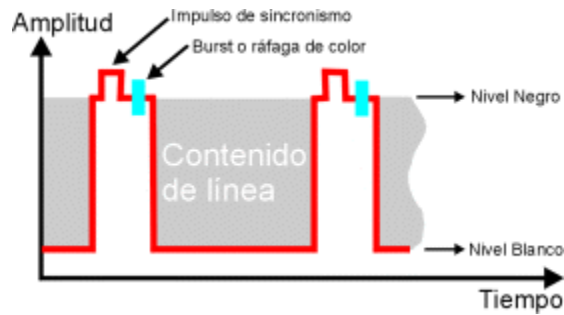


Fig. 5. contenido de línea.

Ahora tenemos tres señales de luminancia, una para cada color primario. ¿Cómo se vuelven a transformar en imágenes en una pantalla? Pues mediante la proyección de la señal en un tubo de rayos catódicos. Bueno, ahora también hay las pantallas TFT y de plasma, pero trabajan con la misma señal de video por lo que el ejemplo del tubo nos sirve perfectamente. Un tubo de rayos catódicos no es otra cosa que eso, un tubo, donde se ha hecho el vacío y se han colocado dos terminales eléctricos, el ánodo (-) y el cátodo (+). Si sometemos estos terminales a una tensión eléctrica suficiente, se producirá una corriente eléctrica entre ellos.

La señal de Vídeo Compuesto

Bien, pues ya tenemos todos los componentes de la señal de vídeo: las tres señales Y (RGB) más la señal de sincronismos (Horizontal y vertical). O lo que es lo mismo, ya sabemos que la señal de vídeo se compone en realidad de 5 señales, tres de información y dos de sincronismo. Para poder transmitir todo eso por un único canal, los precursoros de la TV se las apañaron para componer todas las señales en una sola... El vídeo compuesto o línea. Este ha sido el estándar para la transmisión de vídeo durante muchos años y todos nuestros aparatos tienen entradas y salidas para este formato

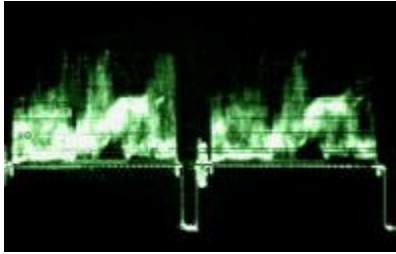
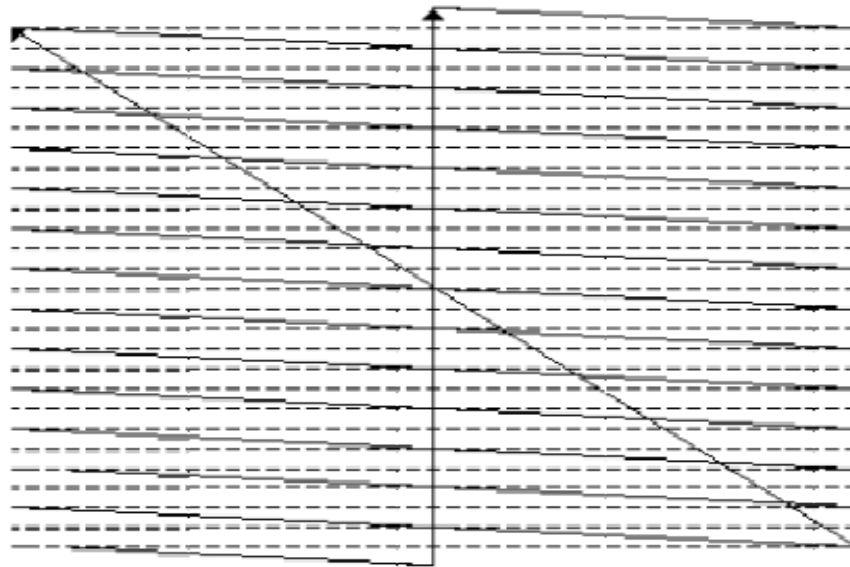


Fig. 6. vídeo compuesto o línea.

En el gráfico se puede ver cómo lo hicieron. Se transmite en una sola señal la suma de las tres Y (RGB) los impulsos de sincronismo H y V y una tercera señal denominada ráfaga o burst de color o croma (Cr) que sirve para descomponer la suma de luminancias y volver a obtener RGB en el receptor. De este modo obtenemos tres señales en una: Sincronismo, Y (suma) y Cr (color). Este es el formato más simple y más práctico porque nos permite conectar dos dispositivos por el mismo cable, ya que el vídeo compuesto contiene todos los componentes de la señal. Ahora bien, es el de peor calidad ya que el receptor tiene que descomponerlo todo y la señal se degrada a medida que vamos acumulando etapas y procesos. Para conectar dos aparatos (TV y PC o lo que sea) por vídeo compuesto se suelen usar conectores RCA y cable coaxial. Sólo en aparatos antiguos o de gama profesional se usan conectores BNC. [2]

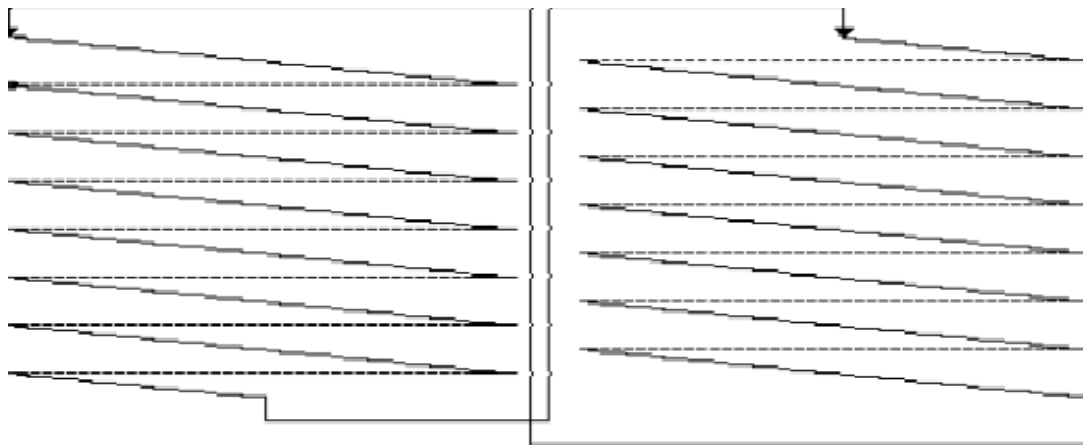
1.2.1 Barrido entrelazado.

Consiste en la transmisión de un primer campo compuesto por las líneas impares de la imagen y a continuación un segundo campo formado por las líneas pares, como se ve en la Figura 7. Esta forma de barrer la imagen, permite duplicar la frecuencia de refresco de la pantalla (50 o 60 Hz, en lugar de los 25 o 30 Hz) sin aumentar el ancho de banda para un número de líneas dado. Como se ve en la Figura 8, el barrido entrelazado se obtiene utilizando un número impar de líneas, por ejemplo 525 o 625 líneas que constituyen un cuadro, de manera que el primer campo comience en una línea completa, terminando en la mitad de otra línea, y el segundo campo comience en la mitad de una línea y finalice con una línea completa. En los países donde la frecuencia de la red es de 60 Hz, la velocidad de cuadro es de 30 por segundo y, por consiguiente, la frecuencia de campo es de 60 Hz.



Cuadro completo

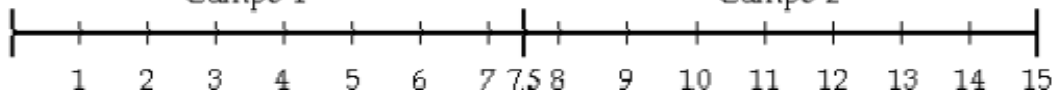
Figura 7. Barrido entrelazado 2:1



El primer campo comienza con una línea completa y finaliza con media línea El segundo campo comienza con media línea y finaliza con una línea completa

Campo 1

Campo 2



Debe haber un número impar de líneas en cada cuadro

Figura 8. Los campos de un entrelazado 2:1

1.3 FRECUENCIAS DE EXPLORACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL.

La velocidad de campo de 60 Hz es la frecuencia de exploración vertical. Este es el ritmo con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento vertical, desde la parte superior hasta la parte inferior de la pantalla para volver nuevamente a la parte superior.

El número de líneas de exploración horizontal de un campo es la mitad del total de las 525 líneas de un cuadro completo (en el sistema NTSC), ya que un campo contiene la mitad de las líneas. Esto da por resultado 262.5 líneas horizontales para cada campo.

Como el tiempo que corresponde a un campo es $1/60$ s y cada campo contiene 262.5 líneas, el número de líneas por segundo es:

$$262.5 \times 60 = 15750 \text{ líneas/s}$$

Esta frecuencia de 15750 Hz es la velocidad con que el haz electrónico completa su ciclo de movimiento horizontal de izquierda a derecha y regresa nuevamente a la izquierda.

1.3.1 Tiempo de línea horizontal.

El tiempo durante el cual se realiza la exploración de una línea horizontal es: $1/15750 \times 63.5 \mu \text{ s}$

1.4 LAS SEÑALES DE COLOR.

El sistema para la televisión en color es el mismo que para la televisión monocromática excepto que también se utiliza la información de color. Esto se realiza considerando la información de imágenes en términos de rojo, verde y azul. Cuando es explorada la imagen en la cámara, se producen señales de video separadas para la información de rojo, verde y azul de la imagen. Filtros de color separan los colores para la cámara. Sin embargo, para el canal estándar de 6 MHz de televisión, las señales de video de rojo, verde y azul son combinadas de modo que se forman dos señales equivalentes, una correspondiente al brillo y otra para el color. Específicamente las dos señales transmitidas son las siguientes:

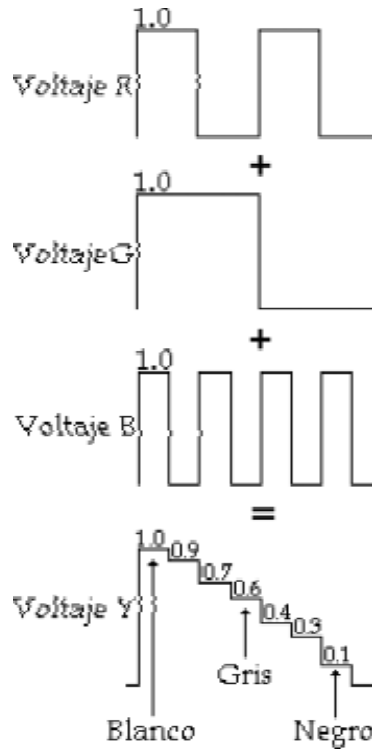
Señal de luminancia: Contiene solo variaciones de brillo de la información de la imagen, incluyendo los detalles finos, lo mismo que en una señal monocromática. La señal de luminancia se utiliza para reproducir la imagen en blanco y negro, o monocroma. La señal de luminancia o Y se forma combinando 30% de la señal de video roja (R), 59% de la señal de video verde (G) y 11% de la señal de video azul (B), y su expresión es:

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B.....ec (1)$$

Los porcentajes que se muestran en la ecuación corresponden a la brillantez relativa de los tres colores primarios. En consecuencia, una escena reproducida en blanco y negro por la señal Y tiene exactamente la misma brillantez que la imagen original. La Figura 9 muestra como el voltaje de la señal Y se compone de varios valores de R, G y B. La señal Y tiene una máxima amplitud relativa de unidad, la cual es 100% blanca. Para los máximos valores de R, G y B (1V cada uno), el valor de brillantez se determina de la siguiente manera:

$$Y = 0.30 (1) + 0.59 (1) + 0.11 (1) = 1 \text{ lumen}.....ec (2)$$

Los valores de voltaje para Y que se ilustran en la Figura 10 son los valores de luminancia relativos que corresponden a cada color.



$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B$$

Figura 9. Obtención de la señal Y

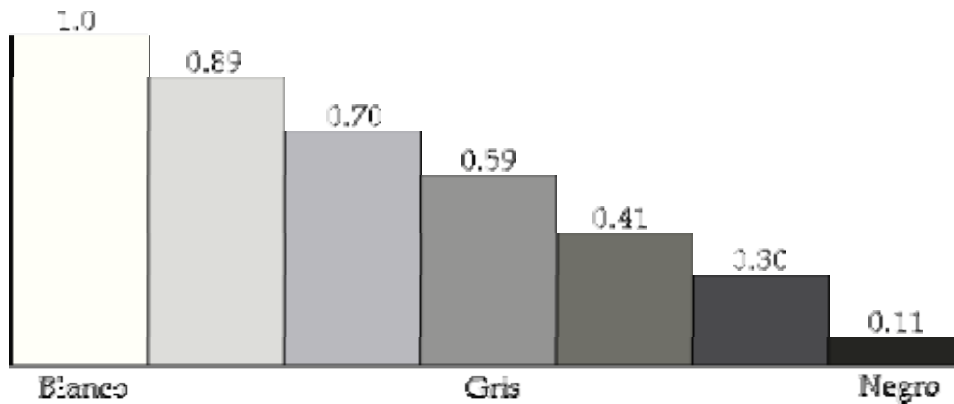


Figura 10. Valores de luminancia relativa

Señal de crominancia: La señal de crominancia es una combinación de las señales de color I y Q. La señal I o señal de color en fase se genera combinando el 60% de la señal de video en rojo (R), 28% de la señal de video en verde (G) invertida y 32% de la señal de video en azul (B) invertida, y se expresa como:

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B \dots \text{ec (3)}$$

La señal Q o señal de color en cuadratura se genera combinando el 21% de la señal de video en rojo (R), 52% de la señal de video en verde (G) invertido y 31% de la señal de video en azul (B), y su expresión es:

$$Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \dots \text{ec (4)}$$

Las señales I y Q se combinan para producir la señal C y debido a que las señales I y Q están en cuadratura, la señal C o crominancia es la suma vectorial de estas, y su expresión es:

$$C = \sqrt{I^2 + Q^2}$$

$$\tan^{-1} \frac{Q}{I} \dots \text{ec (5)}$$

Las amplitudes de las señales I y Q son, en cambio, proporcionales a las señales de video R, G y B. La Figura 11 muestra la rueda de colores para la radiodifusión de televisión. Las señales R- Y y B- Y se utilizan en la mayor parte de los receptores de televisión a color para demodular las señales de video R, G y B. En el receptor, la señal C reproduce colores en proporción a las amplitudes de las señales I y Q. El matiz (o tono del color) se determina por la fase de la señal C y la profundidad o saturación es proporcional a la magnitud de la señal C. La parte exterior del círculo corresponde al valor relativo de 1.

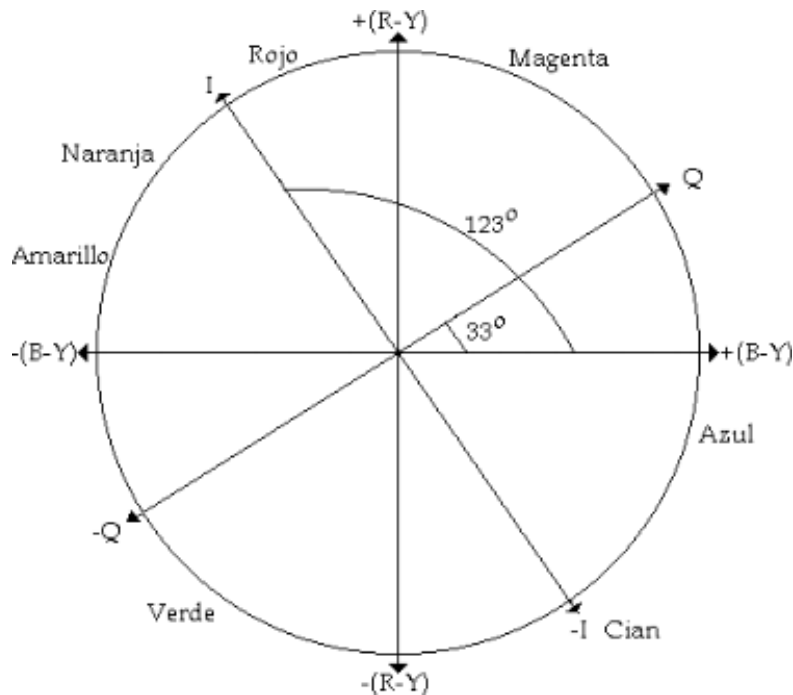


Figura 11. Representación de los colores en NTSC

Así se consigue que los sistemas de color y monocromáticos sean completamente compatibles. [1]

1.5 SISTEMAS DE TELEVISIÓN A COLOR

En la década del 40 solo existía televisión monocromática o blanco y negro, es decir, que la señal de video transmitida por las estaciones existentes, solo incluían la información de brillo de la imagen, la cual era representada en la pantalla del receptor como una sucesión de puntos con mayor o menor intensidad (tonos de grises).

Si bien hoy en día, ver imágenes en blanco y negro pueden no resultan atractivas, esta modalidad de transmisión logra cumplir con un objetivo muy necesario: dotar a la imagen reproducida de definición suficiente para que el espectador pueda discriminar dentro de la imagen, las formas, y tamaños relativos de los componentes de la escena. Cuando la tecnología pudo agregarle color a la imagen, hubo que analizar la forma de incluir dentro del canal de televisión, la información de color (crominancia), sin detrimento de la información de brillo (luminancia), ya existente.

1.5.1. Sistemas de exploración y sistemas de color

Conviene hacer una aclaración importante: hay que poder discernir entre 2 conceptos distintos, que en la práctica se suelen tratar indistintamente.

Los sistemas de exploración de imágenes de televisión, se refieren a la manera en que la imagen es barrida por el haz, la cantidad de líneas de definición, las frecuencias vertical y horizontal, y otras características. Así, existen normas como la M en EE.UU., Brasil, Japón, la norma N de Argentina, La norma B en Europa, etc.

Los sistemas de codificación de color de imágenes de televisión, se refieren a la manera en que se agrega la información de color a la imagen. Así, existen 3 sistemas clásicos que se implementaron en el mundo: NTSC, PAL y SECAM.

1.5.2 Compatibilidad y retrocompatibilidad

Se hace necesario agregarle a la señal monocromática de luminancia, la señal de crominancia. Para conseguir esto se debe mantener 2 condiciones importantes:

Compatibilidad

Es la propiedad de un sistema de televisión color que permite la reproducción de las emisiones a color, en los receptores monocromáticos existentes (por supuesto se verán las imágenes en blanco y negro, aunque se hayan generado en el transmisor a color).

Retrocompatibilidad o compatibilidad inversa

Es la propiedad de un sistema de televisión en colores que permite a los receptores de televisión en colores, reproducir en blanco y negro, las emisiones de un sistema existente en blanco y negro.

En ambos casos, las imágenes deben ser de buena calidad, por lo que la emisión en colores debe mantenerse dentro del canal de frecuencias previsto para blanco y negro, sin invadir canales adyacentes.

1.5.3 La cámara de color

Básicamente será igual a la monocromática, pero deberá tener algún agregado que le permita discriminar entre los 3 colores primarios que componen la imagen de toma, separarlos y obtener sendas señales de R, G y B. Esto se consigue con la inclusión dentro de la cámara de espejos muy especiales que en lugar de reflejar toda la radiación incidente, solo lo hacen con una pequeña banda de la misma, permitiendo que el resto de la radiación sea atravesada. Estos espejos se llaman dicróicos.

Entonces, con un juego de 2 espejos dicróicos y otro espejo normal se consigue separar la onda incidente en la cámara en sus 3 componentes primarias.

Con estos 3 colores se podrán reproducir la mayoría de los colores existentes en la naturaleza, por lo tanto, si se transmitieran estas 3 señales se podrían reproducir en un receptor destinado para este fin; sin embargo un televisor monocromático pre-existente no está preparado para recibir estas 3 señales, sino solo la Y.

Se deduce, de la colorimetría, que la relación entre Y los 3 colores primarios está establecida por la llamada ecuación fundamental de la Luminancia (ec. 1)

Conocido el hecho que se necesitan 3 señales para reproducir una imagen coloreada y una de las señales a transmitir es Y, resta todavía obtener 2 señales más, que conformarán la señal vectorial de cromaticidad. Estas 2 señales deberán tener la particularidad de anularse en caso de tratarse de una imagen monocromática (solo brillo). Este hecho, al igual que el anterior son necesarios en relación a las 2 premisas anteriormente nombradas, compatibilidad y retrocompatibilidad. Observando que el blanco se obtiene con iguales cantidades de los 3 primarios, por ejemplo el blanco de máximo brillo se obtiene con señales normalizadas con $R=G=B=1v$, se comprueba que $Y=1v$ también. Por lo tanto la señal de cromaticidad estará formada por 2 de las 3 señales diferencia de color R-Y, G-Y, B-Y. Solo será necesario enviar 2 señales, además de Y, dado que la tercera es combinación lineal de las otras. En el receptor, de igual manera se podrán recuperar las componentes R, G y B a partir de Y y C, donde C es la señal vectorial de cromaticidad formada por 2 señales de diferencia de color. Al deducir la expresión analítica de las diferencias de color, se

comprueba que la diferencia al verde G-Y es la que tiene coeficientes menores y por ende menor potencia por lo que será más susceptible al ruido. Por lo tanto la señal de crominancia C estará compuesta por la diferencia al rojo y diferencia al azul, también simbolizadas Cr y Cb.

1.5.4 Corrección de gamma

El brillo de una pantalla de un Tubo de Rayos catódicos TRC no guarda relación lineal con respecto a la intensidad del haz, sino más bien es una relación de cuadrática a cúbica. Debido a esto se hace necesario una corrección de Gamma en estudio, siendo Gamma (γ) el exponente de la intensidad I cuando se cumple la ecuación $L=k.I^\gamma$. La condición ideal sería un Gamma igual a 1.

1.5.5 Inserción de la crominancia en la señal de video

Se comprueba experimentalmente que la crominancia requiere un ancho de banda menor que el de luminancia, pero aun así, necesitan ubicarse ambas señales dentro del mismo canal de frecuencia, para cumplir la compatibilidad exigida. Para lograr esto hay que notar que el espectro de luminancia como el que se obtiene de crominancia, tienen la particularidad de ser discretos, es decir, están compuestos por rayas espectrales y no por una banda continua de frecuencias. La razón de esto hay que buscarla en el mismo proceso de generación de la imagen: a partir de la exploración punto a punto, lo que lo hace discretos.

Entonces, la solución se basa en intercalar ambos espectros, el de Y y el de C de manera de conseguir en el receptor una fácil separación de ambos. Esto se logra premodulando la croma con una frecuencia de subportadora color, que cambia según el sistema o la norma, pero que en todos los casos persigue un mismo objetivo, ubicar la porción de mayor potencia del espectro de croma en una zona donde el espectro de luma sea notoriamente inferior, admitiendo un posible caso que la separación de ambos espectros no se pueda conseguir con absoluta eficacia. Aunque este sea el caso, de todas formas se contribuye a la compatibilidad y las imágenes recibidas seguirán siendo de buena calidad, aunque se vea afectada una pequeña porción de espectro.

1.6 GRABANDO Y CODIFICANDO EL VIDEO ANÁLOGO.

Esta sección describe cómo las cámaras de video graban y codifican las señales de la imagen, y también cómo las cámaras de video interpretan el color y miden la resolución de las imágenes.

Las cámaras de video convencionales contienen dispositivos foto sensibles llamados Charge-coupled devices (CCDs), que digitalizan o capturan las imágenes individuales como las imágenes ópticas y las convierten o ponen en códigos o señales electromagnéticas. Una vez la señal de video analógico ha sido codificada por la cámara, ésta puede ser transmitida, grabada hacia video analógico, o se puede grabar digitalmente hacia un dispositivo de almacenamiento de disco. Las señales eléctricas capturadas por una cámara de video representan el color e información de brillo de la imagen. Las cámaras se clasifican, entre otras cosas, por su respuesta al color y resolución de imagen.

1.6.1 Cómo interpretan el color las cámaras de video.

Las cámaras de video interpretan el color como una combinación de los tres colores primarios aditivos: rojo, verde y azul. Este modelo se basa en la teoría del color a partir de la luz y normalmente se conoce como color RGB. Todas Las cámaras difieren en la manera como codifican la señal de color en un video, algunas procesan la señal separando en canales los componentes del RGB (Señal S-VHS), otras procesan la señal por croma (color) y luminancia (brillo), información que produce el campo de video, este proceso es el más común, poner la información del código RGB y la luminancia en una señal, conocida como señal compuesta (señal VHS).

En Estados Unidos y Japón la señal compuesta normal adoptada por la televisión y el video industrial es la NATIONAL TELEVISION STANDARS COMMITTEE (NTSC) Una señal NTSC tiene una proporción de 30 fps. (O más precisamente 29,97 fps.). En Europa, la señal compuesta más común es la señal PHASE ALTERNATING LINE (PAL) que tiene una proporción de 25 fps.

1.6.2 La resolución de imagen.

Otro concepto importante de una señal de video es la resolución de la imagen, cuya calidad depende del número de elementos del fotograma; Cada elemento se llama pixel.

Una imagen de video proyectada es una conglomeración de pixeles los cuales generan el color y brillo de la imagen. La calidad de la imagen incrementa si la cantidad de pixeles en el área de la imagen es mayor. Una cámara de video codifica la información de la imagen como una reja de pixeles, algo así como una colección de azulejos en un mosaico. En una señal NTSC un cuadro de video contiene 486 líneas horizontales de pixeles visibles, y cada una de estas líneas contiene 720 pixeles. Así, un cuadro de video NTSC esta conformado por 349.920 pixeles (486 x 720).

1.6.3 Visualizando una señal de video.

Para que la señal de video análogo o digital sea reconocible como una imagen debe correrse a través de un decodificador y ser convertida a una imagen. El decodificador lee la señal compuesta en RGB y permite que la imagen pueda desplegarse en pantalla. Las pantallas de televisor están hechas de diminutas partículas de fósforo que emiten intensidades variables de rojo ligero, verde, y azul luminoso y que son dirigidos en forma de haz de luz. Para que una señal normal pueda ser reconocida y proyectada en una pantalla debe reconocer 525 líneas 30 veces cada segundo.

En la realidad, una pantalla de televisor lee esta información de modo *entrelazado*, es decir, examina los electrones por líneas pares e impares en un fotograma, estas son inferidas como campos separados (2 por fotograma). Para mantener la tasa de 30 fps. La pantalla debe examinar los electrones a una velocidad de 60 campos por segundo. Cuando se congela un cuadro de video, realmente se ven dos cuadros y se presentan alternadamente pues previamente el monitor NTSC los examinó.

Una pantalla de computadora opera de modo "*noninterleaved*". Es decir, examina el haz de electrones (todas las filas de fósforos) consecutivamente para crear en pantalla la imagen y repite el proceso aproximadamente 60 a 75 veces por segundo refrescando la pantalla.

1.6.4 SMPTE timecode.

A la duración de un clip de video, desde su fotograma inicial hasta el último cuadro usado, se le asigna una unidad de tiempo o dirección llamada el *TIMECODE* (punto de corte). Timecode identifica cada cuadro dentro de un video en su edición y en su transmisión. Cuando se revisa un video, el timecode permite localizar los cuadros con precisión y sincronizar las imágenes con los elementos de audio (también es llamado sincronización exacta de cuadros).

El timecode usado por la SOCIETY OF MOTION PICTURE AN TELEVISION INGENEERS (SMPTE) identifica cada fotograma con una única dirección en forma de horas: minutos: segundos: cuadros. Un clip con una duración de 00:02:31:15, dura entonces 0 horas, 2 minutos, 31 segundos, y 15 fotogramas. A razón de 30 fps. Por segundo y es visualizado durante 2 minutos y 31.5 segundos.

Los estándares SMPTE Timecode son normas estrictas y claras para las diferentes ratas usadas en películas, videos, e industrias de televisión. Por razones técnicas involucradas en la transmisión, NTSC adoptó una norma de 29,97 fps En lugar de 30 fps, la cual se usó originalmente en el proceso de la programación de televisión en blanco y negro. El timecode de SMPTE para video norma NTSC asume una proporción de 30 fps que produce un 0,1 por ciento de diferencia en la proyección entre el tiempo real y la duración timecode.

[3]

1.7 FORMA DEL PIXEL

Todos los monitores de ordenador y formatos gráficos usan pixels cuadrados. ¿Por qué? Simplemente porque cada pixel representa la misma distancia horizontal que vertical. El número de pixels por pulgada (ppi) puede tener el valor que queramos. Así, si una imagen tiene 100 ppi, diremos que tiene 100 pixels por pulgada en cada una de sus direcciones.

Todo esto resulta obvio, pero si disponemos de una imagen con un valor de ppi horizontal y otro valor distinto en vertical, está claro que existe una manipulación de la imagen. Esto es lo que pasa con algunos formatos de video, especialmente en dos que son los más

populares, DV y MPEG. En estos formatos, los pixels no son cuadrados sino rectangulares, o sea que los valores de ppi horizontal y vertical, son distintos.

¿Por qué se usan los pixels rectangulares? La razón principal es porque existen dos sistemas de televisión a nivel mundial, cada uno con unas características distintas.

-El sistema Europeo está basado en 25 cuadros/segundo, 576 líneas/cuadro

- El sistema Americano está basado en 30 cuadros/segundo, 480 líneas/cuadro

Los términos NTSC, PAL, y SECAM se refieren a la técnica de codificación del color, no a la frecuencia de cuadro, aunque en la práctica todos los sistemas de 30 cuadros/segundo (fps) usan NTSC y los sistemas de 25 fps usan PAL o SECAM

La razón de las diferentes frecuencias de cuadro es histórica y está basada en la frecuencia local de la red eléctrica (50 ó 60 Hz). Para evitar parpadeos debido a la persistencia de las pantallas de televisión, se optó por dividir los cuadros de la imagen en dos campos, par e impar, explorando la imagen en campos alternos. El problema, técnicamente, desapareció hace más de 25 años, pero la compatibilidad hacia atrás de los equipos domésticos hace que todavía perdure hasta la fecha.

Un cálculo rápido de los dos sistemas, revela una interesante conexión: ambos tienen más de 14.400 líneas/segundo de video. Esto fue por diseño, no por coincidencia.

1.7.1 Frecuencia de Datos.

Una imagen de vídeo analógico es eso, una línea horizontal analógica continua. Verticalmente está dividida por un número fijo de líneas. La resolución que una TV es capaz de mostrarnos, depende de cómo de rápida pueda explorar esa señal toda la pantalla. Para digitalizar una imagen de TV, la señal ha de ser muestreada mientras explora la pantalla. La frecuencia de muestreo ideal reflejará la resolución inherente de la señal analógica.

En ambos sistemas de TV, el número de líneas/segundo es el mismo, y cada línea contiene la misma cantidad de información. Es lógico muestrear las líneas de TV a la misma frecuencia para ambos sistemas. Esto conlleva que el proceso de muestreo obtenga el mismo número de bits/segundo en el resultado final. Para los procesadores digitales de señal, esto minimiza la diferencia entre sistemas.

Así es exactamente como se escribió la norma internacional para la digitalización de la imagen de video y televisión, hace años. Se decidió que una línea de la imagen de televisión digital tuviera 720 pixels horizontales, tanto en los sistemas de 25 y 30 fps. (Técnicamente ambos sistemas muestrean exactamente a 13.5 millones de pixel por segundo)

Sin embargo, el número de pixels verticales de cada cuadro es igual al número de líneas de TV, siendo diferentes para ambos sistemas, 576 o 480 líneas.

Todos los formatos estándar de video digital tendrán 720 pixels de anchura: 720 x 576 para 25 fps y 720 x 480 para 30 fps. Esto incluye las emisoras de TV digital, reproductores de DVD, así como todos los formatos de cámaras de DV, tanto domésticas como profesionales.

1.7.2 Área Visible.

La señal de televisión analógica contiene más información que no se muestra en pantalla. Estas son las líneas extras (los sistemas tienen 625 y 525 líneas en total, respectivamente) no todas llevan información y están situadas al principio y al final del área visible de la pantalla.

El estándar DV no es diferente, los 720 pixels que forman la anchura de la imagen incluyen ocho en cada uno de los extremos del área visible especificada. Esto hace que en el centro de la pantalla sólo se representen 704 pixels reales de la imagen de televisión.

1.7.3 Relación de Aspecto.

Veamos el efecto de todo esto sobre un formato de pantalla. La imagen de TV se muestra en la pantalla con una relación de aspecto de 4:3 (ignoremos, de momento, el formato panorámico) Si los pixels son cuadrados, una imagen de 576 líneas tendrá 768 pixels de anchura, y una imagen de 480 líneas tendrá 640 pixels de anchura.

Sin embargo, en el formato DV siempre tenemos 720 pixels de anchura y sólo se muestran correctamente cuando los 704 pixels están centrados ocupando una anchura física de 4/3 de su altura. El resultado que nos da son los pixels rectangulares - bajos y anchos a 25 fps (576 líneas) y altos y estrechos a 30 fps (480 líneas).

La relación de aspecto actual de los pixels es de 12:11 a 25 fps y de 10:11 a 30 fps. Tal como se ve en el dibujo:

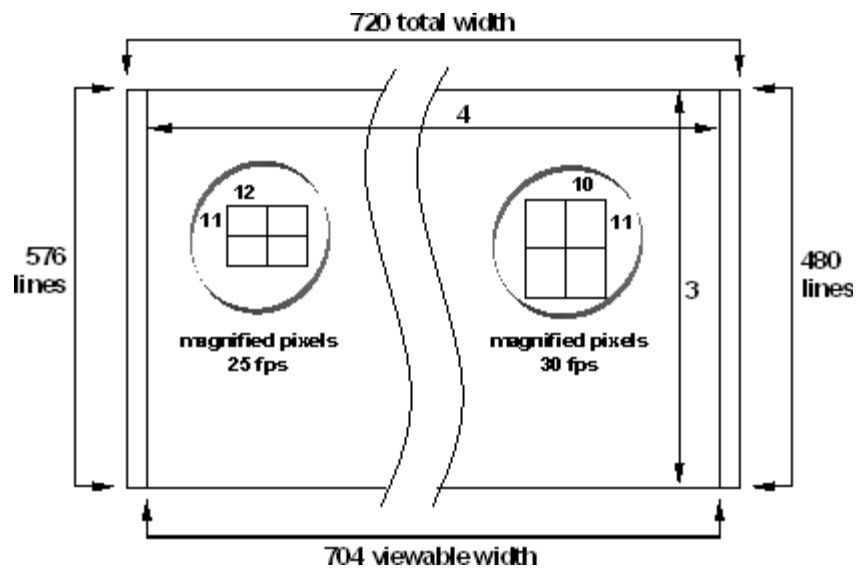


Fig. 12. La relación de aspecto actual de los pixels.

1.7.4 Tamaño de la Ventana.

Cuando pre-visualizamos un vídeo mientras editamos en la pantalla del ordenador, vemos las imágenes en la misma proporción que se verán en una televisión. Muchos programas de edición permiten elegir el tamaño de esa ventana, permitiéndonos mantener la relación de aspecto de la TV. Pero si, cuando trabajamos en DV, escalamos la imagen acorde al tamaño del pixel de vídeo (como lo hacen por defecto todos los programas de edición), veremos una imagen deformada.

Para evitar esto, el programa, haciendo uso intensivo del procesador, reescala la imagen de vídeo en una sola dimensión y luego nos la muestra. De esta forma minimiza la degradación de la imagen, manteniendo un número de líneas familiar. Es más sencillo mantener la anchura en 720 pixels y ajustar la altura.

Recordando que la imagen de TV es siempre de 704, esto nos da una altura total de 528 ($704:528 = 4:3$). El tamaño de la ventana para ver el formato completo de DV será de 720 x 528, como se ve en la figura:

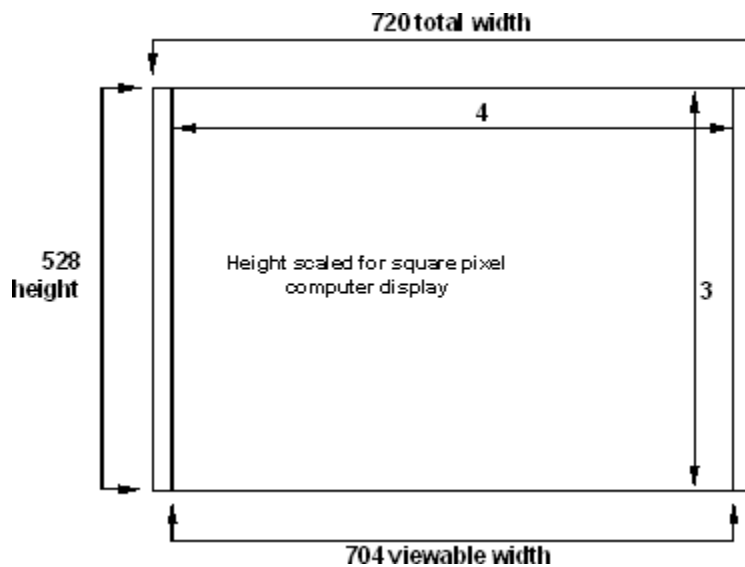


Fig. 13. El tamaño de la ventana para ver el formato completo de DV.

Para ventanas pequeñas, podemos usar valores fraccionales que minimizan el esfuerzo de reescalado y retienen la calidad de imagen. Con $\frac{1}{4}$ de pantalla tendremos una ventana de 360 x 264, etc. Todos estos tamaños son válidos para sistemas de 25 y 30 fps.

No debemos preocuparnos cuando editemos con el ordenador, si las imágenes están un poco distorsionadas (podemos ver la imagen alta y estrecha en América y baja y ancha en Europa) Todo esto se corregirá cuando pasemos la imagen a la televisión.

Sin embargo, hay situaciones en las cuales se pueden inducir errores de distorsión no visibles. Estas son:

- Importación de imágenes fijas
- Efectos que incluyan círculos o cuadrados
- Efectos que incluyan rotaciones

Nota: es conveniente disponer de un monitor de televisión externo cuando realicemos la edición con el ordenador. De este modo podemos controlar la inclusión de efectos geométricos en la edición.

1.7.5 Editores.

La mayoría de los paquetes de edición de video actuales, contemplan el concepto de relación de aspecto así como el tamaño y número de pixels. Adobe Premiere, Ulead MediaStudio, Sonic Vegas Video, EditDV, Xpress DV, etc. Realizan todos los cálculos referentes a la relación de aspecto y compensan automáticamente el tamaño del pixel antes de mostrarlo en pantalla. Por tanto, no debemos de preocuparnos más que de usar los valores correctos de la imagen que queramos capturar (720 x 576, 25 fps. En el caso de Europa)

1.7.6 Círculos y Cuadrados.

Trabajando en DV, si aplicamos un efecto o transición que contenga, por ejemplo, un círculo, el editor calculará el círculo asumiendo que los pixels son cuadrados. Sobre una televisión, el círculo lo veremos un poco ovalado. Si esto nos causa algún problema,

podremos ajustar esa transición (si lo permite) hasta encontrar el resultado deseado. En caso contrario, siempre podremos elegir otro tipo de efecto.

El mismo argumento lo aplicaremos a los cuadrados, aunque el ojo humano puede detectar las pequeñas desviaciones de un círculo perfecto mejor que las de un cuadrado perfecto.

1.7.7 Rotación de Pantalla.

Si usamos un efecto que implique una rotación de pantalla, tal como una imagen sobre imagen en movimiento, tendremos un problema similar. Si empezamos moviendo una imagen posicionada horizontalmente, con la altura y anchura ajustada para compensar la relación de aspecto, el programa mantendrá el tamaño del pixel constante, pero cuando giremos 90° la imagen, ésta se verá descompensada al hacer los cálculos. Será en este punto donde tengamos que realizar los ajustes.

Si en el efecto elegido podemos añadir puntos intermedios (keyframes), podremos añadir uno de esos puntos donde la imagen esté alineada horizontal o verticalmente. Entonces ajustaremos la relación de aspecto de la imagen en cada uno de esos puntos, teniendo en cuenta su orientación.

Como alternativa, también podremos no aplicar ninguna compensación. La relación de aspecto se mantendrá a medida que vaya girando la imagen y, a lo mejor, obtenemos un resultado de nuestro agrado.

1.7.8 Formato Panorámico (Wide Screen)

El formato DV también soporta el formato panorámico con relación de aspecto de 16:9. Sin embargo, esa imagen seguirá teniendo 720 pixels de anchura aunque, en el flujo de datos, se añadirá una información que permita a las televisiones de formato panorámico que muestren esas imágenes en toda su anchura.

Desde el punto de vista de la edición, el único cambio es que la diferencia entre la relación de aspecto del pixel y la relación de aspecto visible, es mucho más pronunciada

que cuando usamos el modo 4:3. Si nuestro programa de edición de video soporta la edición en modo 16:9, simplemente lo seleccionaremos. Él hará el resto.

Si usamos otro tipo de editores de vídeo, podremos aplicar los principios descritos anteriormente, pero usando diferentes factores de corrección. La mayor diferencia es que donde antes podíamos ignorar la distorsión debido a la relación de aspecto 4:3, ahora tendremos que trabajar mucho, ya que aquella será mucho mayor. Un ejemplo es el cuadro girando descrito anteriormente, que lo veremos muy descompensado en 16:9 a menos que no lo compensemos para las diferentes orientaciones.

Las ventanas de previsualización pueden tener 720 x 396, 360 x 198, etc. El factor de corrección será de 16/11 a 25 fps y de 40/33 (aprox. 6/5) a 30 fps. [4]

Las siguientes figuras muestran las dimensiones para el formato panorámico.

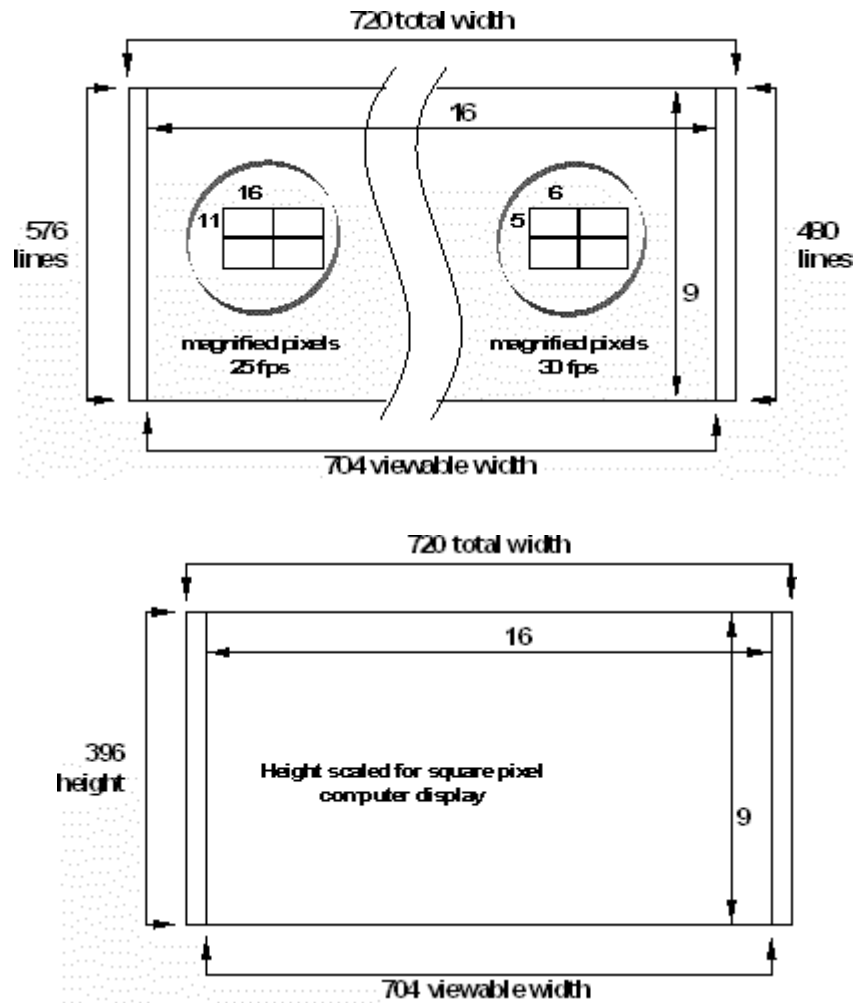


Fig. 13. Formatos panorámicos.

CAPITULO 2. VIDEO DIGITAL

La viabilidad de la puesta en practica del *tratamiento digital de la señal* de televisión y el desarrollo de *estándares de codificación y transmisión* permiten el establecimiento de una nueva tecnología con muchas ventajas y potenciales frente a la TV analógica actual.

Las características ventajosas de un sistema digital de TV pueden resumirse en:

- Ventajas para el usuario:

1. Posibilidad de incremento en el número de programas
2. Recepción de la señal desde receptores móviles sin pérdida de calidad
3. Integración de todos los aparatos audiovisuales domésticos
4. Canal de retorno: espectador “interactivo”
5. Globalización del concepto de pago por visión

- Ventajas técnicas:

1. Mayor eficiencia espectral: mayor número de canales en el mismo ancho de banda
2. Estándar a nivel mundial
3. Mayor robustez en la señal frente a ruido e interferencias multitrayecto

Todos estos desarrollos se unifican en el proyecto europeo DVB (*Digital Video Broadcasting*) que ha estandarizado la transmisión de señales digitales de TV por todos los medios conocidos: satélite, cable y terrestre. En dicho proyecto se adoptó el estándar MPEG-2 para la codificación de audio y video, cuyo resultado es la señal fuente a transmitir en TV digital.

2.1 DIGITALIZACIÓN DE LA SEÑAL DE TV

A pesar de la creciente introducción de la tecnología digital en la captación y representación de imágenes, todavía las cámaras de mayor calidad siguen siendo dispositivos esencialmente analógicos, así como lo son los instrumentos de visualización (pantallas de los televisores).

Por ello, para tener una imagen digital que forme la señal de TV digital deberemos digitalizar las señales proporcionadas por las cámaras e, inversamente, la señal recibida en un televisor deberá ser devuelta a su formato analógico para que sirva de entrada al TRC. Con ello el esquema básico a seguir en TV digital es el mostrado en la Figura 14.

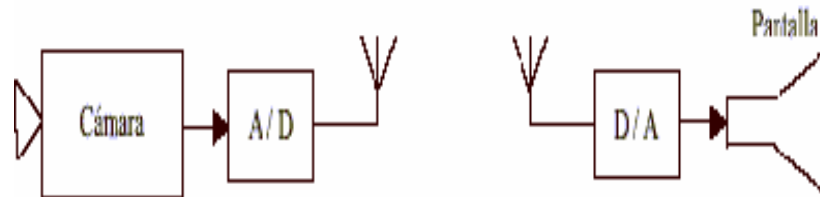


Figura 14. Esquema básico a seguir en TV digital

Es sabido, por el criterio de Nyquist, que la frecuencia de muestreo (número de muestras por segundo) debe ser mayor o igual que el doble de la frecuencia máxima de la señal continua (o de su ancho de banda si está en banda base). Cumpliendo esta premisa será posible reconstruir la señal original a partir de la muestreada. Tras el muestreo, el valor de la señal obtenido en cada muestra (aun en un rango continuo) se codifica digitalmente. La codificación se inicia con una cuantificación, que asigna el valor muestreado a un valor de entre un grupo finito de posibilidades. La elección de la cuantificación depende del tipo de señal y de la calidad deseada, ya que este proceso produce un error en cada muestra que se conoce globalmente como ruido de cuantificación.

Por ejemplo, para una señal analógica de amplitud variable en el rango $[-A, A]$ el paso o escalón de cuantificación Δ será: $\Delta = \frac{2A}{N} = 2A2^{-n}$ (1) siendo N el número de niveles o escalones y n el número de bits elegidos para codificar cada muestra. Así por ejemplo, si se usan 8 bits/muestra se tiene un escalón del $1/256$ o 0,4% del rango total de la señal. Si se emplearan 10 bits sería un escalón menor del 0,1%. Por dar una idea, la relación señal-a-ruido (de cuantificación) puede obtenerse con la siguiente fórmula:

$$SN = 6n + 10,8 \text{ (dB)} \quad (2) \dots \text{ec (6)}$$

Una vez codificadas las muestras se genera una trama de bits en serie cuya frecuencia o *tasa binaria* R_b , definida como número de bits por segundo, depende de la frecuencia de muestreo f_s y del número de bits por muestra n :

$R_b = f_s \cdot n$ (3) y aplicando el criterio de Nyquist para una señal de ancho de banda B :

$R_b > 2B \cdot n$ (4)

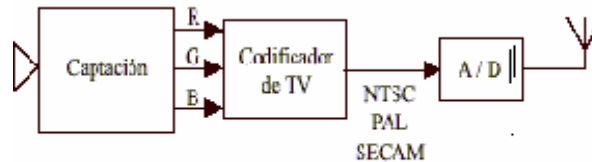


Fig 15. Esquema básico de digitalización en formato compuesto.

2.1.1 Formato de la señal

Una vez repasados los conceptos básicos de muestreo y cuantificación de cualquier señal, debemos pasar a ocuparnos expresamente de la señal de TV. Existen dos alternativas en la elección de las señales a digitalizar para representar la señal de TV color: digitalizar la señal de video compuesta o digitalizar cada componente.

2.1.1.1 Formato compuesto

Esta primera opción consiste en digitalizar la señal de video compuesta, que ha sido generada y codificada según algún estándar conocido: PAL, NTSC, SECAM, etc.

El diagrama de bloques genérico de este modo de funcionamiento se esquematiza en la Figura 15.

Las ventajas de este método son:

- Se necesita un único digitalizador
- Presenta una sencilla compatibilidad con los equipos analógicos actuales y pasados

Y entre los inconvenientes figuran:

- Las diferentes normas de TV color siguen siendo incompatibles entre si

- Los problemas inherentes a cada norma se mantienen: errores de tono en NTSC y saturación en PAL, cross-color, etc.

2.1.1.2 Formato en componentes.

En esta segunda opción, tal como se esquematiza en la Figura 16, se digitalizan tres de las señales que nos permitan formar la señal total de TV color. La elección de las tres señales o componentes, por simplicidad, nos lleva a la luminancia Y a las dos componentes de la crominancia $U = k_1(R - Y)$ y $V = k_2(B - Y)$. Si la señal nos la entrega directamente la fuente de imagen (cámara) el esquema es el presentado en la Figura 16a. En caso de tener como origen una señal ya en video compuesto (por ejemplo de un magnetoscopio) deberíamos insertar un descodificador del sistema usado (por ejemplo PAL), que nos entregue las tres componentes, que a continuación serían codificadas. Este caso se contempla en la Figura 16b.

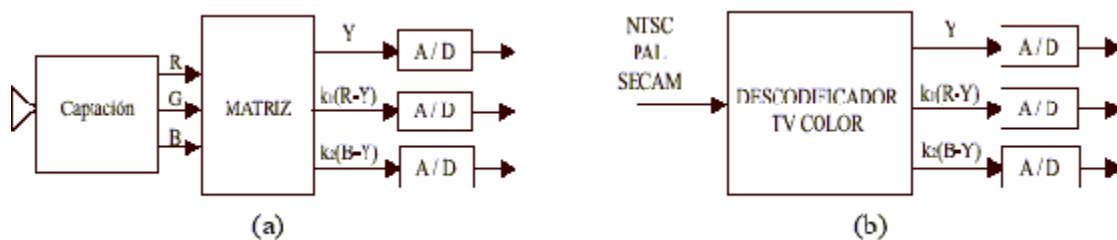


Figura 16. Esquema básico de digitalización en formato en componentes. (a) A partir de RGB. (b) A partir de un sistema analógico de TV color

Las ventajas de este formato se derivan, en primer término, de la eliminación de los inconvenientes del formato compuesto:

- Desaparecen las incompatibilidades entre sistemas, al partir de una señal previa a la aplicación de cualquier norma
- Desaparecen los problemas intrínsecos de los sistemas analógicos (imbricación de espectros, separación luminancia–crominancia, etc.)

Evidentemente, este procedimiento acarrea algunos inconvenientes:

- Se necesitan tres digitalizadores
- En principio necesitaríamos tres canales de transmisión (uno por componente) o un canal con un gran ancho de banda para enviar por el toda la información

Las necesidades de ancho de banda del canal se analizaran con más detalle posteriormente.

Se describe a continuación una norma mundial que se ha convertido en estándar para codificación de video y que, como resultado, constituye también la base para la televisión digital que tratamos en este tema. La norma se conoce como *Recomendación 601* del CCIR o de la UIT, y consta de una familia de normas con diferentes niveles dependiendo de las aplicaciones de la codificación digital propuesta. En esta norma se trata siempre de una digitalización en componentes, siendo las señales a digitalizar: Y, k_1 (R-Y) y k_2 (B-Y).

A continuación se tratan los diferentes aspectos contemplados en la norma.

1Las constantes k_1 y k_2 se fijaran mas adelante.

2.2 ESTANDAR DE CODIFICACIÓN DE VIDEO EN COMPONENTES

2.2.1 Muestreo.

Como ya se ha expuesto al inicio del tema, es necesario fijar una frecuencia de muestreo para digitalizar las tres componentes analógicas de la señal. La frecuencia de muestreo deberá cumplir dos requisitos fundamentales:

1. Criterio de Nyquist: $f_s > 2f_{max}$. Para que esta frecuencia de muestreo tenga una aplicación universal, deberemos buscar la mayor f_{max} de todos los estándares conocidos. Concretamente, hay algunas variantes del SECAM que emplean $f_{max} = 6$ MHz, luego se deberá escoger $f_s > 12$ MHz.
2. Para favorecer la uniformidad y el funcionamiento de las memorias digitales, el muestreo deberá ser *ortogonal*, es decir, que todas las líneas contengan el mismo número de muestras. Esto se traduce en que $f_s = n f_H$. Esta segunda condición debe cumplirse también para todos los sistemas existentes. Las frecuencias de línea conocidas son dos: $f_H = 15625$ Hz (sistemas de 625 líneas) y $f_H = 15734,265732$ Hz (sistemas de 525 líneas). El mínimo común múltiplo de ambas es 2,25 MHz (con un error mínimo).

Atendiendo conjuntamente a ambas condiciones, la frecuencia mínima que las cumple es

$$f_s = 6 \times 2,25 = 13,5 \text{ MHz.}$$

Cuando se muestrean las tres componentes con $f_s = 13,5 \text{ MHz}$ se está llevando a cabo el llamado muestreo 4:4:4. Estos dígitos nos permitirán definir todo el conjunto de posibles muestreos de la norma, según el tipo de servicio.

El muestreo 4:4:4 no tiene en cuenta que el ojo humano exhibe una sensibilidad menor al color que a la luminancia. La recomendación 601 prevé otros muestreos, como 4:2:2, 4:1:1, 4:2:0, 2:1:1, 8:4:4, etc. que se corresponderán con diferentes niveles de calidad.

Uno de los muestreos asignados a la norma básica de televisión es el 4:2:2, que significa que por cada 4 muestras de luminancia se toman 2 de $(R - Y)$ y 2 de $(B - Y)$. Las frecuencias de muestreo serán $f_s = 13,5 \text{ MHz}$ para la luminancia y $f_s = 6,75 \text{ MHz}$ para las dos componentes de la crominancia. Con estas frecuencias los sistemas de 625 líneas poseen en cada línea 864 muestras de luminancia, 432 de $(R - Y)$ y 432 de $(B - Y)$, mientras que los sistemas de 525 líneas toman 858 muestras de luminancia, 429 de $(R - Y)$ y 429 de $(B - Y)$ en cada línea. Con el fin de homogeneizar el proceso posterior, se fijó el mismo número de muestras activas por línea para los dos sistemas: 720 de luminancia y 360 de crominancia. La posición de las muestras activas en cada línea se representa en la Figura 17.

Además, antes del muestreo las señales son filtradas con filtro pasa bajo cuyas frecuencias de corte son 5,75 MHz para la luminancia y 2,75 MHz para la crominancia. De este modo se evitan problemas de aliasing.

2.2.2 Margen dinámico

El margen dinámico de las tres señales debe ser 1 V, yendo de 0 a 1 V la luminancia, y de -0,5 a 0,5 V las componentes en diferencia de color ($B - Y$ y $R - Y$). Inicialmente las señales Y, R, G y B están normalizadas entre 0 y 1 V, luego los márgenes de $R - Y$ y $B - Y$ serán $\pm 0,701$ y $\pm 0,886$ respectivamente. Para reducirlos al margen $\pm 0,5$ se emplearán los coeficientes antes introducidos: $k_1 = 0,5/0,701 = 0,713$ y $k_2 = 0,5/0,886 = 0,564$.

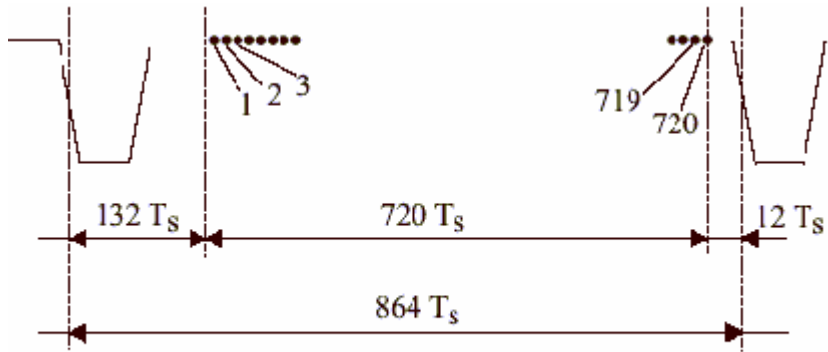


Fig. 17. posiciones de las muestras sobre cada línea.

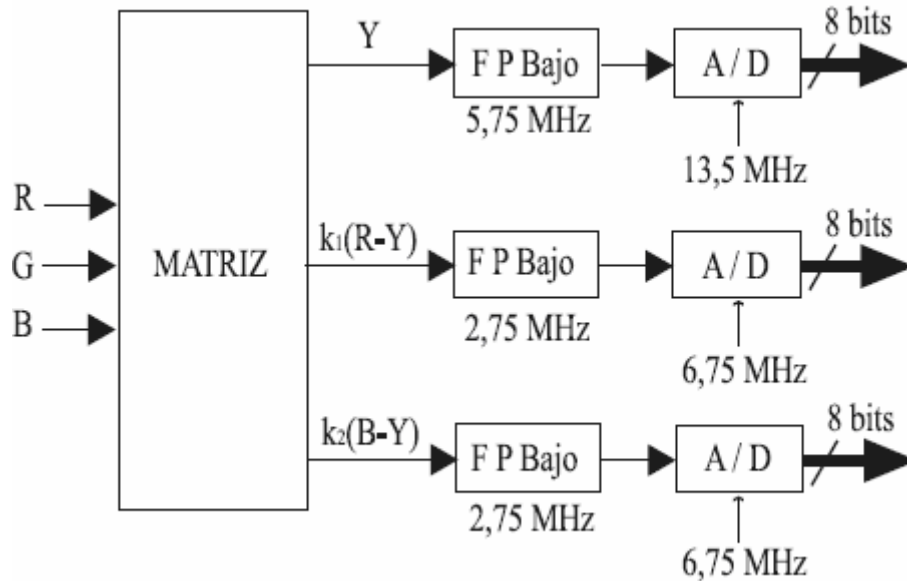


Fig. 18. esquema de muestreo 4:2:2 en la recomendación 601.

En definitiva, las señales que se digitalizan son: Y , $CR = 0.713(R-Y)$ y $CB=0.564(B-Y)$.
El proceso de muestreo queda reflejado en la Figura 18.

2.2.3 Niveles de cuantificación

La recomendación propone una cuantificación con 8 bits por muestra para las tres componentes. Con ello se obtienen 256 niveles equidistantes para cada señal (de 0 a 255). Por norma se decidió que los niveles 0 y 255 se ocuparan para datos, y el resto para video.

Además, finalmente la luminancia sólo se cuantificara con 220 niveles y la crominancia con 225 niveles.

2.2.4 Tasa binaria y ancho de banda

Atendiendo al muestreo y a la cuantificación elegida podemos calcular la tasa binaria que se produce para esta norma de codificación.

Si se elige el muestreo 4:2:2 tendremos una tasa binaria de valor $R_b = 13,5 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} = 216 \text{ Mbits/s}$.

El muestreo escogido en el estándar convencional de TV digital es el 4:2:0, que aprovecha aún mas la poca sensibilidad al color del sistema visual humano y por cada linea sólo manda información de una de las dos componentes de color. Con este muestreo el régimen binario es: $R_b = 13,5 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} + 6,75 \text{ MHz} \times 8 \text{ bits} = 162 \text{ Mbits/s}$.

Si estudiamos la necesidad de ancho de banda para enviar estas tasas binarias, veremos que serian necesarios (como mínimo teórico) canales de 108 MHz y 81 MHz respectivamente. Por lo tanto, se hace imprescindible reducir la tasa binaria necesaria para enviar la señal de TV, dando lugar a la introducción del concepto de compresión de la información que se explica en la siguiente sección. [5]