

Digitalización de la señal de televisión

Javier Gago Barrio

PID_00196650



Los textos e imágenes publicados en esta obra están sujetos –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis el autor y la fuente (FUOC. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya), no hagáis de ellos un uso comercial y ni obra derivada. La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.es>

Índice

Introducción	5
1. Inicios de la televisión digital	7
1.1. Ventajas y aplicaciones de la televisión digital	7
1.2. Opciones de digitalización estándar	8
2. Digitalización de la señal de vídeo según norma CCIR 601	10
2.1. Filtrado <i>antialiasing</i>	11
2.1.1. Elección de las señales a digitalizar	11
2.1.2. Necesidad del filtro <i>antialiasing</i>	11
2.1.3. Diseño del filtro <i>antialiasing</i>	12
2.2. Muestreo	12
2.2.1. Elección de la frecuencia de muestreo	13
2.3. Cuantificación	16
2.3.1. Rango dinámico de las señales de crominancia	16
2.3.2. Ajuste al rango dinámico de 1 V	18
2.3.3. Número de bits por muestra	19
2.4. Codificación	19
2.5. Distribución de muestras por línea en la norma 4:2:2 y otras	20
2.5.1. Multiplexado de datos	22
2.5.2. Normativa 4:2:2 CCIR-601	23
2.5.3. Otros formatos de muestras (4:2:0, 4:1:1)	24
2.5.4. Formatos SIF, CIF y QCIF	25
3. Normas SMPTE para interfaces de señal de vídeo digital	26
3.1. Interfaces digitales de conexionado entre equipos de vídeo	26
3.2. Interfaz paralela SMPTE 125M	27
3.2.1. Distribución de los bytes en una línea activa	28
3.3. Interfaz serie SMPTE 259M. Señal SDI	29
3.3.1. Conversor SDI	30
3.3.2. Distribución de palabras de datos por línea en SDI nivel C	31
3.3.3. Distribución de palabras de datos por línea en SDI nivel D	33
3.3.4. Diferencias entre transmisión en paralelo y en SDI	34
3.4. Audio digital en la señal SDI	34
3.4.1. Estándar de audio SMPTE 272M	34
3.5. Formatos de televisión digital según la calidad de imagen	36
Bibliografía	39

Introducción

En este módulo se pretende mostrar las ventajas que ofrece la televisión digital frente a la analógica y describir el proceso de digitalización del vídeo que convierte los tres formatos analógicos incompatibles entre sí en uno digital universal, detallando cómo es la interfaz de transporte por cable de la información digital de televisión. Se describen también los diferentes formatos de televisión digital con calidad estándar y de alta definición, y para distintas relaciones de aspecto de las pantallas donde se reproduce.

En la figura 1 se indica el bloque de la cadena televisiva que se desarrolla en este módulo:

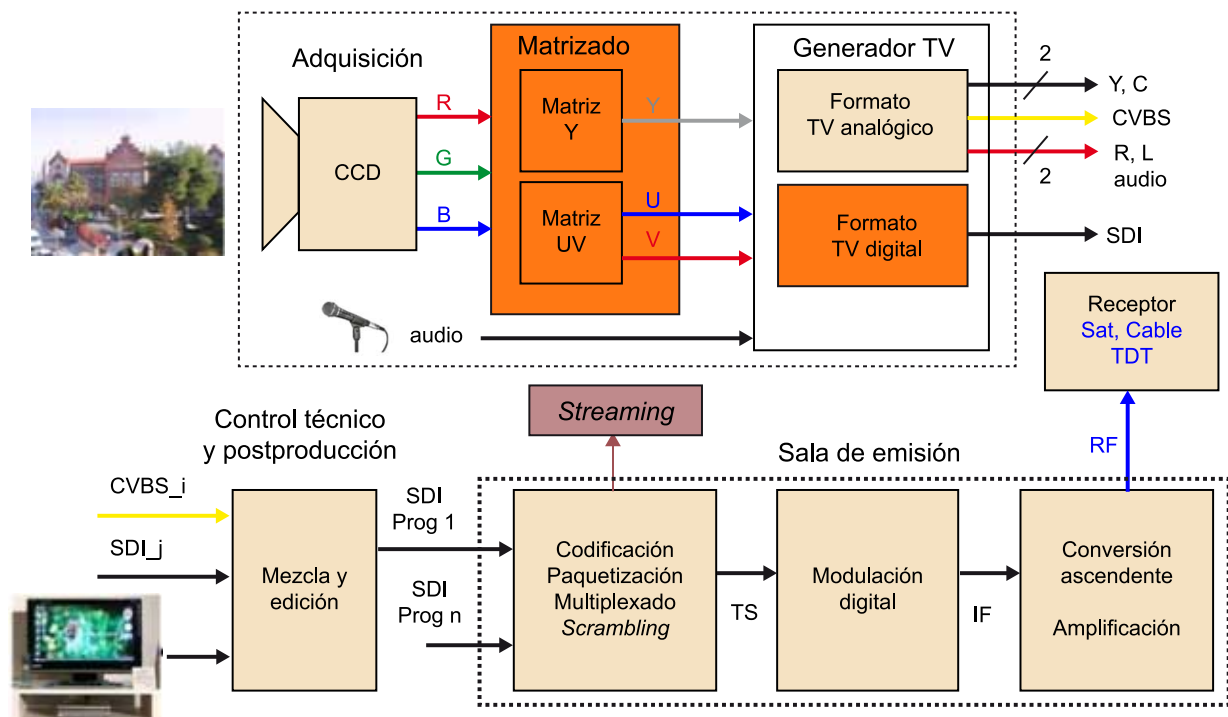


Figura 1. Cadena televisiva. En naranja se indican los bloques que se desarrollan en este módulo

La digitalización de la señal de televisión analógica ofrece numerosas ventajas a la hora de procesar y añadir servicios a la información multimedia. Desde bastante tiempo antes de estandarizar la transmisión de la televisión digital, los estudios profesionales de vídeo y de televisión usaban alguno de los siguientes formatos digitales para grabar y editar las señales de vídeo:

- D1. Se digitalizaba la señal en componentes.
- D2. Se digitalizaba la señal en vídeo compuesto

Con vistas a una compatibilidad de la señal entre diferentes estándares analógicos, se optó por desarrollar estándares basados en el formato D1. Por razones de optimización de ancho de banda, y de minimización de los efectos producidos por los errores de transmisión, es preferible digitalizar las componentes YUV en lugar de las RGB. Se obtiene, de esta forma, una señal serie estándar que se transmite por cable coaxial, cuya interfaz se denomina SDI (*serial digital interface*). No obstante, en estudios profesionales en los que no existen limitaciones en el ancho de banda, y las distancias son suficientemente cortas como para no existir problemas de errores en la comunicación, se puede optar por digitalizar con mayor calidad a partir de las componentes RGB.

La facilidad de manejo de las señales digitales ha permitido elaborar estándares que unificaran los diferentes formatos analógicos (NTSC, SECAM, PAL...) en un único formato digital, con variantes como, por ejemplo, el número de bits empleados.

1. Inicios de la televisión digital

Históricamente la televisión digital se planteó como una digitalización de la señal analógica ya existente. Muchos años antes de la implantación de la transmisión digital de televisión, los profesionales del vídeo y de los estudios de televisión usaban formatos digitales para grabar y editar señales de vídeo, lo que permitía grabar infinitas copias sin degradar la calidad de la señal y crear efectos especiales imposibles de imaginar en formato analógico. La digitalización de la señal también facilita el intercambio de contenidos audiovisuales a nivel internacional independientemente del estándar que use cada país para la difusión de la señal (NTSC, PAL, SECAM...).

El único inconveniente de la señal digital era el elevado ancho de banda que necesitaba, debido a la gran cantidad de bits por segundo necesarios para obtener una calidad aceptable. No obstante, el desarrollo tecnológico de las últimas décadas, ha permitido disponer de técnicas de compresión y modulación de datos que han hecho posible la difusión de la señal de televisión digital con calidad superior a la analógica y con prestaciones muy superiores hacia el usuario final.

1.1. Ventajas y aplicaciones de la televisión digital

Las principales ventajas que ofrece el uso de señales digitales frente al uso de señales analógicas son las siguientes:

- La señal se puede almacenar sin pérdida y es robusta al ruido.
- Hay procesos que solo se pueden realizar en digital, como por ejemplo los relacionados con la memorización de líneas y campos.
- El procesado digital es, en general, más económico que el analógico.
- Permite separar luminancia y crominancia.
- Se amplía el ancho de banda de resolución de la imagen.
- Mejora calidad de sonido.
- Permite interactividad entre el usuario y la empresa generadora de contenidos.

Hay tres campos donde ha tenido especial incidencia la introducción de la televisión digital:

- La producción de programas, desde la adquisición de las imágenes hasta su post-producción.

- La transmisión o enlaces punto a punto con radioenlaces o satélites de telecomunicación desde los centros productores de televisión hasta las emisoras de difusión directa a los usuarios.
- Emisión o difusión directa al público mediante satélites de radiodifusión, distribución por cable y por tierra, etc.

1.2. Opciones de digitalización estándar

En el tránsito de la televisión analógica a la digital se han considerado dos opciones:

- La codificación de la señal compuesta (formato digital D2).
- La codificación de la señal en componentes (formato digital D1).

La diferencia entre estas dos opciones se puede observar en la figura 2:

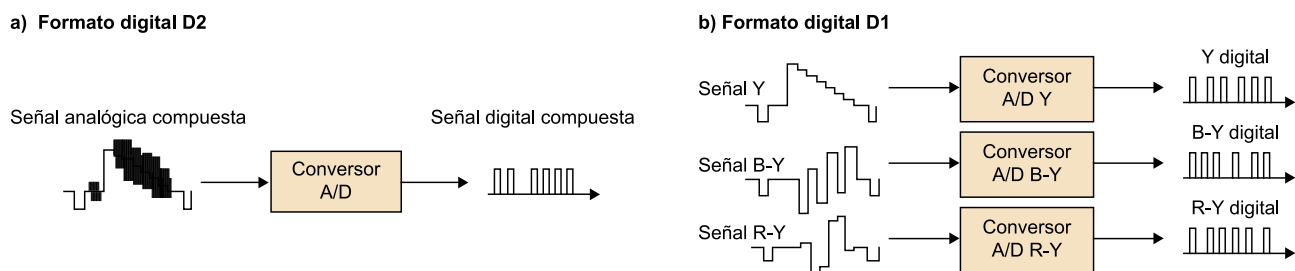


Figura 2. Digitalización de la señal de televisión

Para aprovechar todos los recursos obtenidos con los procesos analógicos, tanto técnicos como humanos, era mejor apostar por el formato en vídeo compuesto D2. Sin embargo, este presenta graves inconvenientes debidos fundamentalmente a la incompatibilidad entre señales PAL, NTSC y SECAM.

Por otro lado, el formato D2 no resuelve el problema de la interferencia entre luminancia y crominancia que se da en el formato analógico, ya que se digitaliza la señal compuesta.

Además, aunque las operaciones de fundido, mezcla y encadenado de vídeo se puedan hacer sencillamente en formato D2 con señales NTSC y PAL, no es posible realizarlas con señales SECAM. Para señales NTSC y PAL, en las que las componentes en color están moduladas en amplitud, basta con multiplicar las muestras por un coeficiente y sumarlas. Mientras que con SECAM, debido a su modulación en FM, es necesario descomponer previamente la señal en componentes Y, R-Y, B-Y.

Todas estas razones han hecho que finalmente se apueste por el formato D1 de digitalización en componentes. De esta forma se consigue una compatibilidad total regulando internacionalmente los parámetros de muestreo, codificación

y decodificación. En ese sentido existe la norma CCIR 601, también conocida como ITU-R 601, para digitalizar la televisión con formato 4:2:2, que veremos más adelante, y la norma CCIR 656 que define la interfaz de estas señales.

Los estudios de televisión analógicos han ido evolucionando hacia la digitalización total (formato D1) a medida que han ido incorporando equipos digitales de procesamiento de imagen. No obstante, los primeros pasos consistieron en digitalizar las fuentes analógicas en formato D2 para aplicar procesos digitales. Estos se combinaban con otros procesos analógicos ya establecidos, para los que no se disponía todavía de equipos digitales equivalentes. El esquema del tratamiento de imágenes en aquella época de transición se presenta en la siguiente imagen:

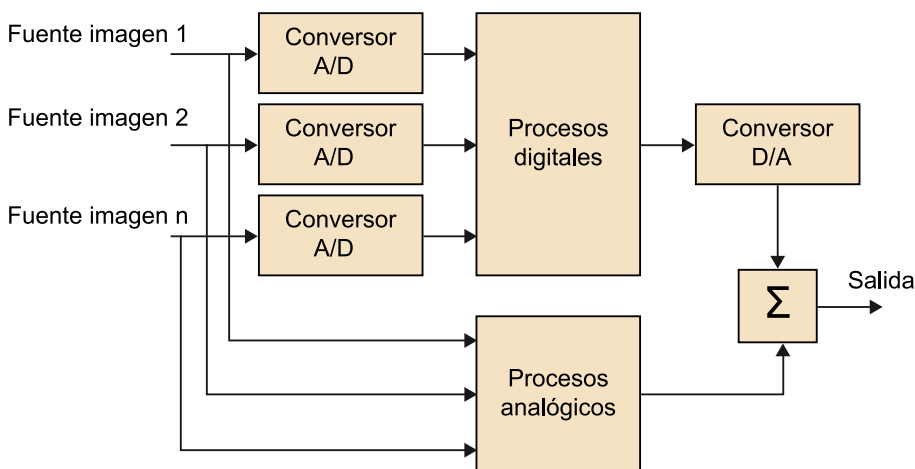


Figura 3. Tratamiento de señales analógicas durante la transición a digital con formato D2

En los siguientes apartados se describe todo el proceso de digitalización en formato componentes D1 y la normalización CCIR de la señal digital obtenida.

2. Digitalización de la señal de vídeo según norma CCIR 601

La digitalización de cualquier señal analógica requiere tres procesos:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

En el caso de la televisión, al manejar tres señales, se requiere también una multiplexación temporal y, para completar el proceso, se debe añadir al flujo de datos de vídeo obtenidos, los correspondientes a la sincronización de línea y campo, el audio digital y otros datos auxiliares que permitan operaciones extra sobre la señal (teletexto, codificación para canales de pago, interactividad con usuario...). El esquema global del proceso de digitalización se muestra a continuación:

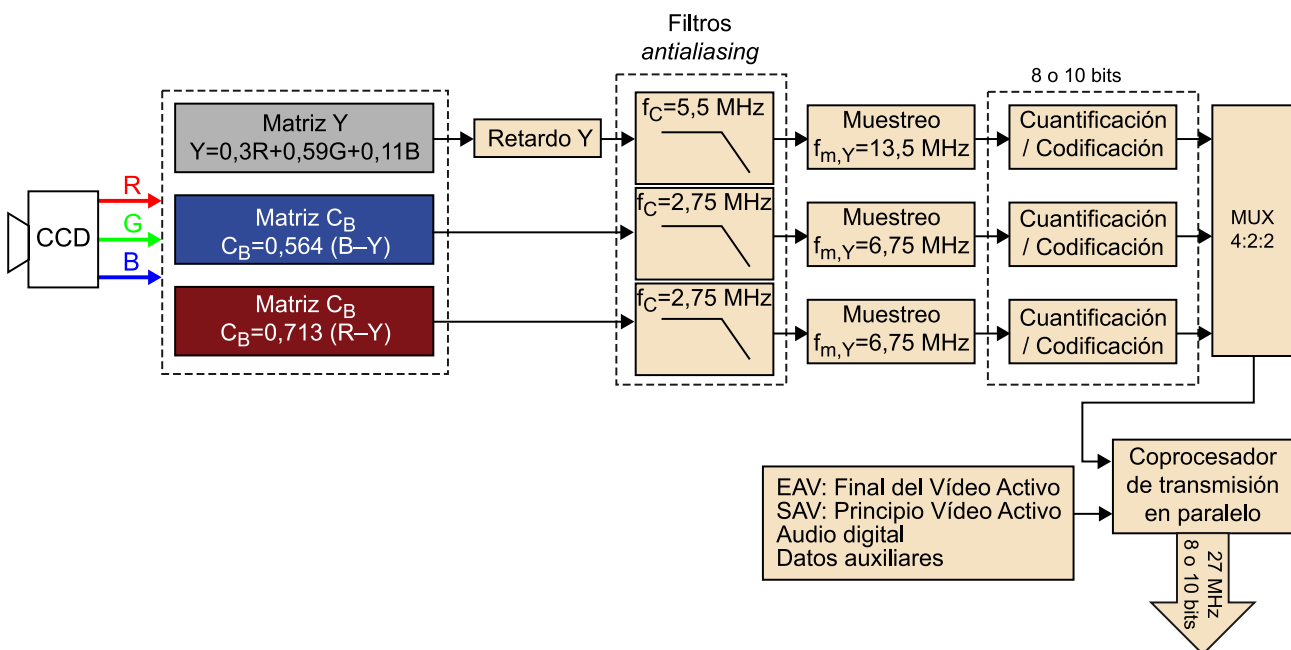


Figura 4. Esquema de la digitalización en componentes de la señal de televisión según norma CCIR 601 (4:2:2)

Los sistemas electrónicos que realizan estas funciones están integrados en todos los equipos de vídeo que tengan salida digital como cámaras de televisión, reproductores multimedia, receptores de televisión, ordenadores, etc. En cualquier caso, es necesario conocer los parámetros de diseño de estos sistemas y, por ello, se describen a continuación.

2.1. Filtrado *antialiasing*

El primer paso consiste en filtrar la señal analógica para evitar el solapamiento (*aliasing*) en el proceso posterior de muestreo. Sin embargo, antes de diseñar el filtro *antialiasing*, hay que escoger qué tipo de señal en componentes se van a digitalizar: las RGB o las YUV.

2.1.1. Elección de las señales a digitalizar

La digitalización en componentes, tanto si es en las originales RGB como si se trata de las matriciadas YUV, elimina el problema de interferencias entre luminancia y crominancia, porque se tratan por canales diferentes. Sin embargo, la suma del ancho de banda de las tres componentes es mayor que el ancho de banda de la señal en vídeo compuesto. Por ello, la señal digital tendrá más resolución, pero se debe conocer el valor del ancho de banda para poder implementar correctamente el filtro *antialiasing*.

Cada una de las señales RGB necesita 5,75 MHz; las YUV necesitan 5,5 MHz para la luminancia Y y 2,75 MHz para cada una de las componentes de crominancia, U y V.

Por otra parte, tal como se describe más detalladamente en el apartado "Reducción de errores al transmitir diferencia de colores" del módulo "Televisión analógica", las señales RGB son más sensibles a los errores de transmisión que las señales YUV. Concretamente, una atenuación de dos de las señales que no afecte por igual a la tercera provoca errores de luminancia, saturación y tinte en señales RGB. Sin embargo, en según qué casos, solo provoca errores de saturación de color en YUV, pero no de tinte, que son los más apreciados por el espectador. Por todos estos motivos, se optó por digitalizar las señales YUV.

2.1.2. Necesidad del filtro *antialiasing*

Al muestrear las componentes de vídeo, el espectro frecuencial de la señal se expande a lo largo de todo el eje frecuencial repitiéndose todas sus componentes a múltiplos de la frecuencia de muestreo.

Para evitar muestrear el ruido de alta frecuencia de la señal, y que distorsione el espectro de la señal muestreada, se debe implantar un filtro *antialiasing* que limite el ancho de banda a muestrear al ancho de banda de la señal de vídeo (figura 4). De esta forma se podrá recuperar la señal original cuando se reproduzca la señal analógica, una vez se haya filtrado con un filtro paso-bajo en el convertidor digital-analógico (D/A).

Aliasing

Aliasing es el solapamiento de las bandas espectrales de una señal digitalizada que se produce cuando la frecuencia de muestreo es inferior al doble del ancho de banda de la señal analógica original.

Nota

Los motivos son similares a los aducidos para elegir las para la transmisión en la televisión analógica en color.

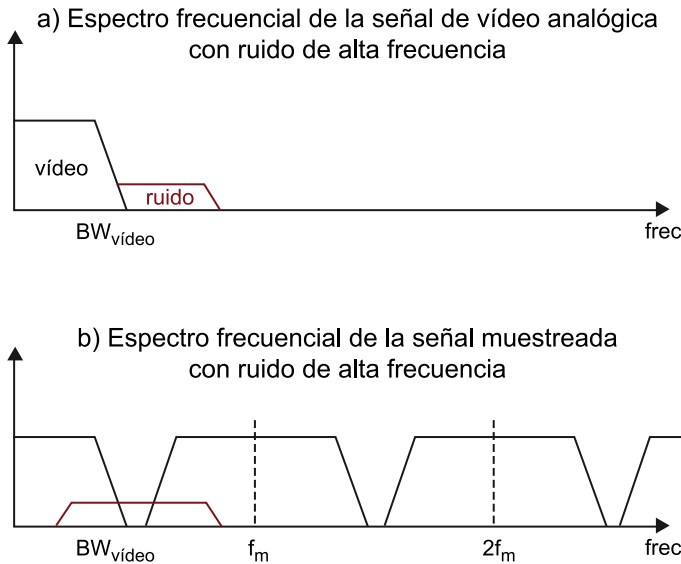


Figura 5. Efecto del ruido de alta frecuencia de la señal de vídeo en su digitalización

2.1.3. Diseño del filtro *antialiasing*

Las características del filtro *antialiasing* deben tener en cuenta, además del efecto *aliasing*, otros efectos como la relación señal-ruido o las sobremodulaciones. La recomendación de la UER (Unión Europea de Radiotelevisión) es que los filtros para la luminancia (Y) y para la crominancia (U y V) se ajusten a las plantillas de la figura 6:

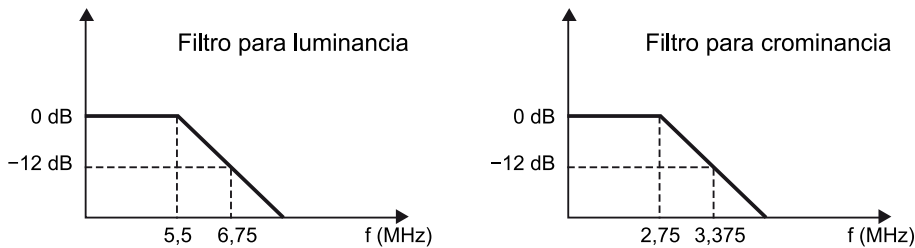


Figura 6. Plantillas para los filtros de luminancia y crominancia según la UER

2.2. Muestreo

Aunque se hable de señales YUV, las componentes que se digitalizan son, en realidad, las señales Y, C_R y C_B , siendo estas dos últimas:

$$C_R = K_R \cdot (R - Y) \quad C_B = K_B \cdot (B - Y) \quad (1)$$

Los coeficientes ponderadores K_R y K_B tienen valores diferentes a los de PAL, NTSC y SECAM. También se debe decidir el número de muestras a tomar de una imagen. Como ya hemos comentado, la televisión digital se diseña para que sea compatible en todos los países y sistemas. La norma CCIR 601 indica que se tomen 720 muestras por línea y 576 líneas por imagen. Ello nos da un total de $702 \times 576 = 414.720$ muestras por imagen (figura 7):

Ved también

En el apartado "Elección de la frecuencia de muestreo" se calculan estos valores a partir de las condiciones de codificación.

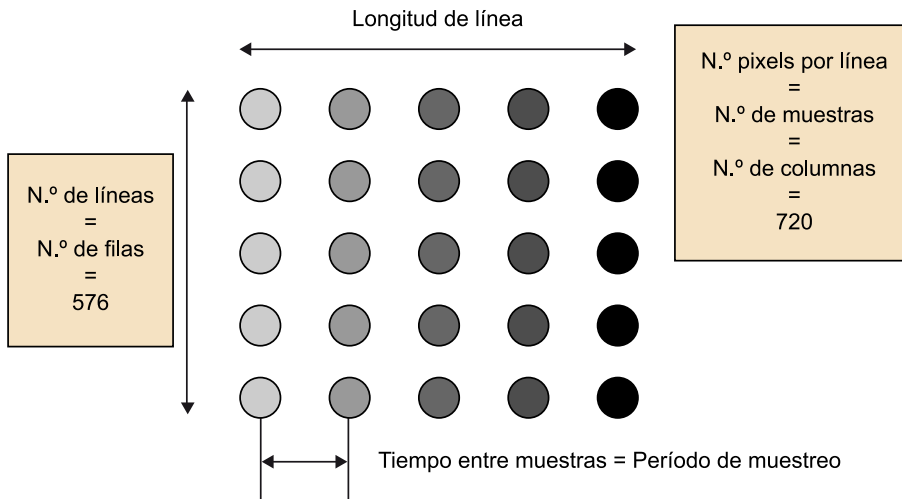


Figura 7. Número de muestras por imagen

Por último, hay que hacer coincidir el tiempo que se tarda en tomar las muestras de una línea con el tiempo de línea de una señal de vídeo analógica. Como el tiempo de línea es diferente en cada sistema analógico (PAL, NTSC y SECAM), la condición será que el tiempo de muestras de una línea sea inferior a los tres tiempos de línea analógicos existentes. Para ello hay que escoger correctamente la frecuencia de muestreo que determinará el tiempo de muestreo, o tiempo entre muestras.

2.2.1. Elección de la frecuencia de muestreo

La frecuencia de muestreo debe cumplir tres condiciones:

- **Criterio de Nyquist** para evitar *aliasing*. El criterio de Nyquist obliga a que la frecuencia de muestreo sea igual o mayor al doble del ancho de banda de la señal que se desea muestrear. En caso de no cumplirse dicho criterio, y dado que el espectro frecuencial de la señal muestreada se repite cada frecuencia de muestreo, se produce un fenómeno de aliasing de las bandas del espectro repetido.

$$f_m \geq 2 \cdot BW_{video} \quad (2)$$

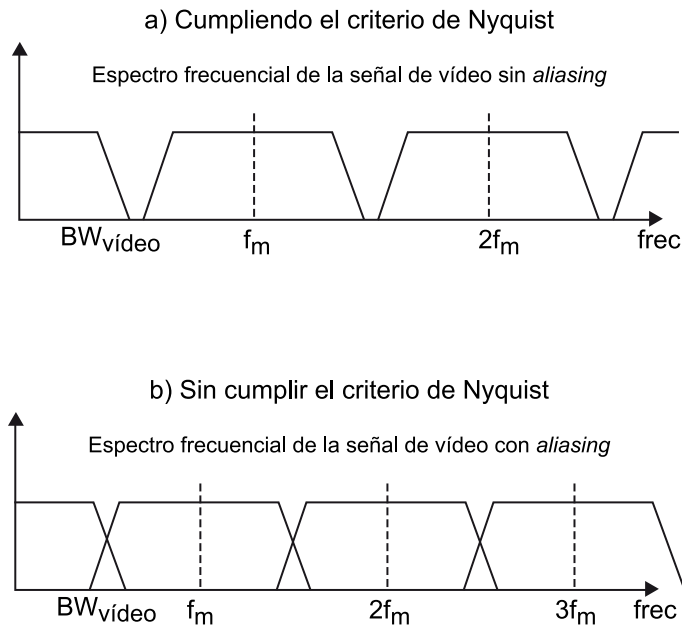


Figura 8. Espectro de la señal muestreada

De los tres sistemas analógicos, el que usa mayor ancho de banda para sus señales de vídeo es el SECAM, con 6 MHz, ya que modula la crominancia en FM en lugar de AM. Por tanto, la frecuencia de muestreo debe cumplir:

$$f_m \geq 12 \cdot \text{MHz}$$

- **Muestreo ortogonal** para evitar sensación de desplazamiento entre imágenes. Para una facilidad de manejo en el procesado digital de las imágenes, el muestreo debe ser ortogonal, es decir, debe cumplir las siguientes condiciones:
 - El número de muestras por línea debe ser igual en todas ellas.
 - Cada muestra debe estar situada en el mismo lugar en cada línea de la imagen.
 - Cada muestra debe estar situada en el mismo lugar en cada imagen.

Para cumplir la condición de muestreo ortogonal la frecuencia de muestreo debe ser múltiple de la frecuencia de línea. Es decir, debe haber un número entero n de muestras equiespaciadas por línea: $f_m = n \cdot f_L$.

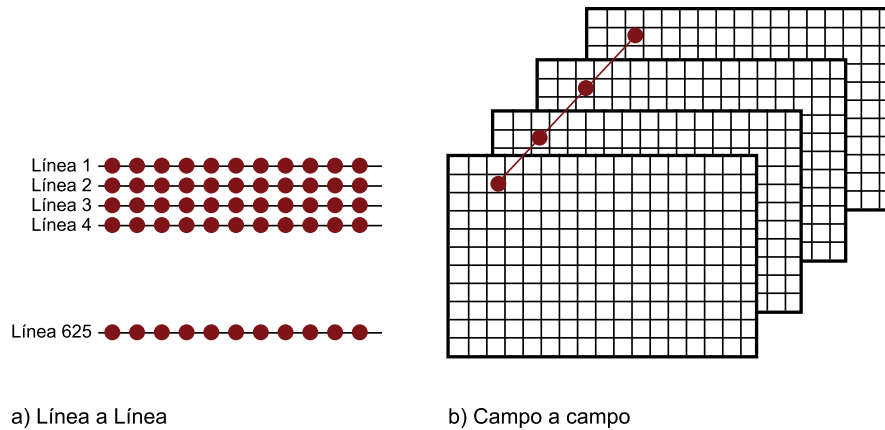


Figura 9. Muestreo ortogonal de las señales de video

- **Carácter universal** que asegure la compatibilidad entre todos los sistemas de televisión. Basándonos en la condición anterior, se debe buscar un múltiplo de las frecuencias de línea de los 3 sistemas analógicos (PAL, NTSC y SECAM) para cumplir el muestreo ortogonal y la compatibilidad entre sistemas, o carácter universal.

Existen dos normas distintas en cuanto al número de líneas por pantalla que determinan dos frecuencias de línea diferentes. Una es la que representa al PAL y al SECAM con 625 líneas, y otra la que utiliza el NTSC con 525 líneas. Por tanto, se debe buscar un múltiplo de las siguientes dos frecuencias de línea:

- $f_{L_{PAL}} = 15.625 \text{ Hz}$ (PAL y SCAM)
- $f_{L_{NTSC}} = 15.734,265732 \text{ Hz}$ (NTSC corregido para facilitar el entrelazado de espectros blanco y negro, color y sonido)

Con un error inferior al $2,7 \times 10^{-8} \%$, el mínimo común múltiplo de estos dos valores sería 2,25 MHz. Por tanto, y teniendo en cuenta que la frecuencia de muestreo debe ser superior a 12 MHz para cumplir el criterio de Nyquist en los tres sistemas, un valor que cumple también con el carácter universal sería: $f_m = 6 \cdot 2,25\text{MHz} = 13,5\text{MHz}$.

Este valor corresponde a 858 veces la frecuencia de línea en el sistema NTSC y a 864 veces la frecuencia de línea en los sistemas PAL y SECAM:

$$6 \cdot 143 \cdot f_{L_{NTSC}} = 858 \cdot f_{L_{NTSC}} = 13,5\text{MHz} \quad (3)$$

$$6 \cdot 144 \cdot f_{L_{PAL}} = 864 \cdot f_{L_{PAL}} = 13,5\text{MHz} \quad (4)$$

Ello quiere decir que el sistema NTSC admite 858 muestras por línea y los sistemas PAL y SECAM, 864. Pero para cumplir la compatibilidad entre los tres, el número de muestras activas será inferior a estos números. Concretamente, como se ha dicho anteriormente, la normativa dedica 720 muestras a la línea activa, el resto de muestras en cada sistema se dedicarán a datos auxiliares, sonido y cabeceras de principio y final de línea. Asimismo, la normativa indica que se usen 576 líneas.

2.3. Cuantificación

Una vez muestreada la señal se debe cuantificar; es decir, se debe definir un margen dinámico y discretizar el valor de la muestra al valor más cercano dentro del conjunto de valores posibles según el número de bits. En la figura 10 se observa la curva de cuantificación uniforme (todos los pasos de cuantificación son iguales) de una señal bipolar (con valores positivos y negativos).

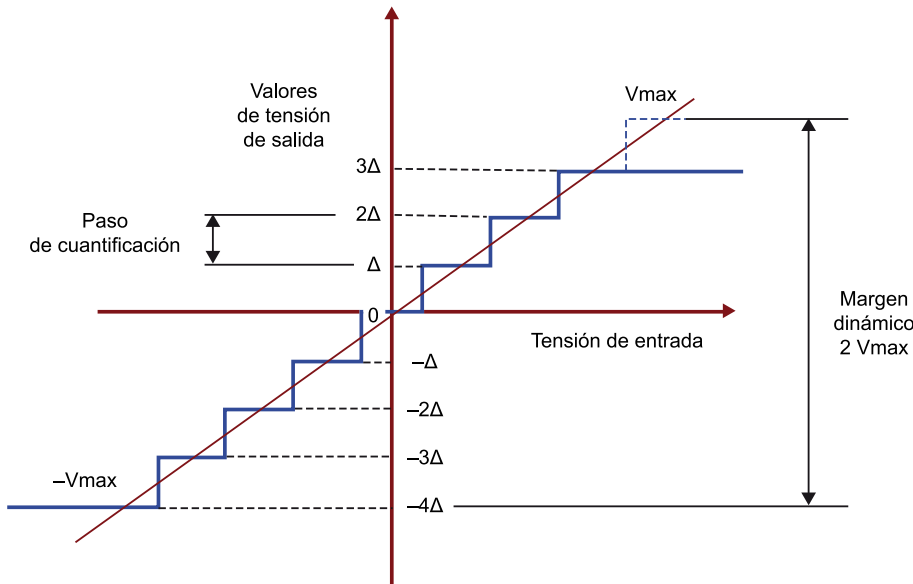


Figura 10. Curva de cuantificación uniforme de una señal bipolar

Para cuantificar las muestras de señal, se debe calcular previamente los coeficientes ponderadores de las señales diferencia de color (K_R y K_B) definidos en la ecuación (1).

Como se ha visto, los valores de las señales analógicas Y, R y B varían entre 0 y 1V. Ello quiere decir que el valor mínimo de la luminancia Y es 0V ($Y_{min} = 0$), y el valor máximo es 1V ($Y_{max} = 1$). Sin embargo, las señales diferencia de color (R-Y y B-Y) no varían entre 0 y 1, ya que el valor de Y depende de los valores de R y B. En el siguiente apartado veremos en qué rango de valores se hallan R-Y y B-Y.

2.3.1. Rango dinámico de las señales de crominancia

A partir del diagrama de colores de la figura 11 se observa que el color complementario del rojo es el cian y el del azul, el amarillo.

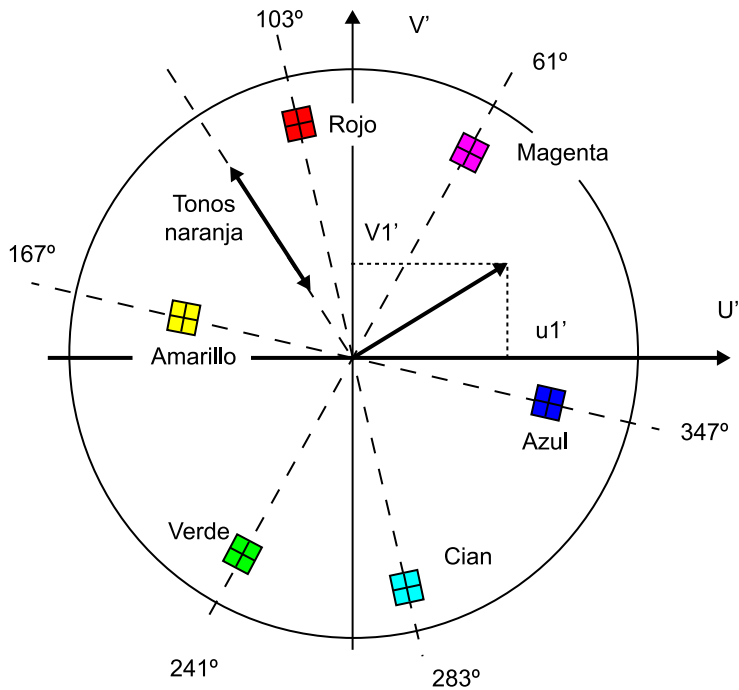


Figura 11. Diagrama polar de colores

El valor máximo de $R-Y$ se obtiene cuando representamos un rojo saturado. Para ello la señal R debe valer $1V$ y las señales G y B $0V$. A partir de estos valores, la luminancia Y vale:

$$Y_{R\text{sat}} = 0.3 \cdot R_{R\text{sat}} + 0.59 \cdot G_{R\text{sat}} + 0.11 \cdot B_{R\text{sat}} = 0.3 \cdot 1 + 0.59 \cdot 0 + 0.11 \cdot 0 = 0.3 \quad (5)$$

El valor de $R-Y$ con rojo saturado vale:

$$(R-Y)_{R\text{sat}} = R_{R\text{sat}} - Y_{R\text{sat}} = 1 - 0.3 = 0.7 \quad (6)$$

Los valores de los coeficientes en la expresión de Y están ajustados a 2 decimales. Si se consideran todos los decimales, el valor de $(R-Y)_{\text{sat}}$ es de $0.701 V$. Este será el valor máximo de $R-Y$, es decir:

$$(R-Y)_{\text{max}} = 0.701 \quad (7)$$

Según el diagrama de colores, el valor mínimo de $R-Y$ se obtiene cuando representamos un cian saturado. En este caso $R-Y$ vale justamente el valor opuesto al del rojo saturado, es decir:

$$(R-Y)_{\text{min}} = -0.701 \quad (8)$$

Si repetimos el proceso para la señal $B-Y$, el azul saturado implica que la señal B vale $1V$ y las señales R y G $0V$. La luminancia en este caso vale:

$$Y_{B\text{sat}} = 0.3 \cdot R_{B\text{sat}} + 0.59 \cdot G_{B\text{sat}} + 0.11 \cdot B_{B\text{sat}} = 0.3 \cdot 0 + 0.59 \cdot 0 + 0.11 \cdot 1 = 0.11 \quad (9)$$

El valor de B-Y con azul saturado vale:

$$(B - Y)_{B_{\text{sat}}} = B_{B_{\text{sat}}} - Y_{B_{\text{sat}}} = 1 - 0.11 = 0.89 \quad (10)$$

Ajustando con el valor de todos los decimales de los coeficientes de la expresión de Y valdría 0.886 V, por tanto, el valor máximo de B-Y es:

$$(B - Y)_{\text{max}} = 0.886 \quad (11)$$

Y el valor mínimo, que coincide con el de un amarillo saturado, es:

$$(B - Y)_{\text{min}} = -0.886 \quad (12)$$

En resumen:

- El valor de Y está dentro del intervalo [0, 1].
- El valor de R-Y está dentro del intervalo [-0,701, 0,701].
- El valor de B-Y está dentro del intervalo [-0,886, 0,886].

2.3.2. Ajuste al rango dinámico de 1 V

Como ya se ha visto, la señal de luminancia Y está normalizada de 0V a 1V. Sin embargo, las señales de crominancia (R-Y y B-Y) no lo están y además son bipolares. Por tanto, para que estas señales se ajusten a un rango absoluto de 1V, el rango dinámico de cada una de ellas se define [-0.5V,+0.5V]. Sabiendo los valores máximos y mínimos de R-Y y B-Y, se puede deducir los coeficientes ponderadores correspondientes para lograr esta normalización.

Los coeficientes K_R y K_B que se aplicarán respectivamente a las señales R-Y y B-Y valdrán:

$$K_R = \frac{0,5}{0,701} = 0,713 \quad (13)$$

$$K_B = \frac{0,5}{0,886} = 0,564 \quad (14)$$

Por tanto, las señales que se codifican son la luminancia y las dos componentes de crominancia:

$$Y \quad (15)$$

$$C_R = 0.713 \cdot (R - Y) \quad (16)$$

$$C_B = 0.564 \cdot (B - Y) \quad (17)$$

2.3.3. Número de bits por muestra

En función de la resolución de los píxeles, lo que redundará en la calidad de la imagen, se contemplan dos posibilidades, 8 o 10 bits por muestra, lo que comporta 256 (2^8) o 1.024 (2^{10}) niveles de cuantificación, cuya codificación vemos a continuación.

2.4. Codificación

El paso siguiente a la cuantificación es la codificación; es decir, la asociación del valor de la muestra cuantificada a un código binario con el número de bits correspondiente.

No se codifica todo el rango dinámico ya que se hace una reserva del 10% por si el ruido en el transporte de la señal hace que esta tome valores que sobrepasen el rango dinámico. En el caso de 8 bits (256 niveles) se dedican 220 niveles a la luminancia (Y) y 224 a cada una de las dos señales de crominancia. El cero de la crominancia está situado en el nivel 128 (los valores positivos por encima de esta referencia y los negativos, por debajo) y los valores máximo y mínimo de cada señal son los siguientes:

- Luminancia (8bits)
 - Nivel 235 = Nivel de blanco.
 - Nivel 16 = Nivel de negro.

$$\bar{Y} = \text{round}(219 \cdot Y + 16)$$

- Crominancia (8 bits).
 - Nivel 240 (128+112) = Saturación 100%.
 - Nivel 16 (128-112) = Saturación 100% color complementario.

$$\bar{C}_R = \text{round}(224 \cdot C_R + 128)$$

$$\bar{C}_B = \text{round}(224 \cdot C_B + 128)$$

En el caso de 10 bits (1024 niveles), se multiplica por el número de valores diferentes, es decir, se añaden 2 ceros en las posiciones menos significativas del número binario. Por tanto, el cero de la crominancia está en 512 y el margen de la luminancia y crominancia es:

- Luminancia (10 bits)
 - Nivel 940 = Nivel de blanco.
 - Nivel 64 = Nivel de negro.
- Crominancia (10 bits)
 - Nivel 960 (512+448) = Saturación 100%.
 - Nivel 64 (512-448) = Saturación 100% color complementario.

2.5. Distribución de muestras por línea en la norma 4:2:2 y otras

La información de luminancia y crominancia se transporta multiplexada en el tiempo. Para evitar velocidades binarias elevadas se elimina el muestreo durante el sincronismo horizontal (período de supresión de línea), puesto que la información de ese intervalo es conocida.

El tiempo total de una línea analógica es de 64 μseg en PAL y SECAM y de 63,55 μseg en NTSC. El tiempo activo de la línea analógica (sin contar el período de sincronismo horizontal) es de 52 μseg en PAL/SECAM y 53,33 μseg en NTSC. Para hacer compatible la transmisión digital en los tres sistemas, y enviar el mismo número de muestras activas, se escoge un valor único de tiempo de línea activa digital para NTSC y PAL/SECAM que debe ser el máximo posible para enviar el máximo número de muestras. Por tanto, el tiempo de línea activa digital será el de NTSC; es decir, $T_d = 53,33 \mu\text{seg}$.

El período de muestreo es de 13,5 MHz, por tanto, el tiempo entre muestras será:

$$T_m = \frac{1}{13,5 \cdot 10^6} = 0,074 \mu\text{s} \quad (18)$$

A partir de este dato, podemos calcular el número de muestras de vídeo activo por línea para los tres sistemas:

$$n = \frac{T_d}{T_m} = \frac{53,33 \mu\text{s}}{0,074 \mu\text{s}} = 720 \quad (19)$$

En el resto de tiempo hasta completar una línea, se envían datos auxiliares como sonido, y otros servicios adicionales como información de texto, interactividad, encriptación para pago por visión, etc. Además se deben enviar también bytes que indiquen principio y final de línea. En NTSC hay 10,22 μseg (63,55 μseg – 53,33 μseg) y en PAL/SECAM 10,67 μseg (64 μseg - 53,33 μseg) para enviar esos datos. Esto se corresponde con:

$$n_{\text{datos_NTSC}} = \frac{T_{L,NTSC} - T_d}{T_m} = \frac{63,55 \mu\text{s} - 53,33 \mu\text{s}}{0,074 \mu\text{s}} = 138 \quad (20)$$

$$n_{\text{datos_PAL/SECAM}} = \frac{T_{L,PAL/SECAM} - T_d}{T_m} = \frac{64 \mu\text{s} - 53,33 \mu\text{s}}{0,074 \mu\text{s}} = 144 \quad (21)$$

En la figura 12 se observa la distribución de las 720 muestras activas de vídeo digital y de las 144 muestras correspondientes a los bits auxiliares, a lo largo de una línea analógica de una imagen de un patrón de barras de color, con la que debe ser compatible, en los sistemas PAL y SECAM de 625 líneas.

Ved también

Ved, al respecto el apartado "Muestreo".

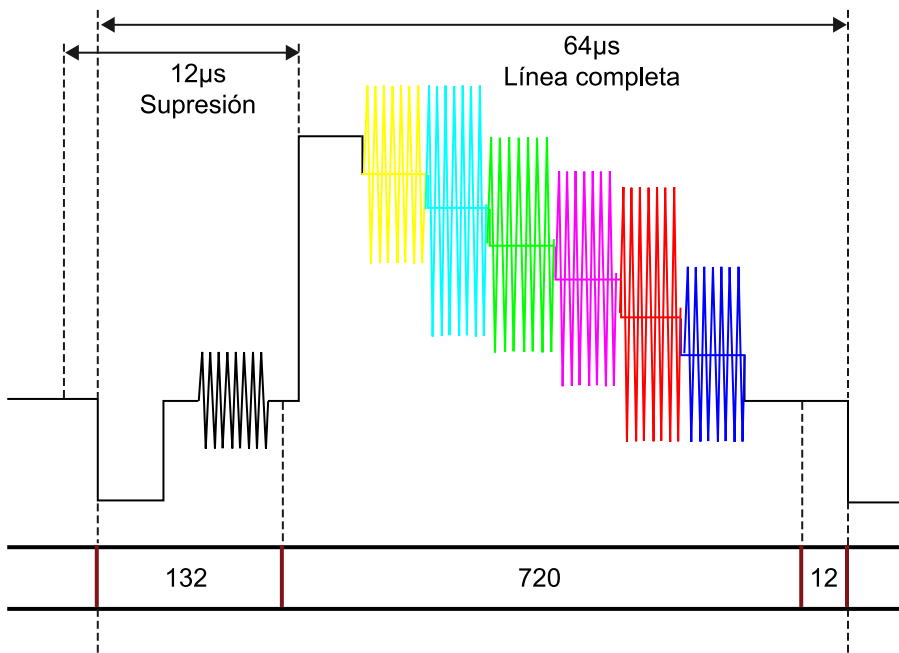


Figura 12. Distribución de muestras en un sistema PAL o SECAM de 625 líneas

Para cada línea que se envía, 720 muestras corresponden a la señal de vídeo, 12 muestras para la indicación de principio y final de trama de vídeo, y 132 para información auxiliar como sonido, y otros servicios adicionales como información de texto, interactividad, encriptación para pago por visión, etc. En resumen, 864 muestras por línea transmitida o, lo que es lo mismo, 864 muestras cada 64 μseg.

En sistemas de 525 líneas como el NTSC, el número de muestras activas o píxeles por línea (es decir, horizontalmente) sigue siendo de 720, pero hay menos bits auxiliares, concretamente 138 muestras, que se reparten en 12 para principio y fin de trama, y 126 para información auxiliar:

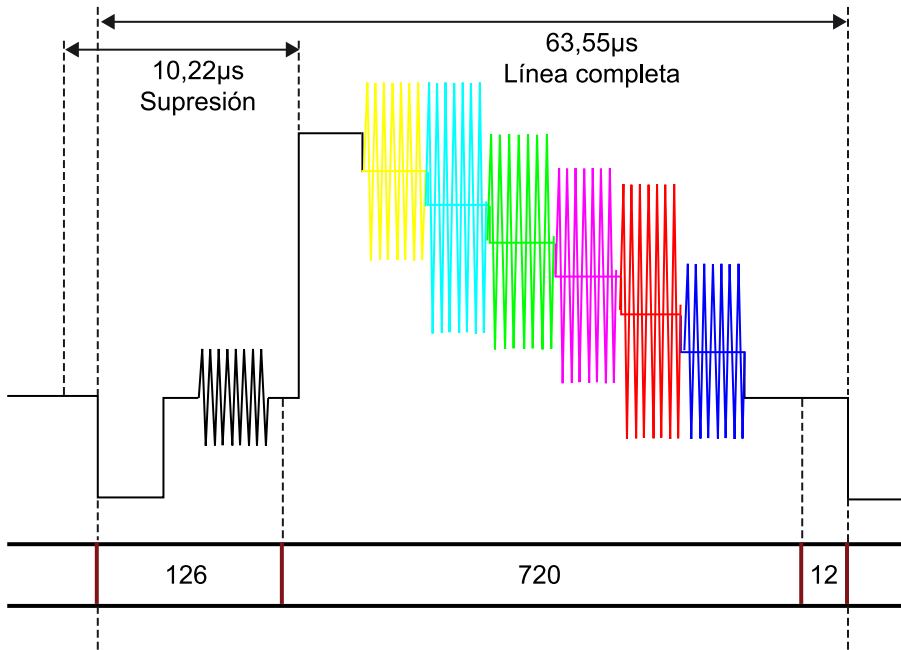


Figura 13. Distribución de muestras en un sistema NTSC de 525 líneas

Tampoco se dispone de todas las líneas de un cuadro para enviar información de vídeo, ya que si no, no tendríamos compatibilidad con las señales analógicas, que separan algunas líneas para el sincronismo de campo. Ello supone una reducción del área activa similar a la de la televisión analógica:

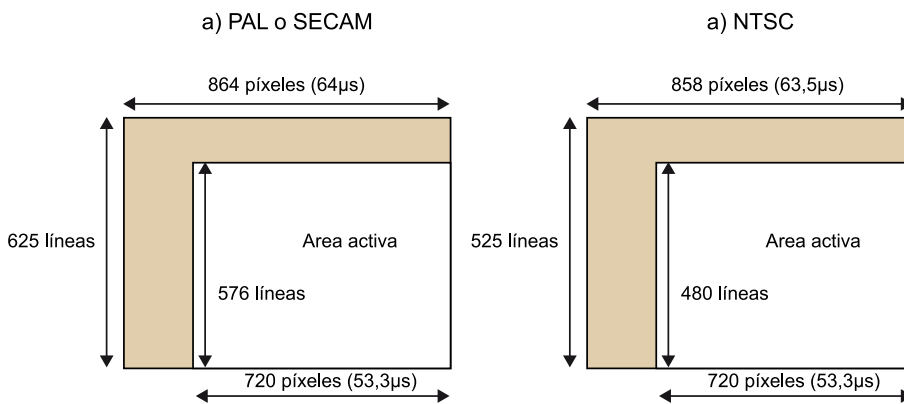


Figura 14. Área activa en un sistema PAL o SECAM de 625 líneas y en un NTSC de 525 líneas

2.5.1. Multiplexado de datos

La velocidad binaria del flujo de vídeo depende del número de bits de las muestras y del número de muestras que se insertan en cada instante de muestreo. Si en cada período de muestreo (hay 720 períodos de muestreo por línea), se inserta una muestra de luminancia (Y) y dos de crominancia (C_R y C_B), entonces tendremos 720 muestras de luminancia y 1.440 de crominancia; un total de 2.160 muestras. Si las muestras son de 8 bits, el flujo contendrá 17.280 bits (8×2.160) en el intervalo de una línea activa, es decir, 53,33 µseg. Por tanto, la velocidad binaria será de:

$$v_{8\text{bits}} = \frac{17280}{53,33 \cdot 10^{-6}} = 324\text{Mbps} \quad (22)$$

En caso de 10 bits, el flujo sería de:

$$v_{10\text{bits}} = \frac{21600}{53,33 \cdot 10^{-6}} = 405\text{Mbps} \quad (23)$$

2.5.2. Normativa 4:2:2 CCIR-601

Para transmitir el flujo de datos necesario, se precisa anchos de banda excesivamente elevados, equivalentes a varios canales analógicos. Por este motivo se plantearon desde un principio técnicas de compresión de datos que perseguían el envío de menos bits de los necesarios sin que por ello disminuyese apreciablemente la calidad de la imagen. Estas técnicas de compresión se aplican a tres niveles:

- Píxel.
- Imagen.
- Semejanza entre cuadros de imágenes sucesivas.

La compresión de píxeles se utiliza desde el primer momento de la adquisición, concretamente en la fase de muestreo. Esta se refiere a que no es necesario tomar muestras nuevas de crominancia en todos los píxeles, ya que el ojo humano no discrimina el color tan bien como la luminancia, por lo que se puede tener píxeles en los que solo haya información de luminancia. Este es el sentido de la normativa 4:2:2 o CCIR-601 que indica que de cada cuatro muestras tomadas, habrá cuatro de luminancia, dos de croma azul (C_B) y dos de croma rojo (C_R):

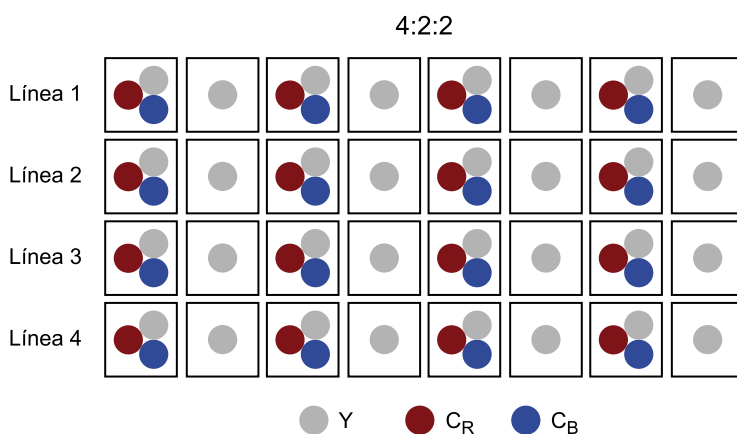


Figura 15. Distribución de muestras de luminancia y crominancia según la norma 4:2:2

La velocidad binaria de la señal normalizada a 4:2:2 se puede calcular sabiendo que habrá la mitad de bits de croma. Otra forma de verlo es que la señal de luminancia se muestrea a 13,5 MHz y las dos de croma a la mitad, 6,75 MHz, por lo que la velocidad, en el caso de 8 bits, vale:

Ved también

Las dos últimas son técnicas complejas que se explican más detalladamente en el módulo "Codificación de la señal de televisión" y se suelen utilizar al final del proceso, cuando se tiene que difundir la señal de televisión.

$$v_{4:2:2,8\text{bits}} = 8 \cdot 13,5\text{MHz} + 2 \cdot 8 \cdot 6,75\text{MHz} = 216\text{Mbps} \quad (24)$$

Y en el caso de 10 bits:

$$v_{4:2:2,10\text{bits}} = 10 \cdot 13,5\text{MHz} + 2 \cdot 10 \cdot 6,75\text{MHz} = 270\text{Mbps} \quad (25)$$

La disminución de velocidad conseguida aún no permite transmitir las señales por un canal analógico, se deben someter a un proceso de compresión de datos que reduzca considerablemente la velocidad binaria.

El formato 4:2:2 es el que se usa en un estudio de televisión para procesar las señales sin pérdida de calidad. Incluso cuando se almacenan los programas digitales, se hacen en un formato de compresión de datos JPEG, que comprime la señal 4:2:2 pero no introduce pérdidas de sus datos.

A continuación explicamos el formato 4:2:0, que es el que utilizan las técnicas de compresión MPEG-1 y MPEG-2 para la transmisión de las señales de televisión. Contrariamente al JPEG, el MPEG introduce pérdidas de datos que equivalen a errores en la recepción, pero son asumibles y apenas perceptibles por el ojo humano. Estas técnicas de compresión forman parte de la codificación de fuente que se explica en el módulo "Codificación de la señal de televisión".

2.5.3. Otros formatos de muestras (4:2:0, 4:1:1)

Algunas empresas del sector audiovisual han desarrollado otros formatos para sus productos como el 4:1:1 o el 4:2:0 que, tal como acabamos de mencionar, es el estándar MPEG1 y MPEG2:

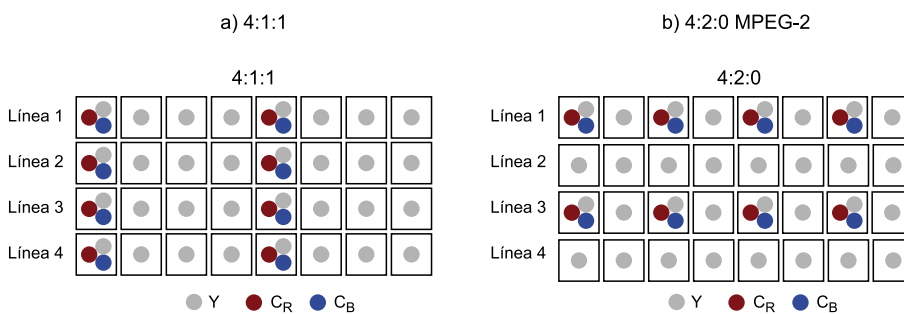


Figura 16. Distribución de muestras según normas 4:1:1 y 4:2:0

Ambos tienen una velocidad binaria menor que el 4:2:2:

$$8 \text{ bits: } v_{4:1:1,8\text{bits}} = v_{4:2:0,8\text{bits}} = 8 \cdot 13,5\text{MHz} + 8 \cdot 6,75\text{MHz} = 162\text{Mbps}$$

$$10 \text{ bits: } v_{4:1:1,10\text{bits}} = v_{4:2:0,10\text{bits}} = 10 \cdot 13,5\text{MHz} + 10 \cdot 6,75\text{MHz} = 202,5\text{Mbps}$$

Aunque los equipos audiovisuales puedan manejar cualquier tipo de formato, la conexión externa con otros equipos debe seguir una normativa de interfaz que se explica en el apartado "Normas SMPTE para interfaces de señal de vídeo digital".

2.5.4. Formatos SIF, CIF y QCIF

A parte de los formatos 4:2:0 o 4:1:1, se han desarrollado otros formatos para aplicaciones que no precisen mucha resolución de imagen. Por ejemplo, los formatos SIF (*source intermediate format*), CIF (*common intermediate format*) y QCIF (*Quarter CIF*) que afectan, además de la frecuencia de muestreo, el número de imágenes por segundo que se envían.

El formato SIF se definió para el algoritmo de compresión MPEG-1 pero finalmente no se ha desarrollado con éxito. Sus parámetros son los siguientes:

- Se reduce a la mitad tanto la resolución espacial como la temporal, pasando de 50 Hz a 25 Hz el refresco de cuadro en sistemas de 625 líneas y a 29,97 Hz los de 525 líneas.
- La luminancia se muestrea a la mitad: se toman 360 muestras por línea a lo largo de 288 líneas por cuadro en sistemas de 625 líneas y 360×240 en sistemas de 525 líneas.
- La crominancia también se muestrea a la mitad: o sea, 180 muestras en cada una de las 144 líneas de un cuadro en 625 líneas y 180×120 en 525 líneas.

El formato CIF es un estándar para codificadores de videoconferencia y otros sistemas similares. Es un compromiso entre los formatos SIF europeos y americanos. La resolución espacial es la europea, de 625 líneas, o sea 360×288 , y la temporal la americana de 29,97 Hz, de 525 líneas.

EL formato QCIF divide la resolución espacial por 4 (2 en horizontal y 2 en vertical) y la temporal por 2 o 4 (15 Hz o 7,5 Hz). Es el formato para videoteléfono que usa el algoritmo de compresión H261.

Nota

Estos formatos están relacionados con los niveles de resolución especificados por el estándar de compresión MPEG-2, que se explica en el módulo "Codificación de la señal de televisión":

- El QCIF es el nivel bajo MPEG-2.
- El CIF es el nivel principal con muestreo.
- El 4:2:0 con resolución 720×576 es el SD (estándar digital).
- El 4:2:0 o 4:2:2 con resolución 1440×1088 es el nivel HD (alta definición).

3. Normas SMPTE para interfaces de señal de vídeo digital

La conexión entre equipos digitales de vídeo se puede hacer con cableado en paralelo o mediante cable único en serie. En cualquier caso, el formato de los bits o datos enviados está normalizado para poder diseñar equipos compatibles y con una calidad asegurada en sus interfaces. En este apartado se enumeran, en primer lugar, los principales formatos de interfaces digitales para a continuación detallar la principal interfaz paralela y la interfaz en serie SDI, utilizadas en los estudios de televisión para generar los contenidos televisivos.

3.1. Interfaces digitales de conexionado entre equipos de vídeo

Una vez multiplexados los datos de vídeo con la norma 4:2:2 o similar, se deben insertar los bytes de principio y final de vídeo activo (SAV –*Start of Active Video*– y EAV –*End of Active Video*–), las muestras de audio digital, y otros datos auxiliares que se deseen transmitir. Esta acción la realiza un coprocesador de transmisión específico para la interfaz.

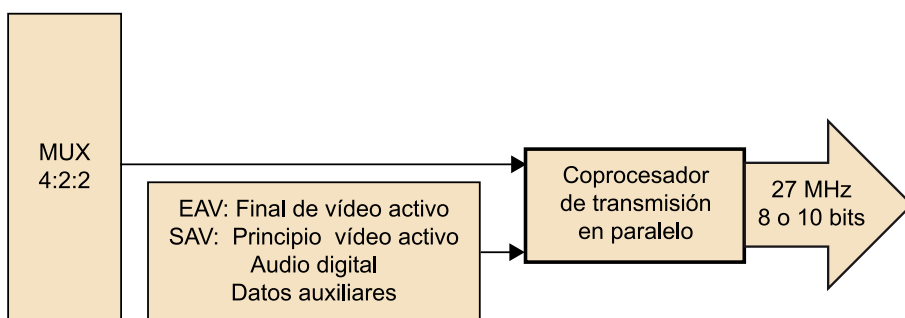


Figura 17. Diagrama de bloques de la interfaz paralela de televisión digital estándar SMPTE 125M

Los formatos digitales están normalizados por la SMPTE (the Society of Motion Picture and Television Engineers). La SMPTE normaliza los parámetros de digitalización (muestreo, cuantificación y codificación), la señal de vídeo sin comprimir con interfaces paralela, serie y de transporte, y el vídeo comprimido con la técnica MPEG.

Nota

Los bytes de SAV y EAV hacen la función del sincronismo de línea en la señal analógica; es decir, indican al receptor cuándo empieza y acaban los bytes de vídeo de la línea.

Ved también

La técnica MPEG se analiza en el módulo "Codificación de la señal de televisión".

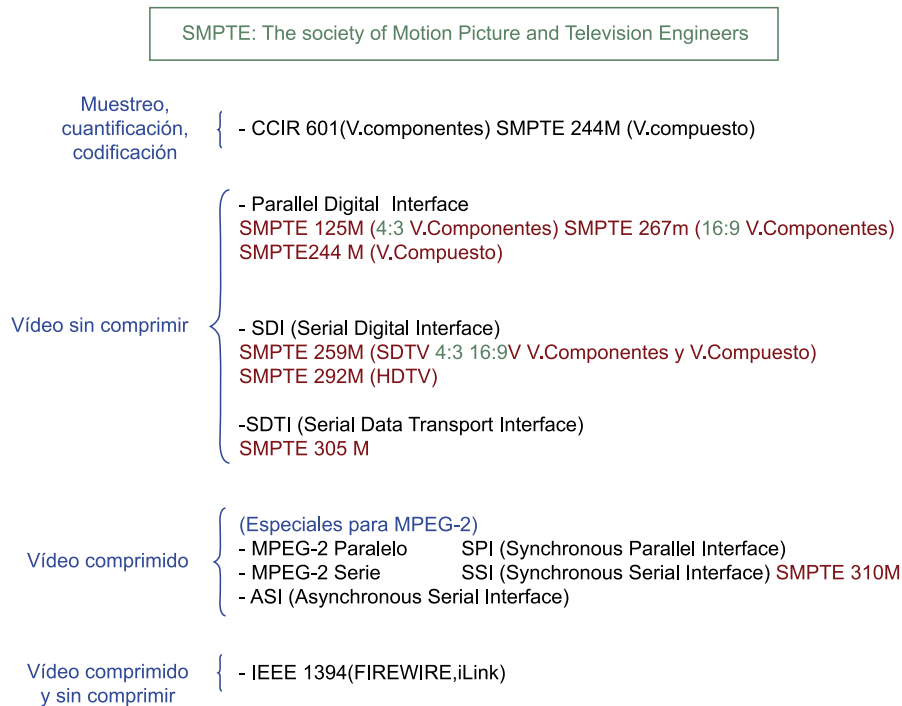


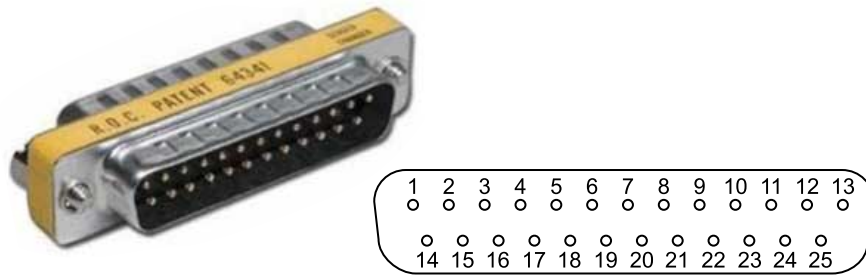
Figura 18. Esquema de los principales formatos de televisión digital

A continuación se detalla el formato paralelo SMPTE 125M y el formato serie SMPTE 259M, correspondientes a las interfaces de transmisión del vídeo digital en componentes y formato de pantalla 4:3. También se detalla la ampliación a formato de pantalla 16:9 para ver cómo afecta a la distribución de las muestras de vídeo y bits auxiliares en cada línea.

3.2. Interfaz paralela SMPTE 125M

La interfaz paralela SMPTE 125M contempla una conexión únicamente con dos equipos y permite una longitud de 100 a 150 m. Más allá de estas distancias, la señal se propaga con una calidad inferior a la requerida para ser reproducida por un equipo de televisión.

La conexión se hace a través de un conector DB-25, que es un conector unidireccional de nueve pares de cables, de los cuales ocho son pares balanceados de datos de vídeo, audio o auxiliares, y un par balanceado es una señal de reloj síncrono de 27 MHz que se usa para sincronizar todos los datos. Se dispone también la posibilidad de ampliar de ocho a diez los bits enviados:



Pin	Línea de señal	Pin	Línea de señal
1	Reloj A	14	Reloj B
2	Tierra del sistema	15	Tierra del sistema
3	Datos 7A (bit más significativo)	16	Dato 7B
4	Datos 6A	17	Datos 6B
5	Datos 5A	18	Datos 5B
6	Datos 4A	19	Datos 4B
7	Datos 3A	20	Datos 3B
8	Datos 2A	21	Datos 2B
9	Datos 1A	22	Datos 1B
10	Datos 0A	23	Datos 0B
11	Reserva A-A	24	Reserva A-B
12	Reserva B-A	25	Reserva B-B
13	Blindaje del cable	-	-

Figura 19. Conector DB-25 para interfaz paralela SMPTE 125M y esquema de distribución de pins del conector. Las líneas A se refiere a la conexión (+) de la señal y las B, a la (-)

3.2.1. Distribución de los bytes en una línea activa

De la figura 12, donde se enseña la distribución de muestras en una línea PAL y SECAM, se puede deducir la distribución de los bytes en la línea digital. Si se trata de una señal de 8 bits, cada muestra tiene 8 bits, es decir un byte. Por tanto, siguiendo la norma 4:2:2, cada muestra contiene un byte de luminancia (Y) y en cada dos muestras hay una muestra de cada componente de crominancia (CR y CB). Eso quiere decir que hay el doble de bytes que de muestras. Como en la figura se indica que hay 720 muestras de vídeo activo y 144 muestras auxiliares, habrá 1.440 bytes en la zona de vídeo activo y 288 bytes de auxiliares en zona de borrado de línea.

Si en vez de 8 bits la señal fuera de 10 bits (más precisión), en lugar de bytes estaríamos hablando de palabras de 10 bits. Dado que, en general, nos podemos estar refiriendo a 8 o 10 bits, en lugar de bytes, vamos a hablar de **palabras de 8 o de 10 bits**.

Como la frecuencia de muestreo es de 13,5 MHz y en cada período se recogen dos palabras (una de luminancia y media de cada crominancia; es decir, en 2 períodos de muestreo se recogen dos muestras de luminancia y una de cada crominancia), la frecuencia de los bits será del doble, 27 MHz.

En la figura 20 se muestra la distribución de las palabras a lo largo de la línea digital, y la comparamos con la distribución de la señal de vídeo en una línea analógica.

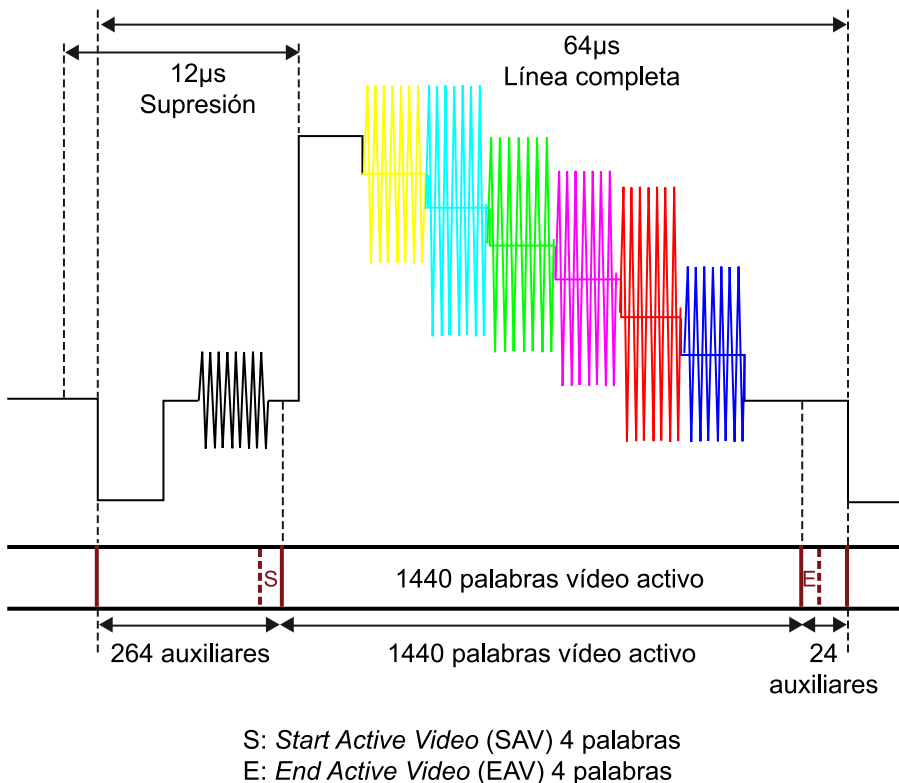


Figura 20. Comparación línea analógica con línea digital de televisión

Lectura del esquema

Comienza con 264 palabras de auxiliares, de las cuales, las 4 últimas son las que indican que va a comenzar la línea activa, es decir, las muestras de vídeo de la línea. Esas 4 palabras se llaman SAV (*start active video*).

A continuación vienen las 1.440 palabras de vídeo activo y, seguidamente, las 16 palabras de auxiliares que faltan para completar un total de 288 palabras de auxiliares ($264 + 16 = 288$). Las 4 primeras de estas 16 indican final de línea activa y se llaman EAV (*end active video*).

Sumando todas las palabras se tiene un total de 1.728 palabras, con una velocidad binaria de 27 MHz, distribuidas de la siguiente forma:

- 4 palabras de referencia temporal de inicio de línea o SAV (*start of active video*).
- 280 palabras de datos de identificación, sonido y auxiliares.
- 4 palabras de referencia temporal de fin de línea o EAV (*end of active video*).
- 1.440 palabras de vídeo activo.

3.3. Interfaz serie SMPTE 259M. Señal SDI

La interfaz serie envía todos los bytes por un único cable, lo que implica un procesamiento extra para la señal en paralelo, que se simboliza mediante el bloque conversor a SDI del siguiente diagrama:

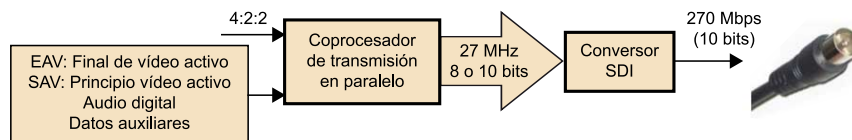


Figura 21. Conversión de interfaz paralela a interfaz serie

La conexión serie se realiza mediante un único cable coaxial de impedancia característica de 75Ω (impedancia normalizada en televisión, tanto analógica como digital). La norma SMPTE 259M permite la conexión entre dos equipos distantes entre 100 y 150 m, pero se puede "puentear" para conectar con otros equipos.

"Puentear"

Puentear una entrada con una salida de un equipo significa tener un puente que conecte interiormente ambas conexiones, de forma que se pueda conectar la salida puenteada con la entrada de un nuevo equipo, permitiendo así la conexión en cascada de varios equipos.

Si la codificación es de 10 bits (como muestra el diagrama), dado que la frecuencia de reloj es de 27MHz, los datos se mueven a una velocidad de 270 Mbps (si la codificación fuera de 8 bits, la velocidad sería de 216 Mbps). No se envía la señal de reloj sino que esta se extrae en la recepción a partir del flujo de datos.

Las ventajas de la interfaz serie frente a la paralela son, por un lado, el uso de un solo cable y, por otro, la importante reducción de las interferencias entre los datos, lo que permite mayor calidad de imagen.

La norma SMPTE 259M define cuatro criterios de operación como niveles de soporte:

- Nivel A. 143 Mbps NTSC (vídeo compuesto).
- Nivel B. 177 Mbps PAL (vídeo compuesto).
- Nivel C. 270 Mbps 525/625 Componentes (4:3).
- Nivel D. 360 Mbps 525/625 Componentes (16:9).

Los más utilizados son los niveles C y D, ya que actúan sobre la señal en componentes.

3.3.1. Convertor SDI

La conversión de paralelo a serie no consiste simplemente en alinear los bits uno detrás de otro, sino que se requiere un procesado extra para la protección de los datos, la integridad de la señal digital de transmisión y la facilidad de

sincronización en recepción. Este procesado convierte la señal en paralelo en una señal SDI (*serial digital interface*). Básicamente se le aplican dos procesos que se pueden observar en la figura 22:

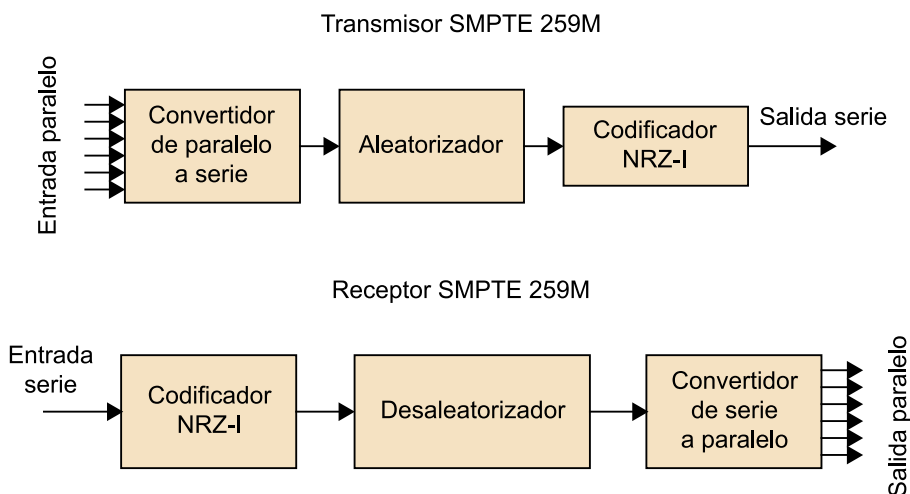


Figura 22. Transmisor y receptor de señal SDI según norma SMPTE 259M

El **aleatorizador** reordena los bits a transmitir para evitar largas longitudes de 1 o 0 seguidos, que provocan pérdidas de sincronismo en el receptor al no detectar suficientes transiciones para sincronizar el reloj. Además, con el aleatorizador se consigue nivelar por tramos el número de '1' y el de '0', con lo que el nivel de continua de la señal transmitida es casi cero.

El **desaleatorizador** hace la función contraria en recepción para recuperar el flujo de datos original.

El **codificador NRZ-NRZI** codifica la información en código NRZ (sin retorno a cero) en su modalidad NRZ-I; es decir, da un nivel de tensión (alto o bajo) que no cambia mientras se están transmitiendo '0' y cambia su valor (de alto a bajo o de bajo a alto) si se transmiten '1', con lo que se ahorra ancho de banda al limitar el número de transiciones.

3.3.2. Distribución de palabras de datos por línea en SDI nivel C

La señal SDI nivel C representa un formato de pantalla 4:3 con una distribución de muestras según norma 4:2:2. La frecuencia de muestreo de los píxeles es de 13,5 MHz para la luminancia (Y) y 6,75 MHz para cada señal de crominancia. Los píxeles se representan mediante 8 o 10 bits, por lo que la velocidad, en caso de considerar 10 bits, es de 270 Mbps.

Recordad

Una palabra es un conjunto de bits. Si el número de bits es 8, la palabra se llama *byte*. En SDI se transmiten palabras de 10 bits, o palabras de 8 bits (*bytes*).

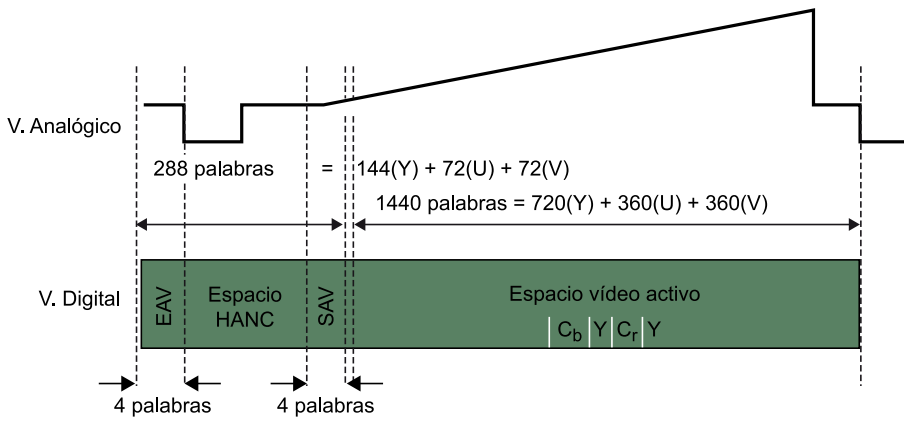


Figura 23. Temporización de los datos de vídeo digital en una línea de vídeo analógico en SDI nivel C

El espacio de vídeo activo, es decir, el tiempo de la línea activa, está compuesto por 1.440 palabras de 10 bits, que se corresponden con 720 muestras de luminancia (Y) más 360 de croma azul (Cb) más 360 de croma rojo (Cr).

El espacio de vídeo inactivo, o sea, el tiempo de línea inactiva lo componen 288 palabras de 10 bits, que contienen los siguientes espacios:

- EAV: 4 palabras que representan el marcador de final de vídeo activo (*end active video*).
- HANC: 288 palabras para información auxiliar (audio, código de tiempo, datos auxiliares).
- SAV: 4 palabras que indican el marcador de principio de vídeo activo (*start active video*).

Estas 288 palabras se pueden corresponder con 144 muestras inexistentes de luminancia (Y) y 72 de cada una de las cromas (Cb y Cr). Por tanto, se puede afirmar que el espacio de vídeo inactivo corresponde a 144 píxeles inactivos.

Las palabras EAV y SAV solo se diferencian en 1 bit (el bit H), que indica si se trata del marcador EAV o SAV. El resto de bits son iguales y representan lo que se indica en la siguiente tabla:

Contenido de las palabras EAV y SAV en señal SDI nivel C

Palabra	SDI 8 bits	SDI 10 bits
1	FF h	3FF h
2	00 h	000 h
3	00 h	000 h
4	1FVHP ₃ P ₂ P ₁ P ₀ b	1FVHP ₃ P ₂ P ₁ P ₀ 00 b

Las tres primeras palabras son bits de sincronización. La información está en la cuarta palabra, y a continuación se explica el significado de cada bit:

- El bit F es el bit de trama
 - F = 0 indica que la línea está en la trama 0, es decir, en el campo 1 de imágenes entrelazadas. En sistemas progresivos F = 0 en toda la señal.
 - F = 1 indica que la línea está en la trama 1, es decir, en el campo 2 de imágenes entrelazadas.
- El bit V es el bit de supresión
 - V = 0 indica que la línea está en zona activa.
 - V = 1 indica que la línea está en zona inactiva, es decir borrado/sincronismo vertical.
- El bit H es el bit indicador de EAV o SAV
 - H = 0 indica que se trata de un marcador SAV.
 - H = 1 indica que se trata de un marcador EAV.

Nota

Los sistemas entrelazados son los que, para enviar la imagen de un cuadro, envían primero un campo con las líneas impares y a continuación, otro con las líneas pares. Los sistemas progresivos envían un solo campo con todas las líneas.

3.3.3. Distribución de palabras de datos por línea en SDI nivel D

La señal SDI nivel D representa un formato de pantalla 16:9 con la misma norma 4:2:2 que el SDI-C. En este caso, la frecuencia de muestreo de los píxeles es de 18 MHz para la luminancia (Y) y 9 MHz para cada señal de crominancia. La velocidad, en caso de considerar 10 bits, es de 360 Mbps.

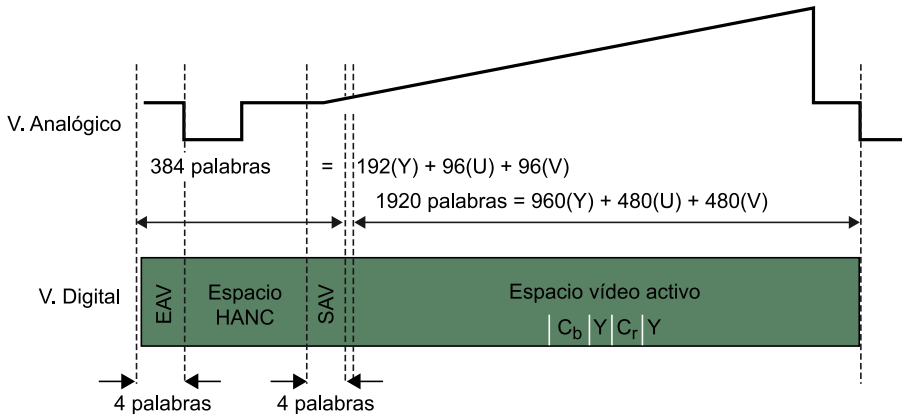


Figura 24. Temporización de los datos de vídeo digital en una línea de vídeo analógico en SDI nivel D

Lógicamente, al ser un formato de pantalla más grande, en SDI-D debe haber más muestras que en SDI-C. El espacio de vídeo activo está compuesto por 1.920 palabras de 10 bits, que se corresponden con 960 muestras de luminancia (Y) más 480 de croma azul (Cb) más 360 de croma rojo (Cr). Y el espacio de vídeo inactivo lo componen 384 palabras con los siguientes espacios:

- EAV: 4 palabras que representan el marcador de final de vídeo activo (*end active video*).
- HANC: 376 palabras para información auxiliar (audio, código de tiempo, datos auxiliares).

- SAV: 4 palabras que indican el marcador de principio de vídeo activo (*start active video*).

Las 384 palabras se corresponden con 192 muestras inexistentes de luminancia (Y) y 96 de cada una de las cromas (Cb y Cr). Las palabras EAV y SAV tienen el mismo formato que en SDI-C.

3.3.4. Diferencias entre transmisión en paralelo y en SDI

Diferencias entre transmisión paralelo y serie SDI

	Paralelo	SDI
Distancias	Cortas	Largas (100 a 150m)
Economía cable y conector	Caro	Un solo coaxial (más barato)
Interface electrónica	Simple	Compleja
Velocidad	Menor (27 MHz)	Mayor (270 Mbps)
Susceptible a interferencias	Alta susceptibilidad	Baja susceptibilidad
Conexión con varios equipos	Solo 2 equipos	Varios

3.4. Audio digital en la señal SDI

Como ya hemos comentado, los datos de audio digital de la señal de televisión se incrustan en el espacio HANC. El formato estándar está definido por la norma SMPTE 272M y para audio de alta definición o 3G se utiliza el estándar SMPTE 299M.

A continuación se describen las prestaciones de la versión estándar SMPTE 272M, que está basada en los formatos AES/EBU.

3.4.1. Estándar de audio SMPTE 272M

La señal de audio se muestrea a 48 kHz en lugar de a 44,1 kHz como se hace para la grabación en CD. Se dispone de 20 bits de sonido por muestra en la versión estándar (272M) y 24 en la de alta definición (299M).

Cada muestra del convertidor A/D se aloja en una subtrama de 32 bits. Hay dos subtramas, una por canal:

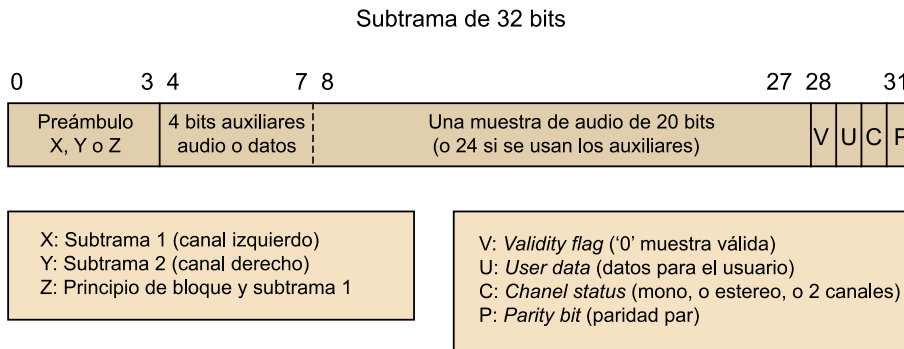


Figura 25. Estructura de la subtrama de audio digital según SMPTE 272M (AES/EBU)

El flujo de datos se organiza en bloques de 192 tramas (cada trama consta de dos subtramas) y, como en cada trama hay 1 bit para datos de usuarios (*user data*) y 1 bit para el estado del canal (*channel status*), en cada bloque hay 192 bits para datos de usuario y 192 bits para codificar el estado del canal.

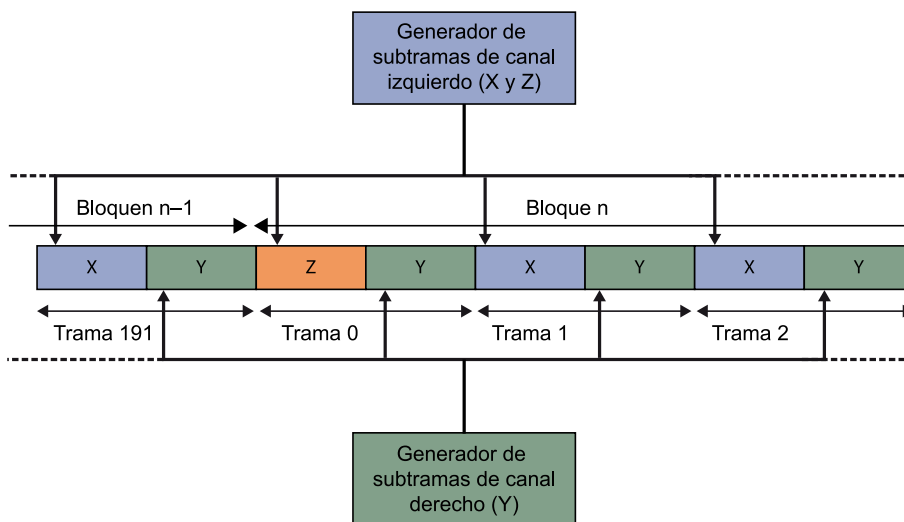


Figura 26. Estructura del flujo de datos de audio digital según SMPTE 272M (AES/EBU) organizado en bloques de 192 tramas de 2 subtramas cada una

Hay tres modos de transmisión que se indican con los bits 0 a 3 del byte 1 del *channel status*:

- **Modo dos canales.** Las muestras de ambos canales (que corresponden a fuentes diferentes) se transmiten en subtramas consecutivas. El canal 1 en la subtrama 1 y el canal 2 en la subtrama 2.
- **Modo estereofónico.** El canal izquierdo o canal A se transmite en la subtrama 1 y el derecho o B, en la subtrama 2.
- **Modo monofónico.** El sonido va en la subtrama 1. La subtrama 2 puede tener repetida la subtrama 1 o bien todo ceros.

En general, en aplicaciones donde hay dos canales, uno primario y otro secundario, el primario debe ir en la subtrama 1 y el secundario en la 2.

La velocidad binaria depende de si se usa uno o dos canales de audio. Con un canal, la velocidad es:

$$v_{\text{bit}} = 48 \cdot 10^3 \text{muestras/s} \cdot 32 \text{bits/muestra} = 1,536 \text{Mbps} \quad (26)$$

Con dos canales la velocidad es:

$$v_{\text{bit}} = 2 \cdot 1,536 \text{Mbps} = 3,072 \text{Mbps} \quad (27)$$

El tiempo de bit será:

$$T_{\text{bit}} = \frac{1}{v_{\text{bit}}} = \frac{1}{3,072 \text{Mbps}} = 0,3255 \mu\text{s} \quad (28)$$

A partir de aquí, la duración de una subtrama y una trama será:

$$T_{\text{subtrama}} = T_{\text{bit}} \cdot 32 \text{bits} = 10,4167 \mu\text{s} \quad (29)$$

$$T_{\text{trama}} = T_{\text{subtrama}} \cdot 2 = 20,83 \mu\text{s} \quad (30)$$

Un bloque dura:

$$T_{\text{bloque}} = T_{\text{trama}} \cdot 192 = 4 \text{ms} \quad (31)$$

3.5. Formatos de televisión digital según la calidad de imagen

La señal digital explicada en este módulo, SDI, se corresponde con un modo de vídeo de calidad estándar, es decir, con formato SDTV (*standard definition TV*).

Recordad

La calidad está relacionada con el número de píxeles de la pantalla, que se calculan multiplicando el número de muestras horizontales por el número de líneas. En NTSC serían 720×480 mientras que en PAL serían 720×576 .

Otros aspectos a considerar son el modo de escaneado (progresivo o entrelazado), la relación de aspecto o relación de las dimensiones de la pantalla (4:3 o 16:9) y el número de imágenes por segundo o resolución temporal.

La calidad SDTV tiene las siguientes características, que son suficientes para visualizar las imágenes en pantallas con dimensiones de hasta 21 o 25 pulgadas de tamaño como máximo:

- Número de líneas: 480 (NTSC) y 576 (PAL).
- Escaneado entrelazado.
- Relación de aspecto normalmente de 4:3 aunque también se contempla el 16:9.
- Resolución temporal de 30 imágenes por segundo (NTSC) y 25 (PAL).

Tamaño de pantalla

El tamaño de la pantalla es la longitud de la diagonal de la pantalla medida en pulgadas.

A medida que se evolucionó hacia pantallas más grandes, se hizo necesario desarrollar formatos de mayor calidad. El primero de ellos fue el EDTV (*enhanced definition TV*) utilizado en el DVD, TDT, televisión por satélite, videoconsolas y cámaras miniDV. El aumento de calidad, en este caso, prácticamente se basa en un escaneado progresivo. Sus principales características son las siguientes:

- Número de líneas: 480 (NTSC) y 576 (PAL).
- Escaneado progresivo.
- Relación de aspecto de 4:3 y 16:9.
- Resolución temporal de 24, 30 y 60 imágenes por segundo (no se distingue NTSC y PAL).

Actualmente el formato EDTV ha sido prácticamente desplazado por el de alta definición HDTV (*high definition TV*), que basa su calidad en el aumento de píxeles o muestras horizontales y el número de líneas. Algunos sistemas que ya utilizan HDTV son el HD DVD, el Blu-ray, la TDT de alta definición, la televisión por satélite o las videoconsolas.

Hay diferentes formatos de HDTV cuyas características son las siguientes:

- Número de líneas: 720 y 1080.
- Escaneado progresivo o entrelazado.
- Relación de aspecto de 4:3 y 16:9.
- Resolución temporal de 24, 30 y 60 imágenes por segundo.

El número de píxeles o muestras horizontales vienen determinados por la relación de aspecto y el número de líneas. Se calculan ajustando dichas características a la forma del píxel deseada (más cuadrado o más rectangular).

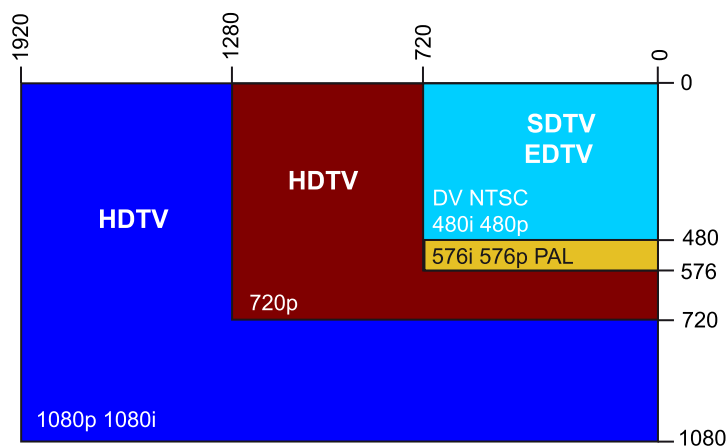


Figura 27. Píxeles horizontales y número de líneas para SDTV, EDTV y HDTV

El nombre del formato de calidad de televisión contiene el número de líneas y el entrelazado:

- 480i: 480 líneas entrelazadas (*interlaced*).
- 576i: 576 líneas entrelazadas (*interlaced*).
- 1080p: 1080 líneas progresivas (*progressive*).

Como hay más aspectos a tener en cuenta como las imágenes por segundo y la relación de aspecto, podemos tener varios estándares diferentes aunque tengan el mismo nombre. En la siguiente tabla presentamos algunos de los formatos de televisión actuales:

Formatos de TV digital

	Formato	Líneas	Pixel horiz.	Rel. aspecto	Escaneo	Imag./s
HDTV	1080p	1080	1920	16x9	progresivo	24 o 30
	1080i	1080	1920	16x9	entrelazado	30
	720p	720	1280	16x9	progresivo	24, 30 o 60
EDTV	480p	480	720	4x3 o 16x9	progresivo	24, 30 o 60
	576p	576	720	4x3 o 16x9	progresivo	24, 30 o 60
SDTV	480i	480	720	4x3 o 16x9	entrelazado	30 (NTSC)
	576i	576	720	4x3 o 16x9	entrelazado	25 (PAL)

Bibliografía

Benoit, Hervé (1997). *Digital Television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system* (cap. 1, pág. 3-15). Focal Press.

Bethencourt Machado, Tomás (1990). *Sistemas de Televisión clásicos y avanzados*. Departamento de Publicaciones Centro de Formación RTVE.

