

# Televisión analógica

Javier Gago Barrio

PID\_00196649



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. Fundació 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

<b>Introducción</b> .....	5
<b>1. Señal de vídeo en blanco y negro</b> .....	7
1.1. Número de líneas por pantalla .....	7
1.2. Señal en blanco y negro. Luminancia .....	8
1.3. Sincronismos de línea y de campo .....	10
1.4. Espectro frecuencial y ancho de banda .....	11
1.5. Modulación de la señal de audio .....	13
1.6. Transmisión de la señal de televisión en blanco y negro. Canal de televisión .....	14
<b>2. Señal de vídeo en color</b> .....	16
2.1. Compatibilidad entre televisión en blanco y negro y televisión en color .....	16
2.2. Elección de las señales de color a transmitir .....	17
2.2.1. Ajustes de color. Señal patrón de barras de color .....	18
2.2.2. Representación vectorial de las señales de diferencia de color .....	20
2.2.3. Reducción de errores al transmitir diferencia de colores .....	21
2.2.4. Amplitud, saturación y brillo del color .....	22
2.3. Modulación de la señal de color. Señales $U'(t)$ y $V'(t)$ .....	22
2.3.1. Demodulación síncrona de la señal de crominancia .....	23
2.4. Señal de vídeo compuesto en color .....	24
2.4.1. Ponderación de las componentes del vector crominancia .....	26
2.5. Espectro frecuencial de la señal de televisión en color .....	27
<b>3. Sistemas de televisión en color analógicos</b> .....	30
3.1. Sistema NTSC. Características y elección de la frecuencia subportadora de color .....	31
3.1.1. Frecuencia subportadora en NTSC .....	31
3.1.2. Señales I Q en NTSC .....	32
3.1.3. Codificador NTSC .....	34
3.2. Sistema PAL. Características y elección de la frecuencia subportadora de color .....	34
3.2.1. Señales U V en PAL .....	35
3.2.2. Frecuencia subportadora en PAL .....	36
3.2.3. Codificador PAL .....	38
3.3. Sistema SECAM. Características y elección de la frecuencia subportadora de color .....	39

---

3.3.1. Señales DR y DB en SECAM .....	39
3.3.2. Codificador SECAM .....	39
<b>Bibliografía</b> .....	41
<b>Anexo</b> .....	42

## Introducción

En este módulo se presentan de manera detallada los fundamentos de la señal de televisión analógica. En primer lugar se explican las características de la señal en blanco y negro para, a continuación, detallar cómo se incrustó la información de color a fin de preservar la compatibilidad con los sistemas de blanco y negro. Se detalla, por último, las características de los tres principales sistemas mundiales de televisión analógica: NTSC, PAL y SECAM.

En siguiente figura se muestran, en naranja, los bloques de la cadena televisiva que se desarrollan en este módulo:

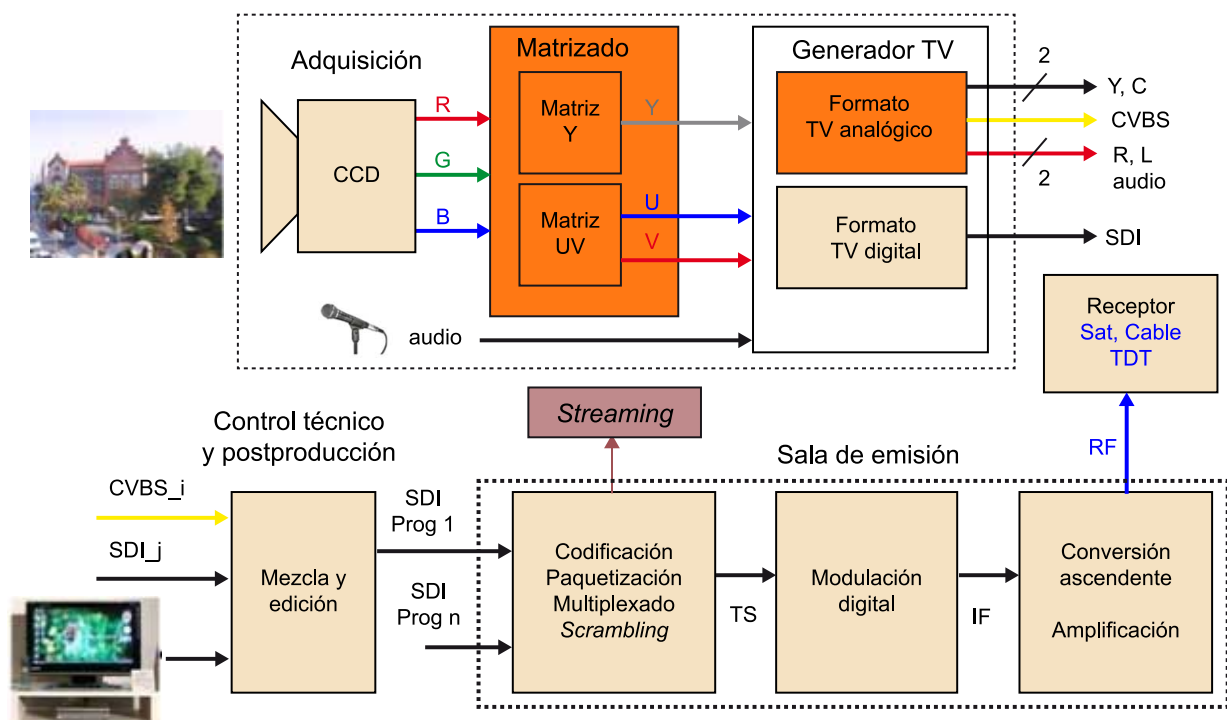


Figura 1. Cadena televisiva. En naranja se indica el bloque que se desarrolla en este módulo

El sistema de televisión analógico fue el primero en implantarse debido a que no precisa la tecnología digital desarrollada en las últimas décadas. Permite transmitir, recibir y almacenar programas audiovisuales en forma de señales analógicas con una calidad generalmente inferior a la televisión digital y con escasos servicios para el usuario (servicios que sí permite la televisión digital).

La señal generada es una señal compuesta con la información de luminancia (luminosidad en blanco y negro de las imágenes), crominancia (color de la imagen) y audio. Dicha señal se llama vídeo compuesto (CVBS) y se forma a partir de las señales R, G y B. Por cuestiones de compatibilidad entre sistemas de televisión en blanco y negro y los de color, y por un ahorro de ancho de

banda para enviar la información, las señales RGB se convierten a otras que, como contrapartida, ofrecen una calidad inferior a las RGB: las señales YUV, donde la Y es la señal de luminancia (5,5MHz de ancho de banda), y las UV son las señales de crominancia (2,75MHz de ancho de banda) o diferencia de color. Concretamente, las señales UV consisten en la diferencia entre el rojo (R) y el azul (B) con respecto a la luminancia (Y). Matemáticamente hablando,  $U=B-Y$  y  $V=R-Y$ .

El esquema de la televisión analógica respondería al diagrama de bloques de la figura 2:

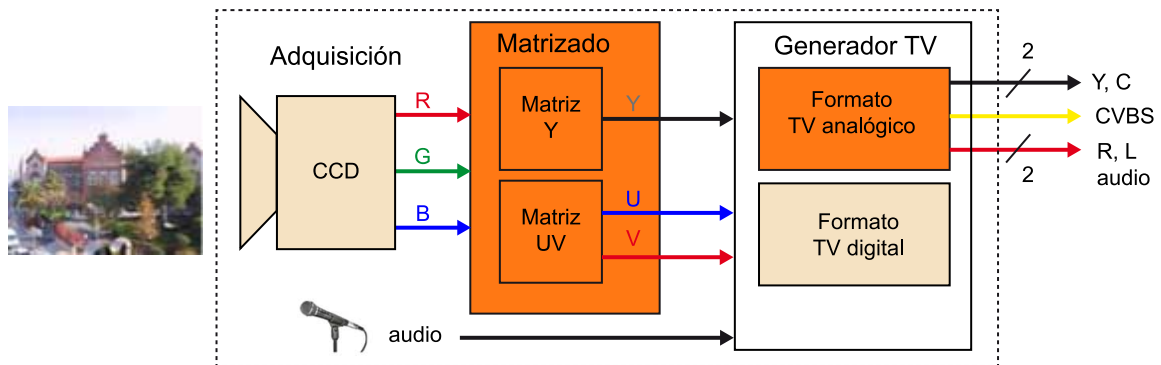


Figura 2. Diagrama de bloques de la televisión analógica

Basándose en este esquema, se han desarrollado diferentes estándares que se diferencian entre ellos por el número de imágenes por segundo reproducidas en la pantalla, por el número de líneas de cada imagen y por cómo se modula la información de luminancia, crominancia y sonido para formar una única señal que se transmita con el mínimo ancho de banda posible. Estos estándares son, fundamentalmente, el NTSC americano, el SECAM francés y el PAL europeo.

## 1. Señal de vídeo en blanco y negro

Todos los estándares de televisión en color analógicos derivan de los primeros estándares en blanco y negro, por ello se explica en primer lugar la señal en blanco y negro que representa la luminancia de las imágenes. También se explica en este capítulo cómo se incrusta la señal de audio en el vídeo y cómo se introduce la señal de televisión completa en un canal asignado para la transmisión.

### 1.1. Número de líneas por pantalla

El número de líneas por pantalla determina la resolución vertical de la imagen a reproducir. Es diferente en cada estándar actual y ha ido variando a lo largo del tiempo en función de los avances tecnológicos en la fabricación de las pantallas y cámaras, y en las técnicas de transmisión de la señal de televisión.

Cuando se usaba el disco de Nipkow, en los inicios de la televisión hacia finales de los años 1920, la resolución evolucionó desde 30 líneas por pantalla con 12,5 imágenes por segundo, hasta estabilizarse en 180 líneas (en Alemania y Francia) y 240 líneas (en Inglaterra y USA). En aquella época había dos problemas:

- **Limitación del ancho de banda.** Cuanta más información se envía, más complejo es el sistema de envío y recepción, lo que limita el número de imágenes que se pueden transmitir por segundo. La frecuencia de las imágenes se obtenía mediante un divisor de frecuencia aplicado a la señal de la red eléctrica, que tiene un valor de 50 Hz en Europa y 60 Hz en USA. La limitación de ancho de banda implicaba que la frecuencia de las imágenes máxima fuera la de la red eléctrica dividida por 2. Es decir, 25 imágenes por segundo en Europa y 30 en USA.
- **Efecto *flicker* (o parpadeo).** El número de imágenes por segundo determinaba la frecuencia de la señal que se usaba para sincronizar las líneas de la pantalla. Esta señal se obtenía haciendo pasar la señal de la red eléctrica por transformadores y multiplicadores de frecuencia. Las imperfecciones de estos transformadores hacían que dicha señal fuera inestable y, como resultado de su variación, se observaba un parpadeo en la intensidad de luz (*flicker*) que era molesto para el espectador. Este efecto desaparece si la frecuencia de las imágenes supera un valor crítico llamado frecuencia de fusión. A partir de esa frecuencia, el observador es incapaz de seguir la variación de luz, y la ve como una intensidad continua. La frecuencia de fusión está entre 40 y 45 Hz. Por tanto, para evitar el *flicker*, se deberían transmitir imágenes a una frecuencia por encima de esos valores.

Con la invención del **iconoscopio** durante los años precedentes a la Segunda Guerra Mundial, se utilizaron técnicas de entrelazado que evitaban el efecto *flicker*, respetando, al mismo tiempo, un ancho de banda aceptable.

Este método, inventado en 1927, consiste en escanear una imagen solo en sus líneas impares, y la imagen siguiente, solo en sus líneas pares. Cada una de estas "medias imágenes" se llama campo, concretamente, tenemos el campo par (imagen que solo contiene líneas pares) y campo impar (imagen que solo contienen líneas impares). Teniendo en cuenta que la red eléctrica era de 50Hz en Europa y 60Hz en USA, una televisión de **tubo de rayos catódicos** (CRT) europea transmitía 50 campos por segundo, pero el ojo veía realmente 25 imágenes completas por segundo. Por lo tanto, se estaba por encima de la frecuencia de fusión (50Hz > 40-45Hz). En el caso de USA, el espectador veía 60 campos (medias imágenes) por segundo, es decir, 30 imágenes completas por segundo. Además, gracias a técnicas como el entrelazado, se pudo aumentar la definición a 405 líneas (Inglaterra), 441 líneas (USA y Alemania) o 445 líneas (Francia).

Finalmente, con el incremento de los tamaños de los CRT, que implicaban aumento de tamaño de las imágenes, el número de líneas se incrementó hasta los valores que muestran actualmente los estándares analógicos, que se verán en el apartado "Sistemas de televisión en color analógicos". Los expertos en tratamiento de imágenes de la época determinaron que el valor óptimo del número de líneas por imagen tenía que estar entre 500 y 700.

## 1.2. Señal en blanco y negro. Luminancia

Al plantearse unificar, en lo posible, la señal utilizada para la retransmisión de programas de televisión en diferentes lugares del mundo, se crearon tres sistemas estándar que tenían en común dos características:

- La señal de televisión sería única y combinaría la información de vídeo, blanqueo y sincronización. Dicha señal se denomina señal de vídeo en banda base (VBS).
- La señal se entrelazaría con un escaneo, normalmente de orden 2 (es decir, campo par e impar, como el explicado anteriormente), ya que presenta el mejor compromiso entre ancho de banda y efecto *flicker*.

La información de vídeo en blanco y negro se representa a partir de la evolución de la luminancia de la imagen a lo largo de la línea, y línea tras línea a lo largo de la imagen. Se genera por amplitud de tensión, es decir, tiene un rango dinámico de 0,7 V, correspondiendo el valor 0 V al nivel de negro puro y el valor 0,7 V al de blanco puro. Los valores intermedios corresponden a los diferentes valores de grises. Para indicar dónde comienza cada línea, se



incluye un impulso de sincronismo de amplitud  $-0,3$  V. De esta forma, la señal compuesta VBS tiene un rango dinámico de  $1$  V ( $0,7$  V para vídeo y  $0,3$  V para el sincronismo).

En la figura 3 se puede apreciar el recorrido de dos líneas consecutivas en la pantalla (en un ejemplo con 625 líneas entrelazadas), y en la figura 4 se observa la forma temporal de una línea de la señal VBS:

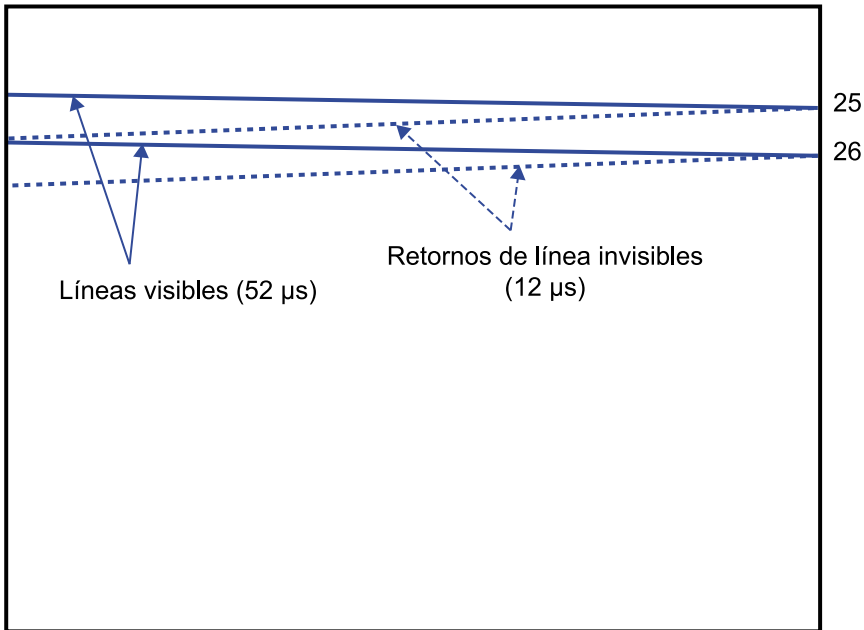


Figura 3. Barrido de dos líneas consecutivas en la pantalla con los retornos de línea

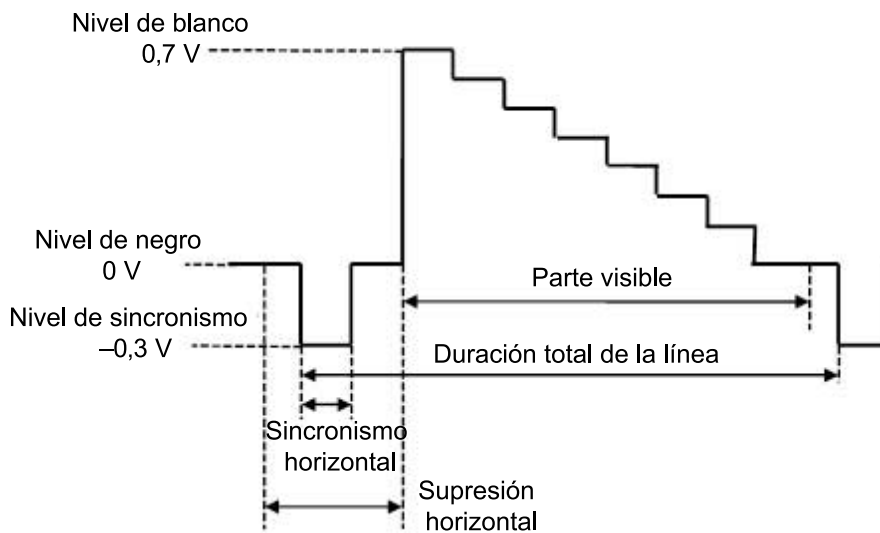


Figura 4. Forma temporal de la señal VBS correspondiente a una línea

La señal VBS precisa de sincronismos extras para controlar el final de una imagen y comienzo de la siguiente. La forma de implementar estos sincronismos, y otros necesarios para transmitir imágenes en color, varían en los tres estándares desarrollados, tal como se verá en el apartado "Sistemas de televisión en color analógicos".

### 1.3. Sincronismos de línea y de campo

La señal de televisión debe indicar de alguna manera al receptor de televisión cuándo comienza una línea y qué número de línea es, y también cuándo comienza un campo nuevo. Para ello, la cámara o cámaras que adquieren la señal de vídeo incorporan a la señal unos impulsos de tensión negativa que se denominan sincronismos. Existen dos tipos de sincronismos:

- El **sincronismo horizontal** (o de línea). Este sincronismo tiene una duración de alrededor de 12  $\mu\text{seg}$ , que se incorpora al principio de la señal de línea, justo cuando debe comenzar el barrido de línea (figura 4). Durante estos 12  $\mu\text{seg}$ , al sistema de barrido del monitor le da tiempo a posicionarse a la izquierda de la pantalla para pintar una nueva línea. La señal de sincronismo horizontal la crea un circuito de la cámara cada vez que inicia una exploración de línea. El sincronismo se transmite junto a la señal de vídeo, y al reproducirse en el receptor de televisión, el circuito de barrido del monitor inicia su recorrido activado por la señal de sincronismo.
- El **sincronismo vertical** (o de campo). Una vez reproducidas todas las líneas de un campo (el impar o el par), la misma señal de vídeo le indica al receptor que empieza un nuevo campo. Esto se hace mediante el sincronismo vertical, que consta de una serie de impulsos repetidos que duran lo mismo que varias líneas. Lógicamente estas líneas de sincronismo vertical son **no** visibles, y su duración (alrededor de 1,6  $\text{mseg}$ ) es la que necesita el circuito de barrido para posicionarse nuevamente en la parte alta de la pantalla e iniciar un nuevo campo. En la figura 5 se puede apreciar el recorrido de todas las líneas de la pantalla en el campo impar (en azul) y en el campo par (en rojo), con sus retornos de línea y sus retornos de campo, en un sistema de 625 líneas entrelazadas.

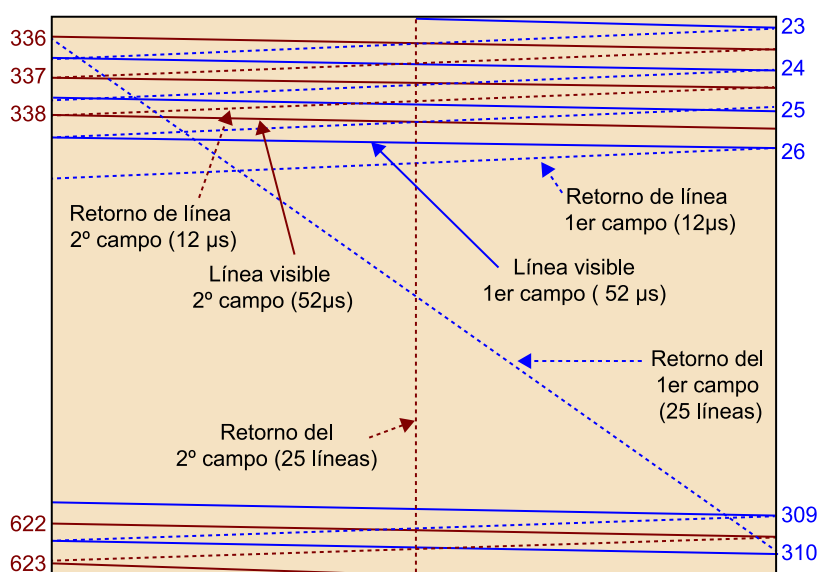


Figura 5. Barrido de las líneas en la pantalla de un sistema de 625 líneas entrelazadas

En la figura 6 se pueden observar las señales de sincronismo de línea y de campo correspondientes a este sistema de 625 líneas entrelazadas.

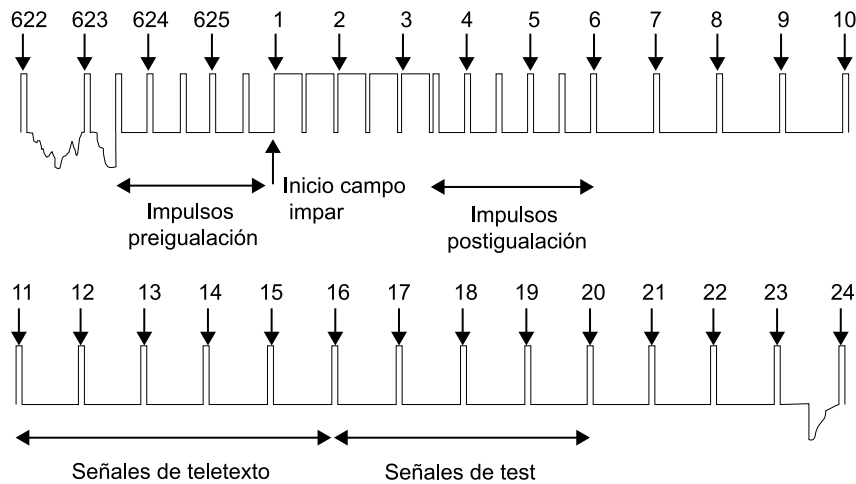


Figura 6. Sincronismo vertical y de campo

En estas líneas no visibles, además del sincronismo vertical, se suele enviar información extra, como por ejemplo: teletexto, códigos de la emisora, señales de control de calidad, etc. (en el sistema PAL, la información de teletexto y test se envía en 17,5 líneas por cuadro).

#### Nota

En el sistema PAL, que se desarrolla más extensamente en el apartado "Sistemas de televisión en color analógicos", el sincronismo vertical se corresponde con 25 líneas no visibles. Es el llamado borrado vertical. Esto hace que de las 625 líneas que se envían cada dos campos, solo 575 sean efectivas/visibles  $[625 - (25 \times 2)]$ .

### 1.4. Espectro frecuencial y ancho de banda

A partir de la forma temporal de la señal VBS, se puede estimar su espectro frecuencial y ancho de banda, datos fundamentales para diseñar un buen sistema de retransmisión, y para modificar, más adelante, la señal VBS, incluyendo la información de color de forma que sea compatible con la transmisión en blanco y negro.

En un sistema de 625 líneas entrelazadas (como el sistema PAL que se verá en el apartado "Sistemas de televisión en color analógicos"), cada imagen tiene dos campos (el impar y el par). Cada campo contiene 312,5 líneas (la mitad del total). Si la red eléctrica funciona a 50Hz (Europa), entonces se procesan 50 campos por segundo, en total, se generan 15.625 líneas por segundo  $(312,5 \times 50)$ . Por tanto, si consideramos que la información de vídeo entre una línea y su siguiente es prácticamente la misma, se puede afirmar que la señal VBS es, aproximadamente, una señal periódica de frecuencia 15.625 Hz. Es decir, la duración de la línea debe ser  $64 \mu\text{s}$   $(1/15.625)$ . Esta duración, como se ha visto, corresponde a 12  $\mu\text{seg}$  de sincronismo horizontal (no visible) más 52  $\mu\text{seg}$  de información útil (luminancia Y de la línea).

El espectro frecuencial de la señal VBS debe contener una componente fundamental a la frecuencia de 15.625 Hz, y armónicos a frecuencia múltiplo de la fundamental. Por otra parte, se puede considerar que una imagen y la siguiente

también contienen aproximadamente la misma información. Por tanto, una línea de una imagen y la misma línea de la imagen siguiente tendrán aproximadamente la misma forma temporal. Dicho de otro modo, la señal de línea se va repitiendo a una frecuencia de 50 Hz. O lo que es lo mismo, la señal VBS se modula mediante una moduladora de 50 Hz, lo cual hace que en el espectro frecuencial aparezcan bandas laterales en cada armónico, separadas 50 Hz entre sí.

El espectro frecuencial de una señal VBS de estas características se muestra en la figura 7:

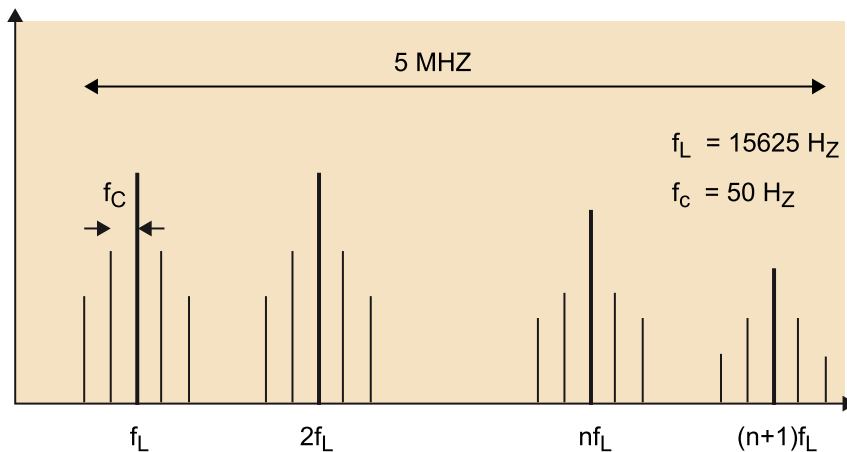


Figura 7. Espectro frecuencial de una señal VBS de un sistema de 625 líneas a una velocidad de 50 imágenes entrelazadas (o campos) por segundo

El ancho de banda se puede estimar calculando la transformada de Fourier de una señal VBS típica. Si se tratase de una imagen con un tono gris uniforme, la señal de luminancia sería constante, y el espectro frecuencial solo reflejaría la variación temporal que suponen los impulsos de sincronismo. Sin embargo, para calcular la máxima frecuencia de una señal VBS, se debe considerar una imagen formada por barras negras y blancas lo más finas que pueda distinguir el ojo, ya que en este caso la señal VBS reflejará la máxima variación de luminancia.

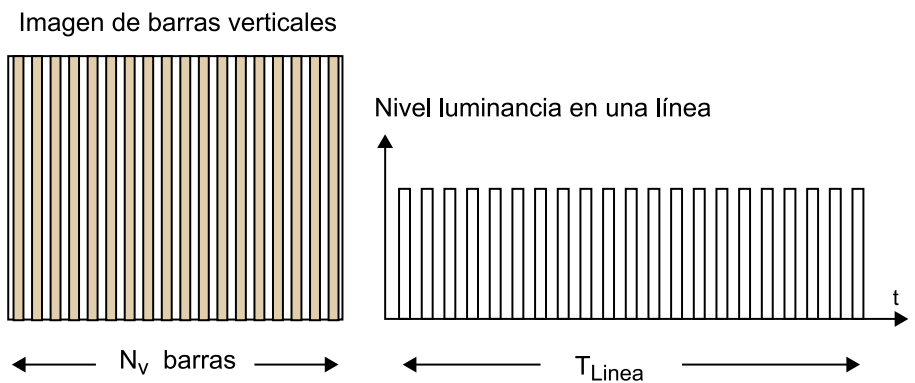


Figura 8. Señal de vídeo de una imagen que varíe su luminosidad de máxima a mínima en cada pixel consecutivo

El ancho de una de las barras de la figura 8 corresponde al ancho de un píxel de la pantalla, o rectángulo mínimo de representación visual en la pantalla. En un formato de pantalla de 4:3, el píxel tiene una relación de 4 unidades de longitud de ancho por 3 de alto, mientras que en un formato 16:9, la relación es de 16 unidades de longitud de ancho por 9 de alto:

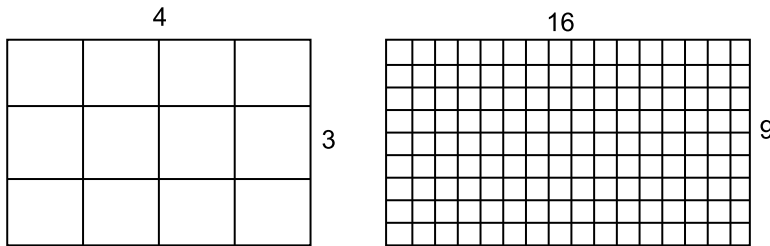


Figura 9. Relación de aspecto en formatos 4:3 y 16:9

En un sistema de 625 líneas entrelazadas, una imagen tiene 312 líneas ( $625/2=312,5$ ) que se corresponden con 312 píxeles en vertical. Aplicando una relación de aspecto de 4:3 a la dimensión del píxel, se puede deducir que una línea tiene 416 ( $312 \times 4/3 = 416$ ) píxeles. Es decir, en una línea puede haber un máximo de 416 píxeles con diferente luminosidad. Así pues, la frecuencia de la señal de barras de la figura 8 valdría:

$$f_{barras} = 416pix \cdot 15625Hz = 6,5MHz \quad (1)$$

Esa frecuencia se considera, a nivel práctico, como el ancho de banda de un sistema de vídeo de 625 líneas entrelazadas a una **frecuencia de campo de 50 Hz**. En un sistema que tuviera menos líneas, tendría proporcionalmente menos píxeles por líneas, y por tanto, proporcionalmente menos ancho de banda. No obstante, aunque en los estudios de televisión se trabaja con el máximo ancho de banda que nos ofrece la señal para no perder calidad, cuando se transmite, se suele filtrar previamente a un ancho de 5 MHz. Por ello es común considerar que la señal de televisión tiene un **ancho de banda estándar de 5 MHz**.

### 1.5. Modulación de la señal de audio

La señal de televisión contiene, además de la información de vídeo compuesto, VBS, la señal de audio que acompaña al vídeo. Para ubicarla en el mismo canal que la señal de vídeo y formar una única señal de televisión, se modula analógicamente. La portadora de esta modulación está en una frecuencia ligeramente superior al ancho de banda de la señal de vídeo y suele tener una potencia significativamente inferior a la de vídeo para reducir interferencias. La amplitud de la portadora y el ancho de banda de la señal de audio modulada se limitan para no interferir con el espectro frecuencial de la señal de vídeo, tal como se muestra en la figura 10. La potencia de la portadora de audio suele ser de unos 10 dB inferior a la portadora de vídeo.

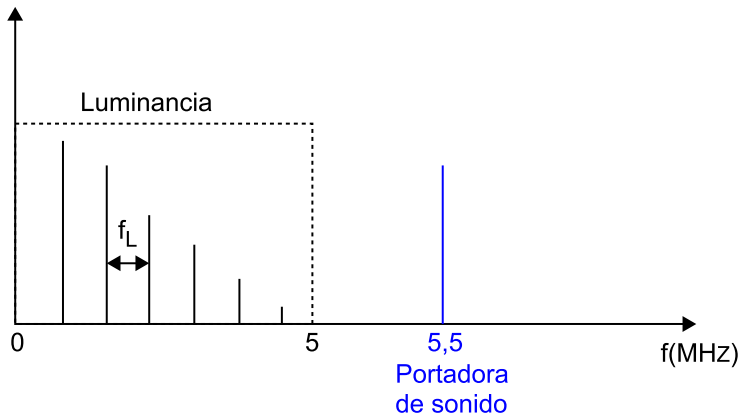


Figura 10. Espectro frecuencial de una señal de televisión con el vídeo y el audio

Normalmente se usa modulación FM (frecuencia modulada) en lugar de AM (amplitud modulada) debido a que conserva mejor la calidad del sonido. Por contrapartida, la modulación FM ocupa un mayor ancho de banda por lo que la probabilidad de interferir a la señal de vídeo es mayor.

### AM y FM

Mientras que la modulación en AM necesita un ancho de banda de valor doble que el ancho de banda de la señal de audio (aproximadamente 30 kHz), el ancho de banda que necesita la modulación en FM depende del índice de modulación: si la desviación de frecuencia máxima es de 50 kHz (valor usado en los sistemas estándares), el ancho de banda es aproximadamente de 130 kHz. Por tanto, se puede determinar que un valor para la portadora de sonido podría ser de 200 kHz o más por encima de la última frecuencia significativa del espectro de la señal de vídeo.

Encontraréis más información sobre la modulación del sonido en el anexo de este módulo.

## 1.6. Transmisión de la señal de televisión en blanco y negro. Canal de televisión

Para transmitir la señal de televisión se debe modular con una frecuencia portadora correspondiente al canal previamente asignado. El ancho de banda del canal, y por tanto de la señal, debe ser un compromiso entre la eficiencia espectral del medio de comunicación y la calidad con que pueden reproducirse las imágenes enviadas. Por tanto, para que el número de canales a transmitir sea máximo, el ancho de banda de las señales moduladas debe ser el mínimo según el compromiso mencionado. Esto se consigue con una modulación AM, en la que se elimina o se reduce al mínimo una de las bandas laterales. A este tipo de modulaciones se le denomina modulación en AM con banda lateral vestigial (BLV).

En el caso de la televisión, la banda que se elimina es la inferior, y se realiza mediante un filtro posterior a la modulación. El espectro de la señal modulada en el sistema PAL se puede ver en la figura 11. De esta forma se puede asignar un ancho de banda de canal inferior a 10 MHz, que sería el ancho de banda de una señal de televisión de 5 MHz modulada en AM con doble banda lateral.

### Ved también

Se amplía esta información en el anexo de este módulo didáctico.

### Ved también

Volveremos sobre el espectro de la señal modulada en el sistema PAL en el apartado "Sistema PAL. Características y elección de la frecuencia subportadora de color".

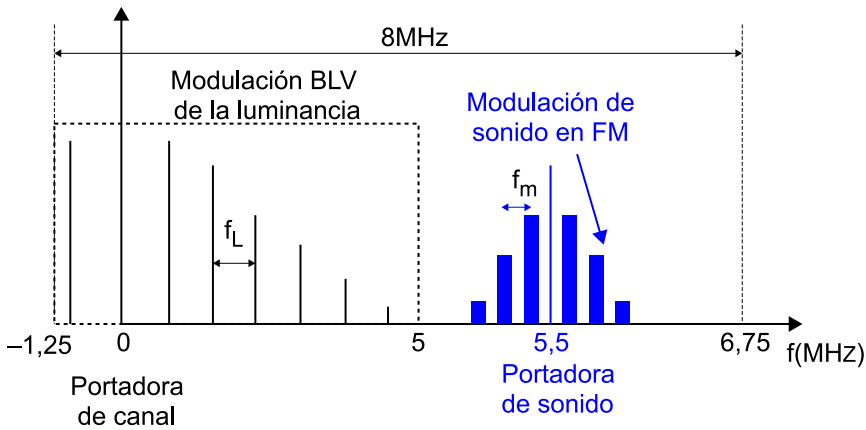


Figura 11. Espectro frecuencial de una señal de televisión modulada en AM con banda lateral inferior vestigial en sistema PAL

El esquema global de la formación de la señal de televisión en blanco y negro con audio se resume en el diagrama de la figura 12:

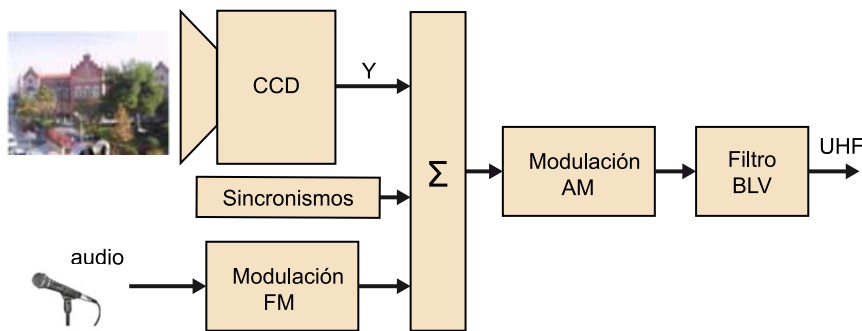


Figura 12. Esquema global de la formación de la señal de televisión en blanco y negro con audio

La cámara de vídeo capta la luminancia (Y) de la imagen, la corrige en gamma y le añade los sincronismos de línea y de cuadro. El micrófono capta el audio y lo modula en FM con una portadora de 5,5 MHz. Se suma la luminancia, sincronismos y audio en FM y el resultado se modula en AM con la portadora que se indique en el canal de UHF por el que se vaya a transmitir la señal de televisión. Finalmente, mediante un filtro paso banda, se adecúa el ancho de banda a 8 MHz, tal como se indica en la figura 11. Así se conforma la modulación a banda lateral vestigial (BLV), eliminando gran parte de la banda lateral inferior (solo queda 1,25 MHz, tal como se puede ver en figura 11).

## 2. Señal de vídeo en color

Una vez explicado el mecanismo de formación de la señal de vídeo en blanco y negro, en este apartado se describe la técnica utilizada para añadir la información de color. Los requisitos son los siguientes:

- La nueva señal en color debe poder ser reproducida también por sistemas en blanco y negro.
- En los nuevos sistemas en color deben poderse reproducir también las viejas emisiones en blanco y negro (aunque ya hace décadas que no se emite en blanco y negro, en los principios de emisión en color se transmitía simultáneamente en ambos sistemas).
- No debe haber interferencias entre la información del color y la de la luminancia.
- La nueva señal de televisión en color debe ocupar el mismo ancho de banda que reservan los canales de blanco y negro para la transmisión.

### 2.1. Compatibilidad entre televisión en blanco y negro y televisión en color

El primer requisito para introducir información de color en un sistema de televisión en blanco y negro fue que ambos sistemas fueran compatibles. Es decir, que la nueva señal en color pudiera ser reproducida por el viejo sistema en blanco y negro, y que las emisiones en blanco y negro pudieran ser vistas por los nuevos sistemas en color, lógicamente, en ambos casos reproduciendo solamente la información de luminancia.

Para cumplir este primer requisito se debió escoger las señales a partir de las cuales se forma la información de color. Obviamente, no se podía enviar con las señales RGB, ya que esas tres señales no tienen información directa de la luminancia o información en blanco y negro y escalas de grises. La solución fue enviar la luminancia  $Y$  y dos de los tres colores ( $R$  o  $G$  o  $B$ ). El tercer color se puede obtener indirectamente a partir de los otros dos y la información de  $Y$  aplicando la ley de Gasmman, que se explica en el módulo "Adquisición de la señal de vídeo":

$$Y = 0,3 \cdot R + 0,59 \cdot G + 0,11 \cdot B \quad (2)$$



El segundo requisito es modular la información de las tres señales (luminancia más dos colores) con el fin de empaquetarlas en una sola señal cuyo ancho de banda sea el mismo que el de una señal en blanco y negro, y poder enviarla en el mismo canal de comunicación. El proceso de modulación debe velar por que no aparezcan interferencias entre la luminancia y la información del color.

De todo ello nos vamos a ocupar en los siguientes apartados.

## 2.2. Elección de las señales de color a transmitir

La cámara de televisión que capta las imágenes que se van a transmitir posee tres sensores CCD, uno por cada color primario (en los comienzos de la televisión eran tubos de rayos catódicos), que convierten la luz que captan en una señal eléctrica proporcional a la intensidad de luz o brillo. Otra posibilidad es usar un sensor de luz blanca y obtener la señal RGB mediante lentes que filtran las componentes de luz, dejando pasar solamente la componente roja (R), verde (G) y azul (B).

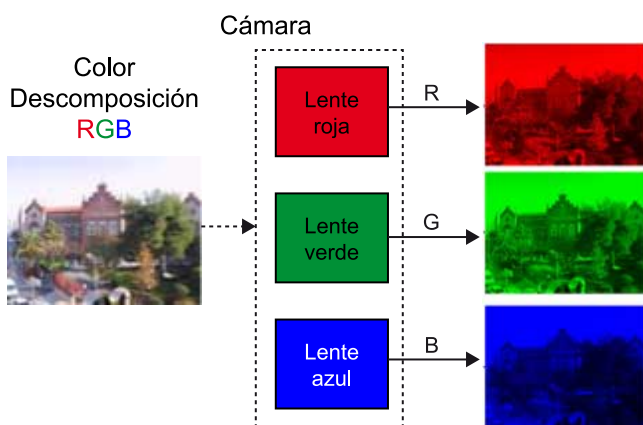


Figura 13. Descomposición de una imagen captada por una cámara de televisión en sus tres colores primarios: R, G y B

Como ya hemos comentado, las señales que se van a transmitir son la luminancia (Y) y dos de los colores primarios. La Y se obtiene procesando las señales RGB según la ley de Gasmman. Para escoger los colores que se envían, se descarta el que dé valores de tensión más pequeños para una imagen típica, ya que dicha señal tendrá peor relación señal-ruido (SNR) y será más susceptible a las interferencias.

Dado que la ley de Gasmman da más peso a la señal G (0,59) que a las R y B (0,3 y 0,11 respectivamente), se puede deducir que los valores de G son más pequeños que los de R y B, por lo que las señales que se envían suelen ser Y, R y B.

Hay otro aspecto a tener en cuenta en la transmisión: el ancho de banda de las señales a transmitir. Las señales R y B tienen un ancho de banda similar al de Y, que, como se ha visto al analizar el espectro del vídeo en blanco y negro, es de unos 5MHz. Las altas frecuencias del espectro corresponden a

grandes variaciones del brillo, es decir, de la intensidad de luz. Las variaciones de brillo de las señales R y B están muy relacionadas con las variaciones de luminancia (figura 14), por lo que las señales de **diferencia de color** R-Y y B-Y tienen menos variaciones de intensidad a alta frecuencia que las de los colores primarios R y B (figura 15). Por tanto, hay un ahorro en ancho de banda que es muy útil para la transmisión de la señal compuesta. En concreto, tanto R-Y como B-Y tienen un ancho de banda de aproximadamente 2,75 MHz cada una. Así pues, serán R-Y y B-Y las señales que se enviarán junto con la luminancia Y.

La señal R-Y se llama  $V'$  y la señal B-Y,  $U'$ .

**Ved también**

En el apartado "Ponderación de las componentes del vector crominancia", cuando se describa la señal de vídeo compuesto, se verá que las señales  $U'$  y  $V'$  se convierten en señales U y V multiplicándolas por un factor constante correctivo. Y estas serán las señales que finalmente se envíen, es decir, las señales que se conocen con el nombre de YUV.

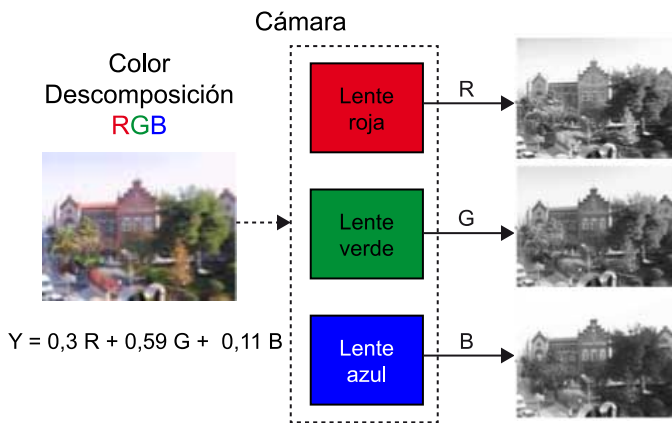


Figura 14. Señales de brillo de los tres colores primarios de una imagen

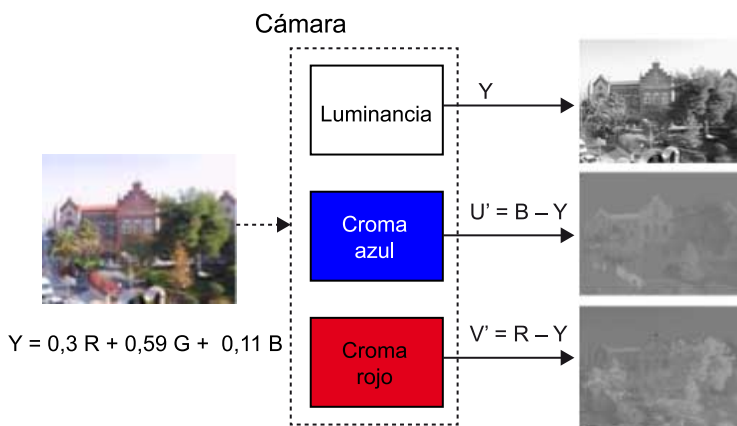


Figura 15. Señales de brillo de la luminancia y la diferencia de colores R-Y y B-Y de una imagen

**2.2.1. Ajustes de color. Señal patrón de barras de color**

Para ajustar los niveles de amplitud de tensión que debe dar un sistema de televisión, se suele trabajar con señales patrón, de las cuales se sabe los niveles de cada color. La más utilizada es la señal patrón de barras de color:

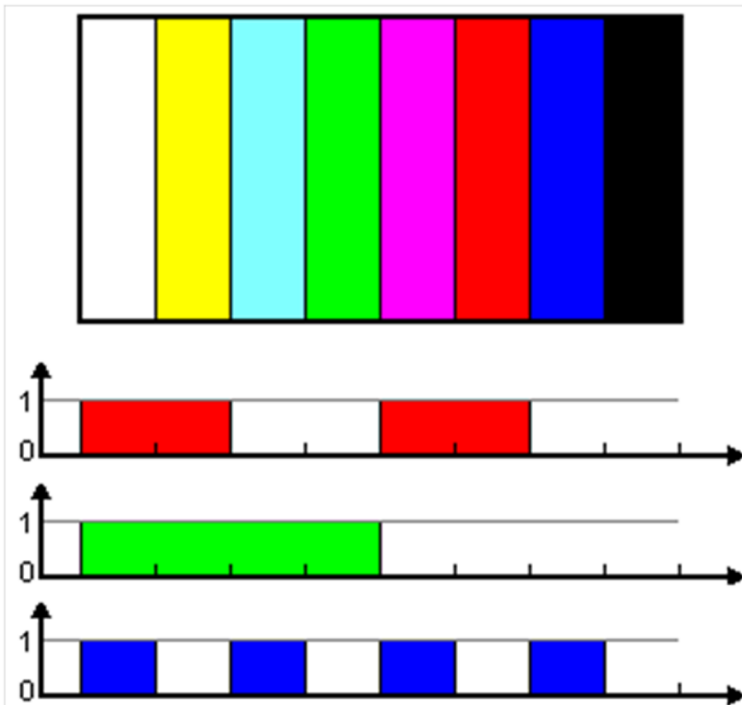


Figura 16. Patrón de barras de color y sus correspondientes señales RGB

El color blanco puro es la suma de los tres colores primarios, cada uno con su máxima intensidad (1V). El color negro, o ausencia de luz, no tiene componente en ninguno de los tres colores primarios (0V). El resto de colores, o son colores primarios o son combinaciones de ellos, como se muestra en la siguiente tabla:

	R	G	B	Y	U'=B-Y	V'=R-Y
Blanco	1	1	1	1,00	0	0
Amarillo	1	1	0	0,89	-0,89	0,11
Cian	0	1	1	0,70	0,30	-0,70
Verde	0	1	0	0,59	-0,59	-0,59
Magenta	1	0	1	0,41	0,41	0,59
Rojo	1	0	0	0,30	-0,30	0,70
Azul	0	0	1	0,11	0,89	-0,11
Negro	0	0	0	0,00	0	0

Representación vectorial de las señales de diferencia de color

Las señales de diferencia de color también se pueden expresar como combinaciones de colores primarios, a partir de las expresiones:

$$U' = B - Y = -0,3 \cdot R - 0,59 \cdot G + 0,89 \cdot B \quad (3)$$

$$V' = R - Y = 0,7 \cdot R - 0,59 \cdot G - 0,11 \cdot B \quad (4)$$

### 2.2.2. Representación vectorial de las señales de diferencia de color

Las señales de diferencia de color se pueden representar en unos ejes cartesianos: sobre las abscisas se representa B-Y y sobre las ordenadas, R-Y. En este tipo de representación se suele incorporar los factores correctivos que se explicarán en el apartado "Ponderación de las componentes del vector crominancia". Estos factores tienen el valor de 0,493 para U' y 0,877 para V'; por tanto, las señales de diferencia de color se definen desde ahora como:

$$U = 0,493 \cdot U' = 0,493 \cdot (B - Y) \quad (5)$$

$$V = 0,877 \cdot V' = 0,877 \cdot (R - Y) \quad (6)$$

En diagrama vectorial (figura 17) el color se representa como un vector variable en el tiempo C(t), al que llamaremos **crominancia**, cuyo módulo y ángulo tienen un significado físico. Esto nos permite simplificar la información diciendo que toda señal de televisión o toda imagen fija tiene una información de **luminancia** (brillo) y otra de **crominancia** (color):

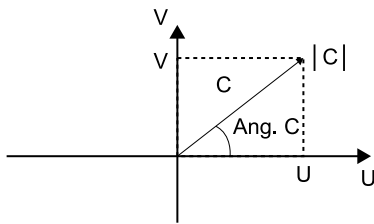


Figura 17. Representación vectorial del color (crominancia)

#### Lectura de la imagen

El ángulo del vector crominancia (ang C) da información sobre el tinte de la imagen, de qué color se trata: azul, verde, amarillo, etc.

El módulo del vector crominancia (|C|) da información sobre la saturación de la imagen; es decir, la pureza del color: si es un azul puro o tiene alguna parte de blanco, etc.

	R	G	B	Y	U	V	C	ang C
Blanco	1	1	1	1,00	0	0	0	
Amarillo	1	1	0	0,89	-0,44	+0,10	0,45	167°
Cian	0	1	1	0,70	+0,15	-0,61	0,63	283°
Verde	0	1	0	0,59	-0,29	-0,52	0,59	241°
Magenta	1	0	1	0,41	+0,29	+0,52	0,59	61°
Rojo	1	0	0	0,30	-0,15	+0,61	0,63	103°
Azul	0	0	1	0,11	+0,44	-0,10	0,44	347°
Negro	0	0	0	0,00	0	0	0	

Valores del vector crominancia de los colores de un patrón de barras de color

Los colores se pueden representar en una carta de colores, que es un diagrama polar en el que, a partir del vector crominancia, se puede averiguar el tinte y la saturación de la imagen. Cada color complementario está diametralmente opuesto a su asociado. El módulo de los vectores de colores complementarios es el mismo (la suma da color blanco, que tiene una crominancia 0):

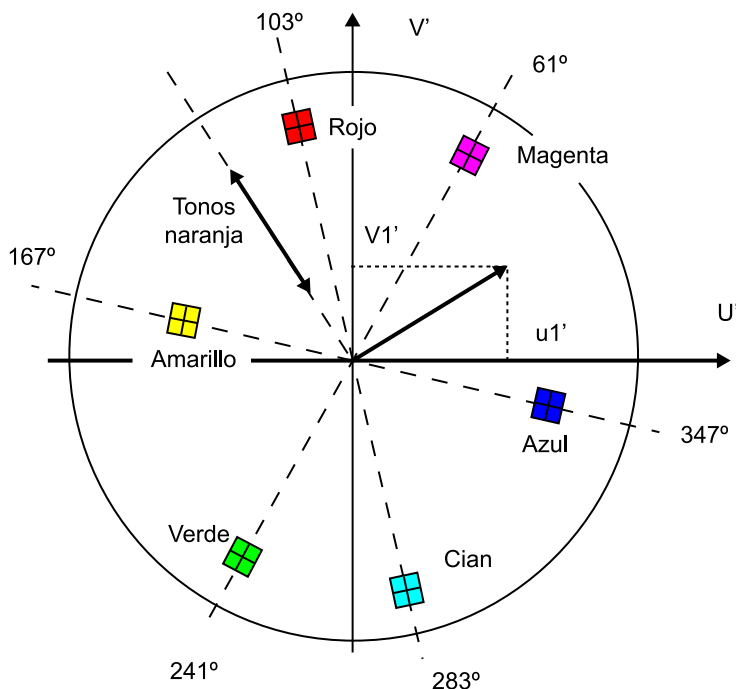


Figura 18. Carta de colores en un diagrama polar de representación de la crominancia

#### Ved también

En el módulo "Medida de la señal de televisión" se verá que hay un instrumento, el vectorscopio, que permite visualizar la carta de colores.

### 2.2.3. Reducción de errores al transmitir diferencia de colores

Imaginemos que tenemos dos opciones para enviar la información de color:

- **RGB.** Por tres canales que transmiten directamente las señales R, G y B
- **YUV.** Por tres canales que transmiten la señal Y y las diferencias de color U y V

Si tuviéramos una distorsión en dos de los canales que supusiese una reducción del 50% de la amplitud de cada uno, dejando el tercer canal sin distorsión, los efectos sobre la imagen recibida en cada caso serían los siguientes:

- **RGB.** Si R y B pasan de valer 1 a valer 0,5, manteniendo G a 1, la luminancia ( $Y = 0,3R + 0,59G + 0,11B$ ) se reduce, el módulo de la crominancia se reduce y la fase se modifica. Es decir, hay una disminución de la luminancia, de la saturación y lo que es peor, del tinte de la imagen, es decir, cambia de tono de color.
- **YUV.** Si la distorsión no afecta a la luminancia Y, pero sí los canales U y V (U y V pasan a valer la mitad), solo se ve afectado el módulo del vector

crominancia  $|C|$ , es decir, la saturación. Ni la luminancia  $Y$  ni la fase del vector crominancia  $\text{ang}(C)$ ; es decir, el tinte, modificarían su valor.

Con este ejemplo vemos que enviar las diferencias de colores en lugar de los colores primarios, además de ahorrar en ancho de banda, permite que los errores de la transmisión no se trasladen tan directamente a errores de apreciación en la imagen recibida.

#### 2.2.4. Amplitud, saturación y brillo del color

Diferenciamos amplitud y saturación de un color:

- Una barra de color está al 100% de **amplitud**, si al menos uno de los tres sensores de la cámara está dando su máxima salida; es decir, una de las componentes  $R$ ,  $G$  o  $B$  vale 1 (100%).
- Una barra de color está al 100% de **saturación** si la barra es un tono puro no diluido con luz blanca. Una barra de color está al 95% de saturación si hay 95% de tono puro y 5% de luz blanca.

##### Ejemplo

Un color con  $R = G = 1$  y  $B = 0$  es un magenta puro con 100% de amplitud y 100% de saturación.

Un color con  $R = G = 1$  y  $B = 0,2$  es un magenta con 100% de amplitud, porque las salidas roja y verde son máximas ( $R=G=1$ ), y 80% de saturación. Por tanto, es un 80% de magenta puro ( $R = G = 0,8$  y  $B = 0$ ) más un 20% de luz blanca ( $R=G=B=0,2$ ).

Un color con  $R = 1$  y  $G = B = 0$  es un rojo puro con 100 % de amplitud, 100 % de saturación y muy brillante.

Un color con  $R = 0,5$  y  $G = B = 0$  es un rojo puro con 50 % de amplitud y 100 % de saturación y menos brillante.

Un color con  $R = 1$  y  $G = B = 0,5$  es un rojo puro con 100 % de amplitud, 50 % de saturación y también muy brillante ( $R=0,5$   $G=0$   $B=0$  +  $R=0,5$   $G=0,5$   $B=0,5$ ).

### 2.3. Modulación de la señal de color. Señales $U'(t)$ y $V'(t)$

Para la formación del vector de crominancia, la señal  $C'$  se modula con una portadora que se escoge cuidadosamente para no interferir con la señal de luminancia. De esta forma las señales  $U'$ ,  $V'$  y  $C'$  pasan a ser unas funciones temporales cuya expresión dependerá del tipo de modulación utilizado. Si se desea utilizar una sola portadora para  $U'$  y para  $V'$  en lugar de dos (una para cada una), se dispone de dos posibilidades:

- Mediante una modulación en cuadratura, desfasándola  $90^\circ$  entre ellas (ver el punto 2 del anexo), como en los sistemas PAL y NTSC.
- Sin transmitir simultáneamente las dos señales como en el sistema SECAM.

#### Nota

En este apartado volvemos a partir de cero y no consideramos todavía los factores de ponderación de  $U'$  y  $V'$ .

#### Ved también

Esta información se amplía en el anexo de este módulo didáctico.

El esquema de la modulación en cuadratura aplicada a PAL y NTSC se muestra en la figura 19.

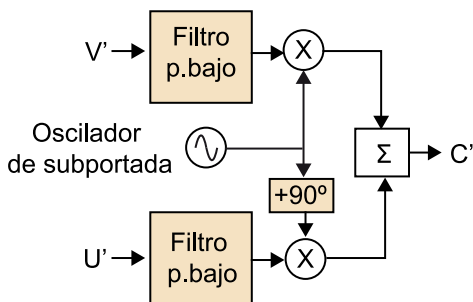


Figura 19. Diagrama de bloques del modulador en cuadratura de la crominancia

La salida del modulador en cuadratura es una señal de crominancia  $C'(t)$ , cuya expresión es:

$$C'(t) = U'(t) \cdot \sin(\omega_C t) + V'(t) \cdot \cos(\omega_C t) \quad (7)$$

$$C'(t) = \sqrt{(U'(t))^2 + (V'(t))^2} \cdot \cos\left(\omega_C t + \arctg\left(\frac{V'(t)}{U'(t)}\right)\right) \quad (8)$$

$$C'(t) = |C'(t)| \cdot \cos(\omega_C t + \arg(C'(t))) \quad (9)$$

La señal resultante de crominancia  $C'(t)$  se puede ver también como un fasor o vector con las propiedades indicadas anteriormente, es decir:

- $|C'(t)|$ : el módulo del vector  $C'$  informa sobre la saturación del color
- $\arg(C'(t))$ : la fase del vector  $C'$  informa sobre el tono o tinte del color

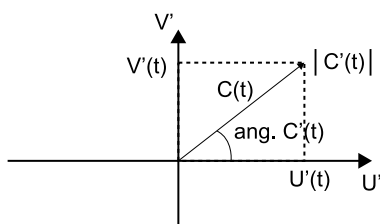


Figura 20. Vector crominancia (sin factores de ponderación de  $U'$  y  $V'$ ) modulada en cuadratura

### 2.3.1. Demodulación síncrona de la señal de crominancia

El demodulador síncrono del receptor de televisión debe recuperar las señales  $U'$  y  $V'$  a partir de la señal  $C'$ , y se realiza mediante el diagrama de bloques que se presenta a continuación:

**Ved también**

Esta información se amplía en el anexo de este módulo didáctico.

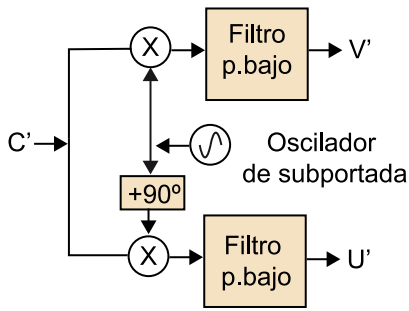


Figura 21. Diagrama de bloques del demodulador síncrono para la recuperación de la crominancia

En algunos sistemas de televisión (como el NTSC) se permite el ajuste de fase del oscilador de subportadora local.

### 2.4. Señal de vídeo compuesto en color

La señal de vídeo compuesto en color, CVBS, combina las tres señales de vídeo Y, U'=B-Y y V'=R-Y, junto con las señales de sincronismo de línea (horizontal y vertical) y una nueva señal de sincronismo de color que explicaremos en este apartado.

En primer lugar, se superpone la señal de luminancia Y(t) con la de crominancia o croma C'(t), mediante una suma, tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$x(t) = Y(t) + C'(t) \quad (10)$$

$$x(t) = Y(t) + U'(t) \cdot \sin(\omega_C t) + V'(t) \cdot \cos(\omega_C t) \quad (11)$$

$$x(t) = Y(t) + |C'(t)| \cdot \cos(\omega_C t + \arg(C'(t))) \quad (12)$$

En la figura 22 se representa gráficamente esta combinación x(t) durante un fragmento de una línea de televisión:

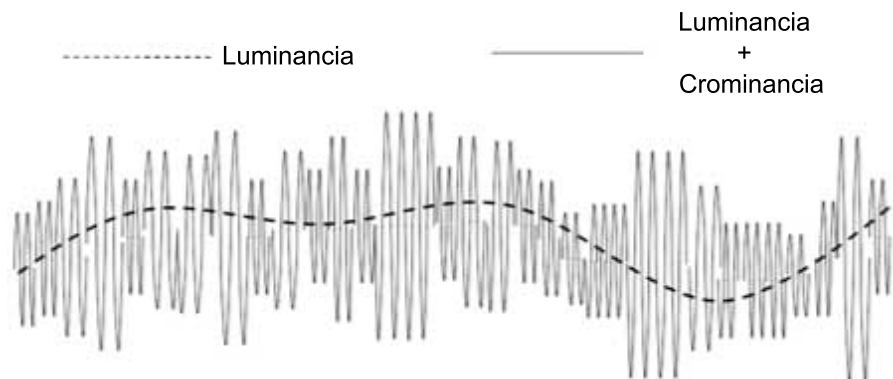


Figura 22. Señal de luminancia sumada a la de crominancia en un fragmento de línea de televisión



A continuación se le suma la señal de sincronismo horizontal, que tiene el mismo formato que en la señal de blanco y negro VBS. Y por último, se le añade una señal de sincronismo de color que consiste en un *burst* senoidal (unos cuantos ciclos de una senoide pura) a la frecuencia  $f_C$  de la señal de crominancia. Este *burst* (o salva de color o también conocido como ráfaga), se transmite junto a la señal de vídeo, y permite que el receptor se sincronice en fase con la línea recibida, y pueda así realizar la demodulación síncrona sin errores de fase.

La señal de sincronismo horizontal es el primer impulso de la línea, que indica comienzo de línea. En realidad le indica al receptor que sitúe el barrido en el comienzo de la línea siguiente, y mientras realiza esa operación, le envía la señal de *burst* más un retardo para dar tiempo al circuito de barrido de llegar al inicio de la siguiente línea. A continuación comienza a enviarse la señal de vídeo  $x(t)$ . En la siguiente figura se muestra el tramo de línea que transporta ambos sincronismos:

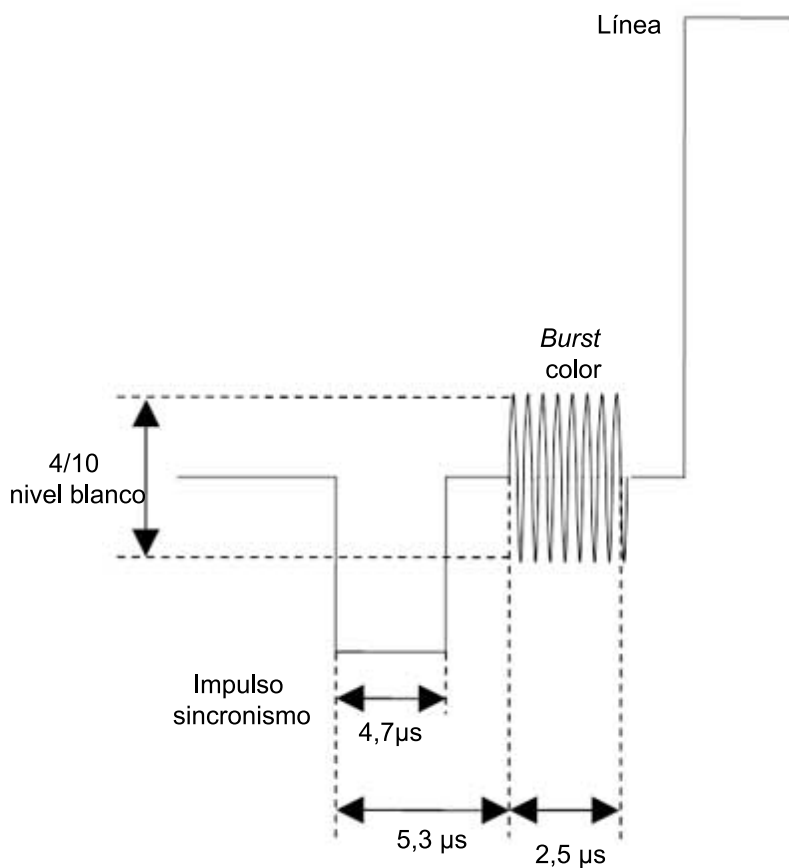


Figura 23. Sincronismos horizontal y *burst* de color en el inicio de una línea de televisión

La señal obtenida añadiendo los sincronismos a la señal de vídeo  $x(t)$ , se denomina señal en vídeo compuesto de color (CVBS). Actualmente, como todas las transmisiones son en color, a excepción de algunos sistemas de circuito cerrado de televisión, se suele denominar señal en vídeo compuesto. En la figura 24 se muestra la forma de la señal CVBS correspondiente a una línea del pa-

trón de barras de color descrito en la figura 16. Para distinguir mejor la croma de los distintos colores del patrón, se ha dibujado la senoide correspondiente a cada barra con el color de la barra:

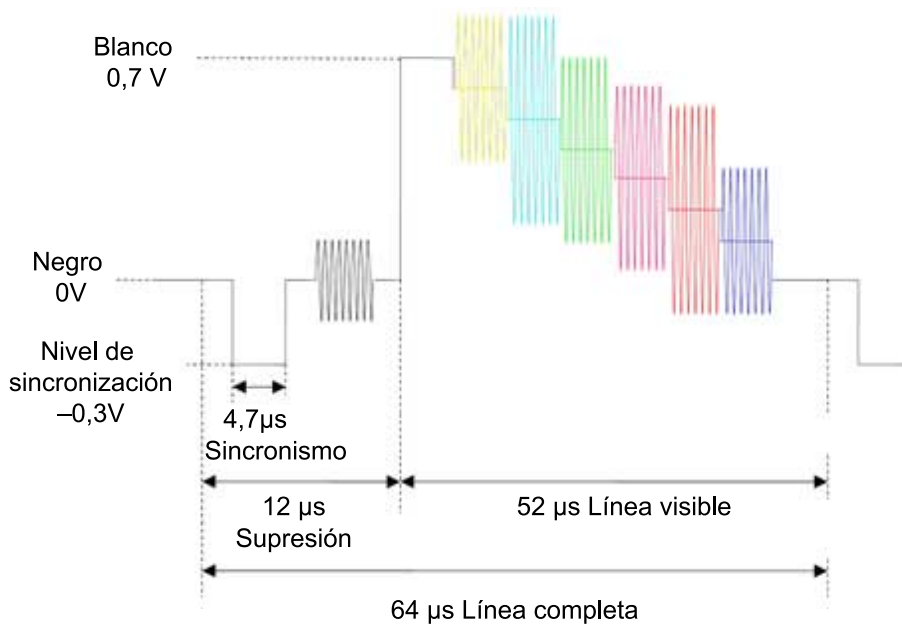


Figura 24. Señal de vídeo compuesto CVBS correspondiente a una línea del patrón de barras de color

#### 2.4.1. Ponderación de las componentes del vector crominancia

Se puede observar que al sumar la crominancia a la luminancia hay instantes de tiempo donde la señal sobrepasa el valor máximo de 0,7 V (barra amarilla y cian). Esto puede ocasionar problemas de sobremodulación cuando se module en cuadratura para enviarla hacia los receptores. Por este motivo, como veremos en el apartado "Sistemas de televisión en color analógicos", las señales  $U'$  y  $V'$  se multiplican por unos factores de ponderación (0,493 para  $U'$  y 0,877 para  $V'$ ), cuyo objetivo es que no se sobrepase en un 33% el valor máximo de 0,7 V en el período de una línea activa. Por tanto, la señal de crominancia (o croma) se define ahora como:

$$U(t) = 0,493 \cdot U(t) = 0,493 \cdot (B(t) - Y(t)) \quad (13)$$

$$V(t) = 0,877 \cdot V(t) = 0,877 \cdot (R(t) - Y(t)) \quad (14)$$

$$C(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_C t) + V(t) \cdot \sin(\omega_C t) \quad (15)$$

A continuación presentamos una tabla con los nuevos valores para la crominancia  $C$  del patrón de barras de color y un gráfico con la señal CVBS con los valores de dicha tabla:

	R	G	B	Y	U	V	C	ang C
Blanco	1	1	1	1,00	0	0	0	
Amarillo	1	1	0	0,89	-0,44	+0,10	0,45	167°
Cian	0	1	1	0,70	+0,15	-0,61	0,63	283°
Verde	0	1	0	0,59	-0,29	-0,52	0,59	241°
Magenta	1	0	1	0,41	+0,29	+0,52	0,59	61°
Rojo	1	0	0	0,30	-0,15	+0,61	0,63	103°
Azul	0	0	1	0,11	+0,44	-0,10	0,44	347°
Negro	0	0	0	0,00	0	0	0	

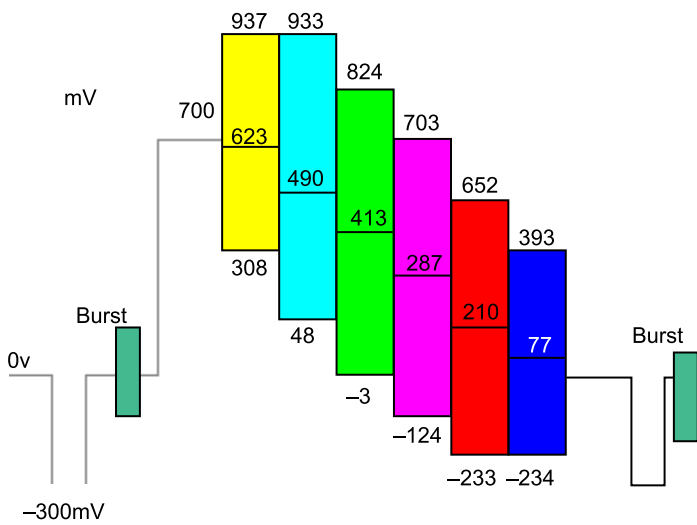


Figura 25. Señal de video compuesto CVBS correspondiente al patrón de barras de color

Se puede observar cómo el valor máximo de CVBS, que se produce al transmitir la barra amarilla, es de 937 mV, que sobrepasa un 33% el valor de 700 mV.

### 2.5. Espectro frecuencial de la señal de televisión en color

La elección de la frecuencia de la subportadora de color es clave para la compatibilidad entre señales y receptores monocromos y de color. No basta con modular la señal de crominancia, sino que hay que hacerlo con una frecuencia subportadora de valor adecuado y, para ello, se han de tener en cuenta los siguientes factores:

- Los efectos de las componentes de la luminancia que caigan en la banda de la crominancia, lo que implica que el valor de la subportadora debe ser lo mayor posible, ya que las componentes de la luminancia disminuyen su intensidad en la banda alta del espectro.
- El ancho de banda de la crominancia y el efecto de limitación de banda en el canal. Para cumplir con la disponibilidad del canal se suele incorporar un filtro limitador de banda para la señal de crominancia que recorta la

información de alta frecuencia, pero evita problemas de interferencias con canales adyacentes.

- Efectos de la subportadora sobre la luminancia de un receptor monocromo, como consecuencia de la gamma, lo que afecta a la amplitud de la subportadora, ya que, debido al fenómeno no lineal de la gamma de los tubos captadores de señal y de su corrección en el receptor, una suma de una senoide a la señal de luminancia no tiene valor medio cero. El ciclo positivo se amplifica de manera diferente al negativo. Para disminuir este efecto, se debe tomar una amplitud lo más pequeña posible.

### El fenómeno gamma

El fenómeno gamma es la relación no lineal entre el valor de la señal de luminancia y la luminosidad que emite un tubo de rayos catódicos que la reproduzca. También hay relación no lineal entre los valores de las señales R, G y B, y la luminosidad de dichos colores en los píxeles de un tubo de rayos catódicos. Ved al respecto el módulo "Adquisición de la señal de vídeo".

- Visibilidad de interferencias producidas por la subportadora de color en receptores, tanto monocromos como de color. Este factor afecta a la elección numérica del valor de la subportadora, una vez conocido que debe estar situado en la banda alta del espectro, sin apurar al límite y que sus componentes salgan fuera del canal. Para ello debemos aplicar el principio de entrelazado de espectros. Es decir, incrustar el espectro de la señal de crominancia en el de la luminancia ocupando los huecos dejados por esta. Además, se debe procurar que, en el caso de que exista alguna interferencia, esta se pueda eliminar con el efecto de integración del ojo. Por ejemplo, haciendo coincidir las partes brillantes de la interferencia en una línea con partes oscuras de la línea siguiente.

La mejor manera, aunque no la única, de cumplir ambas características, es escoger una subportadora de valor la mitad de un múltiplo de la frecuencia de línea.

$$f_C = (2n - 1) \cdot \frac{f_L}{2} \quad (16)$$

De esta manera, tal como se puede apreciar en la figura 26, el espectro de la crominancia (en rojo) ocupa los huecos dejados por las componentes de luminancia (en negro), y se evita la interferencia entre luminancia y crominancia. Hay que tener en cuenta que el ancho de banda de la crominancia es, como máximo, 2,75 MHz, es decir, mucho menor que el de la señal VBS (luminancia más sincronismos de línea y de campo), que es del orden de 5 MHz.

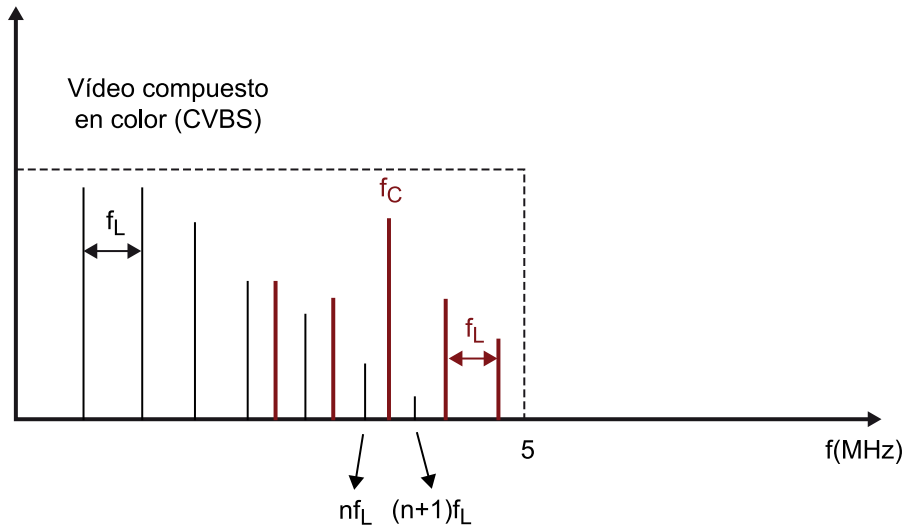


Figura 26. Espectro frecuencial de una señal de vídeo en color en banda base CVBS

La señal de televisión modulada para ubicarla en un canal de transmisión tampoco sufre las consecuencias de posibles interferencias entre crominancia y sonido, ya que el filtro de banda vestigial también limita la banda superior. En la figura 27 se observa el espectro frecuencial de una señal de televisión en color en sistema PAL.

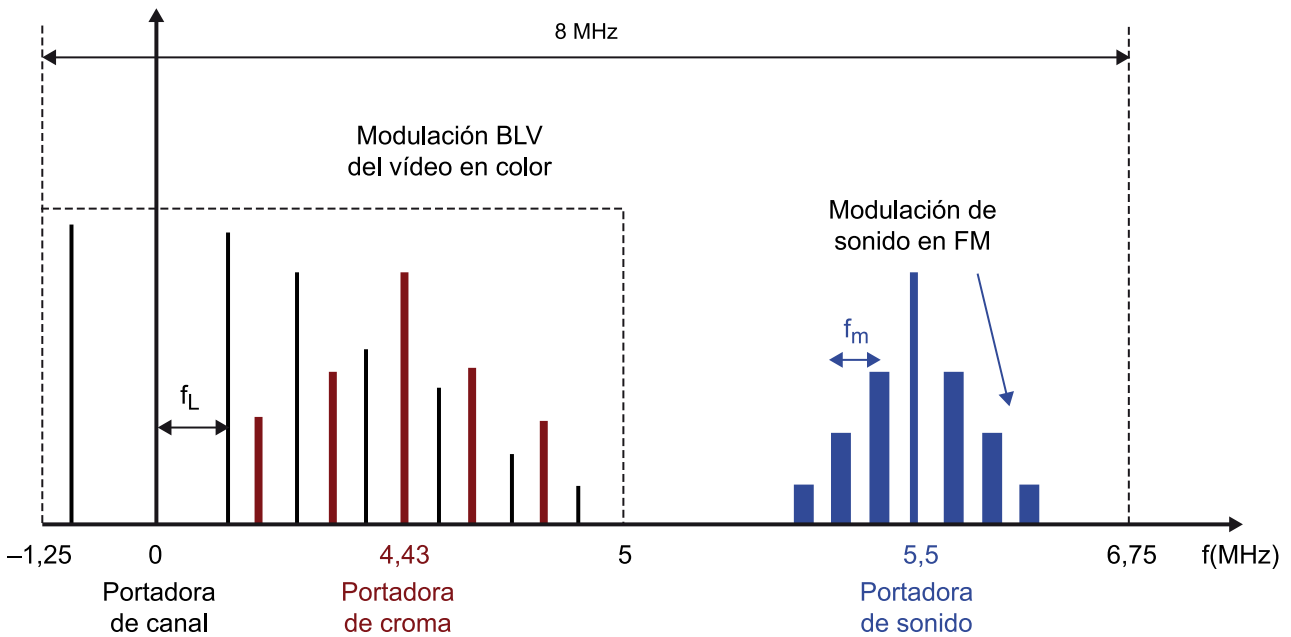


Figura 27. Espectro frecuencial de una señal de vídeo en color PAL en un canal de transmisión

### 3. Sistemas de televisión en color analógicos

Los sistemas de televisión en color analógicos derivan de los que se utilizaban con anterioridad para transmitir en blanco y negro. En 1941 se adoptaron unas características comunes para los sistemas monocromos americanos que fueron actualizados en 1952, convirtiéndose en lo que sería el estándar NTSC. Los parámetros del sistema están adaptados a la frecuencia de 60 Hz usada en la red eléctrica americana y son los siguientes:

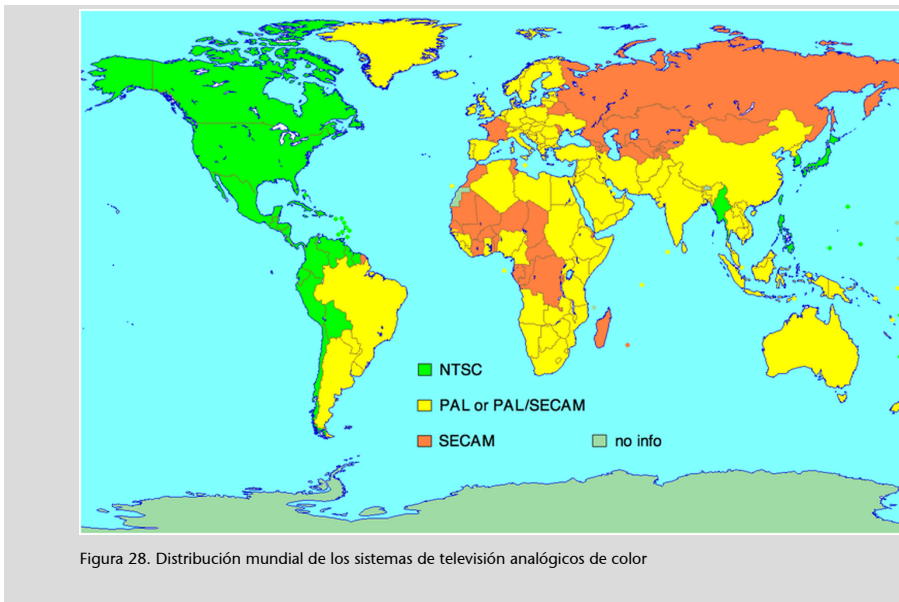
- 525 líneas entrelazadas (dos campos de 262,5 líneas).
- Frecuencia de campo de 60 Hz (cambiada a 59,94 Hz al introducir el color).
- Frecuencia de línea de 15.750 Hz ( $60 \times 262,5$ ), cambiada a 15.734 ( $59,94 \times 262,5$ ) al introducir el color.
- Ancho de banda de vídeo de 4,2 MHz, con modulación negativa (se invierte el signo de la señal de vídeo antes de modularla en AM).
- Sonido modulado en FM con portadora en 4,5 MHz.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en 1949, muchos países europeos adoptaron el estándar alemán, también conocido como CCIR, adaptación del sistema americano a una frecuencia de campo de 50 Hz (la frecuencia de la red eléctrica europea). Se intentó mantener la frecuencia de línea lo más cercana posible a la del NTSC para aprovechar la experiencia americana en el diseño de receptores europeos. Los parámetros fundamentales de este estándar son las siguientes:

- 625 líneas entrelazadas (dos campos de 312,5 líneas).
- Frecuencia de campo de 50 Hz.
- Frecuencia de línea de 15.625 Hz ( $50 \times 312,5$ ).
- Ancho de banda de vídeo de 5,0 MHz, con modulación negativa.
- Sonido modulado en FM con portadora en 5,5 MHz.

Este sistema fue la base para los distintos sistemas de color estándar europeos como PAL o SECAM.

Los sistemas mundiales de televisión son uno de estos tres: NTSC, PAL o SECAM. En la figura se puede observar su distribución en las distintas regiones mundiales:



A continuación vamos a describir con más detalle cada uno de estos tres sistemas.

### 3.1. Sistema NTSC. Características y elección de la frecuencia subportadora de color

Para configurar el sistema NTSC con los parámetros mencionados anteriormente, se requiere elegir una frecuencia subportadora de color y unas señales para la modulación en cuadratura adecuadas.

#### 3.1.1. Frecuencia subportadora en NTSC

Para cumplir el principio de entrelazado de espectros y reducir al máximo las interferencias entre luminancia y crominancia, la subportadora de color debe ser proporcional a un número impar de la frecuencia de línea y tener un valor suficientemente elevado con la limitación del ancho de banda de las señales de color. Un valor de compromiso aceptable es el siguiente:

$$f_{SC} = 455 \cdot \frac{f_L}{2} = 455 \cdot \frac{15750}{2} = 3.583.125 \text{ Hz} \quad (17)$$

No obstante, dicha frecuencia tiene un problema de implementación. Su diferencia con la portadora de sonido (4,5 MHz) provoca un armónico par de la frecuencia de línea que produce una interferencia visible en la imagen por parte de alguna componente del audio modulado en FM. Dado que los receptores monocromos usaban un filtro sintonizado a 4,5 MHz para recuperar el sonido, no se podía modificar la portadora de sonido, sino que había que cambiar la subportadora de color. La solución final fue cambiar ligeramente la frecuencia

de línea a 15.734,264 Hz. La frecuencia de campo cambió proporcionalmente y pasó de 60 a 59,94 Hz. De esta manera, subportadora de color pasó a tener el siguiente valor:

$$f_{SC} = 455 \cdot \frac{f_L}{2} = 455 \cdot \frac{15734,264}{2} = 3.579.545 \text{ Hz} \quad (18)$$

### 3.1.2. Señales I Q en NTSC

Para determinar las señales de color que se utilizan en su modulación en cuadratura, fue fundamental una serie de experiencias cualitativas que determinaron que el ojo humano distingue diferencias de color de fino detalle en los colores del diagrama de colores situados en la línea geométrica que une el naranja y el cian. Sin embargo, no se perciben con claridad los detalles de los colores situados en la recta entre el magenta y el verde. En otras palabras, el ojo humano es muy sensible a los colores que van del naranja al cian, y mucho menos a los colores que van del magenta al verde.

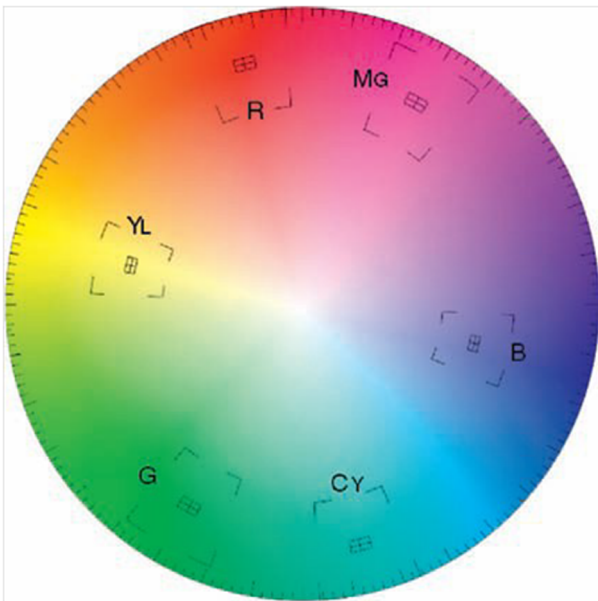


Figura 29. Diagrama de colores

Esta información determina que lo óptimo es escoger unos ejes de modulación en cuadratura que coincidan con estas líneas, separándolas un ángulo de  $90^\circ$ . Estas señales se denominan I y Q, y están separadas un ángulo de  $33^\circ$  de las U y V (figura 30).

$$I = V \cdot \cos 33^\circ - U \cdot \sin 33^\circ \quad (19)$$

$$Q = V \cdot \sin 33^\circ + U \cdot \cos 33^\circ \quad (20)$$

$$C(t) = Q \cdot \sin(\omega \cdot t) + I \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (21)$$



Es decir, las señales I Q proceden de las U' y V' multiplicándolas por los factores de ponderación para obtener U y V, y, posteriormente, aplicándoles un giro de 33°.

La señal Q, que está cerca del eje magenta-verde, cuyos detalles finos el ojo no percibe con exactitud, se puede enviar con un ancho de banda menor que el de la señal I. Concretamente se necesita solamente 0,5 MHz para la señal Q, mientras que para la señal I se precisa 1,5 MHz. Finalmente, se limita la banda lateral superior de la señal I también a 0,5 MHz, usando una modulación BLV con portadora suprimida para reducir interferencias con la luminancia. De esta forma se consigue subir al máximo posible la frecuencia de la subportadora de color al valor antes especificado.

**Ved también**

Se amplía esta información en el anexo de este módulo didáctico.

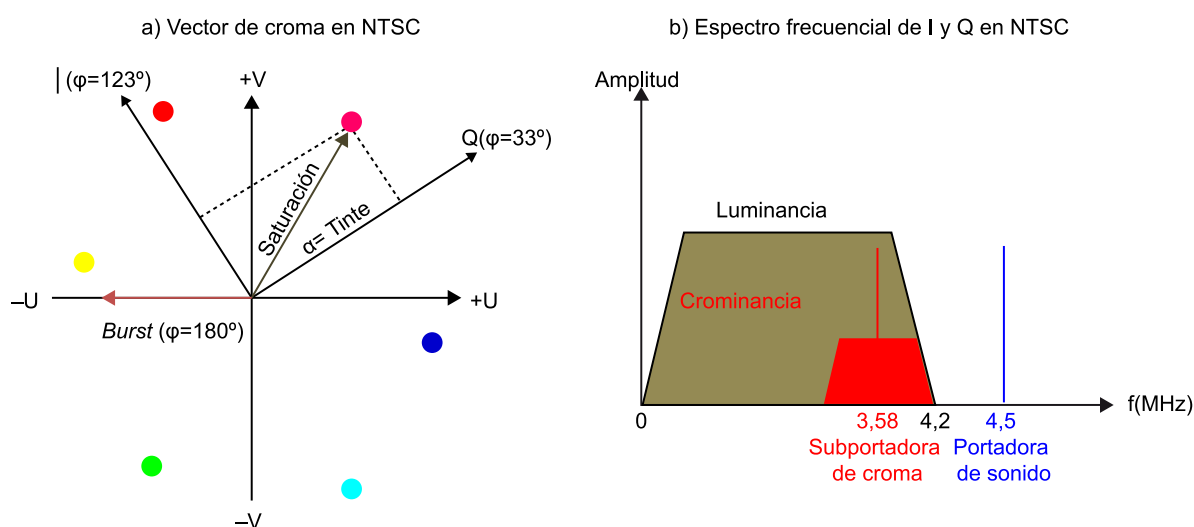


Figura 30. Señales I, Q para la modulación del color en sistemas NTSC

El módulo del vector croma, o crominancia, (Cr) representa la saturación del color y el ángulo el tinte; es decir, el tipo de color (azul, verde, etc.).

Es habitual que las señales de televisión sufran errores de amplitud y fase durante su transmisión, debido, entre otros factores, a la atenuación y a las reflexiones multicamino. El sistema NTSC refleja en la pantalla los errores de amplitud como errores de saturación y los errores de fase como errores de tinte. Los errores de saturación no son muy visibles, no así los de tinte. Para corregir manualmente los errores de tinte, los receptores NTSC tienen un mando para el ajuste de tinte de color en contraste con el de un patrón de barras de color estándar. Así, el usuario puede corregir los errores estáticos de fase, pero no los errores dinámicos. El sistema PAL prevé una técnica para eliminar o reducir automáticamente los errores de fase.

### 3.1.3. Codificador NTSC

El esquema del codificador NTSC sería el que se muestra en la figura 31. En dicho esquema se resume todo el proceso seguido por la señal de vídeo, desde su captación con cámara de vídeo, hasta la elaboración de la señal de vídeo compuesto:

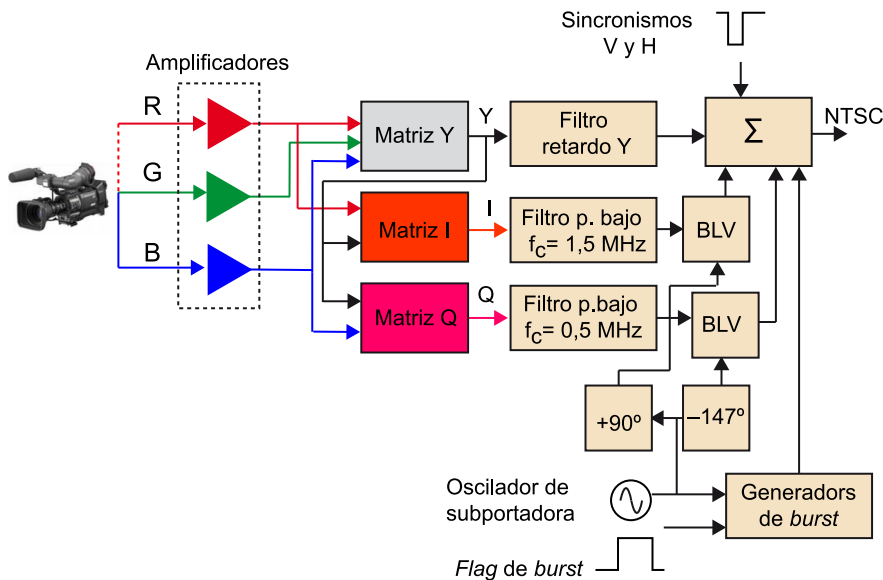


Figura 31. Esquema de un codificador para un sistema NTSC.

La matriz Y obtiene la señal luminancia a partir de las señales originales de cámara, R, G y B. La matriz I y Q aplica la rotación de  $33^\circ$  a las señales U y V, que, como se ha explicado en el apartado "Ponderación de las componentes del vector crominancia", son las señales de diferencia de color B-Y y R-Y multiplicadas por un factor de ponderación, para evitar sobremodulación. La señal *burst* de sincronismo de color es de 8 a 10 ciclos de subportadora desfasada  $180^\circ$  del eje B-Y; es decir,  $147^\circ$  respecto a Q (i.e.  $180^\circ - 33^\circ = 147^\circ$ ). La modulación de I y de Q es con BLV con modulación negativa, supresión de portadora y limitando la banda superior a 0,5 MHz.

El filtro de retardo en el camino de la señal de luminancia Y introduce un retardo en la señal Y igual al que sufren las componentes de crominancia en los filtros paso bajo y de banda lateral vestigial (BLV).

### 3.2. Sistema PAL. Características y elección de la frecuencia subportadora de color

La denominación PAL corresponde a las siglas de *phase alternating line*. Ello es debido a que el procedimiento para eliminar el error de fase en la transmisión (presente en NTSC) consiste en invertir una de las componentes del vector crominancia línea a línea. Un error de fase  $\beta$  en una línea se convierte en un error de fase  $-\beta$  en la línea siguiente, ya que, estadísticamente, dos líneas consecutivas tienen un valor similar en módulo y fase. Si el receptor se construye de manera que para representar una línea se le suma la anterior, se obtiene una

crominancia correcta en módulo y fase, y el error de fase se elimina ya que la suma da cero. A continuación se describen con más detalle las características principales del sistema PAL.

### 3.2.1. Señales U V en PAL

Las señales del vector crominancia en el sistema PAL son las señales U y V, que, tal como se indicó en el apartado "Ponderación de las componentes del vector crominancia", valen:

$$U = 0,493 \cdot (B - Y) \quad (22)$$

$$V = \pm 0,877 \cdot (R - Y) \quad (23)$$

La señal V cambia de signo a cada línea para la eliminación del error de fase. El proceso para la cancelación de los errores de fase es el siguiente: lo habitual es que si se produce un error de fase en una línea, se produzca el mismo error en la línea siguiente. Por tanto, dos líneas que se emitan con un vector de croma similar:  $E_n$  y  $E_{n+1}$  en la figura 32 se reciben con un error de fase  $\beta$  y los vectores de croma recibidos de ambas líneas,  $R_n$  y  $R_{n+1}$ , se visualizan con un tinte diferente.

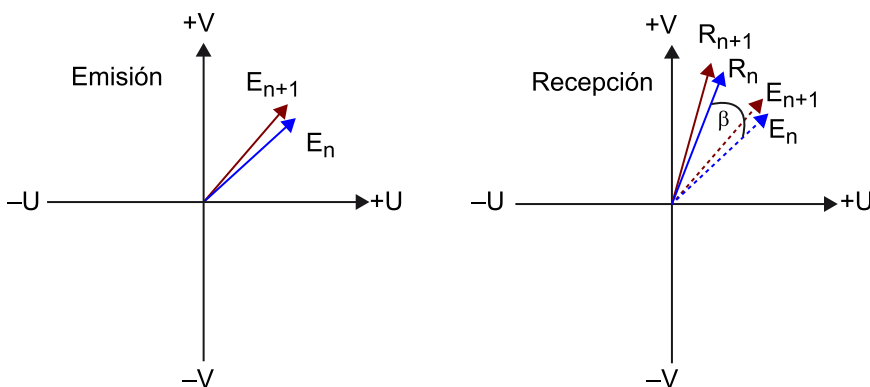


Figura 32. Vectores de crominancia de las líneas n y n+1 recibidos en NTSC con un error  $\beta$  en ambas líneas

En el sistema PAL, la línea n+1 tiene la componente V cambiada de signo, tal como se puede apreciar en el vector de emisión  $E_{n+1}$  de la figura 33. Los vectores de croma recibidos,  $R_n$  y  $R_{n+1}$ , tienen el mismo error de fase  $\beta$ . Pero el procesador PAL invierte la componente V del vector  $R_{n+1}$ , obteniéndose el vector  $R'_{n+1}$ , que automáticamente cambia el signo del error de fase  $\beta$ . De esta forma, al sumarse  $R_n$  y  $R'_{n+1}$ , se obtiene un vector croma  $T_{n, n+1}$  resultante de ambas líneas que anula el error de fase, aunque aparece un error de saturación debido a que ahora la saturación no es la suma algebraica de la saturación de  $E_n$  y  $E_{n+1}$ , sino la resultante de la suma vectorial de  $R_n$  y  $R'_{n+1}$ . Tal como se aprecia en la figura 33, el error de saturación es mayor cuanto mayor es el error de

fase, pero para errores de fase pequeños, el error de saturación es despreciable. Como el ojo humano es mucho más sensible a errores de tinte que a errores de saturación, el sistema PAL es muy eficiente contra errores en la fase.

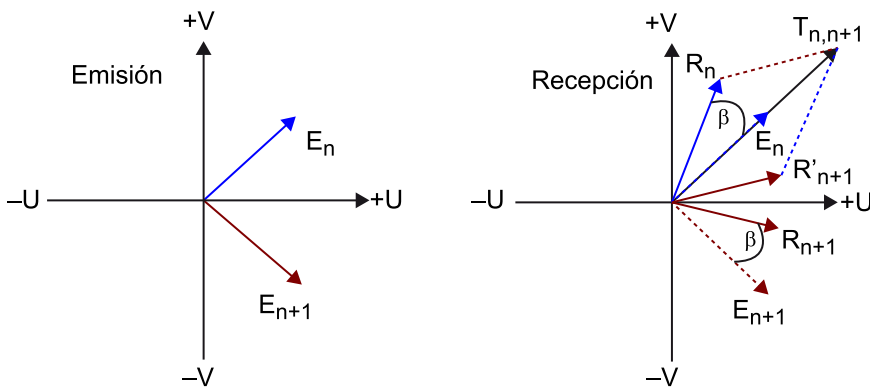


Figura 33. Vectores de crominancia de las líneas  $n$  y  $n+1$  recibidos con un error  $\beta$  en ambas líneas y compensado con el sistema PAL

Como resultado de este cambio de fase en la  $V$  a líneas alternadas, la señal de *burst* también aplica un retardo de  $\pm 45$  según la línea, sobre un desfase fijo de  $180^\circ$ . Por tanto, el retardo real es de  $\pm 135^\circ$ .

Las señales  $U$  y  $V$  se modulan en doble banda lateral con portadora suprimida y un ancho de banda de  $1$  MHz cada una. Por tanto, se debe introducir una línea de retardo para la señal  $Y$ , igual como se hace en el sistema NTSC.

### 3.2.2. Frecuencia subportadora en PAL

Los criterios a seguir para elegir el valor de la frecuencia subportadora de color son los mismos que en el sistema NTSC. Es decir:

- Valor lo más alto posible respetando que el ancho de banda de las señales de vídeo moduladas deben caer dentro del canal de televisión.
- Cumplimiento del principio de entrelazado de espectros para evitar patrones interferentes.

No obstante, en PAL nos encontramos un problema añadido, la alternancia de fase cada dos líneas de la señal  $V$ . Esto hace que si aplicamos que la frecuencia subportadora valga exactamente un valor impar de la mitad de frecuencia de línea, la señal  $V$  crea un patrón de interferencias que hace coincidir las partes brillantes de las interferencias en todas las líneas:

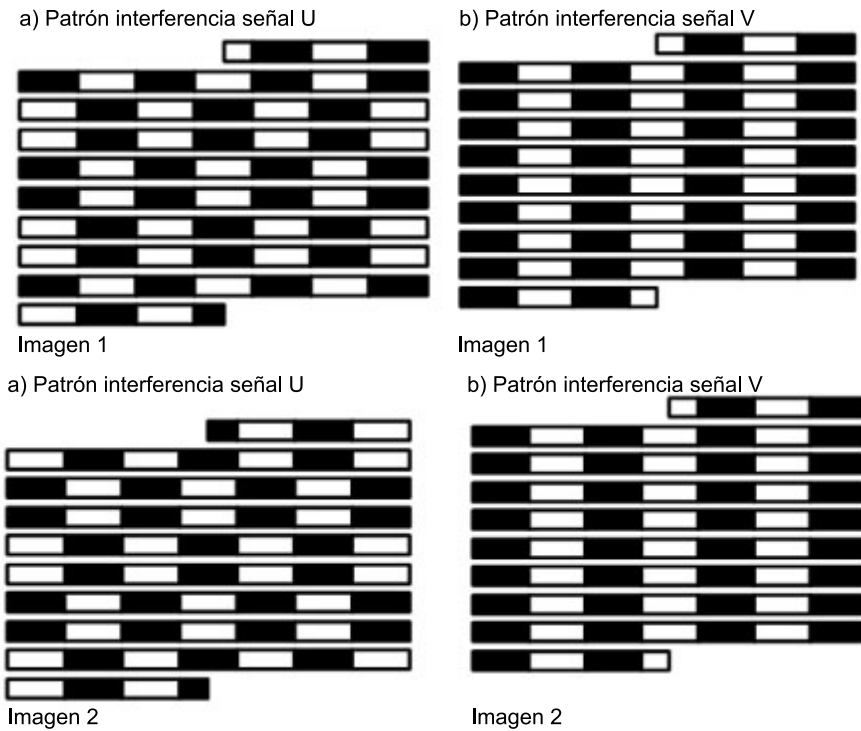


Figura 34. Patrón interferencia señales U y V en sistemas PAL si se aplica frecuencia portadora igual a número impar de semifrecuencia de línea

Esto se soluciona si en lugar de desviar la mitad de frecuencia de línea desviamos solo una cuarta parte. Es decir, la frecuencia portadora tiene una expresión como la siguiente:

$$f_{SC} = (2n - 1) \cdot \frac{f_L}{4} \quad (24)$$

Incluso si se le añade un *offset* extra de valor la frecuencia de *frame* (o cuadro o imagen completa),  $f_V$  (25 Hz), conseguimos una diseminación mayor del patrón de interferencias:

$$f_{SC} = (2n - 1) \cdot \frac{f_L}{4} + f_V \quad (25)$$

En la figura 35 se observa cómo cambia el patrón interferente al aplicar los criterios de las ecuaciones (24) y (25). Este cambio favorece que el fenómeno de integración del ojo ayude a eliminar mejor las interferencias.

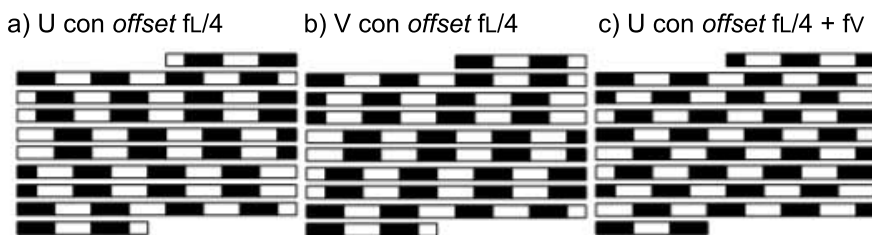


Figura 35. Patrón interferencia señales U y V en sistemas PAL si se aplica desviación de cuarto de frecuencia de línea

Finalmente, el valor de compromiso escogido en el estándar PAL fue de  $n = 568$ , por lo que tomando  $f_H = 15.625 \text{ Hz}$  y  $f_V = 25$ , la frecuencia subportadora de color vale:

$$f_{SC} = (2 \cdot 568 - 1) \cdot \frac{15.625}{4} + 25 = 4.433.618,75 \text{ Hz} \approx 4,43 \text{ MHz} \quad (26)$$

El espectro frecuencial de la señal de TV PAL es el que se muestra a continuación:

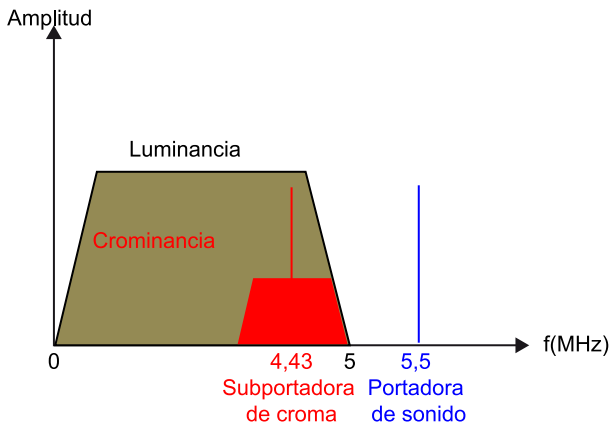


Figura 36. Espectro frecuencial de la señal de televisión de un sistema PAL

### 3.2.3. Codificador PAL

En la figura 37 se puede observar el esquema del codificador PAL:

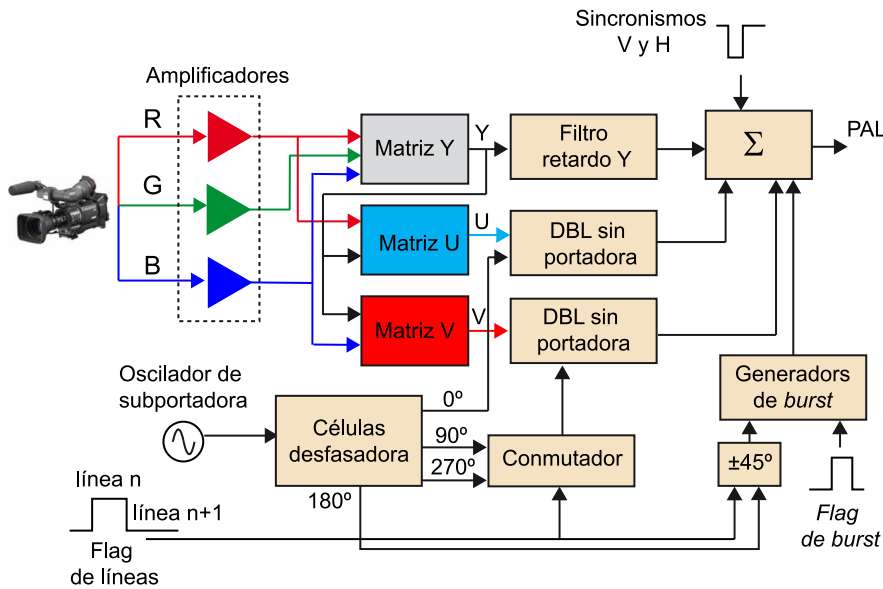


Figura 37. Esquema de un codificador para un sistema PAL

A diferencia del NTSC, la matriz U y V no aplica la rotación de 33°. Se necesitan circuitos de desfases de 90° y 270°, más un conmutador de 180° para cada línea para formar la señal V. También otros desfases de ±45° para la señal de *burst*. Las entradas de sincronismo vertical (V), horizontal (H) y de *burst* se suman a la señal para obtener la señal compuesta PAL.

### 3.3. Sistema SECAM. Características y elección de la frecuencia subportadora de color

El SECAM es un sistema secuencial con memoria. Es decir, las dos señales de crominancia se envían secuencialmente y alternándose. Por lo tanto, la resolución vertical de la crominancia es mucho menor que la de la luminancia, ya que se envía la mitad de información de color por línea.

**Ejemplo**  
En una línea se envía una componente U y en la siguiente, la componente V, y así sucesivamente.

#### 3.3.1. Señales DR y DB en SECAM

En SECAM, se modula en FM la señal de crominancia que corresponda a la línea enviada. Las dos componentes de crominancia son señales de diferencia de color con un coeficiente ponderador, tal como se muestra a continuación:

$$D_R = -1,9 \cdot (R - Y) \quad D_B = 1,5 \cdot (B - Y) \quad (27)$$

El ancho de banda de cada señal es de 1,5 MHz. En este sistema no hace falta recortar la banda ya que no se modulan en cuadratura ambas a la vez.

Las frecuencias de subportadora de cada señal sobre las que se realiza la modulación en frecuencia son:

$$f_{spR} = 282 \cdot f_H = 4,40625 \text{ MHz} \quad f_{spB} = 272 \cdot f_H = 4,25 \text{ MHz} \quad (28)$$

#### 3.3.2. Codificador SECAM

En la figura 38 se puede observar el esquema del codificador SECAM:

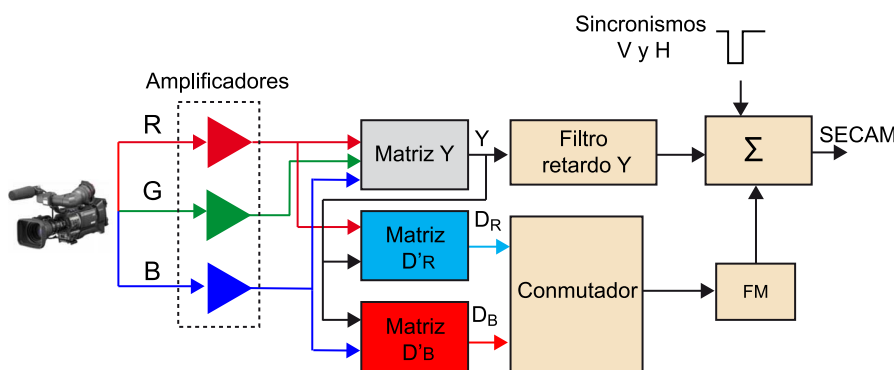


Figura 38. Esquema de un codificador para un sistema SECAM





## 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.

## Anexo

### 1. Modulación AM (DBL y BLV) y FM

La modulación es un proceso matemático aplicado a una señal que se desea transmitir por un canal de comunicación. La señal puede ser analógica (modulación analógica) o digital (modulación digital).

La modulación analógica tiene como objetivo fundamental desplazar el espectro frecuencial de la señal, que está centrado en el origen de frecuencias (0Hz), a una zona de alta frecuencia alrededor de la frecuencia central del canal. De esta forma se pueden enviar simultáneamente varias señales por el mismo medio de comunicación, cada una en un canal diferente, de forma que no se interfieren sus espectros frecuenciales (figura 39). El canal tiene un ancho de banda BW y una frecuencia central que se llama frecuencia portadora.

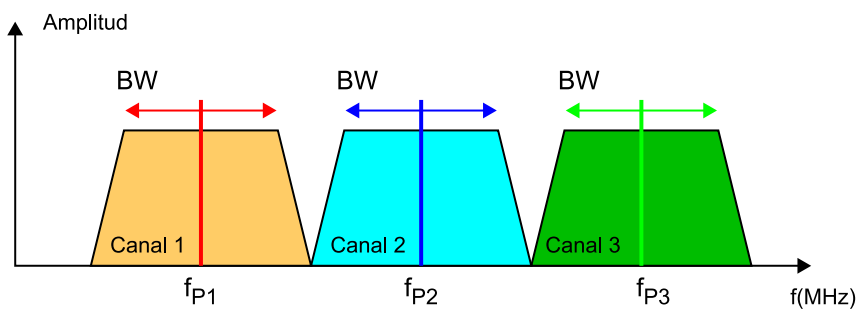


Figura 39. Espectro frecuencial de señales moduladas analógicamente en canales adyacentes

La modulación analógica puede ser en amplitud (AM) o en frecuencia (FM). Ambas consisten en hacer variar la amplitud o la frecuencia de una senoide con una función proporcional a la señal a enviar. Esta función se llama moduladora, y la señal así formada se llama señal modulada:

$$V_O(t) = A(t) \cdot \text{sen}(B(t) \cdot t + C(t)) \quad (29)$$

La frecuencia fundamental de la senoide se llama frecuencia portadora y coincide con la frecuencia central del canal al que se quiere trasladar la señal.

En la figura 40 se observa el efecto temporal de la modulación en amplitud y en frecuencia de una señal típica:

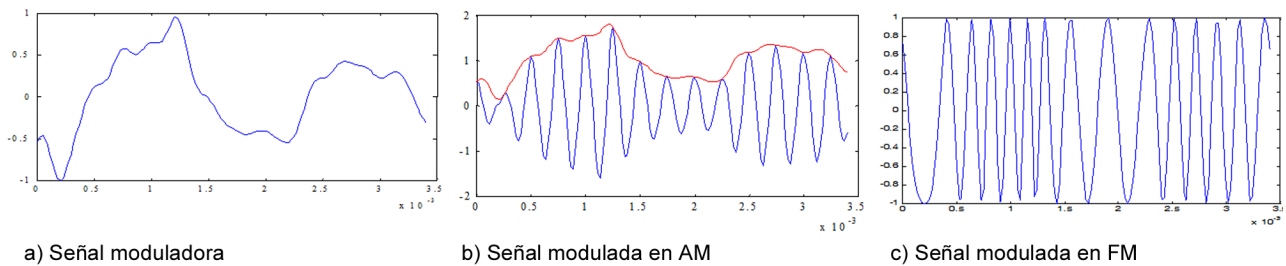


Figura 40. Señales moduladas en amplitud (AM) y en frecuencia (FM) en el dominio temporal

La modulación AM más simple se realiza multiplicando la señal moduladora por la portadora; es decir, una senoide pura cuya frecuencia tiene el valor de la frecuencia portadora. El proceso de demodulación más utilizado y de mayor calidad consiste en un esquema inverso al de modulación. En la figura 41 se pueden observar ambos procesos:

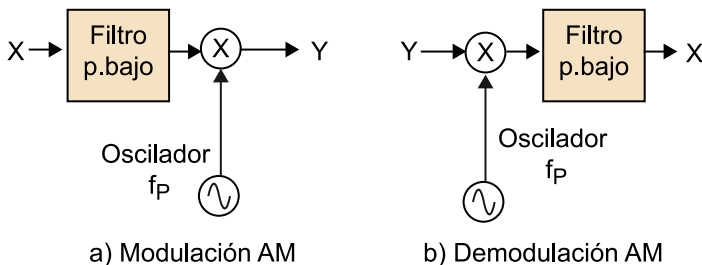


Figura 41. Procesos de modulación y demodulación de AM

Matemáticamente se demuestra que el espectro frecuencial de una señal modulada en AM es el de la señal original trasladado a izquierda y derecha de la frecuencia portadora. No obstante, a partir de pequeñas variaciones en la operación matemática, se obtienen diferentes tipos de modulación en AM. Las más conocidas son las siguientes:

- **DBL** (doble banda lateral). Modulación con una banda lateral superior (BLS) y otra inferior (BLI) simétricas.
- **BLV** (banda lateral vestigial). Modulación DBL en la que una de las bandas se filtra casi en su totalidad y se le llama banda vestigial.
- **BLU** (banda lateral única). Modulación DBL en la que se elimina una de las bandas. Suele haber dos versiones, una con portadora y otra con portadora suprimida.

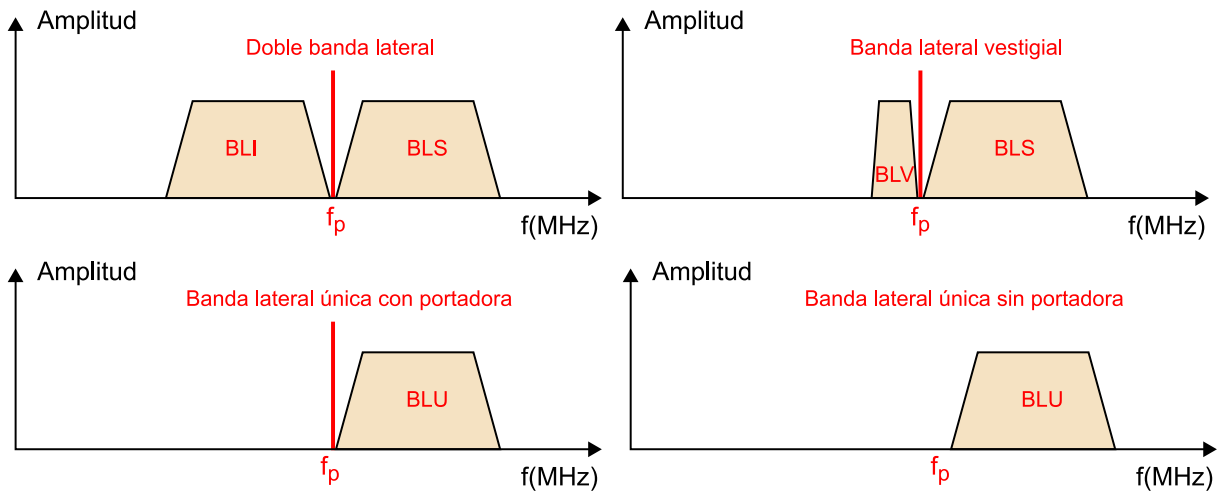


Figura 42. Espectro frecuencial de señales moduladas en AM: DBL, BLV y BLU con y sin portadora

En la modulación en FM aparecen múltiples subbandas laterales, separadas por una frecuencia de valor, el valor máximo de la frecuencia de modulación  $f_m$ , es decir, la máxima frecuencia del espectro frecuencial de la señal moduladora:

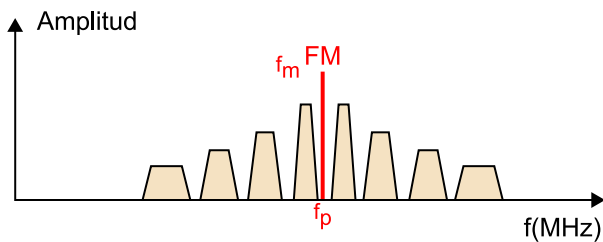


Figura 43. Espectro frecuencial de una señal moduladas en FM

## 2. Modulación en cuadratura

La modulación de cuadratura se aplica cuando se desea modular dos señales diferentes con una misma portadora. De esta forma se utiliza la mitad del ancho de banda del canal que si se utilizaran dos portadoras separadas. Para ello se aplica un desfase fijo de  $90^\circ$  a ambas portadoras, que se tiene en cuenta, también, en la demodulación. Para que el proceso tenga éxito es muy importante recuperar en el receptor la portadora en fase con la del transmisor. El esquema se puede observar en la figura 44.

A partir de la modulación en cuadratura, se han desarrollado otras modulaciones similares para 4, 8, 16, 32... señales diferentes con la misma portadora y desfase fijo proporcional. Son las modulaciones QAM que se comentarán en el módulo "Modulaciones digitales para señales de televisión", ya que se suelen aplicar a señales digitales.

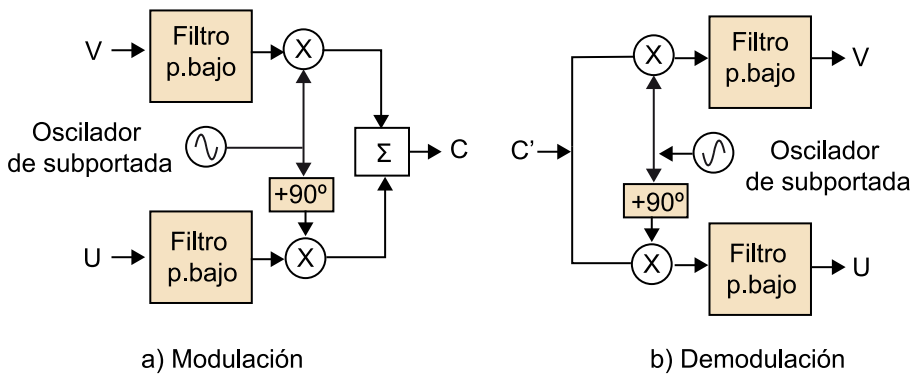


Figura 44. Esquema de una modulación y una demodulación en cuadratura

### 3. La estructura de 8 campos PAL (*color framing*)

La estructura de 8 campos PAL (secuencia PAL) se refiere a la fase de la subportadora. Este tema es muy importante cuando se trabajaba en las ediciones lineales en cinta (magnetoscopio lector y magnetoscopio grabador). Para un correcto empalmado de las imágenes se ha de tener en cuenta la fase de la subportadora de color entre el plano anterior al empalmado y el posterior. Las fases de las subportadoras entre un plano y el siguiente han de coincidir.

Para estudiar la secuencia de 8 campos (4 imágenes completas o *frames*) o secuencia PAL, tenemos que basarnos exclusivamente en la fase de la subportadora de color.

La fase de la subportadora cambia de línea en línea y no se repite hasta 2.500 líneas después (= 4 cuadros = 8 campos).

Ciclos subportadora por línea = 283,7516 ciclos.

$283,7516 \text{ ciclos/línea} \times 312,5 \text{ líneas /campo} = 88.672,375 \text{ ciclos/campo.}$

$88.672,375 \text{ ciclos/campo} \times 2 \text{ campos} = 177.344,75 \text{ ciclos/cuadro.}$

$88.672,375 \text{ ciclos/campo} \times 8 \text{ campos} = 709.379 \text{ ciclos para volver a } 0^\circ \text{ la fase de subportadora.}$

Si analizamos como se elige la frecuencia de subportadora, recordaremos que se multiplicaba la frecuencia de líneas por  $284 - 1/4$ , esto quiere decir que cada 4 líneas la onda senoidal empieza en ciclo completo.

Como podemos ver en la figura 45, en la primera línea la fase de la subportadora es  $0^\circ$ , en la línea siguiente, después de 283 ciclos completos terminaría en 0,75 ciclos, que corresponden a  $270^\circ$ . En la siguiente habría 283 ciclos más 0,5 ciclos, que son  $180^\circ$ . En la siguiente, cuarta línea, habría 283 ciclos más 0,25 ciclos, que son  $90^\circ$ , y en la quinta volvería a ser  $0^\circ$ .

Si se repite la fase cada cuatro líneas y ahora hacemos que se reparta un ciclo entre 625 líneas, se repetirá la fase cada 2.500 líneas (625x4), por lo tanto la fase 0°, que es la que tiene la línea 1 del campo 1, volverá a ser 0° en la línea 2.501, que es la línea 1 del campo 9. En realidad el campo 9 vuelve a ser campo 1, pues son idénticos en todo.

En consecuencia, los campos 5 a 8 serán idénticos a los campos 1 a 4, excepto en la fase de la subportadora, que estará invertida 180°.

A partir de los 8 campos todo se repetirá sin ninguna diferencia. Esta es la secuencia PAL de 8 campos.

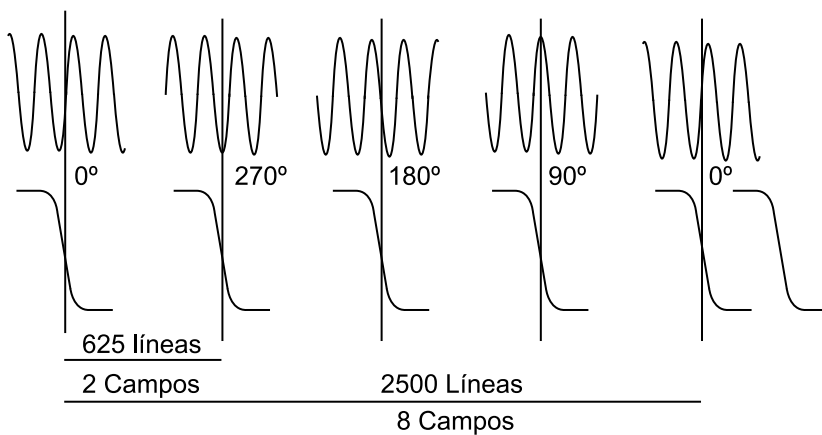


Figura 45. Esquema de la secuencia PAL de 8 campos

Valores de la fase de la subportadora y número de ciclos en las diferentes líneas de una estructura de 8 campos PAL

	<b>Figura 1 Cuadro 1 Campo 1 Impar</b>	<b>Figura 1 Cuadro 1 Campo 2 Par</b>	<b>Figura 2 Cuadro 2 Campo 3 Impar</b>	<b>Figura 2 Cuadro 2 Campo 4 Par</b>	
<b>Núm. de línea</b>	1	312,5+1	625+1	937,5+1	
<b>Fase de subportadora</b>	0°	225°	270°	225°	
<b>Núm. de ciclos</b>	283,75	283,75*313,5	283,75 * 626	283,75 * 938,5	
	<b>Figura 3 Cuadro 3 Campo 5 Impar</b>	<b>Figura 3 Cuadro 3 Campo 6 par</b>	<b>Figura 4 Cuadro 4 Campo 7 Impar</b>	<b>Figura 4 Cuadro 4 Campo 8 par</b>	<b>Figura 5 Cuadro 5 Campo 9 Impar</b>
<b>Núm. de línea</b>	1.250+1	1.562,5+1	1.875+1	2.187.5+1	2.500+1
<b>Fase de subportadora</b>	180°	135°	90°	45°	0°
<b>Núm. de ciclos</b>	283,75 * 1.251	283,75 * 1.653,5	283,75 * 1.8756	283,75 * 2.188,5	283,75 * 2.501