

compatibilidad inversa): la mezcla aditiva de cantidades iguales de los primarios debe producir una muestra acromática; esto se puede expresar:

$$R + G + B = C$$

El primer problema consiste entonces en transformar una muestra referida a un espacio tridimensional R-G-B a otro espacio tridimensional X-Y-Z; esto es, encontrar la matriz de transformación de coordenadas, para así cumplir con la condición de compatibilidad directa: transmitir una señal útil a los receptores monocromáticos, la señal Y, o luminancia (brillo, luma son términos equivalentes).

Podemos expresar la transformación:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_r & X_g & X_b \\ Y_r & Y_g & Y_b \\ Z_r & Z_g & Z_b \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

donde:

$X_r, Y_r, Z_r$  son, respectivamente, las cantidades de X, Y, Z necesarias para reproducir el color R=1, B=0, G=0.

$X_g, Y_g, Z_g$  son, respectivamente, las cantidades de X, Y, Z necesarias para reproducir el color R=0, G=1, B=0.

$X_b, Y_b, Z_b$  son, respectivamente, las cantidades de X, Y, Z necesarias para reproducir el color R=0, G=0, B=1.

podemos reescribir la transformación

$$\begin{aligned} X &= C_r x_r R + C_g x_g G + C_b x_b B \\ Y &= C_r y_r R + C_g y_g G + C_b y_b B \\ Z &= C_r z_r R + C_g z_g G + C_b z_b B \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} C_r &= X_r + Y_r + Z_r \\ C_g &= X_g + Y_g + Z_g \\ C_b &= X_b + Y_b + Z_b \end{aligned}$$

y las coordenadas de los primarios:

$x_r, y_r, z_r, x_g, y_g, z_g, x_b, y_b, z_b$ , son conocidas.

Así, el problema se reduce a determinar los coeficientes  $C_r, C_g, C_b$  para lo cual hacemos uso de el iluminante C por ser un punto de coordenadas conocidas en ambos sistemas.

Para el iluminante C se tiene:

$$\begin{array}{lll} X_c = 0.98041 & R = 1 & x_c = 0.21 \\ Y_c = 1.00 & G = 1 & y_c = 0.316 \\ Z_c = 1.18103 & B = 1 & z_c = 0.3726 \end{array}$$

entonces,

$$\begin{aligned} X_c &= C_r x_r + C_g x_g + C_b x_b \\ Y_c &= C_r y_r + C_g y_g + C_b y_b \\ Z_c &= C_r z_r + C_g z_g + C_b z_b \end{aligned}$$

al resolver, se obtiene:

$$\begin{aligned}C_r &= 0.9055 \\C_g &= 0.8267 \\C_b &= 1.4292\end{aligned}$$

y, así:

$$\begin{aligned}X &= 0.6067 R + 0.1737 G + 0.2001 B \\Y &= 0.2988 R + 0.5868 G + 0.1144 B \\Z &= \quad \quad \quad 0.0661 G + 1.115 B\end{aligned}$$

de donde nos interesa, por ahora:

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

Esta es, de acuerdo a la especificación de los primarios imaginarios, la señal correspondiente al brillo o luminancia. Debe transmitirse para permitir la recepción en aparatos monocromáticos y es todo lo que se requiere en dicho caso.

El ancho de banda de la señal luminancia, como vimos anteriormente, determina la resolución del sistema. Para el caso del color, ésta se sacrifica levemente limitando sus amplitudes significativas a 3 MHz.

Aún con la limitación anterior no sería posible transmitir adicionalmente las otras dos señales (X y Z) como tales en el ancho de banda asignado al canal.

Para agregar otras dos señales con información de color que permitan reconstituir la muestra en el receptor (reobtener las coordenadas R-G-B), hacemos uso de una serie de consideraciones, algunas ya mencionadas anteriormente:

- puesto que la información de brillo o luminancia ya está en la señal monocromática, podemos eliminar todo contenido de ella en las señales de color. Se crean así las señales "DIFERENCIA DE COLOR", restando la luminancia a las señales de los primarios:

$$R - Y$$

$$G - Y$$

$$B - Y$$

- de éstas señales, sólo dos son necesarias; la señal Y completa el trío de ecuaciones necesarias para resolver R-G-B. Para realizar la elección de dos de ellas, la analizamos con mayor detención:

$$R-Y = 0.70 R - 0.59 G - 0.11 B$$

$$G-Y = - 0.30 R + 0.41 G - 0.11 B$$

$$B-Y = - 0.30 R - 0.59 G + 0.89 B$$

el análisis se facilita con la observación del gráfico de la figura III-14; las señales que presentan, integral o estadísticamente, mayor diferencia con Y y que, en consecuencia, producirán señales "diferencia de color" de mayor amplitud son R-Y y B-Y. La tercera señal, G-Y, se descarta por su menor amplitud que la hace más vulnerable a ruido e interferencias.

- se aprovechan las propiedades (limitaciones) de agudeza visual descritas anteriormente (en III-4.b), que ahora se interpretan como sigue:

a) el ojo se satisface plenamente con imágenes cromáticas que incluyen información de color hasta aproximadamente 1.5 MHz; el resto del espectro de la señal (1.5 a 4 MHz) sólo requiere de brillo,

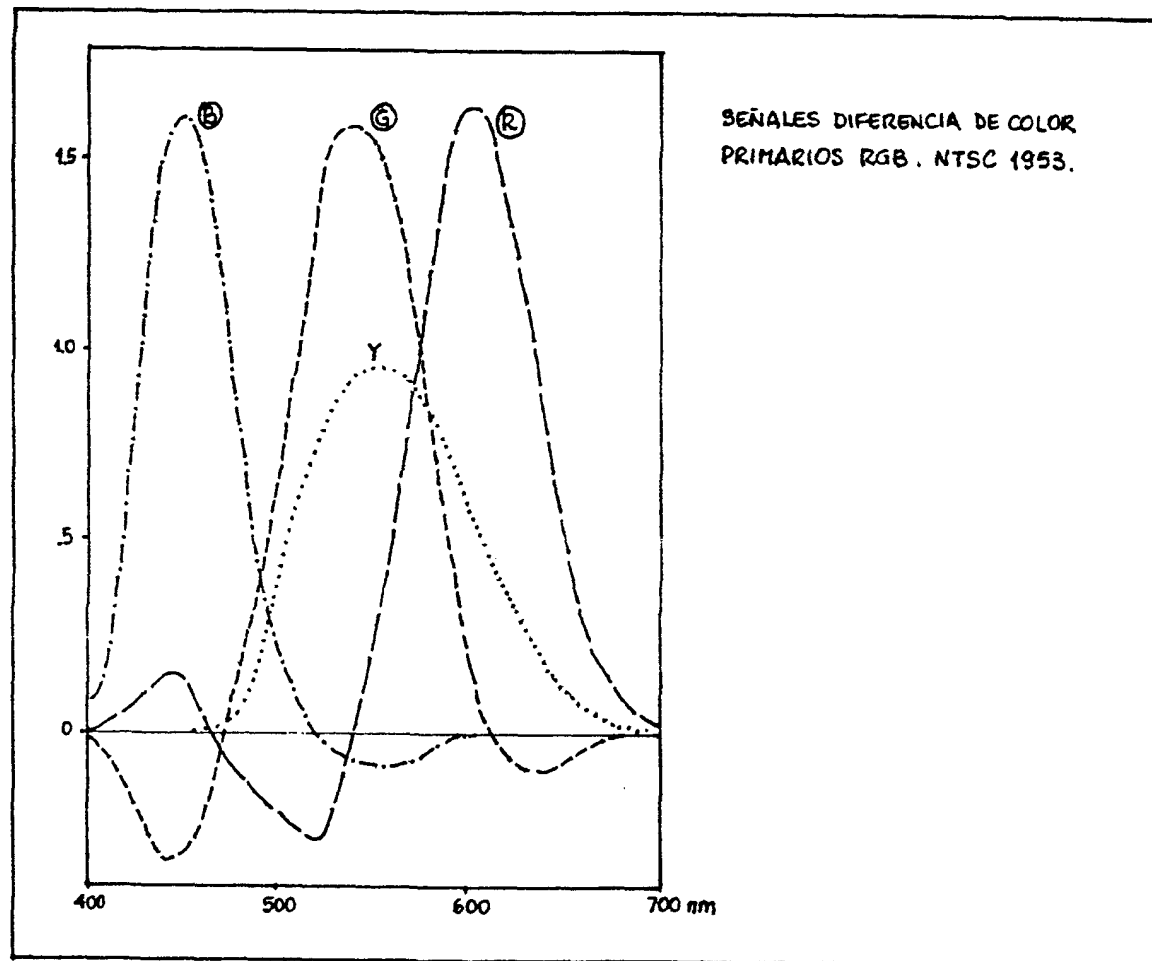


Fig. III-14.

b) la síntesis mediante tres primarios es necesaria para zonas grandes de la imagen, en video hasta 0,5 MHz. Para zonas de tamaño medio, 0,5 a 1.5 MHz de video, sólo se requiere de dos primarios.

Dado que las dos señales a agregar requieren de un ancho de banda menor que la señal de luminancia, se visualiza la posibilidad de incorporarlas en una subportadora ubicada en el rango alto de la banda (sobre 3.5 MHz) y que será doblemente

modulada. De estas dos señales moduladoras una requerirá de un BW de 1.5 MHz y la otra de sólo 0.5 MHz.

Se debe compatibilizar además estas dos señales con las limitaciones de agudeza visual cromática. En forma experimental y estadística se determina que, a medida que el tamaño de un objeto observado disminuye, el primer eje dentro del diagrama en que el ojo se torna incapaz de discriminar corresponde a azul-purpurado v/s amarillo-verdoso.

Para la observación de objetos de tamaño mediano bastará con discriminar entre rojo-anaranjado y azul-verdoso (azul-cyan).

Se adopta entonces una doble modulación, en cuadratura, de la subportadora mediante dos señales que representen los ejes antes descritos. Estas señales se obtienen también como combinaciones lineales (sumas algebraicas ponderadas) de las anteriores señales "diferencia de color":

$$\begin{aligned} I &= 0.74 (R - Y) - 0.27 (B - Y) \\ &= 0.60 R - 0.28 G - 0.32 B, \text{ que modula a la subportadora} \\ &\hspace{15em} \text{en fase (In Phase)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 0.48 (R - Y) + 0.41 (B - Y) \\ &= 0.21 R - 0.52 G + 0.31 B, \text{ que modula a la subportadora} \\ &\hspace{15em} \text{en cuadratura (Quadrature)} \end{aligned}$$

La subportadora, señal CROMINANCIA (croma), mostrará así modulación en:

- su amplitud, representando saturación y
- su fase, representando matiz

La figura III-15 muestra la posición relativa de los vectores hasta ahora definidos, incluyendo los primarios R-G-B y sus complementarios Cyan-Magenta-Amarillo (respectivamente).

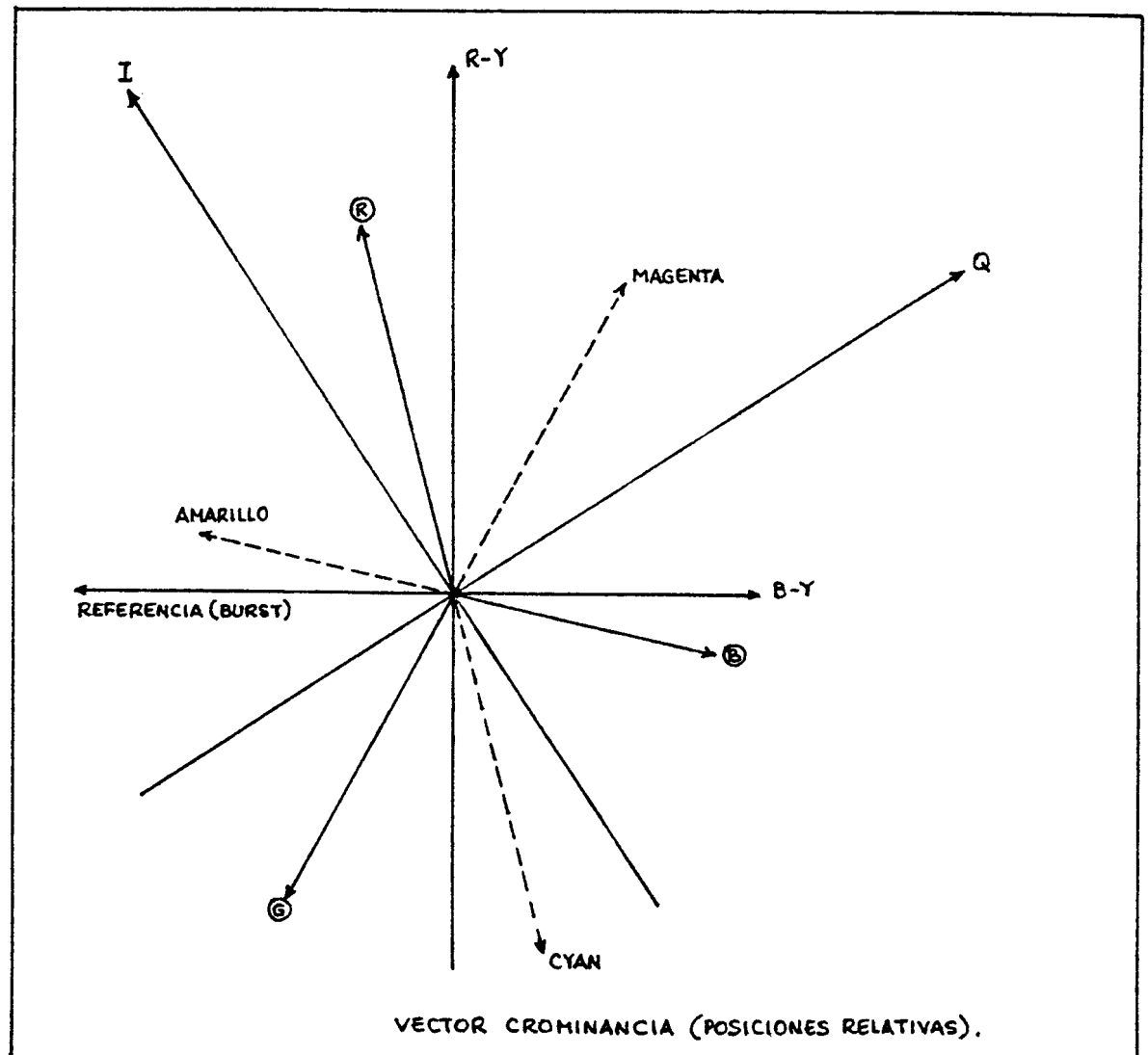


Fig. III-15.

Resumimos el proceso de generación de las señales Y, I, Q y su utilización:

1.- Se obtienen, desde cámaras, señales R-G-B.

2.- Las señales R-G-B se someten a "matrizado" generando

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.30 & 0.59 & 0.11 \\ 0.60 & -0.28 & -0.32 \\ 0.21 & -0.52 & 0.31 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

3.- Las señales I, Q se limitan en frecuencia a 1.5 MHz y 0.5 MHz, respectivamente.

4.- Las señales I, Q (previamente filtradas) modulan en cuadratura a una subportadora (CROMINANCIA).

5.- La subportadora modulada se agrega (suma) a la señal de luminancia (Y) (LUMA + CROMA).

6.- Se agregan las señales de sincronismo de la exploración.

El resultado se denomina SEÑAL DE VIDEO COMPUESTO.

## 7. Parámetros del sistema

Una serie de detalles han sido soslayados hasta ahora y sin embargo requieren mayor atención, en especial, en lo que se refiere a fijar algunos parámetros relevantes.

### Determinación de la subportadora de color

Consideraciones:

- a) Por haber superposición de los espectros de CROMINANCIA y LUMINANCIA pueden producirse interferencias entre ambas.



- b) También pueden producirse interferencias o batido entre las subportadoras de CROMINANCIA y SONIDO.
- c) En términos estadísticos, la amplitud de la luminancia comienza a decrecer en 1.5 MHz, disminuyendo al 50% en 2.5 MHz y se hacen insignificantes sobre 3 MHz aproximadamente.
- d) Se demuestra que la visibilidad de una interferencia es menor cuando su frecuencia es múltiplo impar de la mitad de la frecuencia de línea ( $f_H$ ).

En base a éstas y otras consideraciones:

- a) Se estima la frecuencia de la subportadora en alrededor de 3.5 MHz, fuera de los 3 MHz significativos de la señal luminancia y alejada de la subportadora de sonido (4.5 MHz).
- b) Se altera levemente la frecuencia de línea:

$$f_H = 15734.26 \text{ Hz (ex 15750 Hz)}$$

con lo que la subportadora de sonido será múltiplo par de  $f_H/2$ .

- c) La subportadora de color se fija:

$$f = 3.579545 \text{ MHz}$$

armónica 455 de  $f_H/2$ ; de este modo el batido entre ésta y la subportadora de sonido producirá  $f = 920.455 \text{ KHz}$  (aún dentro de la banda de luminancia), armónica 117 de  $f_H/2$ .

- d) Para mantener el estándar de 525 y debido a la variación de  $f_H$ , debe alterarse también la frecuencia de campos:

$$f_v = 59.94 \text{ Hz} \quad (\text{ex } 60 \text{ Hz})$$

e) Para la modulación de la subportadora se usa AM-VSB/SC:

- La señal I modula a la subportadora en una fase de referencia con la banda lateral superior en forma vestigial para no interferir con el sonido ni exceder el BW asignado.
- La señal Q modula a la subportadora atrasada en  $90^\circ$  (cuadratura) en AM-DSB-SC, opción posible por el menor BW de la señal.
- Se suprime la portadora que es la que produciría la mayor interferencia, por ser de mayor amplitud; tal interferencia generaría un patrón estable en la pantalla, muy visible.

Además la supresión de la portadora permite dar cumplimiento a la compatibilidad inversa: en el caso de una transmisión monocromática, al no existir modulación desaparecen las bandas laterales y dado que no se transmite la portadora no hay detección de información cromática, que podría ser generada por variaciones espurias de la amplitud de dicha portadora (lo cual generaría en pantalla cromaticidad espuria, "confetti").

Así la señal de banda base (video compuesto, con croma) queda ahora como se indica en la figura III-16.

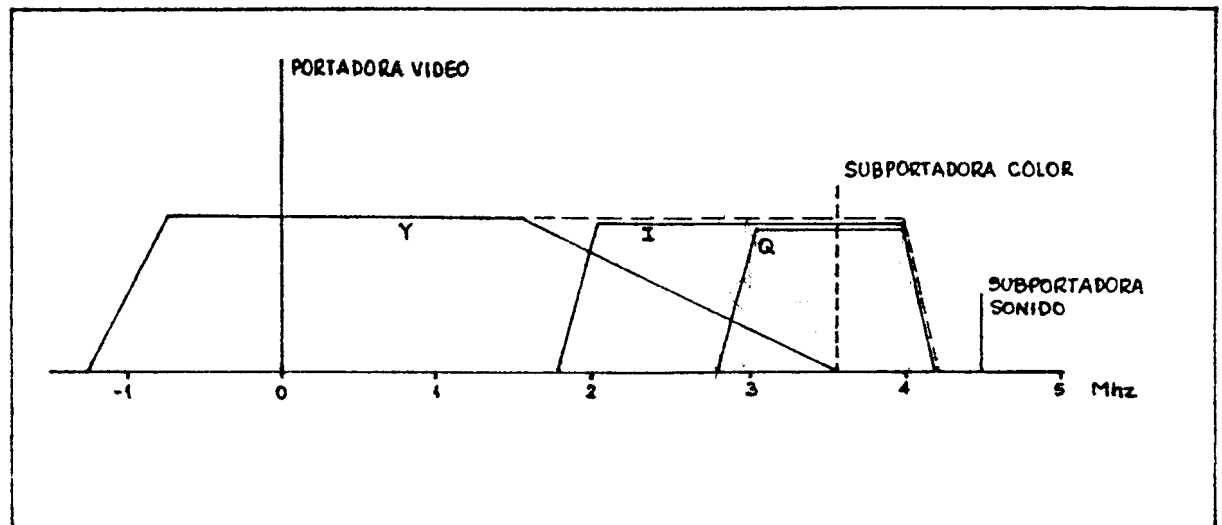


Fig. III-16. Señal de video compuesto con cromina.

#### Consideraciones adicionales

- El filtraje aplicado sobre las señales I y Q, necesario para limitar sus anchos de banda a 1.5 MHz y 0.5 MHz respectivamente, produce un retardo en ellas, diferente entre sí, respecto a la señal luminancia. Estos retardos producirán una cromatinidad espuria en las transiciones desde un color a otro en la imagen.

Se minimiza este efecto compensando los retardos de modo que, ante una transición, las tres señales alcancen el 50% de su variación a un mismo tiempo. La compensación se realiza mediante trozos de líneas intercaladas antes de modular a la subportadora y de agregar la señal luminancia.

La figura III-17 grafica lo anterior.

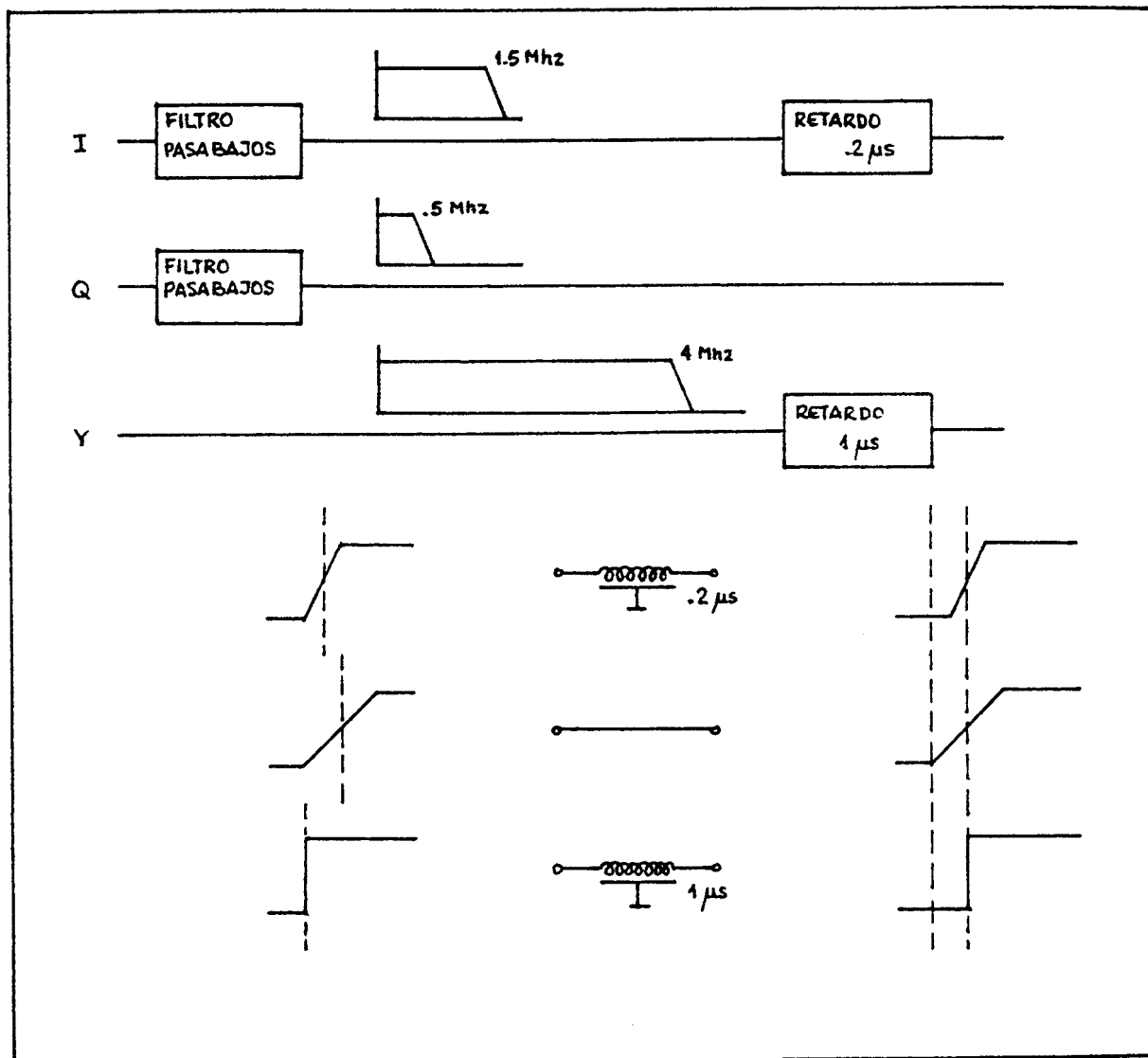


Fig. III-17. Retardos por filtraje.  
Retardos de compensación.

- La modulación efectuada sobre la subportadora, con portadora suprimida (SC), requiere para la demodulación de la generación local, en el receptor, de la portadora, la cual debe ser COHERENTE con la usada en la modulación; esto es, debe guardar sincronismo tanto en frecuencia como en fase.

En el receptor se provee entonces un oscilador (a cristal) que proporciona una precisión en frecuencia adecuada. Para corregir el error integral y para lograr el sincronismo de fase se envía, en la transmisión, una ráfaga o BURST de color: 8 a 10 ciclos de la subportadora localizados en el pórtico posterior de cada pulso de sincronismo horizontal. Los detalles aparecen en la figura III-18.

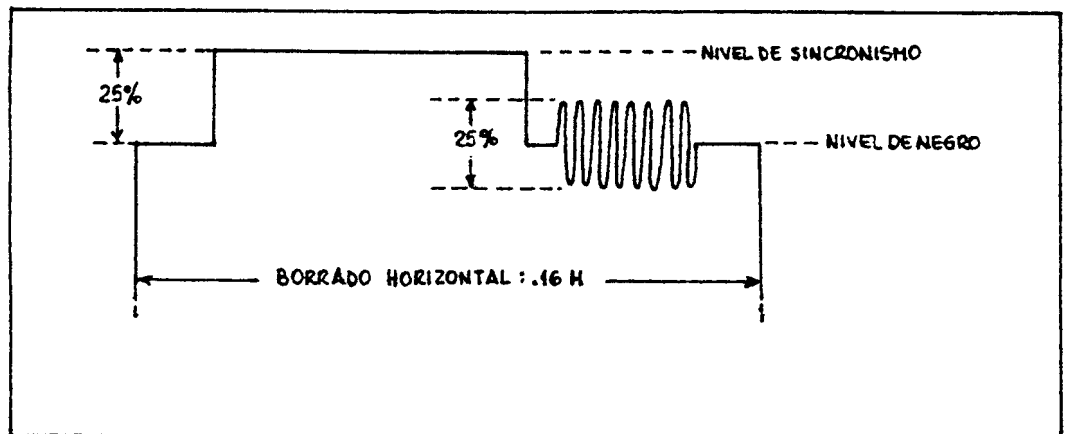


Fig. III-18. Burst de sincronismo de color.

Para evitar posibles efectos en los circuitos de sincronismo (especialmente vertical) de los receptores monocromáticos, se omite este burst en los pulsos ecualizadores y en los de sincronismo vertical.

Por razones prácticas, como compromiso entre conveniencia y mínima luminosidad, se asigna una fase de  $180^\circ$  a esta referencia a transmitir. Bajo condiciones muy adversas, este burst puede ser visualizado en la pantalla como un matiz amarillo-verdoso de baja luminosidad.

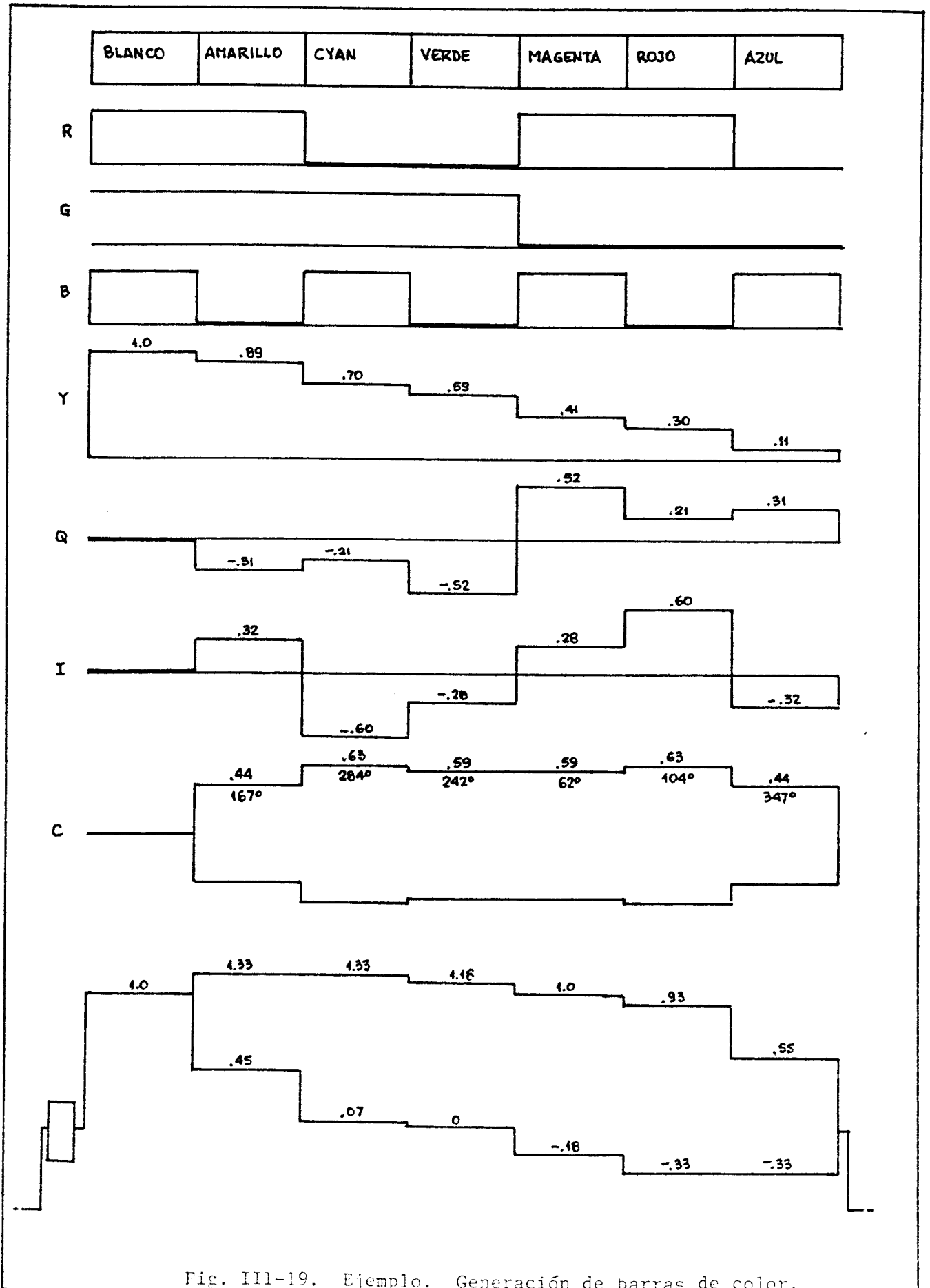


Fig. III-19. Ejemplo. Generación de barras de color.

## 8. Ejemplo

La figura III-19 ilustra los valores que asumen cada una de las señales de interés durante la transmisión de una "carta de prueba" formada por barras verticales de los primarios, sus complementarios y el blanco estándar.

## 9. Sistema PAL

Aún cuando no corresponde al caso nacional, el sistema PAL merece una cierta atención debido principalmente a su amplia utilización a nivel mundial. Debe destacarse adicionalmente que "compitió", para la adopción de un sistema para el país, con el NTSC, el cual fue finalmente seleccionado.

PAL es similar al NTSC antes descrito en detalle; las diferencias que presenta se han introducido para compensar las distorsiones en el matiz producidas por errores de fase en la señal recibida (que se originan principalmente por reflexiones o "rebotes" y por trayectorias múltiples).

Para su desarrollo se encuentra con idéntica condición previa que el sistema NTSC: COMPATIBILIDAD (directa e inversa). Satisface esta exigencia con una idéntica señal de LUMINANCIA.

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

Para la señal CROMINANCIA, en base a consideraciones similares a las del NTSC, se utilizan señales "diferencia de color" para generar:

$$U = 0.493 (B - Y)$$

$$V = 0.877 (R - Y)$$

con las cuales realiza también una modulación doble en cuadratura con portadora suprimida.

La señal U modula a la subportadora con fase constante.

La señal V modula a la subportadora con una fase que varía, línea a línea, entre  $+90^\circ$  y  $-90^\circ$  respecto a la fase de la subportadora modulada por U. Así, se mantiene la cuadratura y se produce una inversión de fase línea a línea; este proceso da origen a la denominación del sistema: Phase Alternate Line (PAL). Ver figura III-20

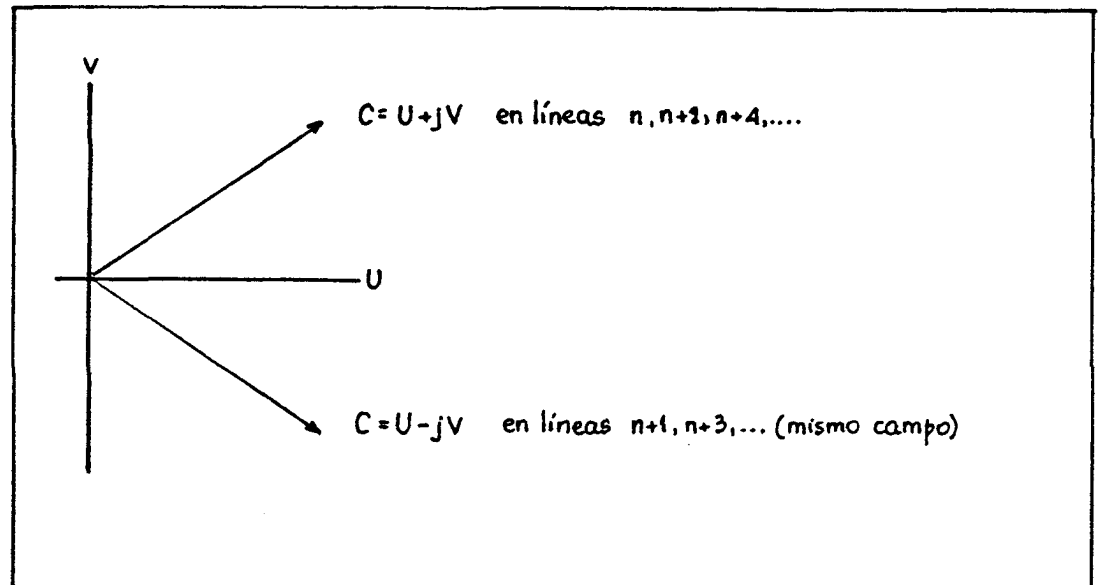


Fig. III-20. Phase alternating Line. PAL.

Dado que la inversión de fase se realiza línea a línea, el mismo sincronismo horizontal porta esta información.

En la recepción se invierte nuevamente la fase, línea a línea,



con lo cual cualquier eventual error de fase cambia de signo.

El ojo humano, por su retentividad o mecanismo de integración, responde al promedio de dos líneas sucesivas de exploración, el cual presenta la fase original, es decir, el matiz correcto.

Dado que la retentividad es limitada y por lo tanto suficiente sólo para errores pequeños, se provee un mecanismo "promediador" realizado mediante una línea de retardo ( $t_H$ ) para sumar una línea de exploración con la siguiente previamente invertida.

La situación descrita se muestra en la figura III-21.

El vector resultante presenta la fase o ángulo original pero su magnitud ha crecido (aproximadamente al doble para errores pequeños).

Se aprovecha la baja sensibilidad del ojo a diferencias o errores de saturación y se logra simplificar la circuitería necesaria reduciendo al 50%, en forma fija, la amplitud del vector resultante.

Como resultado final se aprecia que los eventuales errores de fase no afectan al matiz, transformándose en errores (menores) de saturación, a los cuales el ojo es mucho menos sensible.

Debe notarse que, dado que la crominancia de una línea en la reproducción es el promedio entre dicha línea y la anterior, se produce una degradación en la resolución cromática en sentido vertical (la mitad de lo que presenta el sistema NTSC). Esto representa el costo de la corrección de errores de fase. Sin embargo, a pesar de esta menor resolución cromática vertical, la calidad de imagen es buena.

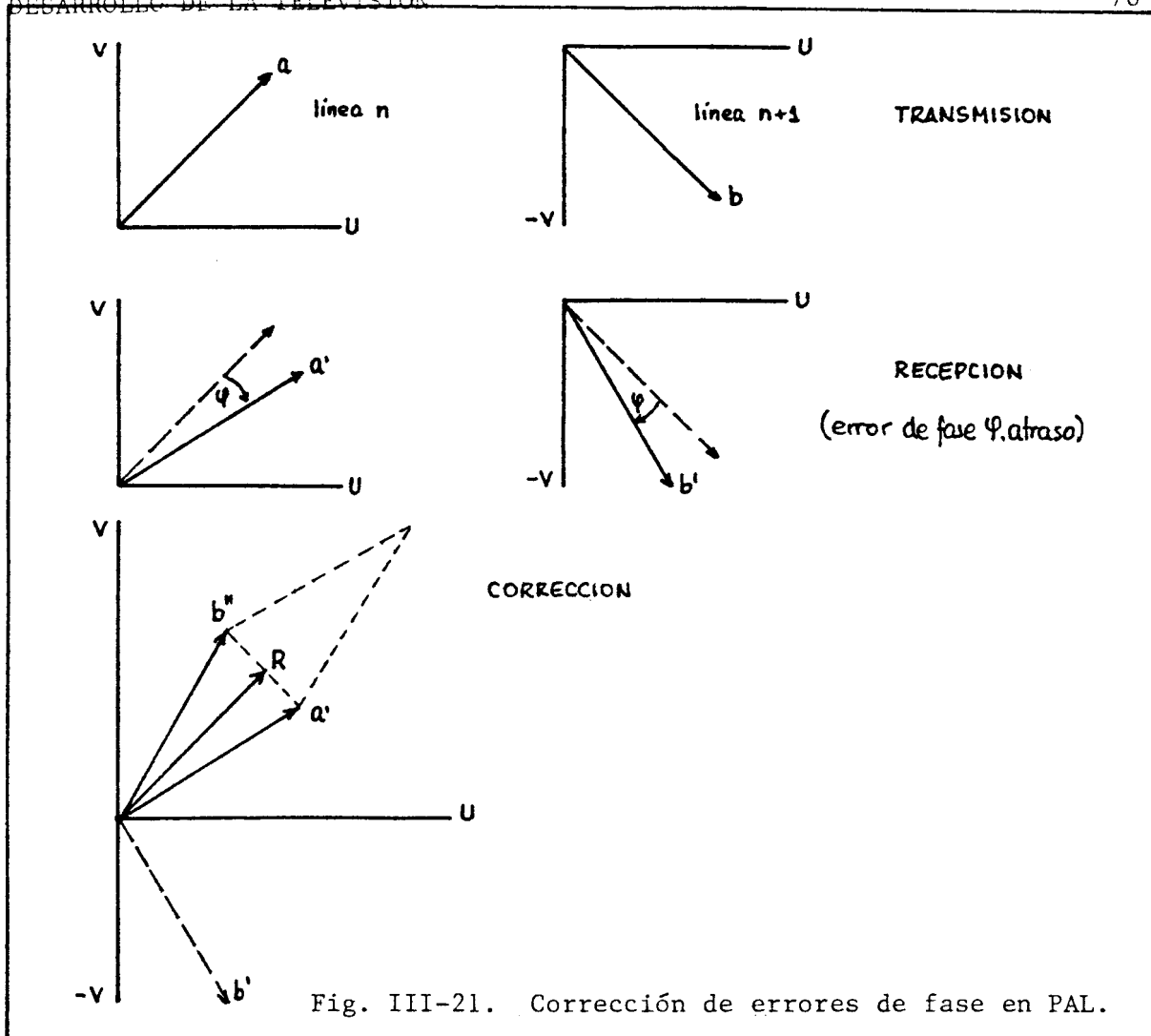


Fig. III-21. Corrección de errores de fase en PAL.

Subportadora de crominancia

Las consideraciones para la determinación de  $f_{sc}$  son también análogas a las señaladas para el sistema NTSC.

Una consideración adicional requiere la inversión de fase de la señal V; esta inversión, línea a línea, permite ser interpretada espectralmente como debida a dos señales separadas en  $f_H/2$  entre sí (espectros análogos).

El mejor compromiso se encuentra ahora con un desplazamiento o distancia de  $f_H/4$  y, para disminuir aún más la visibilidad de la interferencia eventual, se agrega  $f_V/2$ . Así finalmente.

$$f_{sc} = (n + 1/4) f_H + f_V/2$$

Como referencias prácticas, al aplicarse el sistema PAL en

a) norma N (ej. Argentina):

$$f_{sc} = 3.58205625 \text{ MHz} \quad (n = 229)$$

b) norma M (ej. Brasil)

$$f_{sc} = 3.57561149 \text{ MHz} \quad (n = 227)$$

#### 10. Sistema SECAM

Una descripción muy superficial, debido a que reviste menor importancia relativa.

La señal LUMINANCIA es la misma que en los sistemas NTSC y PAL.

La posibilidad de reducir la resolución cromática vertical sin degradar notoriamente la calidad de la imagen (como se aprovecha en PAL) se utiliza para desarrollar un sistema de transmisión SECUENCIAL de la información de color.

Así, se transmite en una línea una información de color y la otra información en la línea siguiente. Ambas líneas llevan además la señal de luminancia.

En el receptor, la información de una línea se "memoriza" mediante una línea de retardo para combinarla con la información de la línea siguiente y con la luminancia para permitir la recuperación de los primarios.

Este mecanismo da origen a la denominación:

SECQUENTIAL A MEMOIRE (SECAM)

Las limitaciones de orden técnico en la época de su desarrollo obligaron a usar una subportadora modulada en FRECUENCIA para transmitir la información de crominancia; los primeros ensayos se realizaron con modulación de amplitud resultando una pésima compatibilidad con la TV monocromática.

Como es común a toda modulación en frecuencia, la banda base o señales "diferencia de color" se someten a PREENFASIS.

Las señales, después de la modulación, son:

$$m_r(t) = M \cos 2\pi (f_{or} + D_r \Delta f_{or})$$

$$m_b(t) = M \cos 2\pi (f_{ob} + D_b \Delta f_{ob})$$

Destacable:

- la frecuencia de la subportadora es diferente para las dos informaciones cromáticas

$$f_{or} = 4.306250 \text{ MHz} \pm 2 \text{ KHz} \quad (= 282 f_H)$$

$$f_{ob} = 4.250000 \text{ MHz} \pm 2 \text{ KHz} \quad (= 272 f_H)$$

- la amplitud de la subportadora es también dependiente de la desviación

$$M = M_o \times \left| \frac{1 + j 16 F}{1 + j 1.26 F} \right|$$

$M_o = 11,5\%$  de la amplitud de la luminancia

y

$$F = \frac{f_{R,B}}{f_o} - \frac{f_o}{f_{R,B}}$$

$$f_o = 4286 \pm 20 \text{ KHz}$$

## 11. Compatibilidad (Reproducción)

Cuando se estableció la televisión ya a gran escala, los países no lograron (ni intentaron) acuerdo sobre las normas de transmisión. Se establecieron así numerosas normas, catorce de las cuales aún existen y son reconocidas por el CCIR. Algunas de ellas se diferencian por detalles menores, otras son absolutamente incompatibles entre sí.

Lo anterior no produce grandes problemas en un comienzo, cuando todo intercambio de programas se efectúa a través de películas (cine).

Con el desarrollo de la videograbación en cinta magnética y el posterior auge de los intercambios vía satélite, se hizo necesario desarrollar equipos que convirtieran la señal de video de una norma a otra distinta.

Hasta hace algunos años todo cambio de norma se realizaba empleando convertidores ópticos, cuyos resultados implicaban una notable disminución en la calidad de la imagen. Países que, por no existir otra opción, necesitaban una doble conversión (e.g. en transmisiones vía satélite, multidestino, con relevos), obtenían una imagen prácticamente inútil.

En la actualidad, con el estado de la tecnología en materia de circuitos integrados (variedad, escala, confiabilidad, costo) y aplicando técnicas de almacenamiento digital (convertidores, memorias), se han desarrollado convertidores de norma totalmente electrónicos (sin óptica), lo que resulta en degradaciones mucho menores. A pesar de esto, debe evitarse, en lo posible, las conversiones dobles.

Cuando la conversión se debe aplicar sólo al color (entre sistemas con el mismo estándar CCIR), se habla de una TRANSCODIFICACION. En la actualidad, este es un equipo simple y relativamente barato y que prácticamente no introduce degradación apreciable.