

# UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R BT.601-7**  
(03/2011)

## **Parámetros de codificación de televisión digital para estudios con formatos de imagen normal 4:3 y de pantalla ancha 16:9**

**Serie BT**  
**Servicio de radiodifusión**  
**(televisión)**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	<b>Servicio de radiodifusión (televisión)</b>
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2022

© UIT 2022

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R BT.601-7\*

**Parámetros de codificación de televisión digital para estudios con formatos de imagen normal 4:3 y de pantalla ancha 16:9<sup>1</sup>**

(Cuestión UIT-R 1/6)

(1982-1986-1990-1992-1994-1995-2007-2011)

**Cometido**

En esta Recomendación también se consideran las características de estructuras de elementos (píxel) que constituyen una imagen de televisión digital entrelazada de 525 ó 565 líneas.

Esta Recomendación especifica los métodos de codificación digital de señales vídeo. Se utiliza una misma velocidad de muestreo de 13,5 MHz para los formatos de imagen de 4:3 y de 16:9, con funcionamiento adecuado en los actuales sistemas de transmisión.

**Palabras clave**

Codificación digital, diferencia de color, imagen de televisión digital, televisión de definición convencional

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las normas de televisión digital para estudios que cuentan con el mayor número de valores de parámetros significativos comunes a los sistemas de 525 y 625 líneas presentan claras ventajas para los organismos de radiodifusión y los productores de programas de televisión;
- b) que un método digital compatible en todo el mundo posibilitará el desarrollo de equipos con muchas características comunes, permitirá economías de explotación y facilitará el intercambio internacional de programas;
- c) que conviene disponer de una familia ampliable de normas compatibles de codificación digital; los niveles de dicha familia podrían corresponder a diferentes niveles de calidad y formatos, facilitar el tratamiento adicional requerido por las actuales técnicas de producción y tener en cuenta las necesidades futuras;
- d) que un sistema basado en la codificación de las componentes puede satisfacer estos objetivos deseables;
- e) que la coincidencia en el espacio de las muestras que representan las señales de luminancia y de diferencia de color (o, en su caso, las señales de rojo, verde y azul) facilita el tratamiento de las señales componentes digitales que requieren las actuales técnicas de producción,

*recomienda*

que se empleen los siguientes parámetros como base para las normas de codificación digital para estudios de televisión en aquellas zonas del mundo que utilizan tanto sistemas de 525 líneas como de 625 líneas.

---

\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones introdujo en noviembre de 2014 y marzo de 2017 modificaciones de redacción en esta Recomendación, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

<sup>1</sup> Televisión de definición convencional.

## 1 Familia ampliable de normas compatibles de codificación digital

**1.1** La codificación digital debe permitir el establecimiento y la evolución de una familia ampliable de normas compatibles de codificación digital. Debería ser posible la comunicación entre las normas de esta familia.

**1.2** La codificación digital debe basarse en el empleo de una señal de luminancia y de dos señales de diferencia de color (o, en su caso, señales de rojo, verde y azul).

**1.3** Deben controlarse las características espectrales de las señales para evitar el solape de los diferentes espectros, conservando al mismo tiempo la respuesta en la banda de paso. Las características de los filtros se muestran en el Apéndice 2.

## 2 Especificaciones aplicables a cualquier norma de esta familia

**2.1** Las estructuras de muestreo deben ser estáticas en el espacio. Este es el caso, por ejemplo, de la estructura de muestreo ortogonal especificada en la presente Recomendación.

**2.2** Si las muestras representan la señal de luminancia y dos señales simultáneas de diferencia de color, cada par de muestras de diferencia de color deben tener igual ubicación en el espacio. Si se utilizan muestras que representan las señales de rojo, verde y azul, deben tener igual ubicación en el espacio.

**2.3** La norma digital adoptada para cada norma de esta familia debe hacer posible la aceptación y aplicación a nivel mundial en la explotación; una condición para lograr este objetivo es que, en cada norma de esta familia, el número especificado de muestras por línea para los sistemas de 525 y 625 líneas sea compatible. (De ser posible, conviene que haya un número igual de muestras por línea.)

**2.4** En las aplicaciones de estas especificaciones, el contenido de las palabras digitales se expresa tanto en forma decimal como hexadecimal, designadas respectivamente por los sufijos «d» y «h».

Para evitar confusiones entre las representaciones de 8 bits y 10 bits, los ocho bits más significativos se consideran parte entera, mientras que los dos bits adicionales, de existir, se consideran partes fraccionarias.

Por ejemplo, la configuración de bits 10010001 se expresaría mediante  $145_d$  ó  $91_h$ , y la configuración 1001000101, mediante  $145,25_d$  ó  $91,4_h$ .

Cuando no aparece ninguna parte fraccionaria, debe suponerse que el valor binario es 00.

### 2.5 Definición de las señales digitales $Y$ , $C_R$ , $C_B$ , partiendo de las señales (analógicas) primarias $E'_R$ , $E'_G$ y $E'_B$

Para definir las señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$ , se describen aquí las reglas de construcción de esas señales partiendo de las señales analógicas primarias con corrección gamma  $E'_R$ ,  $E'_G$ ,  $E'_B$ . Esta construcción encadena las tres etapas descritas más adelante en los § 2.5.1, 2.5.2 y 2.5.3, y se da a título de ejemplo. En la realización práctica hay otros métodos de construcción que, aplicados a esas señales primarias o a otras señales analógicas o digitales, pueden conducir a resultados idénticos. En el § 2.5.4 se da un ejemplo.

#### 2.5.1 Construcción de las señales de luminancia ( $E'_Y$ ) y de diferencia de color ( $E'_R - E'_Y$ ) y ( $E'_B - E'_Y$ )

La construcción de las señales de luminancia y de diferencia de color es la siguiente:

$$E'_Y = 0,299 E'_R + 0,587 E'_G + 0,114 E'_B$$

por lo tanto:

$$(E'_R - E'_Y) = E'_R - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = 0,701 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B$$

y

$$(E'_B - E'_Y) = E'_B - 0,299 E'_R - 0,587 E'_G - 0,114 E'_B = -0,299 E'_R - 0,587 E'_G + 0,886 E'_B$$

Suponiendo que los valores de las señales están normalizados a la unidad (por ejemplo, niveles máximos de 1,0 V), los valores que se obtienen para los colores blanco, negro, los colores primarios saturados y sus complementarios se muestran en el Cuadro 1.

CUADRO 1  
Valores de las señales normalizados

Condición	$E'_R$	$E'_G$	$E'_B$	$E'_Y$	$E'_R - E'_Y$	$E'_B - E'_Y$
Blanco	1,0	1,0	1,0	1,0	0	0
Negro	0	0	0	0	0	0
Rojo	1,0	0	0	0,299	0,701	-0,299
Verde	0	1,0	0	0,587	-0,587	-0,587
Azul	0	0	1,0	0,114	-0,114	0,886
Amarillo	1,0	1,0	0	0,886	0,114	-0,886
Cian	0	1,0	1,0	0,701	-0,701	0,299
Magenta	1,0	0	1,0	0,413	0,587	0,587

### 2.5.2 Construcción de las señales de diferencia de color renormalizadas ( $E'_{C_R}$ y $E'_{C_B}$ )

Aunque los valores de  $E'_Y$  están ya comprendidos en la gama de 1,0 a 0, los de  $(E'_R - E'_Y)$  se sitúan en la gama de +0,701 a -0,701, y los de  $(E'_B - E'_Y)$  en la gama de +0,886 a -0,886. Para renormalizar respecto a la unidad la gama de las señales de diferencia de color (es decir, de +0,5 a -0,5), se pueden calcular las señales renormalizadas de diferencia de color rojo y azul de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} E'_{C_R} &= \frac{E'_R - E'_Y}{1,402} \\ &= \frac{0,701E'_R - 0,587E'_G - 0,114E'_B}{1,402} \end{aligned}$$

y

$$\begin{aligned} E'_{C_B} &= \frac{E'_B - E'_Y}{1,772} \\ &= \frac{-0,299E'_R - 0,587E'_G + 0,886E'_B}{1,772} \end{aligned}$$

Los símbolos  $E'_{C_R}$  and  $E'_{C_B}$  se utilizarán únicamente para denominar las señales de diferencia de color renormalizadas, es decir, las señales que poseen la misma amplitud nominal cresta a cresta que la señal de luminancia  $E'_Y$  que de esta forma se designa señal de referencia.

### 2.5.3 Cuantificación

En el caso de una codificación binaria de 8 bits o de 10 bits con cuantificación uniforme, se especifican  $2^8$  ó  $2^{10}$ , es decir, 256 ó 1 024 niveles de cuantificación equidistantes, con lo que la gama de números binarios disponibles va de 0000 0000 a 1111 1111 (00 a FF en la notación hexadecimal) o de 0000 0000 00 a 1111 1111 11 (00,0<sub>h</sub> a FF,C<sub>h</sub> en notación hexadecimal) siendo los números decimales equivalentes 0,00<sub>d</sub> a 255,75<sub>d</sub>.

En esta Recomendación, los niveles 0,00<sub>d</sub> y 255,75<sub>d</sub> se reservan para datos de sincronización, en tanto que los niveles 1,00<sub>d</sub> a 254,75<sub>d</sub> se utilizan para vídeo.

Dado que la señal de luminancia sólo va a ocupar 220 (8 bits) u 877 (10 bits) niveles, para proporcionar márgenes de trabajo y que el negro se encuentre en el nivel 16,00<sub>d</sub>, el valor decimal de la señal de luminancia cuantificada,  $Y$  es:

$$Y = \text{int}\{(219E'_Y + 16) \times D\} / D$$

donde  $D$  puede valer 1 ó 4, dependiendo de si se trata de cuantificación de 8 o de 10 bits, respectivamente. El operador  $\text{int}(\ )$  devuelve el valor 0 para las fracciones de 0 a 0,4999... y el valor +1 para las fracciones de 0,5 a 0,999..., es decir, redondea al entero superior las fracciones mayores que 0,5.

Análogamente, como las señales de diferencias de color van a ocupar 225 (8 bits) o 897 (10 bits) niveles y como el nivel 0 va a ser el nivel 128,00<sub>d</sub>, los valores decimales de las señales cuantificadas de diferencia de color,  $C_R$  y  $C_B$ , son:

$$C_R = \text{int}\{(224E'_{C_R} + 128) \times D\} / D$$

y

$$C_B = \text{int}\{(224E'_{C_B} + 128) \times D\} / D$$

Los equivalentes digitales se denominan  $Y$ ,  $C_R$  y  $C_B$ .

### 2.5.4 Construcción de $Y$ , $C_R$ , $C_B$ mediante la cuantificación de $E'_R$ , $E'_G$ , $E'_B$

Cuando las componentes se obtienen directamente de las señales componentes con corrección gamma  $E'_R$ ,  $E'_G$  y  $E'_B$  o se generan directamente en forma digital, la cuantificación y la codificación serán equivalentes a:

$$E'_{R_D} \text{ (en forma digital)} = \text{int}\{(219E'_R + 16) \times D\} / D$$

$$E'_{G_D} \text{ (en forma digital)} = \text{int}\{(219E'_G + 16) \times D\} / D$$

$$E'_{B_D} \text{ (en forma digital)} = \text{int}\{(219E'_B + 16) \times D\} / D$$

Por consiguiente:

$$Y = \text{int}\{(0,299E'_{R_D} + 0,587E'_{G_D} + 0,114E'_{B_D}) \times D\} / D$$

$$\approx \text{int}\left\{\left(\frac{k'_{Y1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{Y2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{Y3}}{2^m} E'_{B_D}\right) \times D\right\} / D$$

$$C_R = \text{int}\left[\left\{\left(\frac{0,701E'_{R_D} - 0,587E'_{G_D} - 0,114E'_{B_D}}{1,402}\right) \frac{224}{219} + 128\right\} \times D\right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{k'_{CR1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CR2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CR3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$C_B = \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{-0,299 E'_{R_D} - 0,587 E'_{G_D} + 0,886 E'_{B_D}}{1,772} \right) \frac{224}{219} + 128 \right\} \times D \right] / D$$

$$\approx \text{int} \left[ \left\{ \left( \frac{k'_{CB1}}{2^m} E'_{R_D} + \frac{k'_{CB2}}{2^m} E'_{G_D} + \frac{k'_{CB3}}{2^m} E'_{B_D} \right) + 128 \right\} \times D \right] / D$$

donde  $k'$  y  $m$  son los coeficientes enteros y las longitudes en bits de los coeficientes enteros, respectivamente. Los coeficientes enteros de las ecuaciones de luminancia y de diferencia de color deberían calcularse de conformidad con el Anexo 2.

CUADRO 2

**Coefficientes enteros de las ecuaciones de luminancia y de diferencia de color**

Bits del coeficiente	Denominador	Luminancia Y			Diferencia de color CR			Diferencia de color CB		
		$k'_{Y1}$	$k'_{Y2}$	$k'_{Y3}$	$k'_{CR1}$	$k'_{CR2}$	$k'_{CR3}$	$k'_{CB1}$	$k'_{CB2}$	$k'_{CB3}$
$m$	$2^m$									
8	256	77	150	29	131	-110	-21	-44	-87	131
9	512	153	301	58	262	-219	-43	-88	<b>-174</b>	262
10	1 024	306	601	117	524	-439	-85	-177	-347	524
11	2 048	612	1 202	<b>234</b>	1 047	-877	-170	-353	-694	1 047
12	4 096	1 225	2 404	467	2 095	-1754	-341	-707	-1 388	2 095
13	8 192	2 449	4 809	934	<b>4 189</b>	-3 508	-681	-1 414	-2 776	4 190
14	16 384	4 899	9 617	1 868	8 379	-7 016	-1 363	-2 828	-5 551	8 379
15	32 768	9 798	19 235	<b>3 735</b>	16 758	-14 033	-2 725	-5 655	-11 103	16 758
16	65 536	19 595	38 470	7 471	33 516	-28 066	<b>-5 450</b>	-11 311	-22 205	33 516

NOTA 1 – Los números en negritas indican que el valor se cambió del entero más cercano, mediante optimización.

Para obtener las componentes 4:2:2  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$ , debe efectuarse el filtrado de paso bajo y el submuestreo en las señales 4:4:4  $C_R$ ,  $C_B$  anteriormente descritas. Conviene tomar nota de que podría haber ligeras diferencias entre las componentes  $C_R$ ,  $C_B$ , obtenidas de este modo y las obtenidas por filtrado analógico antes del muestreo.

**2.5.5 Limitación de las señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$**

La codificación digital en forma de señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  permite representar una gama notablemente mayor de valores de señal, que pueden sustentarse por las gamas correspondientes de las señales  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Debido a ello y como resultado de la generación electrónica de la imagen o el tratamiento electrónico de la señal, se pueden producir señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  que, aunque individualmente sean válidas, darían lugar a valores fuera de gama al convertirlas en señales  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Es a la vez más conveniente y más eficaz evitar esta circunstancia aplicando una limitación a las señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  en lugar de esperar a que las señales se encuentren en la forma  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Además, la limitación puede aplicarse de manera que se mantengan los valores de luminancia y tonalidad, reduciendo al mínimo la degradación subjetiva, a costa únicamente de la saturación.

## 2.6 Característica de color y transferencia optoelectrónica<sup>2</sup>

Punto	Características				
	Parámetro	625		525	
2.6.1	Coordenadas de cromaticidad, CIE 1931 <sup>(1)</sup>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x</i>	<i>y</i>
	Rojo	0,640	0,330	0,630	0,340
	Verde	0,290	0,600	0,310	0,595
	Azul primarios	0,150	0,060	0,155	0,070
2.6.2	Cromaticidad supuesta para señales primarias iguales – Referencia: blanco	<i>D</i> <sub>65</sub>			
	$E_R = E_G = E_B$	<i>x</i>		<i>y</i>	
		0,3127		0,3290	
2.6.3	Características de transferencia optoelectrónica antes de la precorrección no lineal	Se supone lineal			
2.6.4	Característica global de transferencia optoelectrónica en la fuente <sup>3</sup>	$E = (1,099 L^{0,45} - 0,099)$ para $1,00 \geq L \geq 0,018$ $E = 4,500 L$ para $0,018 > L \geq 0$ donde: <i>L</i> : luminancia de la imagen $0 \leq L \leq 1$ en colorimetría convencional <i>E</i> : señal eléctrica correspondiente			

<sup>(1)</sup> Las coordenadas de cromaticidad especificadas son las que actualmente utilizan los sistemas convencionales de 625 y 525 líneas.

## 3 Miembros de la familia

Se definen los siguientes miembros de la familia de normas:

- 4:2:2 para sistemas con formato 4:3, y con formato de pantalla ancha 16:9 cuando es necesario mantener la misma anchura de banda de la señal análoga y la misma velocidad digital para ambos formatos.
- 4:4:4<sup>4</sup> para sistemas con formato 4:3 y 16:9 con resolución de color más alta.

<sup>2</sup> Actualmente, en algunos casos cuando los programas producidos en TVAD se difunden en TV de definición convencional, su mapa de píxeles TVAD se reorganiza en un mapa de píxeles de TV de definición convencional sin cambiar la colorimetría del programa original.

<sup>3</sup> En la producción típica real, la función de codificación de las fuentes de imagen se ajusta para que la imagen final tenga la apariencia deseada, vista en un monitor de referencia con la función de descodificación de referencia de la Recomendación UIT-R BT.1886, en el entorno de visualización de referencia definido en la Recomendación UIT-R BT.2035. Aunque algunos de los parámetros de la lista de la Recomendación UIT-R BT.2035 están destinados al visionado de señal TVAD, deben utilizarse distancias de visionado a escala para señales de TV de definición convencional.

<sup>4</sup> En el caso de las normas 4:4:4 de esta familia, las señales muestreadas pueden ser las señales de luminancia y de diferencia de color (o las señales rojo, verde y azul cuando se utilizan).

## Anexo 1

## Parámetros de codificación para esta familia de normas

## 1 Valores de los parámetros de codificación para la norma 4:2:2

La especificación (véase el Cuadro 3) es aplicable a la norma de relación 4:2:2, que ha de utilizarse para la interfaz digital normalizada entre los equipos digitales principales de estudio y para el intercambio internacional de programas de televisión digital con formato 4:3 o de pantalla ancha 16:9 cuando es necesario mantener la misma anchura de banda y la misma velocidad digital.

CUADRO 3

Parámetros	Sistemas de 525 líneas 60/1,001 tramas/s	Sistemas de 625 líneas 50 tramas/s
1) Señales codificadas: $Y$ , $C_R$ , $C_B$	Estas señales se obtienen a partir de señales con precorrección gamma, es decir: $E\dot{Y}$ , $E\dot{R}-E\dot{Y}$ , $E\dot{B}-E\dot{Y}$ (véase el § 2.5)	
2) Número de muestras por línea completa: – señal de luminancia ( $Y$ ) – cada señal de diferencia de color ( $C_R$ , $C_B$ )	858 429	864 432
3) Estructura de muestreo	Ortogonal, repetitiva en cada línea, en cada trama y en cada imagen. Las muestras de las señales $C_R$ y $C_B$ coinciden en el espacio con las muestras impares (1 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> , 5 <sup>a</sup> , etc.) de la señal $Y$ en cada línea	
4) Frecuencia de muestreo: – señal de luminancia – cada señal de diferencia de color	13,5 MHz 6,75 MHz  La tolerancia para las frecuencias de muestreo debe coincidir con la tolerancia para las frecuencias de línea de la norma de televisión en color que corresponda	
5) Forma de codificación	MIC con cuantificación uniforme, 8 ó 10 bits por muestra para la señal de luminancia y para cada señal de diferencia de color	
6) Número de muestras por línea activa digital: – señal de luminancia – cada señal de diferencia de color	720 360	
7) Relación de temporización horizontal analógico-digital: – desde el final de la línea activa digital hasta $O_H$	16 periodos del reloj de luminancia	12 periodos del reloj de luminancia
8) Correspondencia entre los niveles de la señal de vídeo y los niveles de las señales de cuantificación: – escala – señal de luminancia – cada señal de diferencia de color	(Véase el § 2.4) (los valores se encuentran en forma decimal)  0,00 <sub>d</sub> a 255,75 <sub>d</sub> 220 (8 bits) o 877 (10 bits) niveles de cuantificación; el nivel de negro corresponde al nivel 16,00 <sub>d</sub> y el nivel de blanco de cresta corresponde al nivel 235,00 <sub>d</sub> . El nivel de la señal puede ocasionalmente sobrepasar el nivel 235,00 <sub>d</sub> o estar por debajo del nivel 16,00 <sub>d</sub> .  225 (8 bits) o 897 (10 bits) niveles de cuantificación en la parte central de la escala de cuantificación: la señal cero corresponde al nivel 128,00 <sub>d</sub> . El nivel de la señal puede ocasionalmente sobrepasar el nivel 240,00 <sub>d</sub> o estar por debajo del nivel 16,00 <sub>d</sub> .	
9) Uso de palabras de código	Las palabras de código que corresponden a los niveles de cuantificación 0,00 <sub>d</sub> y 255,75 <sub>d</sub> se utilizan exclusivamente para sincronización. Los niveles 1,00 <sub>d</sub> a 254,75 <sub>d</sub> están disponibles para vídeo. Cuando se trabaja con palabras de 8 bits en sistemas de 10 bits, se agregan dos bits menos significativos (ceros) al final de las palabras de 8 bits.	

## 2 Valores de los parámetros de codificación para la norma 4:4:4

La siguiente especificación, indicada en el Cuadro 4, es aplicable a la norma de relación 4:4:4 adecuada para equipos de fuente de señales de televisión y aplicaciones de tratamiento de señales de vídeo de alta calidad.

CUADRO 4

Parámetros	Sistemas de 525 líneas 60/1,001 tramas/s	Sistemas de 625 líneas 50 tramas/s
1) Señales codificadas: $Y, C_R, C_B$ o $R, G, B$	Estas señales se obtienen a partir de señales con precorrección gamma, es decir: $E'_Y, E'_R - E'_Y, E'_B - E'_Y$ o $E'_R, E'_G, E'_B$	
2) Número de muestras por línea completa para cada señal	858	864
3) Estructura de muestreo	Ortogonal, repetitiva en cada línea, en cada trama y en cada imagen. Las tres estructuras de muestreo deben ser coincidentes tanto entre sí como con la estructura de muestreo de luminancia del nivel de relación 4:2:2	
4) Frecuencia de muestreo para señal	13,5 MHz	
5) Forma de codificación	MIC con cuantificación uniforme, 8 ó 10 bits por muestra	
6) Duración de la línea activa digital expresada en número de muestras	720	
7) Relación de sincronización horizontal analógica a digital: – desde el final de la línea activa hasta $O_H$	16 periodos de reloj	12 periodos de reloj
8) Correspondencia entre los niveles de la señal de vídeo y el nivel de cuantificación de cada muestra: – escala – señales $R, G, B$ o señal de luminancia <sup>(1)</sup> – cada señal de diferencia de color <sup>(1)</sup>	(Véase el § 3.4) (los valores se encuentran en forma decimal)  0,00 <sub>d</sub> a 255,75 <sub>d</sub>  220 (8 bits) u 877 (10 bits) niveles de cuantificación; el nivel de negro corresponde al nivel 16,00 <sub>d</sub> y el nivel de blanco de cresta corresponde al nivel 235,00 <sub>d</sub> . El nivel de la señal puede ocasionalmente sobrepasar el nivel 235,00 <sub>d</sub> o estar por debajo del nivel 16,00 <sub>d</sub> .  225 (8 bits) u 897 (10 bits) niveles de cuantificación en la parte central de la escala de cuantificación: la señal cero corresponde al nivel 128,00 <sub>d</sub> . El nivel de la señal puede ocasionalmente sobrepasar el nivel 240,00 <sub>d</sub> o estar por debajo del nivel 16,00 <sub>d</sub> .	
9) Uso de palabras de código	Las palabras de código que corresponden a los niveles de cuantificación 0,00 <sub>d</sub> y 255,75 <sub>d</sub> se utilizan exclusivamente para sincronización. Los niveles 1,00 <sub>d</sub> a 254,75 <sub>d</sub> están disponibles para vídeo.  Cuando se trabaja con palabras de 8 bits en sistemas de 10 bits, se agregan dos bits menos significativos (ceros) al final de las palabras de 8 bits.	

<sup>(1)</sup> Si se utiliza.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Definición de las señales utilizadas en las normas de codificación digital

#### 1 Relación entre la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo

La relación entre las muestras de luminancia de la línea activa digital y la referencia analógica de sincronismo se indica en las siguientes figuras:

- Figura 1 para sistemas de 625 líneas.
- Figura 2 para sistemas de 525 líneas.

En esas Figuras, el punto de muestreo aparece al comienzo de cada bloque.

Los números respectivos de muestras de diferencia de color en la norma 4:2:2 se pueden obtener dividiendo el número de muestras de luminancia por 2. Los números (12,132) y (16,122) se escogieron para disponer simétricamente la línea activa digital con respecto a las variaciones permitidas. No forman parte de la especificación de la línea digital y sólo se refieren a interfaces analógicos.

FIGURA 1

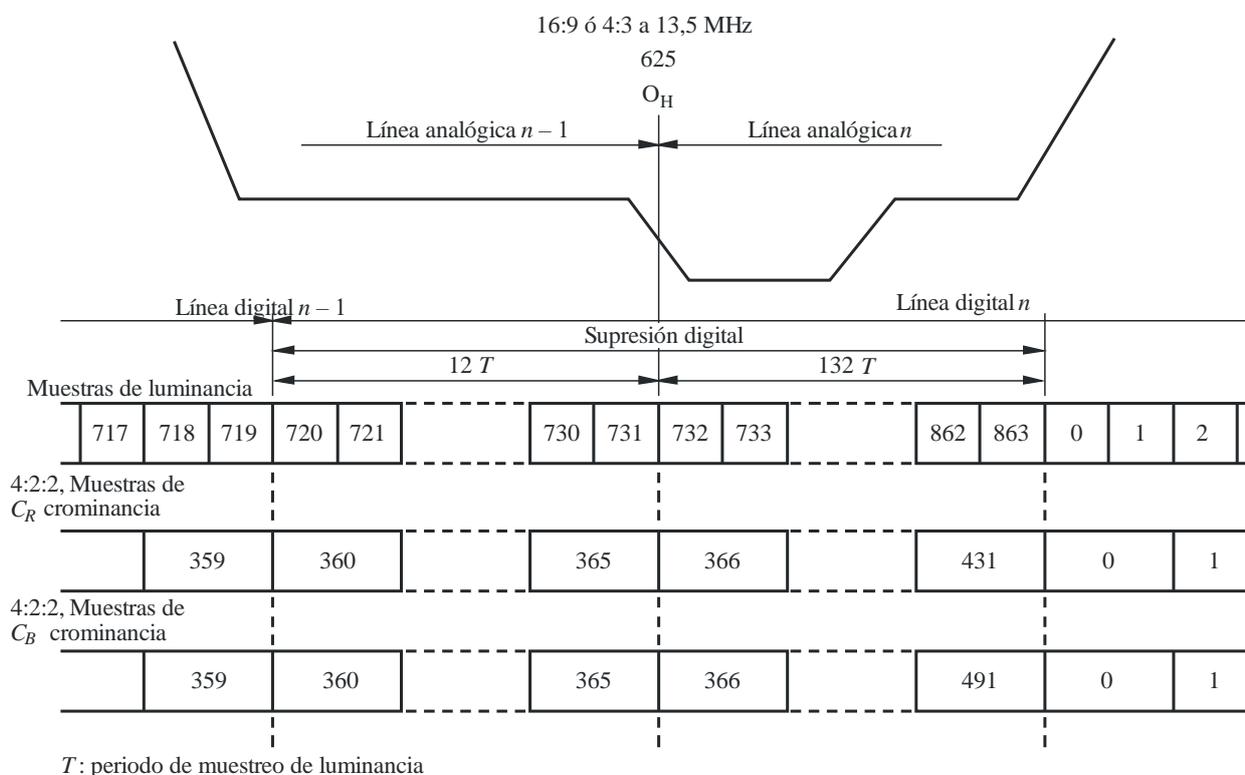
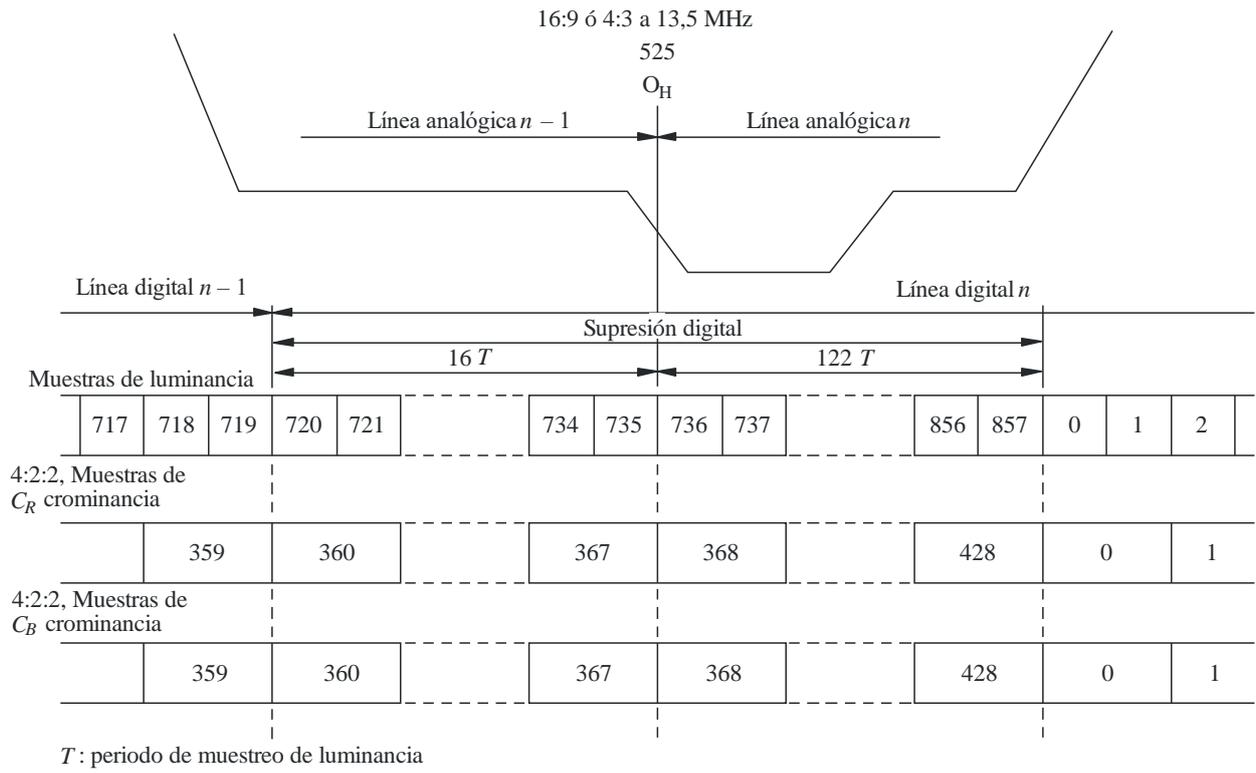


FIGURA 2



## Apéndice 2 al Anexo 1

### Características de filtrado

#### 1 Indicaciones para la realización práctica de los filtros

En las propuestas para los filtros utilizados en los procesos de codificación y decodificación, se ha supuesto que se introduce la corrección de la característica  $(\text{sen } x/x)$  en los filtros que van a continuación de la conversión digital-analógica. Las tolerancias en la banda de paso del filtro, más el corrector de  $(\text{sen } x/x)$ , más la característica teórica  $(\text{sen } x/x)$  deben ser las mismas que las que se aplican únicamente a los filtros. Esto se logra más fácilmente si, en el proceso de diseño, el filtro, el corrector de  $(\text{sen } x/x)$  y el ecualizador de retardo se consideran una sola unidad.

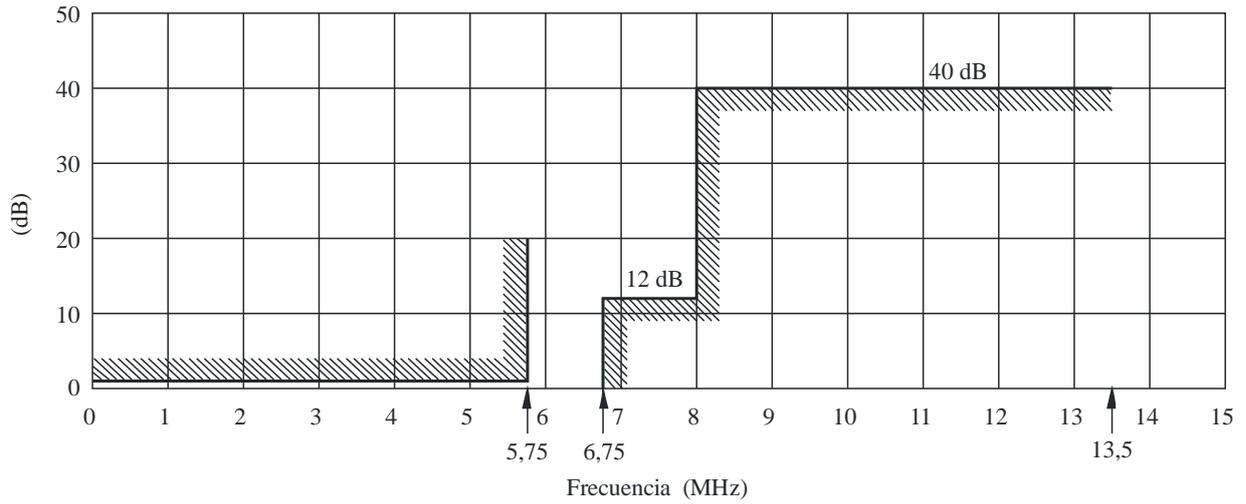
Los retardos totales debidos al filtrado y a la codificación de las componentes de luminancia y de diferencia de color deben ser los mismos. El retardo en el filtro de diferencia de color (véanse las Fig. 4a) y Fig. 4b)) es el doble del correspondiente al filtro de luminancia (véanse las Fig. 3a) y Fig. 3b)). Como resulta difícil igualar estos retardos utilizando redes analógicas de retardo sin exceder las tolerancias de la banda de paso, se recomienda igualar el conjunto de las diferencias de retardo (en múltiplos enteros del periodo de muestreo) en el dominio digital. Al corregir cualquier resto, debe observarse que el circuito de muestreo y mantenimiento del decodificador introduce un retardo uniforme igual a la mitad del periodo de muestreo.

Se reconoce que las tolerancias en la banda de paso para el rizado de amplitud y el retardo de grupo son muy estrictas. El estado actual de los estudios indica que es necesario que se pueda llevar a cabo un número significativo de operaciones de codificación y decodificación en cascada sin sacrificar la calidad potencialmente elevada de la norma de codificación 4:2:2. Debido a las limitaciones de las características de los equipos de medición actualmente disponibles, puede que los fabricantes tengan dificultades para verificar de forma económica el cumplimiento de las tolerancias de cada uno de los filtros durante la producción. No obstante, es posible diseñar filtros de forma que se cumplan las características especificadas en la práctica, y se pide a los fabricantes que hagan todos los esfuerzos posibles, durante el proceso de fabricación, para que el ajuste de cada filtro cumpla las máscaras correspondientes.

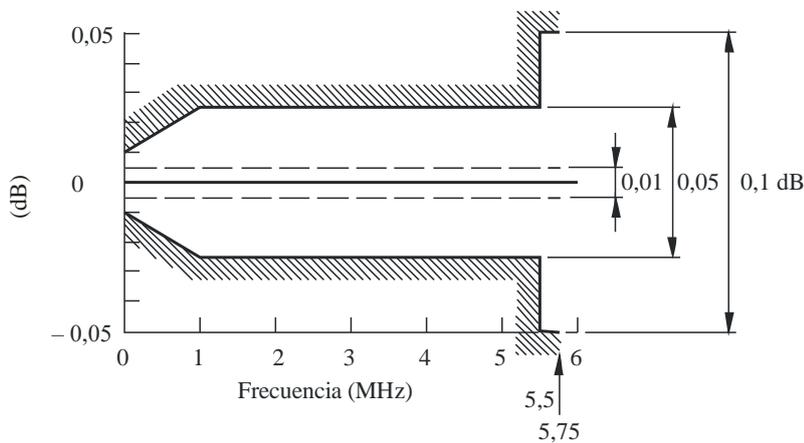
Las especificaciones indicadas en este Apéndice 2 se elaboraron con la idea de mantener en la medida de lo posible el contenido espectral de las señales  $Y$ ,  $C_R$ ,  $C_B$  a través de la cadena de señales componentes. Sin embargo, se reconoce que la característica espectral de la diferencia de color debe conformarse mediante un filtro de corte progresivo lento insertado en los monitores de imagen o al final de la cadena de señales componentes.

FIGURA 3

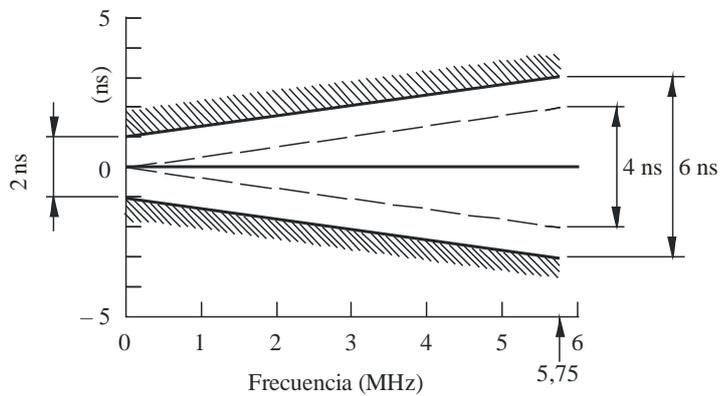
Plantilla del filtro para la señal de luminancia, RGB o de diferencia de color 4:4:4



a) Máscara de la característica de pérdida de inserción en función de la frecuencia



b) Tolerancia para el rizado en la banda de paso

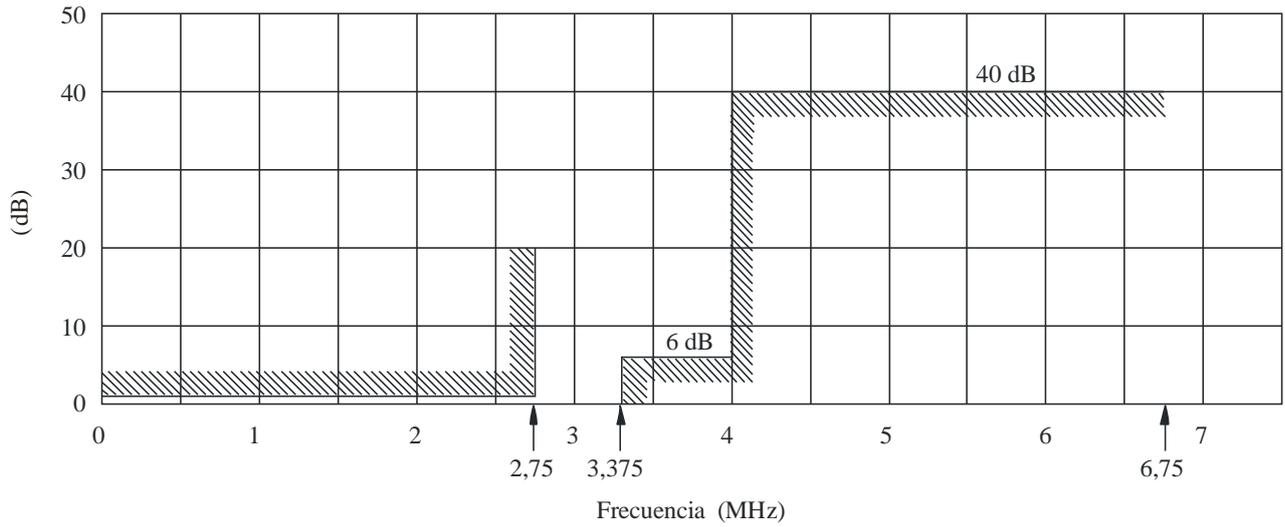


c) Tolerancia para el retardo de grupo en la banda de paso

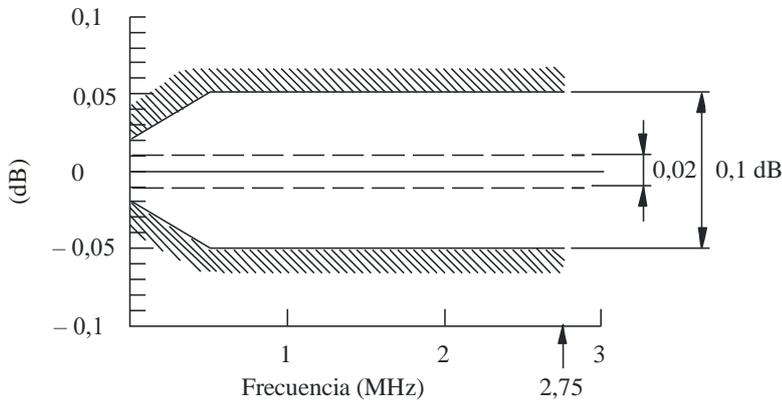
Nota 1 – Los valores más bajos de la escala de ordenadas en b) y c) corresponden a 1 kHz (en vez de 0 MHz).

FIGURA 4

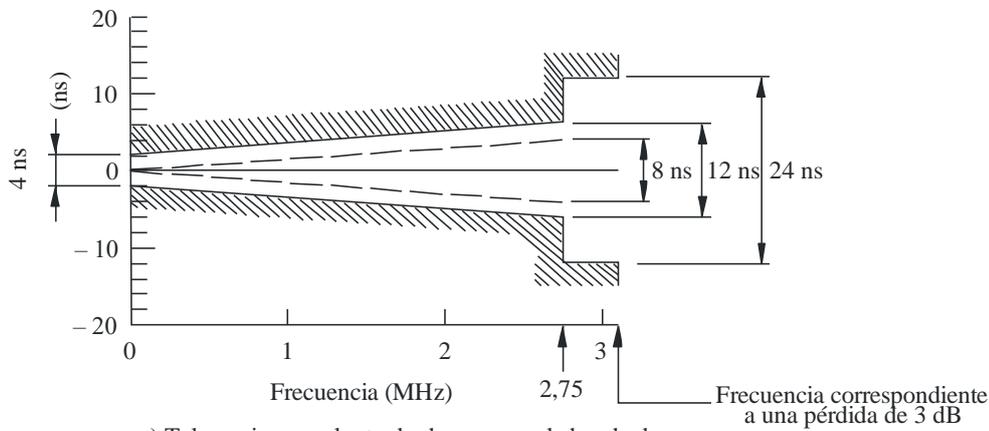
Plantilla del filtro para la señal de diferencia de color 4:2:2



a) Máscara de la característica de pérdida de inserción en función de la frecuencia



b) Tolerancia para el rizado en la banda de paso

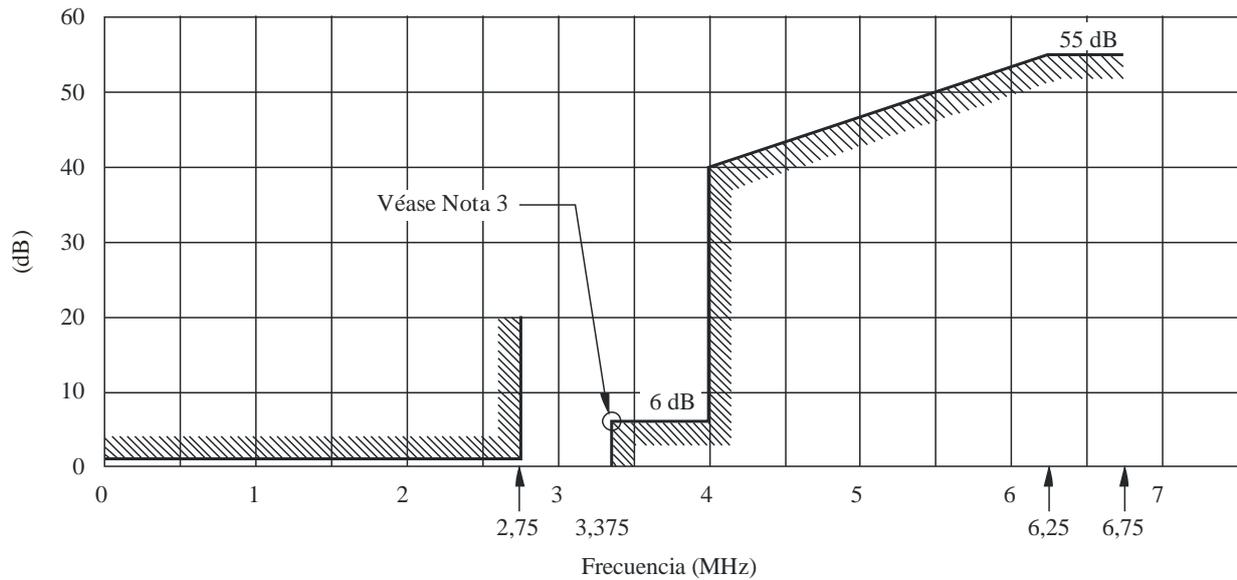


c) Tolerancia para el retardo de grupo en la banda de paso

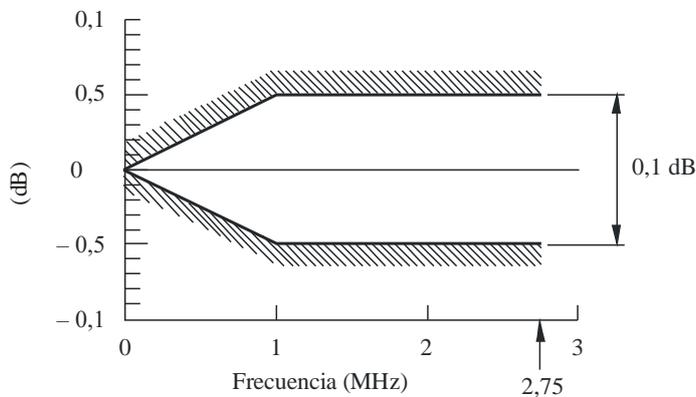
Nota 1 – Los valores más bajos de la escala de ordenadas en b) y c) corresponden a 1 kHz (en vez de 0 MHz).

FIGURA 5

Plantilla del filtro digital para la conversión de frecuencia de muestreo de señales de diferencia de color de relación 4:4:4: a señales de relación 4.2:2



a) Máscara de característica de pérdida de inserción en función de la frecuencia



b) Tolerancia para el rizado en la banda de paso

Notas relativas a las Figs. 3, 4 y 5:

*Nota 1* – El rizado y el retardo de grupo se especifican respecto de sus valores a 1 kHz. Las líneas continuas representan los límites prácticos y las líneas de trazo discontinuo indican los límites sugeridos para el diseño teórico.

*Nota 2* – En el filtro digital, los límites prácticos y de diseño son los mismos. La distorsión de retardo es cero, por diseño.

*Nota 3* – En el filtro digital (Fig. 5), la característica de amplitud en función de la frecuencia (en escalas lineales) debe ser asimétrica respecto del punto de amplitud mitad, como se indica en la Figura.

*Nota 4* – En las propuestas para los filtros utilizados en los procesos de codificación y decodificación, se ha supuesto que se introduce la corrección de la característica ( $\text{sen } x/x$ ) del circuito de muestreo y retención en los filtros que van a continuación de la conversión digital-analógica.

## Anexo 2

### Obtención de los coeficientes enteros de las ecuaciones de la luminancia y la diferencia de color para el sistema de gama de color convencional

Los sistemas digitales pueden introducir errores de cálculo en las señales de luminancia y de diferencia de color debido al número finito de bits de los coeficientes de la ecuación. Además, las señales de luminancia y de diferencia de color pueden adoptar valores ligeramente distintos, dependiendo de la secuencia de procesamiento de la señal, es decir, de la discrepancia entre las señales cuantificadas después del proceso matricial analógico y las señales con proceso matricial digital después de la cuantificación de las señales RGB. Para minimizar dichos errores y las discrepancias existentes, deben optimizarse los coeficientes enteros de las ecuaciones digitales. A continuación se indica el procedimiento de optimización y los coeficientes enteros resultantes para diversas longitudes binarias.

#### 1 Ecuaciones digitales

En lo que sigue,  $m$  y  $n$  indican las longitudes binarias de los coeficientes enteros y de las señales digitales, respectivamente.

A continuación se indica la ecuación digital de la luminancia para el sistema de gama de color convencional:

$$D'_Y = \text{INT} [0,299 D'_R + 0,587 D'_G + 0,114 D'_B] \quad (1)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (2)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right] \quad (3)$$

siendo  $r'$  y  $k'$  los valores reales de los coeficientes y de los coeficientes enteros, respectivamente, indicados a continuación:

$$r'_{Y1} = 0,299 \times 2^m \quad k'_{Y1} = \text{INT} [r'_{Y1}]$$

$$r'_{Y2} = 0,587 \times 2^m \quad k'_{Y2} = \text{INT} [r'_{Y2}]$$

$$r'_{Y3} = 0,114 \times 2^m \quad k'_{Y3} = \text{INT} [r'_{Y3}]$$

A continuación se describen las ecuaciones digitales de la diferencia de color para el sistema de gama de color convencional:

$$D'_{CB} = \text{INT} \left[ \frac{-0,299 D'_R - 0,587 D'_G + 0,886 D'_B}{1,772} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (4)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (5)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (6)$$

$$D'_{CR} = \text{INT} \left[ \frac{0,701 D'_R - 0,587 D'_G - 0,114 D'_B}{1,402} \times \frac{224}{219} + 2^{n-1} \right] \quad (7)$$

$$= \text{INT} \left[ \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (8)$$

$$\approx \text{INT} \left[ \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right] \quad (9)$$

siendo:

$$r'_{CB1} = -\frac{0,299}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB1} = \text{INT} [r'_{CB1}]$$

$$r'_{CB2} = -\frac{0,587}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB2} = \text{INT} [r'_{CB2}]$$

$$r'_{CB3} = \frac{0,886}{1,772} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CB3} = \text{INT} [r'_{CB3}]$$

$$r'_{CR1} = \frac{0,701}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR1} = \text{INT} [r'_{CR1}]$$

$$r'_{CR2} = -\frac{0,587}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR2} = \text{INT} [r'_{CR2}]$$

$$r'_{CR3} = -\frac{0,114}{1,402} \times \frac{224}{219} \times 2^m \quad k'_{CR3} = \text{INT} [r'_{CR3}]$$

## 2 Procedimiento de optimización

La ecuación (3) muestra la expresión matricial digital de la señal de luminancia que incluye los errores de cálculo debidos a la longitud binaria finita de los coeficientes enteros. Cuando aumenta la longitud binaria de los coeficientes, el argumento (el valor entre [ ]) de la ecuación (3) se aproxima al de la ecuación (2), lo que se traduce en una reducción de los errores o las discrepancias entre ecuaciones. Por tanto, la diferencia entre los argumentos de las ecuaciones (2) y (3) puede considerarse como una medida de la optimización de los coeficientes enteros. Como la diferencia de los argumentos depende de las señales RGB de entrada, la optimización de «error mínimo cuadrático» se define como aquella en que los coeficientes enteros se ajustan de forma que la suma de las diferencias cuadráticas de todas las entradas adquiere el valor mínimo, es decir, la que minimiza el valor de la ecuación (10).

$$\varepsilon'_Y = \sum_{\text{para todos los RGB}} \left\{ \left( \frac{k'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) - \left( \frac{r'_{Y1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{Y2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{Y3}}{2^m} D'_B \right) \right\}^2 \quad (10)$$

Además de dar el error cuadrático mínimo, esta optimización de mínimos cuadrados minimiza automáticamente el error máximo que se produce en un color de entrada particular (combinación particular de señales RGB de entrada) así como la discrepancia entre las diferentes secuencias de procesamiento de la señal (formación matricial analógica y matricial digital).

El procedimiento de optimización es el siguiente:

*Paso 1:* Se toma como valor inicial de cada coeficiente entero  $r'_{ij}$  ( $j = 1, 2, 3$ ) el entero más próximo al valor real del coeficiente  $k'_{ij}$ ;

*Paso 2:* Con los coeficientes enteros iniciales se calculan los errores cuadráticos o suma de diferencias cuadráticas (ecuación (10)) con la gama de señales RGB de entrada, por ejemplo, de 16 a 235 para un sistema de 8 bits (en el § 3 se describe un método sencillo de cálculo sin utilizar el sumatorio);

*Paso 3:* Se examinan los errores cuadráticos al aumentar/disminuir en uno cada coeficiente entero. Es preciso evaluar el total de 27 ( $=3^3$ ) combinaciones, porque cada coeficiente puede adoptar tres valores, es decir, el valor aumentado, el disminuido y el idéntico al valor inicial.

*Paso 4:* Se selecciona la combinación de coeficientes que da el error cuadrático mínimo. Esta combinación es la resultante optimizada.

Se aplica el mismo procedimiento a las ecuaciones de diferencia de color, utilizando las fórmulas (11) y (12).

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CB} = & \sum_{\text{para todos los RGB}} \left\{ \left( \frac{k'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CB1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CB2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CB3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{CR} = & \sum_{\text{para todos los RGB}} \left\{ \left( \frac{k'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{k'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{k'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right. \\ & \left. - \left( \frac{r'_{CR1}}{2^m} D'_R + \frac{r'_{CR2}}{2^m} D'_G + \frac{r'_{CR3}}{2^m} D'_B + 2^{n-1} \right) \right\}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

### 3 Método de cálculo simple para la suma de las diferencias cuadráticas

Expresando la diferencia entre los coeficientes enteros y reales como  $\delta_{ij} = k'_{ij} - r'_{ij}$ , y las señales RGB digitales como  $X_j$ , la suma de las diferencias cuadráticas de las ecuaciones (10)-(12) puede escribirse de la siguiente manera:

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H (\delta_{i1}X_1 + \delta_{i2}X_2 + \delta_{i3}X_3)^2 \quad (13)$$

en la que  $L$  y  $H$  indican los límites inferior y superior de la gama de señales de entrada, respectivamente, para la que hay que optimizar los coeficientes enteros.

Como  $L$  y  $H$  son constantes en el sistema digital considerado, los sumatorios de  $X_j$  son también constantes. La ecuación (13) puede expresarse en función únicamente de  $\delta_{ij}$ .

$$\varepsilon'_i = \frac{1}{2^m} \left\{ N_1 (\delta_{i1}^2 + \delta_{i2}^2 + \delta_{i3}^2) + 2N_2 (\delta_{i1}\delta_{i2} + \delta_{i2}\delta_{i3} + \delta_{i3}\delta_{i1}) \right\} \quad (14)$$

siendo:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H X_1^2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H X_1^2 \right) \\
 &= (H-L+1)^2 \{H(H+1)(2H+1)/6 - (L-1)L(2L-1)/6\} \\
 N_2 &= \sum_{X_3=L}^H \left( \sum_{X_1=L}^H \sum_{X_2=L}^H X_1 X_2 \right) = \sum_{X_1=L}^H \left( \sum_{X_2=L}^H \sum_{X_3=L}^H X_2 X_3 \right) = \sum_{X_2=L}^H \left( \sum_{X_3=L}^H \sum_{X_1=L}^H X_3 X_1 \right) \\
 &= (H-L+1) \{H(H+1)/2 - (L-1)L/2\}^2
 \end{aligned}$$

Así pues, el cálculo de los errores cuadráticos de las ecuaciones (10)-(12) puede efectuarse sencillamente mediante la ecuación (14).

---