

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R BT.2100-2
(07/2018)

Valores de los parámetros de imagen de los sistemas de televisión de elevada gama dinámica para la producción y el intercambio internacional de programas

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 el Anexo 1 a 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
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	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, 2018

© UIT 2018

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.2100-2*

**Valores de los parámetros de imagen de los sistemas de televisión
de elevada gama dinámica para la producción y el intercambio
internacional de programas¹**

Cuestión UIT-R 142-2/6

(2016-2017-2018)

ÍNDICE

Página

Anexo 1 (informativo) – Relación entre la OETF, la EOTF y la OOTF	12
Anexo 2 (informativo) – Representación paramétrica de las funciones de transferencia electroópticas y optoelectrónicas.....	15

Cometido

La televisión de elevada gama dinámica (HDR-TV) ofrece a los espectadores una experiencia visual mejorada proporcionando imágenes generadas para que se vean correctamente en pantallas con más brillo, lo que aporta realces mucho más brillantes y mayor detalle en las zonas oscuras. La presente Recomendación especifica los parámetros de imagen HDR-TV para su uso en producción e intercambio internacional de programas mediante los métodos de cuantización perceptiva (PQ) e híbrido Log-Gamma (HLG).

Palabras clave

Amplia gama de colores, cuantización perceptiva, elevada gama dinámica, HDR, HDR-TV, híbrido log gamma, HLG, intercambio internacional de programas, parámetros de los sistemas de imagen, PQ, producción de televisión, televisión

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los formatos de imagen de televisión digital para la televisión de alta definición (TVAD) y televisión de ultraalta definición (TVUAD) se especifican en las Recomendaciones UIT-R BT.709 y BT.2020;
- b) que estos formatos de imagen de televisión están limitados por la gama dinámica de imagen que pueden proporcionar debido a su dependencia de las características de los tubos de rayos catódicos (CRT) tradicionales que limitan el brillo de la imagen y los detalles en las zonas oscuras;
- c) que las pantallas de televisión modernas son capaces de reproducir imágenes a mayores luminancias y mayor relación de contraste y una gama de colores más amplia que los utilizados en la producción de programas convencional;

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones introdujo algunas modificaciones redaccionales en esta Recomendación en 2018, 2019, 2020 y 2023 de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

¹ Los valores revisados de los parámetros que figuran en este Documento han de compararse con los incluidos en la anterior versión publicada de esta Recomendación.

- d) que los espectadores esperan que los futuros sistemas de televisión ofrezcan características mejores que los actuales sistemas TVAD y TVUAD en términos de sensación más realista, mayor transparencia en el mundo real e información visual más precisa;
- e) que se ha informado que la HDR-TV mejora la experiencia visual del telespectador de imágenes de televisión;
- f) que la HDR-TV proporciona una mejora «notable» de la experiencia del observador al aumentar sustancialmente el brillo y los detalles en los relieves y en objetos reflectantes difusos, aportando además un mayor detalle en las zonas oscuras;
- g) que la combinación de una gama dinámica y de una gama de color ampliadas dota a la HDR TV con una amplitud de color notablemente mayor;
- h) que los formatos de imagen de HDR-TV deben tener, según proceda, cierta compatibilidad con los flujos de trabajo e infraestructuras existentes;
- i) que es preciso definir un entorno de observación de referencia de los formatos de imagen de la HDR-TV que incluya los parámetros de las pantallas,

considerando además

que, debido al rápido desarrollo de las tecnologías de elevada gama dinámica, la UIT puede desear en breve tomar en consideración actualizaciones y mejoras de la presente Recomendación,

reconociendo

que el Informe UIT-R BT.2390 incluye mucha información sobre los dos métodos para conseguir una televisión de elevada gama dinámica,

recomienda

que, para la producción y el intercambio internacional de programas de la HDR-TV, se utilicen las especificaciones de cuantización perceptiva (PQ) e híbrida Log-Gamma (HLG) de la presente Recomendación.

NOTA – La especificación de cuantización perceptiva (Perceptual Quantization (PQ)) obtiene una gama muy amplia de niveles de brillo para una profundidad de bit determinada utilizando una función de transferencia no lineal con ajuste fino para adaptarse a la visión humana. La especificación híbrida Log-Gamma (HLG) ofrece cierto grado de compatibilidad con las pantallas tradicionales al ajustarse más estrechamente a las curvas de transferencia de televisión establecidas anteriormente. En el Informe UIT-R BT.2390 puede encontrarse información adicional sobre la PQ y la HLG, la conversión entre ellas y la compatibilidad con sistemas anteriores.

CUADRO 1

Características espaciales y temporales de la imagen

Parámetro	Valores
Forma del contenedor ^{1a} de imagen	16:9
Cómputo ^{1b} de píxeles del contenedor Horizontal × vertical	7 680 × 4 320 3 840 × 2 160 1 920 × 1 080
Muestreo reticular	Ortogonal
Formato de imagen de píxel	1:1 (píxeles cuadrados)
Orden de píxeles	Los píxeles se ordenan de izquierda a derecha en cada fila y las filas se ordenan de arriba a abajo
Frecuencia de trama (Hz)	120, 120/1,001, 100, 60, 60/1,001, 50, 30, 30/1,001, 25, 24, 24/1,001
Formato de imagen	Progresiva

Nota 1a – El contenedor se utiliza para definir las restricciones horizontales y verticales del formato de imagen.

Nota 1b – Para la producción se debe utilizar el formato de imagen de mayor resolución disponible. Se reconoce que en muchos casos la producción de alta resolución estará inframuestreada a formatos de menor resolución para su distribución. Es bien sabido que efectuar la producción en un formato de mayor resolución para luego hacer electrónicamente un muestreo de menor resolución para su distribución da lugar a una calidad superior que producir con la misma resolución que la utilizada para la distribución.

CUADRO 2

Colorimetría del sistema

Parámetro		Valores		
		Espectro óptico (para información)	Coordenadas de cromaticidad (CIE, 1931)	
			<i>x</i>	<i>y</i>
Colores primarios	Rojo primario (R)	Monocromático 630 nm	0,708	0,292
	Verde primario (G)	Monocromático 532 nm	0,170	0,797
	Azul primario (B)	Monocromático 467 nm	0,131	0,046
Blanco de referencia		D65 según ISO 11664 2:2007	0,3127	0,3290
Funciones de armonización del color		CIE 1931		

El Cuadro 3 especifica los parámetros para establecer un entorno de visualización de referencia para la observación crítica de parte de programas o de programas completos de HDR que pueden proporcionar resultados repetibles de una instalación a otra cuando se observa el mismo material. Las instalaciones de visualización pueden ser y continuarán siendo establecidas de muchas formas por entidades implicadas en la edición, la corrección del color, las pruebas, etc., y las especificaciones que figuran en este Cuadro no tiene por objeto sugerir la necesidad de establecer una uniformidad absoluta en dichas instalaciones.

CUADRO 3

Entorno de visualización de referencia para la observación crítica de programas de HDR

Parámetro	Valores
Entorno y periferia ^{3a}	Gris neutro de D65
Luminancia del entorno	5 cd/m ²
Luminancia de la periferia	≤ 5 cd/m ²
Iluminación ambiente	Evitar que la luz incida en la pantalla
Distancia de observación ^{3b}	Para el formato 1 920 × 1 080: 3,2 alturas de imagen Para el formato 3 840 × 2 160: de 1,6 a 3,2 alturas de imagen Para el formato 7 680 × 4 320: de 0,8 a 3,2 alturas de imagen
Luminancia de cresta en la pantalla ^{3c}	≥ 1 000 cd/m ²
Luminancia mínima de la pantalla (nivel de negro) ^{3d}	≤ 0,005 cd/m ²

Nota 3a – El «entorno» es la zona que rodea el dispositivo de visualización y que puede afectar a la adaptación del ojo, normalmente una pared o una cortina. Por «periferia» se entiende el resto del entorno físico.

Nota 3b – Cuando la evaluación de la imagen se refiere a la resolución, se utilizará el valor menor de la distancia de observación. Cuando no se evalúe la resolución se puede utilizar cualquier distancia de observación de la gama indicada.

Nota 3c – No implica que haya que conseguir este nivel de luminancia en toda la pantalla en blanco sino más bien en pequeñas zonas destacadas.

Nota 3d – Para la PQ en un entorno de observación que no sea de referencia, o para HLG (en cualquier entorno de observación) el nivel de negro debería fijarse mediante la señal de prueba «PLUGE» y el procedimiento especificado en la Recomendación UIT-R BT.814.

Los Cuadros 4 y 5 describen las funciones de transferencia para los formatos PQ y HLG, respectivamente. La producción y presentación de televisión de elevada gama dinámica debe ser coherente en el uso de las funciones de transferencia de un sistema a otro para no mezclarlos. El Anexo 2 proporciona información sobre ecuaciones alternativas que podrían facilitar la implementación de esas funciones de transferencia.

CUADRO 4

Funciones de transferencia de referencia no lineales para el sistema PQ

Parámetro	Valores
Señal de entrada para la función de transferencia electroóptica de PQ (EOTF)	Valor codificado de PQ no lineal. La EOTF establece la correspondencia entre la señal PQ no lineal y la luz de la pantalla.
EOTF ^{4a} de PQ de referencia	$F_D = \text{EOTF}[E'] = 10000 Y$ $Y = \left(\frac{\max\left[E'^{1/m_2} - c_1, 0\right]}{c_2 - c_3 E'^{1/m_2}} \right)^{1/m_1}$ <p>donde:</p> <p>E' indica un valor de color no lineal $\{R', G', B'\}$ o $\{L', M', S'\}$ en el espacio PQ en la gama [0:1]</p> <p>F_D es la luminancia de un componente lineal presentado $\{R_D, G_D, B_D\}$ o Y_D o I_D, en cd/m^2.^{4b}</p> <p>Y indica el valor lineal normalizado de color, en la gama [0:1]</p> <p>$m_1 = 2\ 610/16\ 384 = 0,1593017578125$</p> <p>$m_2 = 2\ 523/4\ 096 \times 128 = 78,84375$</p> <p>$c_1 = 3\ 424/4\ 096 = 0,8359375 = c_3 - c_2 + 1$</p> <p>$c_2 = 2\ 413/4\ 096 \times 32 = 18,8515625$</p> <p>$c_3 = 2\ 392/4\ 096 \times 32 = 18,6875.$</p>
Señal de entrada a la función de transferencia de PQ optoóptica (OOTF)	Luz lineal de la escena. La OOTF establece la correspondencia entre la luz lineal relativa de la escena y la luz lineal de la pantalla.
OOTF de PQ de referencia	$F_D = \text{OOTF}[E] = G_{1886} [G_{709}[E]]$ <p>donde:</p> <p>$E = \{R_S, G_S, B_S, Y_S, \text{ o } I_S\}$ es la señal determinada por la luz de la escena, extrapolada por la exposición de la cámara</p> <p>Los valores de $E, R_S, G_S, B_S, Y_S, I_S$ están en la gama [0:1]^{4c}</p> <p>E' es una representación no lineal de E</p> <p>F_D es la luminancia de un componente lineal presentado ($R_D, G_D, B_D; Y_D; \text{ o } I_D$)</p> $F_D = G_{1886} [G_{709}[E]] = G_{1886} E'$ $E' = G_{709} [E] = 1,099 (59,5208 E)^{0,45} - 0,099 \text{ para } 1 \geq E > 0,0003024$ $= 267,84 E \text{ para } 0,0003024 \geq E \geq 0$ $F_D = G_{1886} [E'] = 100 E'^{2,4}.$
Señal de entrada a la función de transferencia optoelectrónica de PQ (OETF)	Luz lineal de la escena. La OETF establece la correspondencia entre la luz lineal relativa de la escena y el valor de la señal de PQ no lineal.

CUADRO 4 (fin)

Parámetro	Valores
OETF de PQ de referencia El uso de esta OETF representará a la OOTF de referencia cuando se presente en un monitor que utilice la EOTF de referencia	$E' = \text{OETF}[E] = \text{EOTF}^{-1}[\text{OOTF}[E]] = \text{EOTF}^{-1}[F_D]$ <p>donde:</p> $\text{EOTF}^{-1}[F_D] = \left(\frac{c_1 + c_2 Y^{m_1}}{1 + c_3 Y^{m_1}} \right)^{m_2}$ $Y = F_D / 10000$ <p>E' es la señal no lineal resultante (R', G', B') en la gama [0:1] F_D, E, son los valores especificados en la función de transferencia optoóptica m_1, m_2, c_1, c_2, c_3 son los valores especificados en la función de transferencia electroóptica.</p>

Nota 4a – Cuando sea necesario hacer la conversión entre la representación no lineal y las representaciones lineales debe utilizarse esta misma no linealidad (y su inversa).

Nota 4b – En la presente Recomendación, hacer referencia a la luminancia de un único componente de color (R_D, G_D, B_D) implica la luminancia de una señal acromática equivalente en la que los tres componentes de color tienen el mismo valor.

Nota 4c – La correspondencia entre la salida de la señal del sensor de la cámara y E puede elegirse para que el brillo de la escena sea el deseado.

CUADRO 5

**Función de transferencia no lineal de referencia
del sistema híbrido Log-Gamma (HLG)**

Parámetro	Valores
Señal de entrada a la OETF HLG	Luz lineal de la escena. La OETF establece la correlación entre la luz lineal relativa de la escena y el valor de la señal no lineal.
OETF ^{5a} HLG de referencia	$E' = \text{OETF}[E] = \begin{cases} \sqrt{3E} & 0 \leq E \leq 1/2 \\ a \cdot \ln(12E - b) + c & 1/2 < E \leq 1 \end{cases}$ <p>donde: E es una señal para cada componente de color $\{R_s, G_s, B_s\}$ relativa a la luz lineal de la escena normalizada en la gama [0:1]^{5b} E' es la señal no lineal resultante $\{R', G', B'\}$ en la gama [0:1] $a = 0,17883277, b = 1 - 4a, c = 0,5 - a \cdot \ln(4a)$.^{5c}</p>
Señal HLG de entrada a la OOTF	Luz lineal de la escena. La OOTF establece la correspondencia entre la luz lineal relativa de la escena y la luz lineal de la pantalla.

CUADRO 5 (fin)

Parámetro	Valores
OOTF HLG de referencia ⁵ⁱ	$F_D = \text{OOTF}[E] = \alpha Y_S^{\gamma-1} E$ $R_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} R_S$ $G_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} G_S$ $B_D = \alpha Y_S^{\gamma-1} B_S$ $Y_S = 0,2627R_S + 0,6780G_S + 0,0593B_S$ <p>donde:</p> <p>F_D es la luminancia de un componente lineal presentado $\{R_D, G_D \text{ o } B_D\}$,^{5d} expresada en cd/m^2</p> <p>E es una señal para cada componente de color $\{R_S, G_S, B_S\}$ proporcional a la luz lineal de la escena normalizada para la gama [0:1]</p> <p>Y_S es la luminancia de la escena lineal normalizada</p> <p>α es la variable para la ganancia del usuario en cd/m^2. Representa a L_W, la luminancia de cresta nominal de una pantalla para píxeles acromáticos</p> <p>γ la gamma del sistema. $\gamma = 1,2$ para una luminancia de cresta nominal en pantalla de $1\,000\text{ cd/m}^2$.^{5e, 5f, 5g}</p>
Señal de entrada a la EOTF HLG	<p>Valor codificado de la HLG no lineal.</p> <p>La EOTF establece la correlación entre la señal no lineal HLG y la luz de la pantalla.</p>
OOTF de referencia de HLG	$F_D = \text{EOTF}[\text{máx}(0, (1-\beta)E' + \beta)]$ $= \text{OOTF}[\text{OETF}^{-1}[\text{máx}(0, (1-\beta)E' + \beta)]]$ <p>donde:</p> <p>F_D es la luminancia de un componente lineal presentado $\{R_D, G_D, \text{ o } B_D\}$, en cd/m^2</p> <p>E' es la señal no lineal $\{R', G', B'\}$ definida para la OETF^{5h}</p> <p>β es la variable para elevar el nivel de negro de usuario</p> <p>OETF[] es el definido para la OOTF HLG de referencia</p> $\text{OETF}^{-1}[x] = \begin{cases} x^2/3 & 0 \leq x \leq 1/2 \\ \{\exp((x-c)/a) + b\}/12 & 1/2 < x \leq 1 \end{cases}$ <p>Los valores de los parámetros a, b y c son los definidos para la OETF HLG de referencia</p> <p>y:</p> $\beta = \sqrt{3(L_B / L_W)^{1/\gamma}}$ <p>L_W es la luminancia de cresta nominal de la pantalla en cd/m^2 para los píxeles acromáticos</p> <p>L_B es la luminancia de la pantalla para el negro en cd/m^2.</p>

Notas relativas al Cuadro 5:

Nota 5a – Se debe utilizar la inversa de esta no linealidad cuando sea preciso realizar la conversión entre la representación no lineal y la representación lineal de la luz de la escena.

Nota 5b – La correspondencia entre la salida de la señal del sensor de la cámara y E puede elegirse para que el brillo de la escena sea el desado.

Nota 5c – Los valores calculados de b y c son $b = 0,28466892$, $c = 0,55991073$.

Nota 5d – Cuando en esta Recomendación se hace referencia a la luminancia de un componente monocromático (R_D , G_D , B_D), se entiende la luminancia de una señal acromática equivalente donde los tres componentes cromáticos tienen el mismo valor.

Nota 5e – Esta EOTF aplica gamma al componente de luminancia de la señal, aunque algunas pantallas clásicas pueden aplicar gamma independientemente de los componentes de color. Este tipo de pantallas hacen una aproximación de esta OOTF de referencia.

Nota 5f – Para pantallas con luminancias de cresta nominales (L_W) superiores a 1 000 cd/m², o cuando se reduce la luminancia de cresta nominal efectiva mediante el uso del control de contraste, el valor gamma del sistema se debe ajustar de conformidad con la fórmula siguiente², que se puede redondear a los tres dígitos significativos:

$$\gamma = 1,2 + 0,42 \text{Log}_{10}(L_W/1\,000)$$

Nota 5g – El valor gamma del sistema se puede reducir cuando existen fondos y entornos más brillantes.

Nota 5h – Durante la fase de producción, es probable que los valores de la señal superen la gama de $E' = [0,0 : 1,0]$, lo que proporciona cierto margen y evita la degradación de la señal durante el procesamiento en cascada. Estos valores de E' , por debajo de 0,0 o superiores a 1,0, no deben limitarse durante la producción y el intercambio. No se limitarán los valores por debajo de 0,0 en las pantallas de referencia (aunque representen luz «negativa») para permitir fijar adecuadamente el nivel de negro de la señal (L_B) mediante las señales de prueba denominadas «PLUGE».

Nota 5i – La inversa de la OOTF de HLG se deriva de la siguiente manera:

$$R_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{R_D}{\alpha}$$

$$G_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{G_D}{\alpha}$$

$$B_s = \left(\frac{Y_D}{\alpha}\right)^{(1-\gamma)/\gamma} \frac{B_D}{\alpha}$$

$$Y_D = 0,2627R_D + 0,6780G_D + 0,0593B_D$$

A efectos de procesamiento cuando la pantalla real no se conoce, α puede ponerse a 1,0 cd/m².

² Para aplicaciones en las que L_W no está en la gama de 400 cd/m² a 2 000 cd/m² puede utilizarse la fórmula siguiente: $\gamma = 1,2 * \kappa^{\text{Log}_2(L_W/1\,000)}$ donde $\kappa = 1,111$.

Los Cuadros 6 y 7 describen diferentes representaciones de la luminancia y de la señal diferencia de color, adecuadas para el submuestreo del color, y/o de la codificación de fuente. Habitualmente se utiliza el formato de luminancia no constante (NCL) que se considera por defecto. El formato de intensidad constante (CI) se ha introducido recientemente en la presente Recomendación y no debería utilizarse para el intercambio de programas a menos que todas las partes así lo acuerden.

CUADRO 6

Formato de señal de luminancia no constante $Y'C'_B C'_R$ ^{6a}

Parámetro	Valores de PQ	Valores de HLG
Derivación de R', G', B'	$\{R', G', B'\} = EOTF^{-1}(F_D)$ donde: $F_D = \{R_D, G_D, B_D\}$	$\{R', G', B'\} = OETF(E)$ donde: $E = \{R_S, G_S, B_S\}$
Derivación de Y'	$Y' = 0,2627R' + 0,6780G' + 0,0593B'$	
Derivación de las señales diferencia de color	$C'_B = \frac{B' - Y'}{1,8814}$ $C'_R = \frac{R' - Y'}{1,4746}$	

Nota 6a – Por coherencia con el uso previo de la terminología, Y', C'_B y C'_R emplean apóstrofes que indican que provienen de Y, B y R no lineales.

CUADRO 7

Formato de señal de intensidad constante $IC_T C_P$ ^{7a, 7b}

Parámetro	Valores de PQ	Valores de HLG
Espacio de color de L, M, S	$L = (1688R + 2146G + 262B)/4096$ $M = (683R + 2951G + 462B)/4096$ $S = (99R + 309G + 3688B)/4096$	
Derivación de L', M', S' ^{7c}	$\{L', M', S'\} = EOTF^{-1}(F_D)$ donde: $F_D = \{L_D, M_D, S_D\}$	$\{L', M', S'\} = OETF(E)$ donde: $E = \{L_S, M_S, S_S\}$
Derivación de I	$I = 0,5L' + 0,5M'$	
Derivación de las señales diferencia de color	$C_T = (6610L' - 13613M' + 7003S')/4096$ $C_P = (17933L' - 17390M' + 543S')/4096$	$C_T = (3625L' - 7465M' + 3840S')/4096$ $C_P = (9500L' - 9212M' - 288S')/4096$

Nota 7a – Los símbolos I, C_T y C_P recientemente introducidos no emplean apóstrofes para simplificar la notación.

Nota 7b – Los colores se deben limitar al triangulo definido por los colores primarios RGB del Cuadro 2.

Nota 7c – Los subíndices D y S se refieren a la luz de la pantalla y de la escena, respectivamente.

CUADRO 8

Submuestreo de colores

Parámetro	Valores		
Señal codificada	R', G', B' o Y', C'_B, C'_R , o I, C_T, C_P		
Muestreo reticular – R', G', B', Y', I	Ortogonal con repetición por línea y por imagen en la misma posición		
Muestreo reticular – C'_B, C'_R, C_T, C_P	Ortogonal con repetición por línea y por imagen en la misma posición respectiva. La primera (arriba a la izquierda) muestra está en la misma posición que las primeras muestras Y' o I		
	Sistema 4:4:4	Sistema 4:2:2	Sistema 4:2:0
	Cada una tiene el mismo número de muestras horizontales que el componente Y' o I	Submuestreo horizontal por factor dos con respecto al componente Y' o I	Submuestreo horizontal y vertical por factor dos con respecto al componente Y' o I

El Cuadro 9 describe dos representaciones de señal diferentes, «reducida» y «completa». Habitualmente se utiliza la representación de gama reducida que se considera por defecto. La representación de gama completa se ha introducido recientemente en la presente Recomendación y no debe utilizarse para el intercambio de programas a menos que todas las partes así lo acuerden.

CUADRO 9

Representación digital de números enteros de 10 y 12 bits

Parámetro	Valores			
Señal codificada	R', G', B' o Y', C'_B, C'_R , o I, C_T, C_P			
Formato de codificación	$n = 10, 12$ bits por componente			
Cuantización de R', G', B', Y', I (los valores resultantes que rebasen la gama de datos de vídeo deben limitarse a la gama de datos de vídeo)	Gama reducida		Gama completa	
	$D = \text{Round} [(219 \times E' + 16) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E']$	
Cuantización de C'_B, C'_R, C_T, C_P (los valores resultantes que rebasen la gama de datos de vídeo deben limitarse a la gama de datos de vídeo)	$D = \text{Round} [(224 \times E' + 128) \times 2^{n-8}]$		$D = \text{Round} [(2^n - 1) \times E' + 2^{n-1}]$	
Niveles de cuantización	Codificación de 10 bits	Codificación de 12 bits	Codificación de 10 bits	Codificación de 12 bits
Negro ($R' = G' = B' = Y' = I = 0$) DR', DG', DB', DY', DI	64	256	0	0
Cresta nominal ($R' = G' = B' = Y' = I = 1$) DR', DG', DB', DY', DI	940	3 760	1 023	4 095

CUADRO 9 (fin)

Parámetro	Valores			
Acromático ($C'_B = C'_R = 0$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	512	2 048	512	2 048
Cresta nominal ($C'_B = C'_R = +0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	960	3 840	1 023	4 095
Cresta nominal ($C'_B = C'_R = -0,5$) DC'_B, DC'_R, DC_T, DC_P	64	256	1	1
Gama de datos de vídeo ^{9a, 9b}	4 a 1 019	16 a 4 079	0 a 1 023	0 a 4 095

Donde:

$$\text{Round}(x) = \text{Sign}(x) * \text{Floor}(|x| + 0,5)$$

Floor(x) = el mayor entero igual o inferior a x

$$\text{Sign } x) = \begin{cases} 1 & ; x > 0 \\ 0 & ; x = 0 \\ -1 & ; x < 0 \end{cases}$$

Nota 9a – Las señales de gama estrecha se pueden ampliar por debajo del negro (subnegros) y pueden superar los valores de cresta nominales (superblancos) pero no deben exceder la gama de datos de vídeo.

Nota 9b – Algunas interfaces de imagen digitales reservan valores digitales, por ejemplo, para la información de temporización, de manera que la gama de vídeo permitida de esas interfaces es más estrecha que la gama de vídeo de la señal de gama completa. La adaptación de las imágenes de gama completa a estas interfaces dependerá de la aplicación.

El Cuadro 10 introduce una representación de señal de punto flotante de 16 bits. Actualmente, no existen interfaces en tiempo real para este formato. Está previsto el uso inicial de este formato en intercambio de datos y flujos de trabajo basados en ficheros.

CUADRO 10

Representación de señales de punto flotante (FP)

Parámetro	Valores
Representación de la señal	R, G, B lineal
Codificación de la señal	Punto flotante de 16 bits según la norma IEEE 754-2008
Normalización para señales con respecto a la pantalla	$R = G = B = 1,0$ supone $1,0 \text{ cd/m}^2$ en la pantalla de referencia
Normalización para señales con respecto a la escena	$R = G = B = 1,0$ representa el nivel máximo de blanco difuso

Anexo 1 (informativo)

Relación entre la OETF, la EOTF y la OOTF

La presente Recomendación utiliza de manera generalizada los términos siguientes:

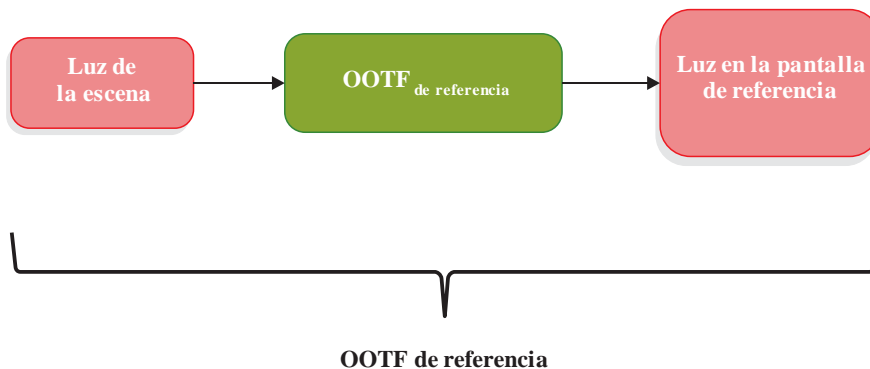
OETF: Función de transferencia optoelectrónica, que transforma la luz lineal de la escena en la señal de vídeo, normalmente en el interior de una cámara.

EOTF: Función de transferencia electroóptica, que transforma la señal de vídeo en la luz lineal de la pantalla.

OOTF: Función de transferencia optoóptica que cumple el cometido de aplicar las «opciones de reproducción».

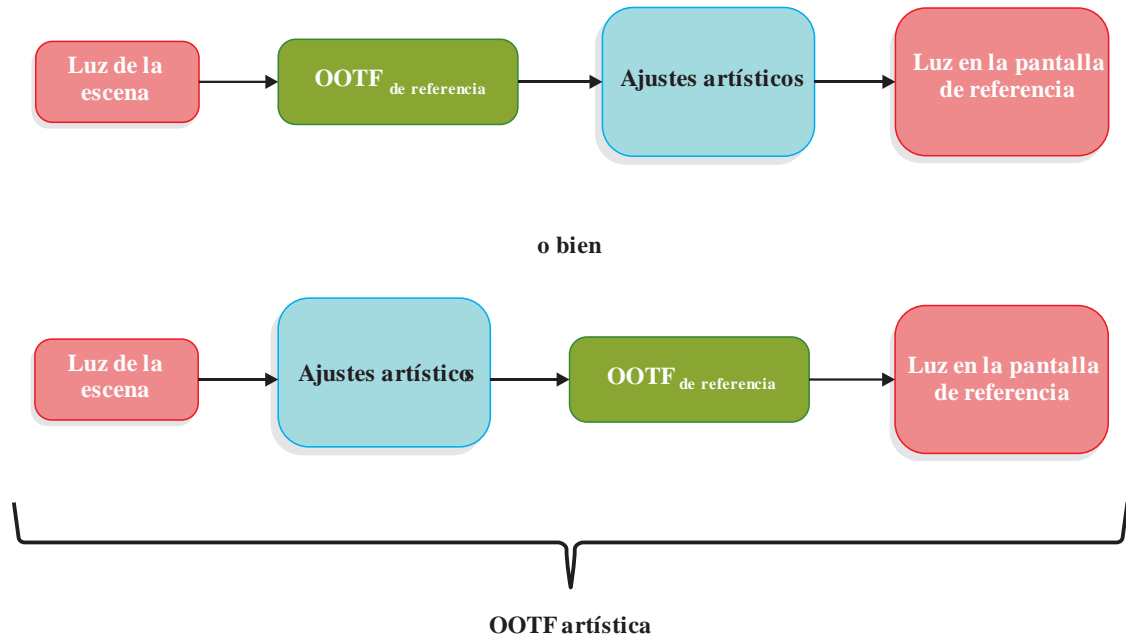
Estas funciones están relacionadas, por lo que solo dos de las tres son independientes. Se puede calcular una de ellas a partir de las otras dos. Esta sección explica cómo surgieron en los sistemas de televisión y cómo están relacionadas.

En los sistemas de televisión, la luz que se muestra no tiene una relación lineal con la luz capturada por la cámara. Para ello se aplica una no linealidad global, la OOTF. La OOTF de «referencia» compensa la diferencia en la percepción tonal entre el entorno de la cámara y el de la pantalla. La especificación y el uso de una «OOTF de referencia» permiten la reproducción coherente de la imagen de extremo a extremo, lo que es importante en la producción de televisión.



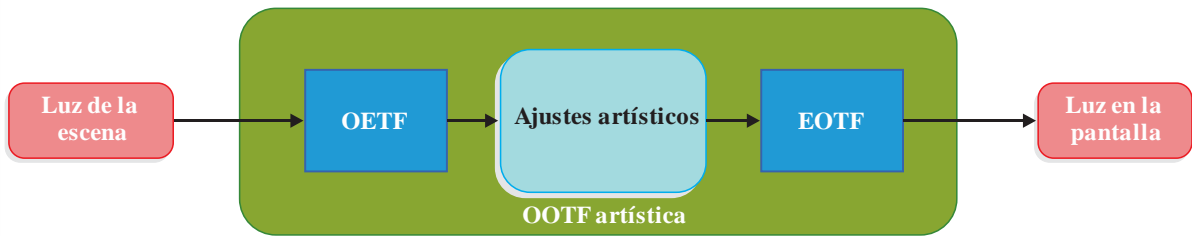
BT.2100-Ann1-01

Para mejorar la imagen se pueden realizar ajustes artísticos que alteran la OOTF, por lo que se puede denominar «OOTF artística». Estos ajustes artísticos se pueden introducir antes o después de la OOTF de referencia.



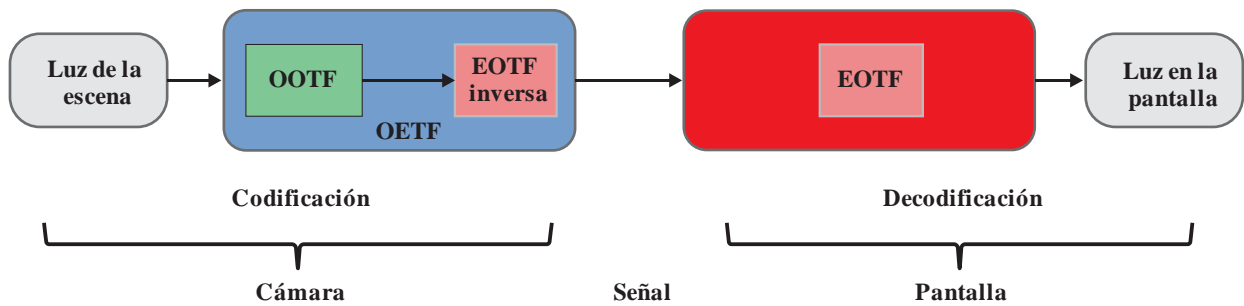
BT.2100-Ann1-02

Generalmente la OOTF es una concatenación de la OETF, los ajustes artísticos y la EOTF.



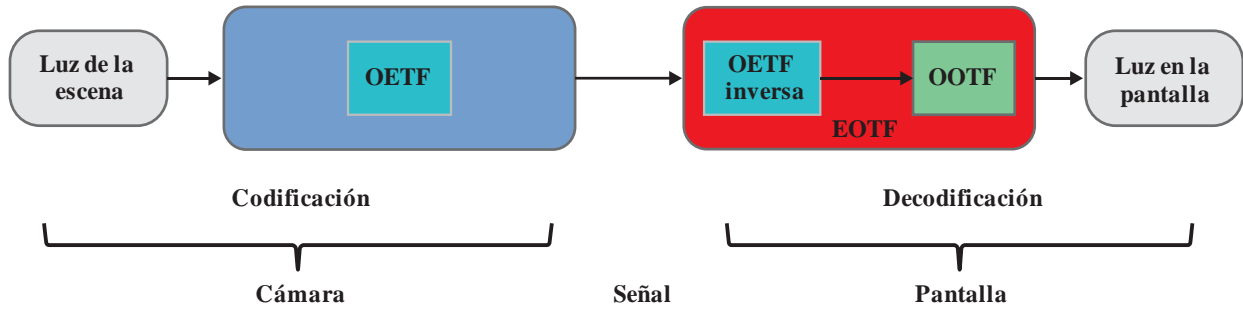
BT.2100-Ann1-03

El sistema PQ se diseñó mediante el modelo que se muestra a continuación, en el que la OOTF se considera incluida en la cámara (o atribuida al proceso de producción).



BT.2100-Ann1-04

El sistema HLG se diseñó mediante el modelo que se muestra a continuación, en el que la OOTF se considera incluida en la pantalla.



BT.2100-Ann1 -05

Solo dos de las tres no linealidades, la OETF, la EOTF y la OOTF, son independientes. En notación funcional (los subíndices indican el componente de color):

$$\begin{aligned} \text{OOTF}_R(R, G, B) &= \text{EOTF}_R(\text{OETF}_R(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_G(R, G, B) &= \text{EOTF}_G(\text{OETF}_G(R, G, B)) \\ \text{OOTF}_B(R, G, B) &= \text{EOTF}_B(\text{OETF}_B(R, G, B)) \end{aligned}$$

Esto resulta más claro cuando la concatenación se representa mediante el símbolo \otimes . Con esta notación se obtienen las siguientes tres relaciones entre estas tres no linealidades:

$$\begin{aligned} \text{OOTF} &= \text{OETF} \otimes \text{EOTF} \\ \text{EOTF} &= \text{OETF}^{-1} \otimes \text{OOTF} \\ \text{OETF} &= \text{OOTF} \otimes \text{EOTF}^{-1} \\ \text{OOTF}^{-1} &= \text{EOTF}^{-1} \otimes \text{OETF}^{-1} \\ \text{EOTF}^{-1} &= \text{OOTF}^{-1} \otimes \text{OETF} \\ \text{OETF}^{-1} &= \text{EOTF} \otimes \text{OOTF}^{-1} \end{aligned}$$

El planteamiento PQ viene definido por su EOTF. Para PQ, la OETF se puede obtener a partir de la OOTF utilizando la tercera línea de las ecuaciones anteriores. De la misma manera, el planteamiento HLG viene definido por su OETF. Para HLG, la EOTF se puede obtener a partir de la OOTF utilizando la segunda línea de las ecuaciones anteriores.

Anexo 2 (informativo)

Representación paramétrica de las funciones de transferencia electroópticas y optoelectrónicas

Este Anexo junto con los conjuntos de parámetros correspondientes facilita la implementación de las funciones de transferencia optoelectrónicas de referencia (OETF) así como de las funciones de transferencia electroópticas de referencia (EOTF) de la presente Recomendación.

Una EOTF se puede representar mediante la ecuación (1):

$$L(V) = \left(\frac{c - (V - m)st}{V - m - s} \right)^{1/n} \quad (1)$$

donde:

V : valor de color no lineal

L : valor de color lineal correspondiente.

El conjunto de parámetros $\{s, t, c, n, m\}$ se puede fijar en función de la aplicación deseada.

Una OETF se puede representar mediante la ecuación (2):

$$V(L) = \frac{sL^n + c}{L^n + st} + m \quad (2)$$

Cabe destacar que si se adjudican valores idénticos a los parámetros s, t, c, n y m en las ecuaciones (1) y (2), entonces $L(V)$ y $V(L)$ serán la inversa matemática la una de la otra.

En determinadas aplicaciones resulta útil normalizar V en las ecuaciones (1) y (2) conforme a la ecuación (3):

$$\hat{V} = \frac{V - p}{k} + m \quad (3)$$

donde:

V : valor de color no lineal

\hat{V} : valor de color no lineal normalizado que sustituye a V en las ecuaciones (1) y (2).

Los parámetros k y p se pueden fijar en función de la aplicación deseada.

En determinadas aplicaciones resulta útil normalizar L en las ecuaciones (1) y (2) conforme a la ecuación (4):

$$\hat{L} = \frac{L - b}{a} \quad (4)$$

donde:

L : valor de color no lineal

\hat{L} : valor de color no lineal normalizado que sustituye a L en las ecuaciones (1) y (2).

Los parámetros a y b se pueden fijar en función de la aplicación deseada.

Con estas ecuaciones puede crearse una implementación real especificando los valores de cada uno de los parámetros. Por ejemplo, puede reproducirse una señal normalizada lineal, en cuyo caso los

parámetros para la ecuación (3) serán: $p = m = 0$ y $k = 1$. Los parámetros para la ecuación (4) serán entonces: $a = 1$ y $b = 0$. Puede implementarse un par de OETF y EOTF con un gamma de sistema de 1,0, como punto de partida, utilizando las ecuaciones (1) y (2) con los parámetros $s = 1$, $t = m = 0,2701$, $c = 0,0729$, $n = 0,4623$.
