

COLORIMETRÍA

• INTRODUCCIÓN

En este tema vamos establecer unos conceptos básicos de la colorimetría, con objeto de facilitar la comprensión del funcionamiento de la televisión en color, por lo tanto, todo el tema va a estar enfocado a la posterior aplicación de esta ciencia a la señal de tv.

Según la Sociedad de Óptica de los Estados Unidos, la Colorimetría puede definirse como la 'Ciencia de la medición de la luz, en su aspecto de color, luminosidad y cromaticidad'; es decir, es la ciencia que estudia los colores, caracterizándolos mediante números, para que una vez que se encuentren cuantificados podamos operar con ellos y deducir características de los colores obtenidos mediante mezclas, así como para averiguar las cantidades que hay que mezclar de varios colores elegidos y considerados como primarios, para obtener el color deseado.

La Colorimetría moderna, que es la que nos interesa, es la Colorimetría tricromática, cuya idea básica consiste en caracterizar cualquier color a partir de tres colores primarios, lo que simplifica enormemente, como veremos más adelante, el estudio de los colores.

• MEZCLAS DE COLORES

En la Naturaleza es difícil encontrarse con colores espectrales puros, es decir, que sólo contengan una única longitud de onda. Esta situación sólo se produce cuando mediante técnicas sofisticadas se consigue una radiación monocromática, como puede ser, por ejemplo, un rayo láser.

En el mundo real nos encontraremos con señales formadas por una gran cantidad de componentes espectrales, y aquí es donde hace aparición el concepto de mezcla de colores.

Dentro de la mezcla de colores, pueden distinguirse dos tipos de mezclas totalmente diferentes entre si: mezcla aditiva y mezcla sustractiva.

• **Mezcla Aditiva**

Como hemos dichos, la luz es una onda electromagnética cuya frecuencia es la que produce sobre el ojo una determinada sensación de color. La onda puede contener una sola frecuencia o varias.

Si modificamos la radiación que estamos recibiendo, añadiendo una o varias frecuencias más, se produce una mezcla aditiva, con la consecuente modificación del color.

Ejemplo:

Tomamos un foco luminoso rojo con el que iluminamos una pared blanca, debido a que la pared es blanca, toda la radiación vuelve a nuestro ojo (por eso vemos el reflejo rojo).

Tomamos ahora otro foco, por ejemplo verde, con el que iluminamos también la pared, de forma que una zona del rojo y otra del verde se superpongan. De esta zona superpuesta emergen hacia el ojo las dos radiaciones, lo que provoca que veamos esa zona amarilla.

Mezcla aditiva suma de frecuencias (mezcla utilizada en TVC)

- **Mezcla Sustractiva**

Esta mezcla es la contraria a la anterior, consiste en que a un color determinado, formado por varias radiaciones, se le quitan algunas frecuencias (que por sí solas formarían otro color) y por tanto, al modificar su contenido espectral, el color resultante es totalmente diferente del inicial.

Ejemplo:

Tenemos una pared blanca sobre la que pintamos un círculo con pintura roja.

De la pared emergen todas las radiaciones que le llegan del sol, y la vemos blanca precisamente por eso, porque refleja todas las radiaciones que le llegan, no absorbiendo ninguna, pero del trozo pintado del rojo solamente emergen unas cuantas, pues el resto han sido absorbidas por la sustancia de la pintura, es por eso que lo vemos rojo.

Si tomamos otro bote de pintura, por ejemplo verde, y realizamos otra pintada de forma que ambas pinturas se superpongan en una zona, de esta zona emergen hacia fuera menos radiaciones, puesto que aparte de las radiaciones absorbidas por la primera sustancia han sido absorbidas otras radiaciones por la segunda pintura. El conjunto de las radiaciones que nos llegan, producen sensación de color marrón.

El efecto es similar a color filtros en el paso de la luz blanca.

Mezcla sustractiva resta de frecuencias (mezcla utilizada en pintura)

- **LEYES BÁSICAS DE LA COLORIMETRÍA TRICROMÁTICA**

El establecimiento de estudios relacionados con la colorimetría viene de muy atrás, los primeros principios fueron establecidos por Newton en 1672, fueron retocados por Young en 1802 y se establecieron y formularon definitivamente por Grassmann en 1853, conociéndose al resultado como 'leyes de Grassmann'.

- **Primera Ley De Grassmann (Ley De La Trivarianza)**

Los efectos sobre el ojo de un color cualquiera (X) con una luminancia L_x , son los mismos que los producidos por la suma aditiva de tres colores cualquiera (A), (B), (C), siempre que se mezclen en las proporciones adecuadas, que llamaremos L_A , L_B , L_C .

$$L_x(X) = L_A(A) + L_B(B) + L_C(C)$$

- **Segunda Ley De Grassmann (Ley De La Luminancia)**

Establece que cuando se ha conseguido la igualdad de color enunciada en la primera ley, la luminancia del color igualado es la suma de las luminancias de los primarios utilizados en la igualación.

$$L_x = L_A + L_B + L_C.$$

Donde cada número se mide en nits = candela/m² o incluso lúmenes.

- **Tercera Ley De Grassmann (Ley De La Proporcionalidad)**

Establece que conseguida la igualdad de color definida en la primera ley, si multiplicamos por el mismo valor a las cuatro luminancias implicadas (multiplicar por el mismo número a ambos lados del igual), persiste la sensación de igualdad de color.

$$L(X) = L_A(A) + L_B(B) + L_C(C)$$

- **Cuarta Ley De Grassmann (Ley De La Aditividad)**

Establece que si se suman dos colores cualquiera obteniéndose otro color resultante, éste podría haberse obtenido también sumando los primarios de cada uno de los colores origen.

$$L_{X1}(X_1) = L_{A1}(A) + L_{B1}(B) + L_{C1}(C)$$

$$L_{X2}(X_2) = L_{A2}(A) + L_{B2}(B) + L_{C2}(C)$$

$$L(X) = L_{X1}(X_1) + L_{X2}(X_2)$$

$$L(X) [L_{A1}(A) + L_{A2}(A)] + [L_{B1}(B) + L_{B2}(B)] + [L_{C1}(C) + L_{C2}(C)]$$

- **COMPONENTES Y COEFICIENTES TRICROMÁTICOS**

- **Componentes**

Llamamos componentes de un color respecto de los primarios elegidos, a las cantidades necesarias de cada uno de ellos para conseguir la igualdad de sensación sobre el ojo.

- **Coefficientes**

Llamamos coeficientes tricromáticos de un color respecto de los primarios elegidos, a las cantidades necesarias de cada uno de ellos para conseguir igualar a una unidad de luminancia del color en cuestión.

$$1(X) = L_A(A) + L_B(B) + L_C(C)$$

$$L_A = L_B = L_C =$$

- **COLORES PRIMARIOS DEL CIE**

La CIE estableció como colores primarios, en el año 1931 a los tres siguientes:

(R) Color rojo, espectral puro, consistente en una única frecuencia correspondiente a una longitud de onda de 700 nm

(G) Color verde, espectral puro, longitud de onda de 546,1 nm

(B) Color azul, espectral puro, longitud de onda de 435,6 nm

Para la elección se buscó que fueran los mínimos posibles los colores que presentasen en su composición componentes negativos.

- **LA MEDIDA DE LOS COLORES**

- **Medida De Un Color**

Es el proceso de localización de sus tres componentes, dando por sentado que se conocen las características de los tres colores que han utilizado como primarios.

- **Medida De Los Componentes De Los Colores Puros Con Potencia Constante**

Aunque el conjunto de colores espectrales puros es una parte muy reducida dentro del mundo de todos los colores, la realidad es que también hay infinitos colores espectrales puros.

Para realizar la medida se tomaron colores a intervalos de 10 en 10 nm, todos con la misma potencia en vatios, con potencia P_o , donde P_o puede ser cualquier valor, en este caso se tomo P_o tal que para 555 nm se obtuviese una luminancia de un nit.

Como resultado se obtuvo una tabla en la que puede observarse:

- En los extremos del espectro los valores de los tres componentes descienden hacia cero, lógicamente, puesto que esos colores, aunque tengan la misma potencia energética, el ojo casi no los ve y las cantidades de tres colores que el ojo ve perfectamente, tienen que ser muy pequeñas para conseguir la sensación de igualdad.
- Los valores de LB son muy pequeños ya que el color (B) elegido como primario, se encuentra en una zona del espectro en la que el ojo apenas tiene sensibilidad. Por esto, en algunos libros al confeccionar la tabla representan $10 \cdot LB$.

Gráficamente:

- **Blanco Equienergético**

Es el color formado por la suma de todos los colores espectrales puros, todos ellos con la misma potencia, será un color con componentes:

Donde los valores numéricos sólo son útiles en esta prueba particular (si hubiésemos utilizado otra P_o , los valores serían otros), lo importante es la relación de proporción entre los valores.

Para ver más clara la proporción se suele asignar el valor uno al rojo:

- **REPRESENTACIÓN DE LOS COLORES**
- **Representación De Los Colores En El Espacio**

Si a cada color espectral puro le corresponde un trío de valores, cada uno de estos valores puede ser representado gráficamente por un punto en un sistema de tres ejes. Realizando la operación se obtiene una curva alabeada:

- Si se incrementa la luminancia del color, se aumentan los tres componentes en la misma proporción, por lo que dicho color siempre se encontrará sobre la recta que une el origen de coordenadas con dicho punto, más separado del origen o más cerca dependiendo de la luminancia.
- Los colores monocromáticos se encuentran en una superficie tipo cucurucho.
- Los no monocromáticos, se encuentran en el recinto interior, por lo que todos los colores están contenidos en ese volumen denominado **sólido de colores**.

- **Intersección Del Sólido De Colores Con El Plano De Luminancia Constante**

La intersección de dicho plano con el sólido de colores origina una superficie, que se encuentra rodeada por una curva plana exterior que recibe el nombre de 'spectrum locus' (lugar del espectro), que es donde se encuentran colocados todos los colores monocromáticos.

Por comodidad de representación se manejan las proyecciones en los tres planos de este plano.

Representación de los colores en el espacio

Intersección del sólido de colores con el plano de luminancia constante.

- **ESPACIOS COLORIMÉTRICOS TEÓRICOS**

- **Espacio Colorimétrico RGB**

Con objeto de simplificar los cálculos, manteniendo los mismos colores primarios el CIE propuso hacer una transformación de forma que a cada color se le asociasen otro trío de valores, relacionado matemáticamente con los verdaderos componentes.

Esto solventaba los inconvenientes:

- Ya vimos la enorme diferencia que existe entre los componentes del color blanco, esto implica que este color no se encuentra en el centro de gravedad de la figura, sino muy desplazado.
- En algunas zonas del plano de colores, con pequeños desplazamientos numéricos de componentes se producen grandes variaciones de color, mientras que en otras zonas aunque se modifiquen sustancialmente los componentes apenas si existe variaciones en el color, por lo que casi toda la variación de colores se encuentra en una zona muy reducida, dejando zonas muy amplias en las que casi no hay variación de color. Esto obliga a que haya que dar muchas cifras decimales para algunos colores a fin de distinguirlos unos de otros, numéricamente casi iguales, pero muy diferentes para el ojo.

En este espacio RGB, se siguen cumpliendo las leyes de Grassmann, pero ahora la luminancia del color no es la suma de los componentes directamente.

- **Espacio Colorimétrico XYZ**

El espacio RGB presenta dos problemas:

- Muchos de colores presentan componentes y coeficientes negativos, lo que es un problema.
- La luminancia no se destaca claramente, sino que hay que realizar una operación para calcularla.

Por esto, El CIE, recomendó la adopción de otro espacio XYZ, más matemático y con menos sentido físico que el RGB.

- En este espacio, el componente Y es directamente la luminancia del color, por lo que los componentes de primarios X y Z no deben aportar luminancia, lo cual no es posible.
- El blanco debe continuar teniendo iguales sus tres componentes para mantener la ventaja que aportó RGB.

- **ESPACIOS COLORIMÉTRICOS PARA TELEVISIÓN**

- **Espacio Colorimétrico R'G'B'**

En Televisión no se utilizan los primarios del espacio RGB porque es muy difícil construir luminóforos que al ser golpeados por chorros de electrones produzcan colores de esos tonos tan puros, y en caso de conseguirlos tendrían muy poco rendimiento al necesitar grandes corrientes de electrones para producir algo de intensidad luminosa. Por descontado que tampoco pueden utilizarse como primarios en Televisión los primarios del XYZ porque no son colores físicos sino matemáticos.

Según las recomendaciones del NTSC (National Television System Comité), se obtuvieron nuevos primarios, también de todos rojo, verde y azul, pero diferentes a los del RGB. El blanco tampoco va a ser el equienergético (W), que resulta algo rojizo, sino el blanco (C), con tendencia ligeramente azulada.

En este nuevo espacio, la luminancia de nuevo deja de ser evidente, para calcularla necesitamos realizar una ecuación.

$$Y = 0'3 R' + 0'59 G' + 0'11 B'$$

• Espacio Colorimétrico R''G''B''

El espacio R'G'B' es utilizado por los sistemas de Televisión que usan las normas M/NTSC y también los del M/PAL. Estos sistemas se encuentran en explotación en toda América, tanto Norte como Sur y también Japón.

Para las normas europeas, en concreto para las normas B, G, H e I del PAL y las B, D, G, H, K y L del SECAM, la EBU (European Broadcasting Union) o en castellano UER (Unión Europea de Radiodifusión), se adoptaron otros primarios y otro blanco de referencia, adaptado a los gustos de los telespectadores europeos.

No difieren mucho de los primarios de R'G'B'. El blanco de referencia es el llamado (D65) cuyos coeficientes son ligeramente diferentes del blanco (C).

En este nuevo espacio, la luminancia de nuevo deja de ser evidente, para calcularla necesitamos realizar una ecuación.

$$Y = 0'22 R' + 0'71 G' + 0'07 B'$$

Pero la expresión que en realidad se utiliza es la del NTSC. Es muy normal confeccionar la luminancia a partir de la clásica expresión para los sistemas americanos. El inconveniente se presenta para los receptores en blanco y negro que toman una señal que no es exactamente la señal de luminancia. Para los receptores de color no existe problema, puesto que antes de llevar las señales al monitor, se obtienen nuevamente los componentes R'', G'' y B'' que son correctos.