

1. Aspectos básicos

I.1 Color

■ Fundamentos de colorimetría

1. Breve historia de la Colorimetría

1.1 Definición y características

La colorimetría tricromática, tal como se la conoce actualmente, no tiene muchos años de existencia, aunque los primeros intentos por medir y comprender los conceptos relativos al color se remontan a Aristóteles (384-322 a. C.).

Posteriormente aparecerían otros autores que también trataron el tema como Newton con su obra “Óptica” (1704), Dalton (1794), Young (1802), Grassmann (1853), Maxwell (1860), Rayleigh (1882), König (1897)... y así hasta llegar a 1913 a la creación de la Comisión Internacional de Iluminación o CIE (por las siglas francesas de Comisión Internationale de l'Eclairage), y más concretamente a la reunión en Cambridge de 1931 en que el comité técnico del CIE en “Visión y Color” definió unos patrones para la especificación numérica del color (trataremos el estándar más adelante).

Podemos entender como Colorimetría la ciencia que estudia los colores, caracterizándolos mediante números, para que una vez que se encuentran cuantificados poder 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.

Destacamos el descubrimiento de la descomposición de la luz de Isaac Newton en 1666: cuando un rayo de luz solar traspasaba un prisma de cristal, el rayo de luz de salida no era blanco, sino que estaba formado de un espectro continuo de colores que iban desde el violeta al rojo. Así pues el espectro del color podía dividirse en 6 regiones: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo, (aunque en realidad ningún color del espectro termina abruptamente, sino que se combina suavemente en el siguiente).



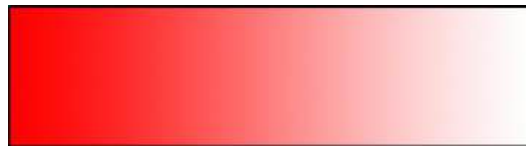
Figura 1.1: Experimento de Newton.

Básicamente, los colores que el ser humano percibe en un objeto están determinados por la naturaleza de la luz reflejada del objeto. El color del objeto no sólo depende del objeto en sí, sino de la fuente de luz que lo ilumina, del color del área que le rodea y del sistema visual humano (el mecanismo ojo-cerebro).

La luz visible se compone de una banda de frecuencias relativamente estrecha en el espectro de la energía electromagnética. Un cuerpo que refleja luz que tiene más o menos todas las longitudes de onda visibles, aparece como blanco al observador. Sin embargo, un cuerpo que es propicio a reflejar un rango limitado del espectro visible muestra algunas tonalidades de color. Por ejemplo, los objetos verdes reflejan luz con longitudes de ondas principalmente entre los 500 y 570 nm, mientras que absorben la mayoría de la energía a otras longitudes de onda.

El *Tono* es un atributo asociado con la longitud de onda dominante en una mezcla de ondas de luz. Así, el tono representa el color percibido por el observador; cuando llamamos a un objeto rojo, naranja o amarillo estamos especificando el tono.

La *Saturación* se refiere a cómo de puro es el color, es decir, cuánto blanco se mezcla con él. Se parte del color blanco hasta llegar al color totalmente saturado:



La *Claridad* implica la noción que percibimos de la intensidad de luz en un objeto reflectante, es decir, que refleja la luz pero no tiene luz propia. El intervalo de claridades está comprendido entre el blanco y el negro pasando por todos los grises

El *Brillo* se usa en lugar de la claridad para referirse a la intensidad percibida por un objeto con luz propia (emitida y no reflejada), tal como una bombilla, el Sol,...

La *Crominancia* engloba la información que aportan el tono y la saturación, por lo que podemos considerar un color caracterizado por su brillo y crominancia.

1.2. Modelos de Color

La Rueda de Color de Newton (1700)

Fue usado como un sistema cuantitativo para medir el color, usando siete tonos primarios en un círculo de la forma que muestra la figura:

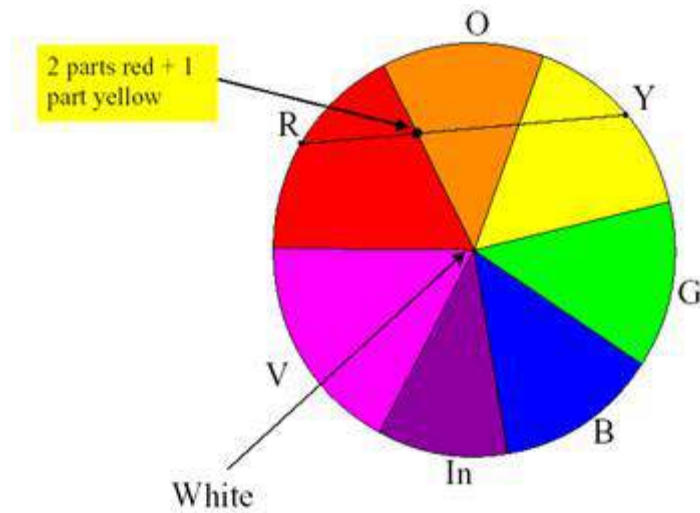


Figura 1.3: Rueda de color de Newton.

Luego surge la rueda de Newton modificada, que incluía púrpuras (mezcla de rojo y violeta) pero todavía no era un modelo totalmente exacto. Sin embargo, la idea era muy similar a la del sistema moderno.

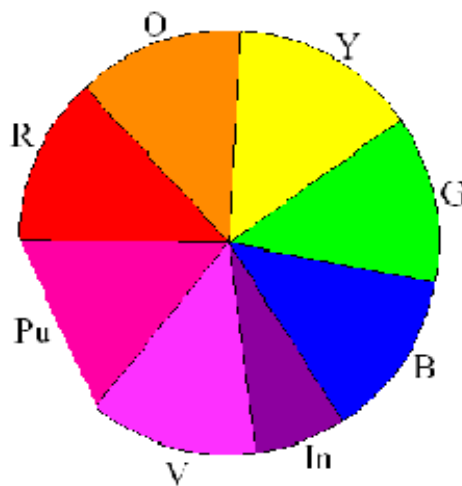


Figura 1.4: Rueda de color de Newton modificada.

Sistema Munsell(1915)

Se creó a partir de datos preceptuales, no por aproximación al CIE. Se trata de asignar una variable a cada atributo, de forma que los escalones de las mismas sean perceptivamente iguales en cada una de ellas. Se obtiene la siguiente tabla:

Atributo	Variable Munsell	Nº de escalones
Brillo	Value	0-10
Tono	Tono	0-100
Saturación	Croma	0-20(ilimitada?)

Donde el color se forma por la suma de estos tres atributos.

Los tonos están contenidos en un círculo, donde 20° de rotación causan siempre el mismo cambio (que se traducen en cambios en la percepción) independientemente de donde comience el círculo, permaneciendo la saturación y el brillo inalterados. Los tonos que aparecen son R(rojo), YR(amarillo-rojo), Y(amarillo), GY(verde-amarillo), G(verde), BG(azul-verde), B(azul), PB(púrpura-azul), P(púrpura) y RP(rojo-púrpura) .

La saturación se mide por la distancia desde el centro del círculo hacia el exterior, siendo más saturado cuanto más alejado desde el centro se encuentre.

El brillo se mide por la altura, de forma que si nos movemos verticalmente en el mismo eje no cambian ni saturación ni tono.

En el espacio 3D se pueden distinguir más niveles de saturación del azul que del amarillo.

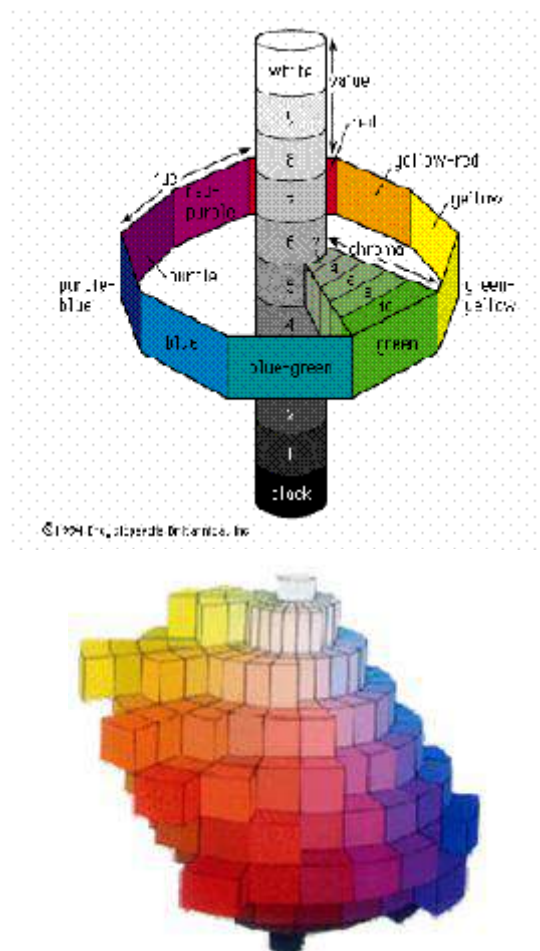


Figura 1.5:Espacio colorimétrico de Munsell

Algunos autores estiman que estableciendo los escalones (lo más iguales posibles) basados en los pasos mínimos perceptibles, un observador normal puede llegar a distinguir, en condiciones muy favorables de observación y por comparación directa, hasta 10 millones de colores distintos. Se confecciona entonces un atlas Munsell (ver figura) con muestras de colores clasificados (pueden añadirse más colores si fuera necesario) por los valores de las variables Munsell, de modo que pueda definirse un color de forma diferenciada del resto

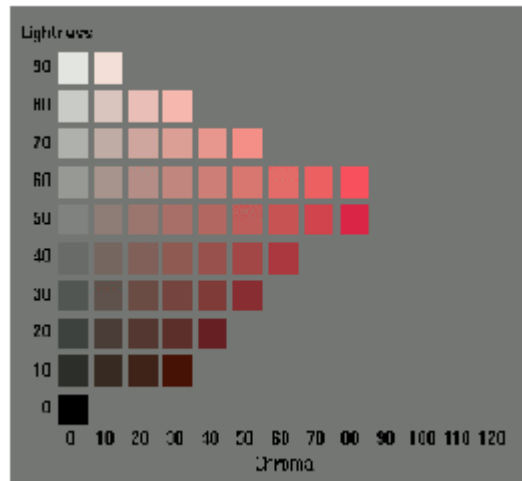


Figura 1.6: Aspecto de una página “Munsell”

2. Representación del color

2.1. Conceptos de colorimetría.

La Colorimetría es cuantitativa, orientada a lo físico, con mediciones a través del espectro-radio (spectroradiometer) , el colorímetro (que mide la cantidad de colores primarios), etc. Podemos hacer una relación entre los términos perceptuales con los de colorimetría según la tabla:

Términos perceptuales	<i>Términos colorimétricos</i>
Tono	Longitud de onda dominante
Saturación	Pureza de la excitación
Claridad (objetos reflectantes)	Luminancia
Brillo (objetos con luz propia)	Luminancia

El efecto visual de cualquier distribución espectral puede caracterizarse por tres características (longitud de onda dominante, pureza de la excitación y la luminancia). Vamos a explicar estos conceptos:

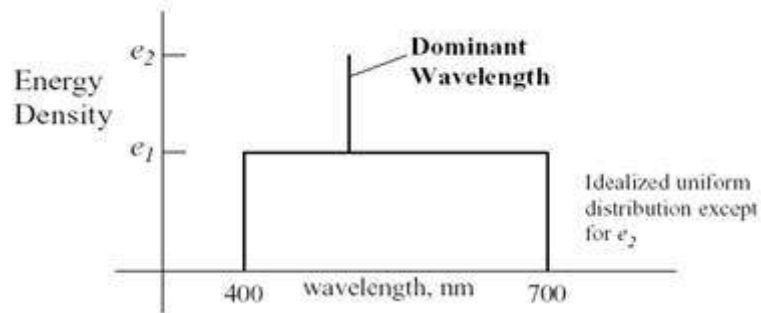


Figura 2.1: Distribución de la energía en función de la longitud de onda.

Se entiende por *longitud de onda dominante* a la que corresponde el tono que vemos, en la figura sería el pico de energía correspondiente a e_2 . Aunque la longitud de onda dominante de una distribución real puede no ser aquella de mayor amplitud. Algunos colores (como por ejemplo el púrpura) no tienen longitud de onda dominante

La *pureza de la excitación* es el ratio de la luz monocromática de la longitud de onda dominante y la luz blanca necesario para producir el color:

$e_1 = e_2$, la pureza de excitación es del 0% (insaturado).

$e_1 = 0$, la pureza de excitación es del 100% (totalmente saturado).

La *luminancia* se refiere a la energía total que es proporcional a la integral del producto de la distribución y la curva de respuesta del ojo (“función de eficiencia luminosa”). En este caso dependería de e_1 y e_2 .

Si la luz es *acromática* (sin color), su atributo único es su intensidad, o cantidad. (luz acromática es lo que se ve en una televisión en blanco y negro). De forma que se define una escala de grises que va desde el negro al blanco.

La luz *cromática* se refiere a la sensación visual del color, abarca el espectro de energía electromagnética desde aproximadamente 400 a 700nm.

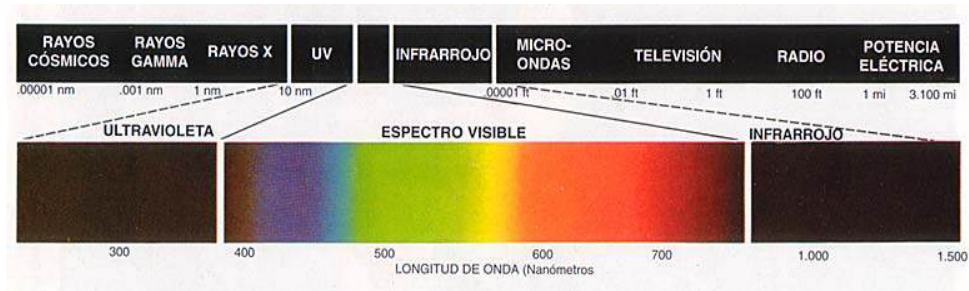


Figura 2.2: Localización del espectro visible en el rango de las radiaciones.

Generalmente se necesitan desde 64 a 256 niveles para dar la sensación de imagen continua sin contornos. Para describir la calidad de una fuente de luz cromática se usan 3 características: radiancia, luminancia, y brillo.

- **Radiancia** es la cantidad total de energía que sale de la fuente de luz, y se mide en vatios (W).
- **Luminancia**, medida en lúmenes (lm), da la medida de la cantidad de energía que un observador percibe de la fuente de luz. Por ejemplo, una luz emitida de una fuente que opere en la región infrarroja del espectro podría tener energía importante (radiancia), pero un observador no podría casi percibirla; su luminancia sería casi cero.
- **Brillo** es un descriptor subjetivo que es casi imposible de medir. Engloba la noción acromática de intensidad y es uno de los factores principales en la descripción de la sensación del color.

Otros conceptos del color:

Dos colores son *metámeros* si proceden de estímulos distintos pero son percibidos como colores iguales. Sin embargo, dos colores distintos procederán siempre de estímulos (distribución espectral) distinta.

En el caso en que las distribuciones espectrales de dos estímulos sean iguales, esos colores se denominan *isómeros* y siempre producen la misma sensación de color.

- ***Mezcla aditiva de color***

Cuando sobre nuestro ojo incide una determinada radiación, sea una única frecuencia o sea un conjunto de varias frecuencias, percibimos algo que denominamos color. Si modificamos la radiación, añadiéndole una o varias frecuencias más, hemos

realizado una mezcla aditiva, pues sobre el ojo incide, aparte de la primitiva radiación, las radiaciones nuevas que le hemos añadido.

Si se combinan dos fuentes de luz con densidades espectrales de potencia (luminancia) $C_1(\lambda)$ y $C_2(\lambda)$, la luz resultante, $C(\lambda)$, se obtiene como:

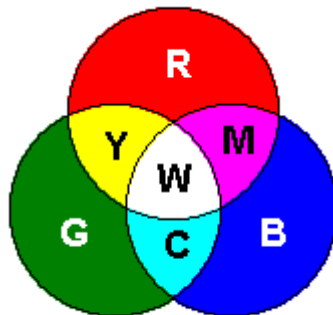
$$C(\lambda) = C_1(\lambda) + C_2(\lambda)$$

Como las luces se suman, este método recibe el nombre de "*Sistema Aditivo de Color*". De este modo, si sumamos fuentes luminosas con diferentes longitudes de onda (λ), podemos generar muchos colores diferentes. Existen tres colores denominados primarios del sistema de mezcla aditiva de color, que son el **Rojo**, el **Verde** y el **Azul**. La razón por la que se utilizan estos colores es que combinándolos de forma adecuada se puede conseguir una gama de colores distintos más amplia que para otras combinaciones de colores.

Como el color de las luces monocromáticas varía gradualmente, es difícil especificar cuál es el punto exacto que corresponde al color rojo (R), verde (G) y azul (B). Por eso, el C.I.E. ha escogido los valores:

COLOR	LONGITUD DE ONDA (λ)
Rojo (R)	700 nm
Verde (G)	546.1 nm
Azul (B)	435.8 nm

La mezcla aditiva se representa así:

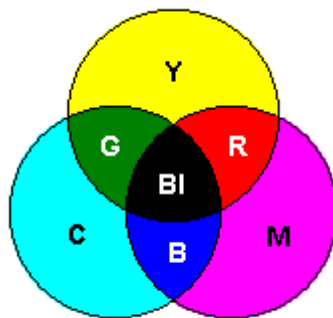


Se definen como *colores complementarios* la pareja de colores que mezclados aditivamente proporcionan el blanco(W).

- **Mezcla subtractiva de color**

Consiste en eliminar componentes espectrales de la radiación para conseguir nuevos colores, por ejemplo mediante el filtrado o sustracción de algunas longitudes de onda y reflejando otras. Este proceso, denominado *sustracción*, se produce porque ciertas moléculas (denominadas pigmentos) absorben zonas particulares del espectro luminoso. Los pigmentos se quedan con unas ciertas longitudes de onda, y una mezcla de dos tipos diferentes de pigmentos dará como resultado una luz reflejada con menos longitudes de onda.

Los tres Colores Primarios de los sistemas sustractivos son el Amarillo, el Cyan y el Magenta, que son los colores complementarios de los sistemas aditivos. Mezclando las cantidades adecuadas de estos tres colores podemos conseguir una amplia gama de colores. Si los mezclamos en proporciones iguales obtenemos como resultado el color Negro (Bl) (en este caso, los pigmentos absorben todas las longitudes de onda).



Es importante resaltar que la mezcla sustractiva es fundamentalmente diferente a la de los sistemas aditivos. En los sistema aditivos, a medida que añadimos colores, el resultado se traduce en una luz que tiene cada vez más longitudes de onda. En cambio, el resultado de una mezcla sustractiva es una luz que posee menos longitudes de onda que la original.

2.2. Axiomas del color

Las cantidades de rojo, verde y azul que se necesitan para formar cualquier color en particular se llaman *valores triestímulo* y se denotan X, Y y Z , respectivamente. Un color se identifica por tanto, por su *coeficientes tricromáticos*, definidos como:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \qquad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \qquad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

De estas ecuaciones: $x+y+z=I$.

El color blanco tiene los tres valores *triestímulo* iguales.

Para cualquier longitud de onda de la luz del espectro visible, los valores *triestímulo* que se necesitan para producir el color correspondiente a esa la longitud de onda se puede obtener directamente de curvas o tablas que han sido contrastadas de muchos resultados experimentales.

Las Leyes de Grassman son un conjunto de ocho axiomas que definen la mezcla tricromática de colores y que sirven de base para medir cuantitativamente un color.

1.- *Mezclando tres fuentes luminosas, escogidas convenientemente, en proporciones determinadas, se pueden imitar todos los colores.*

2.- *El ojo humano no puede resolver las componentes de una mezcla de colores.*

3.- *Cuando dos colores son sensorialmente iguales, la igualdad se mantiene si la luminancia de cada uno de ellos se multiplica o se divide por el mismo factor.*

4.- *La luminancia total de un color es igual a la suma de las luminancias de sus componentes.*

5.- Ley de la Adición:

*Si el color **M** coincide con el color **N** y el color **P** coincide con **Q**, entonces el color **M** combinado con el color **P** coincide con el color **N** combinado con **Q**.*

6.- Ley de la Sustracción:

*Si la mezcla del color **M** y el **P** coincide con la mezcla del color **N** y el **Q**, y si **P** coincide con **Q**, entonces **M** coincide con **N**.*

7.- Propiedad Transitiva:

*Si el color **M** coincide con a **N** y si el color **N** coincide con **P**, entonces el color **M** coincide con **P**.*

8.- Adaptación de Colores:

*a) C unidades del color **C** coinciden con la mezcla de M unidades de **M**, con N unidades de **N** y con P unidades de **P**.*

*b) La mezcla de C unidades de **C** con M unidades de **M** dan el mismo color resultante de la mezcla de N unidades de **N** con P unidades de **P**.*

*c) La mezcla de C unidades de **C** con M unidades de **M** y con N unidades de **N** coinciden con P unidades de **P**.*

Estos resultados se han conseguido después de realizar gran cantidad de experimentos, es decir, que no tienen demostración matemática. Se sabe que, a veces, la combinación perfecta de un color no se puede obtener con niveles muy altos o bajos de iluminación. También depende, hasta cierto punto, de la composición espectral de la luz que le rodea.

2.3. Espacio colorimétrico. Sistema estándar XYZ.

Actualmente se emplean distintos sistemas de coordenadas para especificar el color, dependiendo de la aplicación para la que estén pensados. Cada sistema de coordenadas permite representar los colores en lo que se llama un *diagrama de cromaticidad*. La CIE ha estandarizado algunos de estos sistemas de coordenadas. Lo que se pretende con ellos es conseguir representar la mayor cantidad de colores posibles con coeficientes *triestímulo* positivos (para que se puedan obtener los colores de forma aditiva).

Es un estándar del CIE que pretende representar la mayor cantidad de colores posible mediante valores triestímulo positivos. Sus coordenadas 'x', 'y' y 'z' (obtenidas a partir de los primarios 'X', 'Y' y 'Z' donde la componente 'Y' representa el factor de luminancia) cumplen

$$x + y + z = 1 \quad (\text{'x', 'y' y 'z' valores entre 0 y 1})$$

2.4. Diagrama de Cromaticidad.

Una aproximación para especificar los colores es el diagrama cromático o de cromaticidad, que muestra la composición del color como función de 'x' e 'y'. Para cada valor de 'x' e 'y', el correspondiente valor de 'z' se obtiene de la ecuación $z = 1 - (x + y)$. Las posiciones de varios colores del espectro – desde violeta a 380nm a rojo 780nm- se indican alrededor del límite del diagrama cromático con forma de dedo pulgar. El diagrama de cromaticidad que se obtiene con el sistema de coordenadas XYZ es lo más amplio posible y tiene el siguiente aspecto:

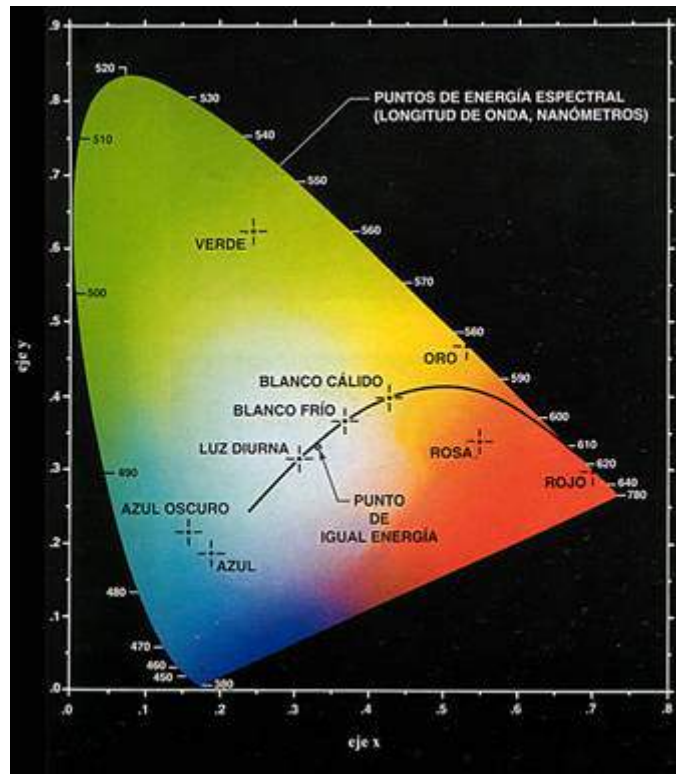


Figura 2.3: Diagrama de cromaticidad.

Algunos aspectos de esta representación :

- El punto de igual energía es el color blanco.
- Un segmento recto que una 2 puntos cualesquiera del diagrama define todas las distintas variaciones del color que se puedan obtener combinando estos 2 colores al sumarlos. Por ejemplo, si consideramos una línea recta desde el rojo hasta el verde, y hay más luz roja que verde, el punto exacto que represente el nuevo color estará en la línea del segmento, pero estará más cerca del punto rojo que del verde.
- Si se dibuja una línea desde el punto de igual energía a cualquier punto del límite de la gráfica se definirán todas las tonalidades de ese color del espectro.
- Para determinar el rango de colores que se puede obtener de 3 colores cualesquiera del diagrama de cromaticidad, simplemente dibujamos líneas que conecten cada uno de los 3 puntos de color. El resultado es un triángulo, y cualquier color dentro del triángulo se puede producir por varias combinaciones de los tres colores iniciales.
- Un triángulo cuyos vértices sean 3 colores fijados (rojo, verde y azul en la figura) no englobará nunca toda la gráfica. Esta observación prueba gráficamente que no todos los colores se pueden obtener con tres colores primarios.

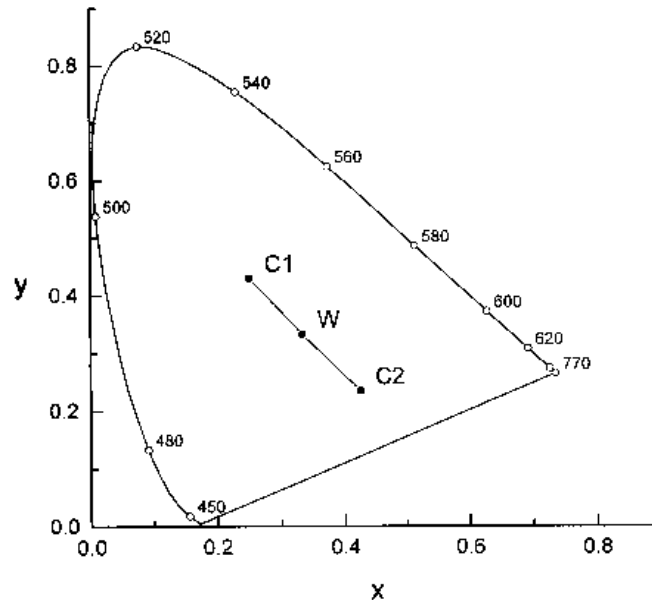
- El punto que representa al color blanco se llama punto de igual energía, y se llama así porque corresponde a la mezcla de los tres colores primarios en igual proporción.

- Los colores más puros son los que se encuentran en la periferia del diagrama de cromaticidad, puesto que no contienen nada de blanco. A medida que el punto se aleja del límite y se acerca al punto de igual energía, se añade más luz blanca al color, y pasa a ser menos saturado. El punto de igual energía (color blanco) tiene saturación cero y cromaticidad nula.

- En el exterior de la curva no hay colores físicos, por lo que es imposible colorear esas zonas. Dichos colores tienen sentido matemático, pero no lo tienen físico. En concreto, los primarios del espacio XYZ se encuentran fuera de la curva, en los vértices del triángulo rectángulo de cateto unidad.

- La luminancia no está reflejada en el diagrama, de manera que dos colores con la misma cromaticidad pero distintos valores de luminancia se representan en el mismo punto.

- Para que dos colores sean complementarios han de estar colocados en el diagrama de cromaticidad sobre una recta que pase por el blanco cuyos coeficientes son $x = y = z = 1/3$ y han de tener los componentes con amplitudes tales que la suma de los dos colores caiga precisamente en el blanco.



En la figura se aprecian dos colores complementarios respecto del punto de igual energía.

No todos los colores espectrales puros tienen color complementario espectral puro, teniendo en su lugar una mezcla.

2.5. Otros sistemas de coordenadas (RGB, CMY, YIQ,...).

Sistema de coordenadas RGB

Es el más intuitivo. Emplea como coordenadas los colores primarios rojo, verde y azul, que se utilizan de forma aditiva para representar cada color..

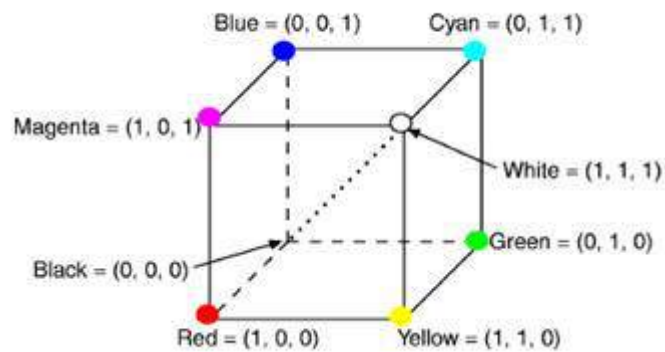


Figura 2.4: Cubo de coordenadas RGB

La línea diagonal de puntos representa la escala de grises, que se extiende desde el blanco (1,1,1), hasta el negro (0,0,0).

Sistema de coordenadas CMY

Sistema de coordenadas cartesianas que usa como colores base los complementarios del sistema RGB: cian, magenta y amarillo. Estos colores se obtienen restando su complementario del color blanco (por ejemplo: amarillo = blanco – azul).

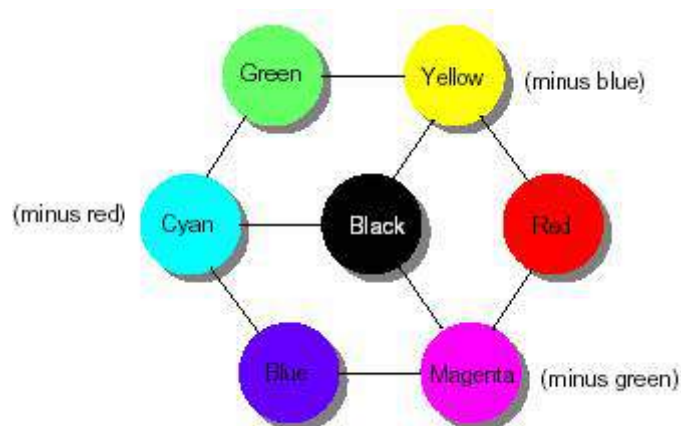


Figura 2.5: Colores primarios substractivos y sus mezclas.

Sistema de coordenadas HSV

Consiste en un subconjunto hexagonal de un sistema cilíndrico, tal y como muestra la figura. Las coordenadas son: tono (HUE), saturación (S), y brillo (V).

El plano $V=1$ es el sistema RGB visto anteriormente.

Desplazamientos verticales hacia el negro implican un oscurecimiento del color, mientras que para brillo (V) constante, cuanto más nos alejamos del eje más saturados serán los colores. El tono se representa como el ángulo de rotación partiendo desde el rojo (0°) sobre un plano V cte.

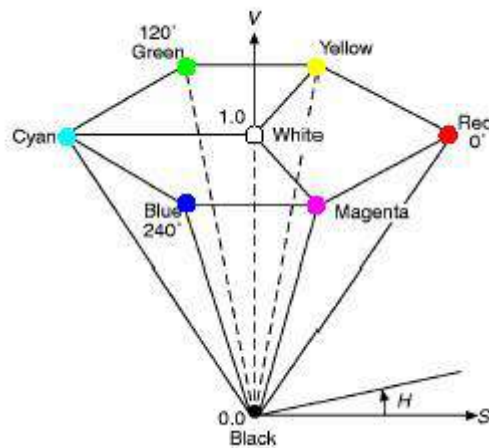


Figura 2.6: Cono hexagonal simple del modelo de color HSV.

Sistema de coordenadas HLS

Parecido al sistema HSV pero sustituyendo brillo por claridad, de forma que las coordenadas en este caso son tono, claridad y saturación.

En este caso, los tonos más saturados se situarían en el contorno del hexágono correspondiente a $S=1$ y $V=0.5$ de la figura.

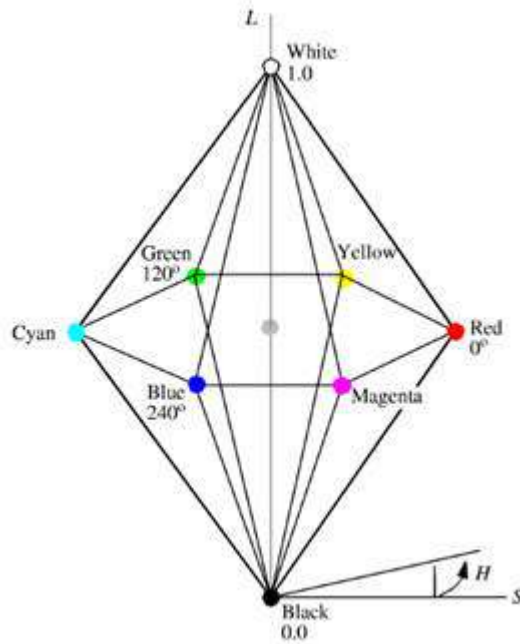


Figura 2.7: Cono hexagonal doble del modelo de color HLS.

2.6. Comparativa de los Modelos.

RGB

Ventajas:

- Es un sistema de coordenadas cartesianas, lineal.
- Basado en los valores *triestímulo*.

Desventajas:

- No cubre toda la gama de valores perceptibles.
- No es uniforme, ya que las distancias geométricas entre colores no se corresponden con distancias percibidas.

Sistemas CIE

Ventajas:

- Lineal.
- Basados en la percepción humana, ya que se han obtenido de experimentos.
- Cubren toda la gama de colores perceptibles.

Desventajas:

- No uniformes.
- El *diagrama de cromaticidad* no muestra la luminancia de los colores.

3. Temperatura del Color

La radiación luminosa puede ser provocada de muy diversas formas, pero en principio una clasificación puede ser por fuentes térmicas y por fuentes no térmicas.

Las fuentes térmicas generan una radiación en la que parte de ella es captada por los sensores de la piel, obteniéndose sensación de calor. Estas radiaciones se encuentran en la zona del infrarrojo y a ellas es sensible la piel, pero si el cuerpo se calienta a temperatura muy alta, su espectro de radiaciones se expande hacia la zona superior y penetra en la zona del espectro visible, activando a los sensores del ojo, lo que sucede alrededor de los 500 °C.

Se denomina *cuerpo negro* a aquel que absorbe todas las radiaciones, independientemente de la longitud de onda que éstas tengan, no reflejando ninguna. En buena lógica, este mismo cuerpo será un radiador integral, puesto que todo lo que él radie será generado por él mismo y nunca reflejado de las radiaciones externas a él.

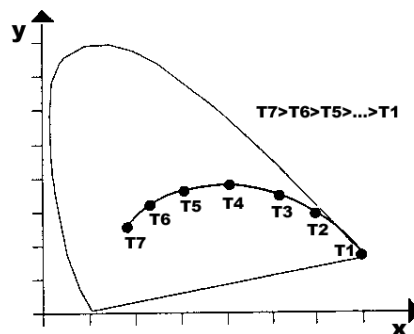


Figura 3.1: Curva de colores que adquiere el cuerpo negro con la temperatura

Si a este cuerpo negro se le calienta por encima de los 500 °C, comienza a tomar color rojizo. Si se le calienta más, después de pasar por una tonalidad amarillenta, su tono se vuelve blanquecino y para temperaturas mucho más altas toma un color azulado.

Si sobre el diagrama de cromaticidad dibujamos el lugar geométrico de los puntos que describe su color al hacer variable la temperatura, aparece la curva representada en la figura .

Por extensión de este concepto, cuando queremos caracterizar un color cualquiera que se encuentre cerca de esta curva, se le suele asociar, para identificarlo, la temperatura más cercana sobre dicha curva y su color puede expresarse en grados Kelvin (°K).

Por tanto, al decir que la temperatura de un color es de T_0 °K, no quiere decir que se encuentre a esa temperatura, sino que el tono del color que presenta es similar al que presentaría el cuerpo negro si se calentase a esa temperatura.

Donde más aplicación encuentra este concepto es para definir la luz blanca, normalmente en iluminaciones, indicándose con la temperatura de color si es una luz blanca-rojiza, blanca o blanca-azulada. Suele utilizarse esta terminología en estudios de fotografía o de televisión para definir el blanco de referencia que se va a utilizar.

A continuación se dan las temperaturas de color de algunos iluminantes ampliamente conocidos:

Bujía ordinaria	1900°K
Lámpara de petróleo	2000°K
Lámpara de acetileno	2100°K
Lámpara eléctrica de incandescencia	2400°K
Lámpara de atmósfera gaseosa	2700°K
Blanco patrón(A)	2850°K
Luna	4100°K
Blanco patrón(B)	4780°K
Sol	5500°K
Blanco patrón(W) equienergético	5500°K
Luz diurna, con sol y cielo claro	6000°K
Blanco patrón(D)	6500°K
Blanco patrón(C)	6770°K
Luna con cielo cubierto	6800°K
Cielo azul claro	25000°K

(A) Corresponde a las lámparas incandescentes de baja potencia

(B) Corresponde a lámparas incandescentes de gran potencia

(C) Luz difusa de cielo nublado

(D) Combinación de luz diurna directa y luz difusa de cielo nublado

4. Aplicaciones, Consideraciones.

La percepción del color depende de lo que lo rodea. En el cuadro siguiente, por ejemplo, se usa la técnica basada en puntos de color separados, pero en la distancia los colores se mezclan aditivamente. La mezcla de pigmentos en sí es subtractiva y oscurece el dibujo, por eso el puntillismo da la apariencia de más brillo en los colores.

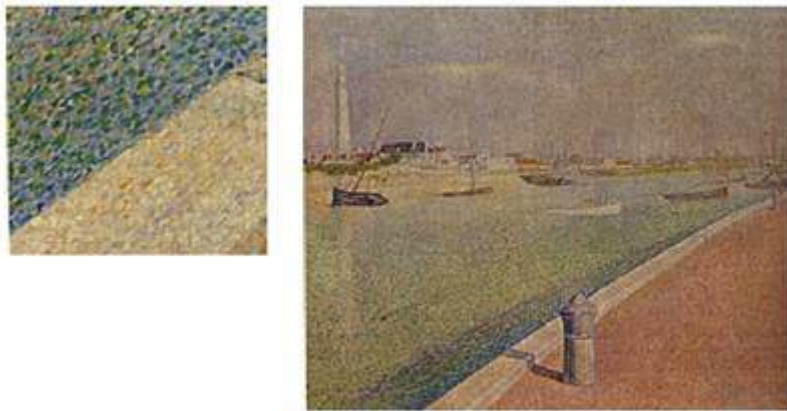


Figura 4.1: “The Channel at Gravelines”(1890) por George Seurat.

El color afecta a la percepción del tamaño: por ejemplo, los objetos de color rojo se ven más largos que objetos verdes.

Los colores se refractan de forma diferente al pasar por las lentes de unas gafas confundiendo el sentido de profundidad: el rojo da sensación de más cercanía, el azul de lejanía.

Dos colores se dicen complementarios cuando su mezcla aditiva da el color blanco. En el caso de los colores primarios, son complementarios entre sí el rojo y el cian, verde y magenta, y azul y amarillo.

El tono que se percibe de un color depende de la adaptación del observador. Por ejemplo, la bandera de los Estados Unidos no aparece inmediatamente roja, blanca y azul si el observador ha estado antes sometido a una intensa luz roja. En este caso, los colores de la bandera parecerán cambiar de matriz desde el complementario del rojo (el cian) hasta sus verdaderos colores. La explicación de este fenómeno es que cuando desaparece súbitamente un color de la retina, aparece el complementario. Esto se debe al cansancio de los conos sometidos a excitación, que pierden su sensibilidad al desaparecer el color, activándose los complementarios.

Se puede realizar el siguiente experimento para comprobarlo: mire fijamente a la imagen. Después de un momento pase la imagen y mire a la pantalla en blanco. Verá cómo aparece la flor con los pétalos rojos y las hojas y el tallo, verdes.

Experimento

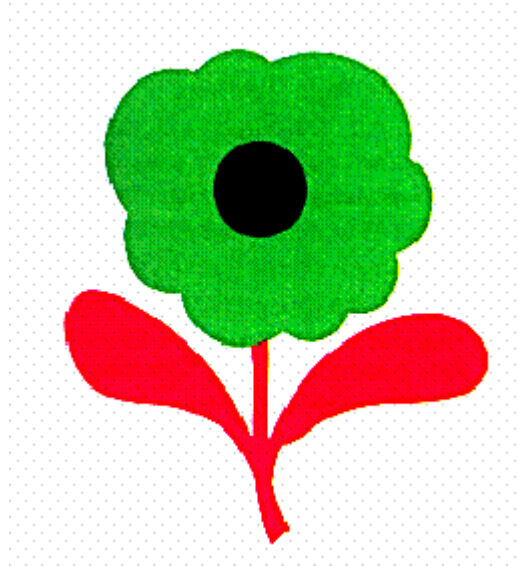


Figura 4.2:Experimento.

En 1826, Benedict Prevost se dio cuenta de que cuando una hoja de papel blanca era iluminada de forma periódica por un rayo de luz en una habitación oscura, se podía observar el espectro de colores reflejado por la hoja de papel. Esta primera observación se recuerda en el *Fenómeno del Color Subjetivo*, en el que pulsos intermitentes de luz blanca son percibidos como luz de color.

En la naturaleza no existen apenas colores que se encuentren en el borde del diagrama de cromaticidad, estando la mayoría de los colores con los que se trabaja normalmente alrededor del centro del diagrama de cromaticidad, próximos al blanco. Existen distintas gamas de colores empleadas en función de la aplicación. La gama más amplia pertenece al cine, y la más estrecha, a la imprenta. La televisión utiliza una intermedia.

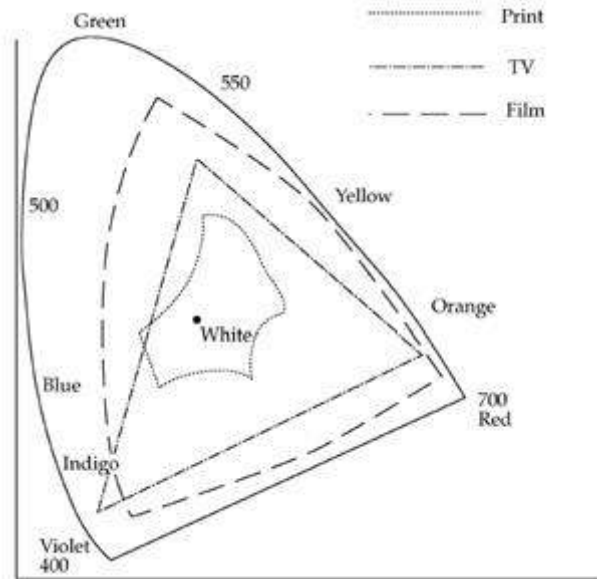


Figura 4.3: Gama de colores empleada según la aplicación.

5. Bibliografía

- -GONZÁLEZ, R. WOODS, R.E. : “ Digital Image Processing ”, Addison- Wesley, 1992.
- -PRATT, W.K. : “ Digital Image Processing ”, Addison-Wesley, 1991.
- -JAIN, A. : “ Fundamentals of Digital Image Processing “, Prentice Hall, 1989.
- -MARTIN MARCOS, A. : "Colorimetría aplicada a la TV". Ed. Dpto de publicaciones de la E.U.I.T de Telecomunicación, Madrid, 1997.
- -HITA VILLAVERDE, E.: "El mundo del color", Editorial Universidad de Granada. Granada, 2001
- -VAN DAM, A.: “ Introduction to computer graphics “, Octubre, 2002
- (poner dirección web)
- -Colorimetry Measuring Color:
 - <http://www.phys.ufl.edu/~avery/course/3400/s2000/>
- -Educational Color Applets
 - <http://www.cs.rit.edu/~ncs/color/>