

EL COLOR

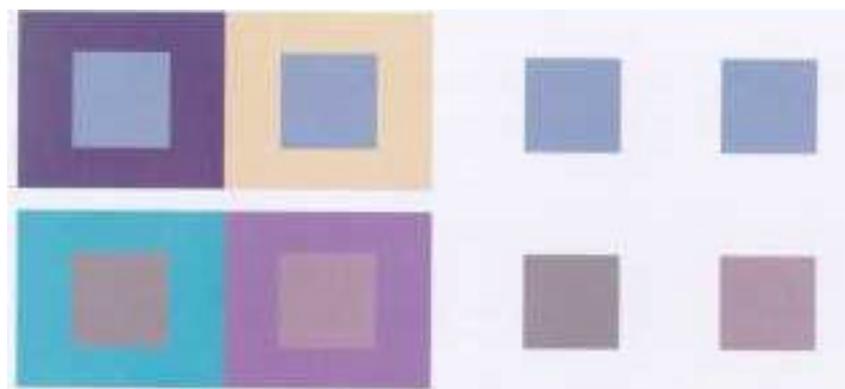
Indice

1.	Introducción.....	1
2.	La luz como fenómeno físico.....	2
3.	El modelo HSL.....	2
4.	Colores aditivos (RGB).....	3
5.	Modelo CIE.....	3
6.	Modelos de color para gráficos raster	7
7.	Modelo RGB.....	8
8.	El modelo CMY.....	8
9.	Modelo HSV	9
10.	Modelo HLS.....	11
11.	Intercambio de Modelos	11
12.	Interpolación del color	12
13.	Reproducción del color.....	12

1. Introducción

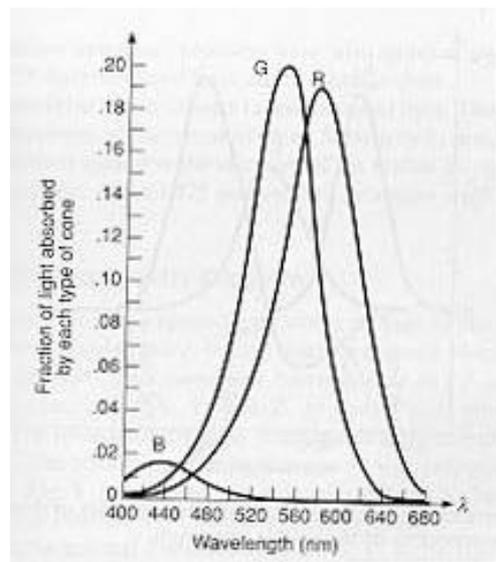
?? Subjetividad del color

?? Modelos relativamente buenos poca investigación en este campo.



2. La luz como fenómeno físico

La luz como fenómeno físico corresponde a una energía electromagnética en el rango de los 400-700 nm, lo cual se percibe como los diferentes colores dentro del espectro. La luz se refleja de los objetos, excitan una células llamadas conos que se poseen en la retina y que son sensibles a la luz roja, azul o verde



La cantidad de energía dentro de cada longitud de onda se representa por una distribución de energía espectral $P(\lambda)$.

3. El modelo HSL

Se denomina **Longitud de Onda Dominante** a la luz que se ve y que corresponde a una determinada cantidad de "Tono" (hue).

La **saturación** corresponde a la pureza del color. Corresponde a la proporción de luz pura de la longitud de onda dominante y la luz blanca necesaria para definir el color. Un color 100% puro tiene una saturación del 100% y no contiene luz blanca. Colores que se alejen del color puro contiene una mezcla entre luz blanca y el color puro comprendidas entre 0% y 100% de saturación. La luz blanca y los grises tienen un 0 % de saturación ya que no contienen color ni ninguna longitud de onda dominante.

La **luminosidad** es la cantidad de luz.

<i>Concepto</i>	<i>Colorimetría</i>
Tono	longitud de onda dominante
Saturación	pureza
Claridad (lightness) objetos reflejados	luminosidad
Brillo (brightness) objetos autoiluminados	luminosidad

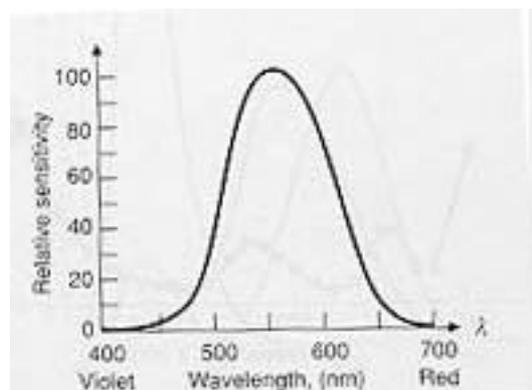
Es más sencillo definir esta distribución espectral por medio del tono, la saturación y la luminosidad. Esto significa que muchas distribuciones de energía se aprecian como el mismo color. Dos distribuciones de energía que corresponden al mismo color de denominan Metámeros (metamers)

4. Colores aditivos (RGB)

Esta teoría se basa en que un color se obtiene por la mezcla de unos colores primarios aditivos Rojo, azul y verde (RGB). Esto es casi cierto, existen ciertos colores que no pueden obtenerse por la mezcla de ellos. El ojo humano es capaz de distinguir cientos de miles de colores diferentes e incluso estos colores pueden ser diferentes si son valorados por observadores diferentes.

5. Modelo CIE

Como existen colores que no pueden ser representados en el modelo RGB, en 1931 La Comisión Internationale de l'Eclairage (CIE) define tres variables X, Y y Z para sustituir al color rojo, verde y azul. La variable Y se define específicamente de acuerdo a la figura



Las variables X y Z son funciones pensadas para poder calcular todos los colores por medio de su adición (Estas funciones se encuentran definidas en una tabla con un intervalo de 1 nm).

Las funciones de igualdad de colores del modelo CIE son combinación lineal de las funciones de obtención de color por medio de los colores aditivos. Es decir de cualquier color se puede pasar vía transformación lineal de un modelo a otro.

Las variables quedan de la forma para una distribución espectral de energía $P(\lambda)$:

$$X = k \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda; Y = k \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda; Z = k \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda;$$

donde para una pantalla CRT $k=680$ lumens/watt

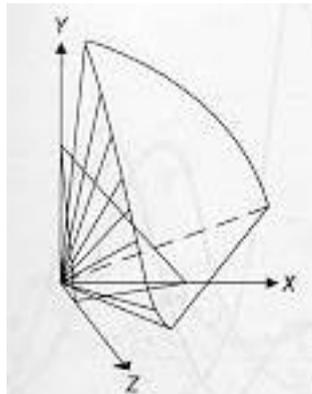
Se supone $(x' \ y' \ z')$ valores en el modelo CIE para obtener un color C, luego C será suma de

$$C = x'X + y'Y + z'Z$$

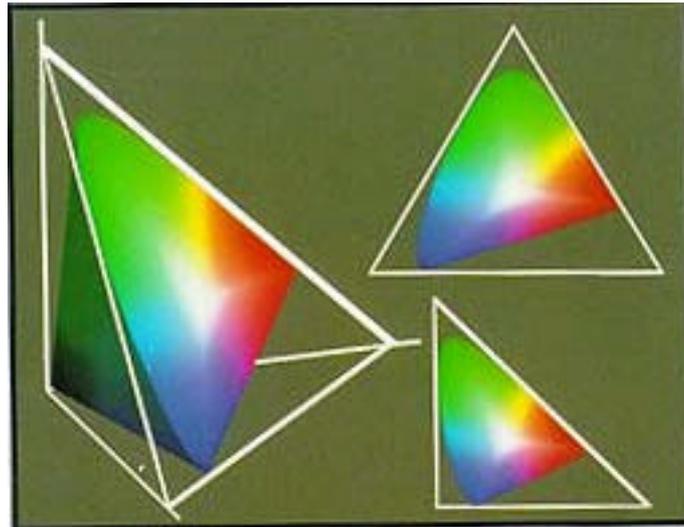
Se definen **valores cromáticos** como aquellos que dependen solo de la longitud de onda dominante y de la saturación y son independientes de la luminosidad. Corresponden a normalizar las variables X Y Z respecto de $X+Y+Z$ (cantidad total de energía lumínica):

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

ahora $x'+y'+z'=1$ es decir se encuentra en el plano $X+Z+Y=1$ de la figura:



La proyección de este plano sobre el plano X, Y (es decir $Z=0$) es el **diagrama cromático CIE**.

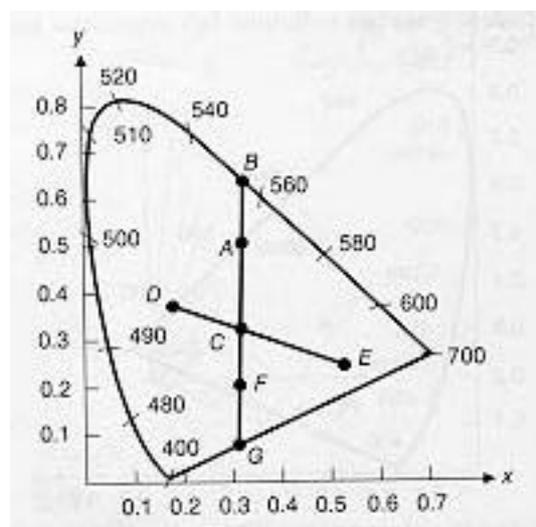


Si se conoce x' e y' , z se puede determinar como $z'=1-x'-y'$

Los valores cromáticos dependen solo de la longitud de onda dominante y de la saturación y es independiente de la cantidad de luminosidad. En el diagrama cromático CIE el 100% de color puro se encuentra en los bordes curvos del diagrama. El punto central C corresponde a una luz blanca estándar. Esta está cerca del punto donde $x=y=z=1/3$.

El diagrama CIE se utiliza para la obtención de las coordenadas colorimétricas en aparatos específicos denominados colorímetros.

Fijémonos en un color A. Cuando se añaden dos colores, el punto A estará en algún lugar de la línea recta que los une. De cualquier forma el punto A puede ser definido como una mezcla de la luz blanca estándar y un color puro B



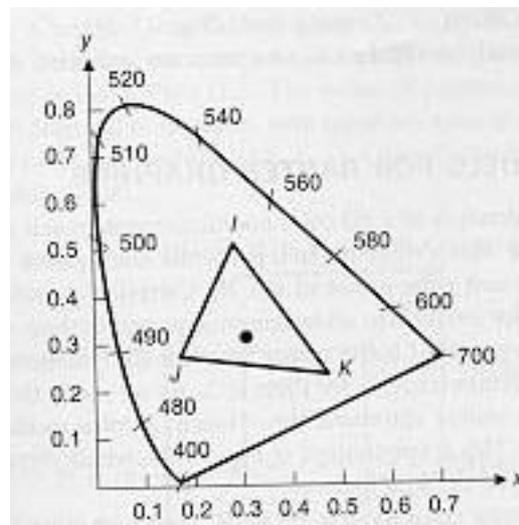
B entonces define la longitud de onda dominante. La relación AC con la longitud BC es la saturación de A. Cuanto más cerca de la luz estándar menos pureza de color contiene el punto A y más luz blanca.

Conviene siempre recordar que el diagrama CIE no contiene información sobre la luminosidad luego existen colores que no aparecen. Por lo tanto existen

muchos más colores correspondientes a un punto junto con todas sus variaciones de Z. Los colores en cada plano son diferentes.

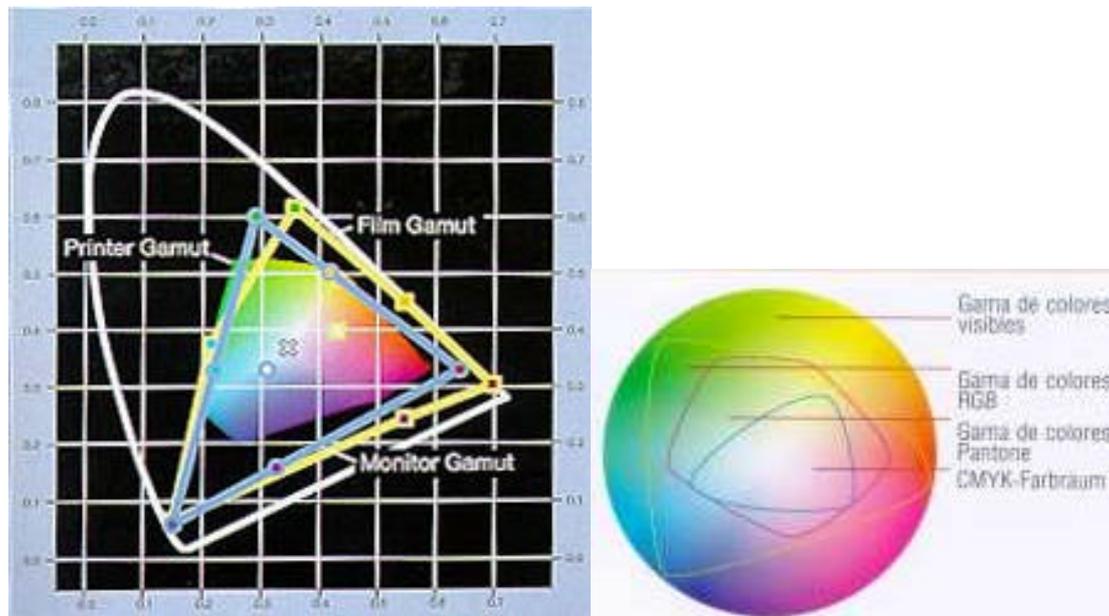
Se definen colores complementarios como aquellos que mezclados producen luz blanca. En la figura los puntos D y E son complementarios. Algunos colores como F, no pueden ser definidos basándose en una longitud de onda dominante y se denominan *no espectrales*. En este caso se dice que la longitud de onda dominante es el complemento de la longitud de onda a la cual la línea entre la luz blanca C y F intersecta la curva en el punto B. La saturación se define como la relación entre las longitudes CF y CG. Estos colores corresponden a los púrpuras y los magentas.

Otro uso del diagrama CIE es la definición de series de colores.



Dos colores I y J pueden sumarse para producir un color, cualquiera a lo largo de la recta que los une dependiendo de los porcentajes de cada elemento. Un tercer color K puede ser utilizado junto con diversas mezclas de I y de J para producir la gama de colores comprendida en el triángulo IJK. Este triángulo explica por que no todos los colores se pueden obtener adicionando los colores primarios RGB; no existe un triángulo cuyos vértices estén dentro del área que la cubra enteramente.

Este diagrama permite la comparación de gamas de colores disponibles en pantallas o impresoras por ejemplo.



Este diagrama presenta sus problemas. Considérese la distancia de un color $C_1=(x_1,y_1,z_1)$ a otro color $C_1+\delta C$ y la distancia del color $C_2=(x_2,y_2,z_2)$ al color $C_2+\delta C$, donde $\delta C=(\delta X, \delta Y, \delta Z)$. Las dos distancias valen δC , aunque en general no se percibirán como iguales. Esto se debe a la variación a lo largo del espectro.

Por lo tanto es necesario *un espacio de color uniforme "sensorialmente" donde dos colores que se separen la misma distancia se detecten como iguales a los observadores.*

Respondiendo a esto se define el espacio CIE LUV (1976).

6. Modelos de color para gráficos raster

Un modelo de color es una especificación de un sistema de coordenadas 3 D de color con un subconjunto visible dentro del cual descansa una gama de colores. El modelo RGB es un modelo de color correspondiente a un cubo de lado unidad en el sistema cartesiano 3D.

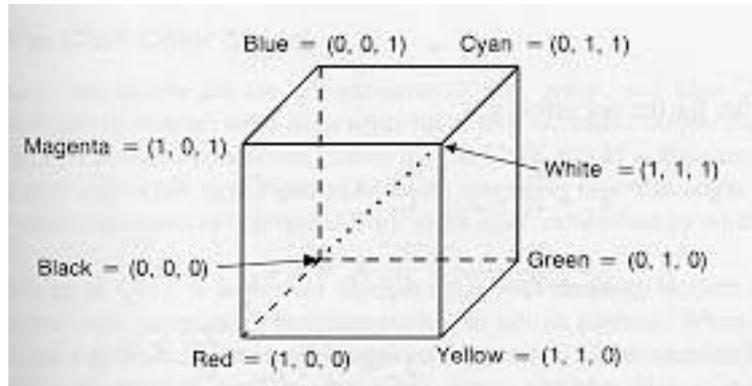
El objeto que se persigue con la definición de un modelo de color es la especificación de colores dentro de una gama. En general interesa definir gamas de colores correspondientes a los monitores CRT que son nuestro instrumento de trabajo. En ello la gama de colores se define utilizando los colores primarios RGB. En primer lugar conviene destacar que por lo tanto no todos los colores van a poder ser reproducidos.

Existen tres modelos de color para hardware:

- ?? RGB para monitores CRT
- ?? YIQ par los sistemas de televisión
- ?? CMY para determinadas impresoras

7. Modelo RGB

El sistema RGB emplea un sistema de coordenadas cartesianas. Los colores RGB son aditivos, es decir un color se obtiene dependiendo de las diferentes proporciones de RGB. En este espacio se define un cubo de lado la unidad



La diagonal principal (contiene la misma cantidad de RGB) representa los niveles de grises. El negro es (0,0,0), el blanco es (1,1,1).

La gama de colores que cubre el modelo RGB esta definida por los colores de los fósforos de la pantalla CRT. Dos pantallas con diferentes calidades de fósforos cubren diferentes gamas de colores. Es posible convertir la gama de colores de un CRT en la gama de colores de otra pantalla de CRT por medio de las transformaciones M1 y M2 del modelo de color RGB de cada monitor al modelo de color definido por (X, Y Z).

La forma de cada transformación es:

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

donde X_r, X_g y X_b son los pesos aplicados a los colores RGB del monitor para obtener X.

Si M₁ y M₂ son las matrices de transformación de cada monitor en el modelo CIE, M₂⁻¹M₁ convierte la gama del monitor 1 en la gama del monitor 2.

8. El modelo CMY

CMY corresponde a Cian, Magenta y amarillo (Yellow) que son los complementarios del rojo, verde y azul (RGB). Se denominan colores sustractivos ya que se utilizan como filtros para sustraer colores de la luz blanca. El sistema coordinado es el mismo que en el modelo RGB pero donde había negro ahora existe luz blanca y viceversa. Este sistema es el más utilizado en impresión. Una superficie impresa con tinta cian, no refleja ningún rojo. El cian sustrae el rojo de la luz blanca, que en si misma es la suma de

rojo, verde y azul. En términos aditivos cian es blanco menos rojo, es decir azul más verde. Magenta absorbe el verde, luego es azul más rojo, amarillo absorbe azul, luego es rojo + verde. Una superficie pintada con cian y amarillo, absorbe el rojo y el azul, luego solo el verde es visible. Una superficie con magenta, amarillo y cian absorbe el rojo, el azul y el verde, luego sólo se aprecia el negro.



Se puede definir:

$$\begin{matrix} C & M & R \\ M & Y & G \\ Y & B & B \end{matrix}$$

o bien la conversión de RGB a CMY

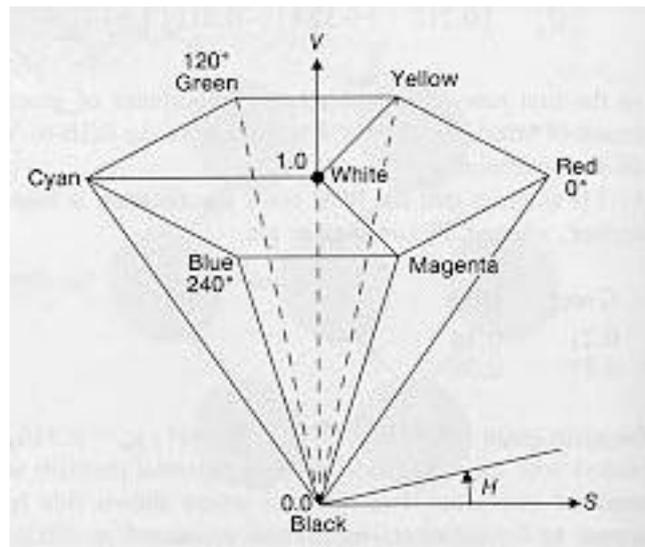
$$\begin{matrix} R & G & B \\ G & M & Y \\ B & Y & C \end{matrix}$$

El Modelo CMYK incorpora el color negro. En la práctica mezclando tintas CMY no se obtiene el negro puro sino un marrón muy oscuro. Como arte gráfica es necesario obtener este color se utiliza un sistema de cuatro colores que lo incorpora.

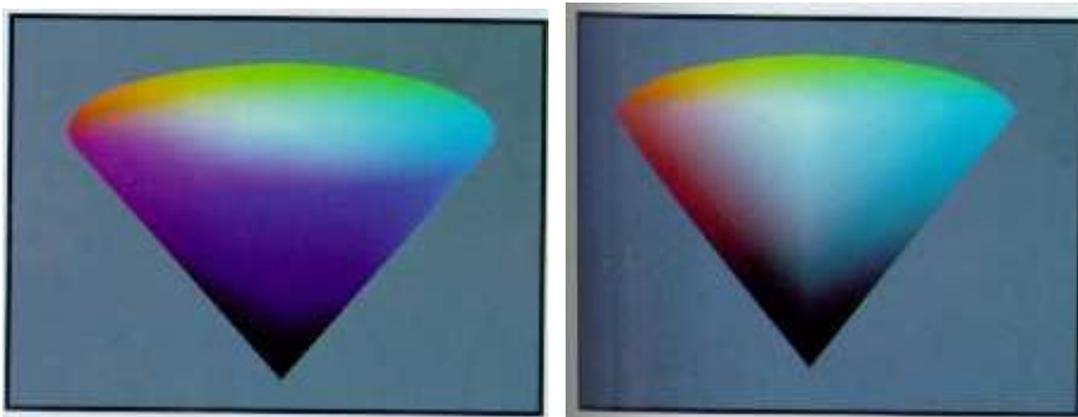
9. Modelo HSV

El modelo HSV fue creado en 1978 y está pensado en la definición del color que realizaría un artista. HSV corresponde a Tono (hue), saturación y valor (value). También se denomina HSB, siendo B el brillo.

El sistema coordinado es cilíndrico, y el subconjunto de este espacio donde se define el color es una pirámide de base hexagonal.



El área hexagonal corresponde a un valor de $V=1$, conteniendo los colores brillantes. Sin embargo hay que tener en cuenta que los colores con $V=1$ no se perciben con el mismo brillo por el observador.



El tono se mide como el ángulo alrededor del eje S. El rojo se sitúa a 0° , el verde a los 120° , etc. Los colores complementarios son aquellos que se encuentren a 180° del señalado.

El valor de S corresponde al valor desde 0 (coincidiendo con el eje de la pirámide) hasta 1, coincidiendo con el final del área hexagonal de la pirámide.

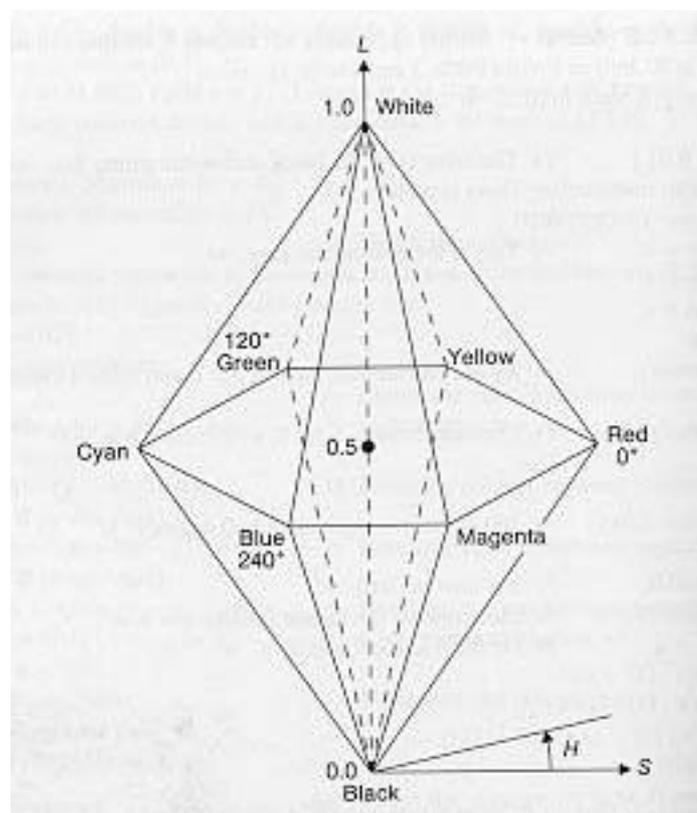
La pirámide tiene de altura la unidad. El vértice corresponde al negro con coordenadas $S=0$ y $V=0$. El blanco corresponde a $S=0$ y $V=1$. Los valores coincidentes con la altura y por lo tanto con V variando de 0 a 1, son los grises. Cuando $S=0$ el valor de $H=0$ no es importante y se dice que está indefinido. Cuando $S>0$; el valor de H empieza a tener importancia. Por ejemplo, el rojo puro se sitúa a $H=0$, $S=1$, $V=1$. Si se añade blanco S disminuye pero sin cambiar V. Las sombras se crean manteniendo $S=1$ y disminuyendo V. Variando H corresponde a variar el color base de la mezcla.

Si el cubo del modelo de color RGB definido anteriormente se corta por planos perpendiculares a su diagonal principal, se obtiene un hexágono similar al de la pirámide (en realidad mas pequeños). Cada plano de V constante corresponde

a un subcubo del espacio RGB. La diagonal principal del cubo corresponde con el eje V del modelo HVS.

10. Modelo HLS

Corresponde a un modelo de color definido por el tono, la luminosidad y la saturación. El espacio se define en un espacio cilíndrico donde se define una doble pirámide hexagonal. H es el ángulo alrededor del eje vertical, siendo el rojo a 0° . Los colores tienen el mismo orden que en el diagrama CIE siguiéndolos en sentido antihorario. El color complementario está a 180° del color indicado. La saturación se mide radialmente variando desde 0 a 1. La luminosidad es 0 para el negro (en vértice inferior de la doble pirámide) y vale 1 para el blanco (en el vértice superior de la doble pirámide)



En este modelo los grises tienen todos el valor $S=0$ y los tonos más saturados se encuentran a $S=1$ y $L=0.5$.

11. Intercambio de Modelos

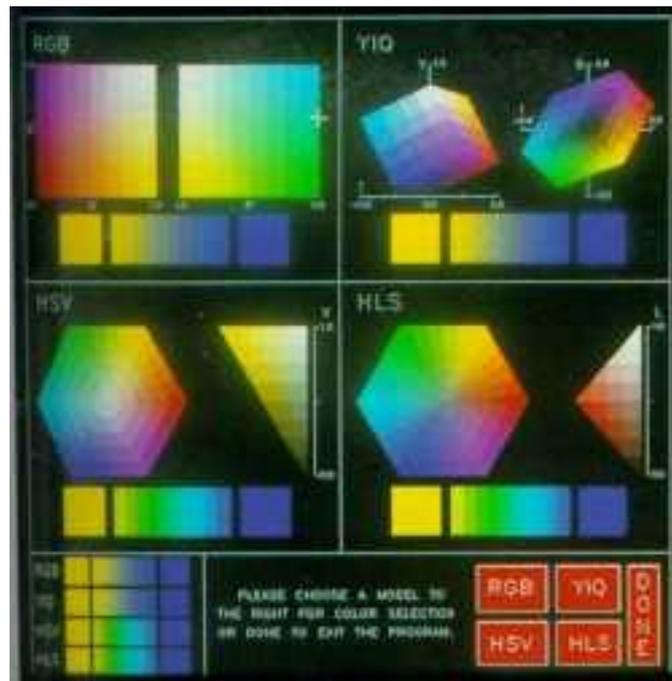
Es posible crear algoritmos para poder convertir unos modelos a otros. El modelo más estándar es el modelo CIE. Cualquier conversión de los modelos debe realizarse siempre a RGB y de este espacio de color al CIE.

12. Interpolación del color

La interpolación del color es necesaria para:

- ?? Sombreado Gouraud
- ?? Antialiasing
- ?? Mezcla de imágenes (fade)

El resultado depende del modelo de color empleado. Los modelos RGB, CIE, CMY y YIQ llevan a los mismos resultados no siendo así si se emplean los modelos HSV y HLS.



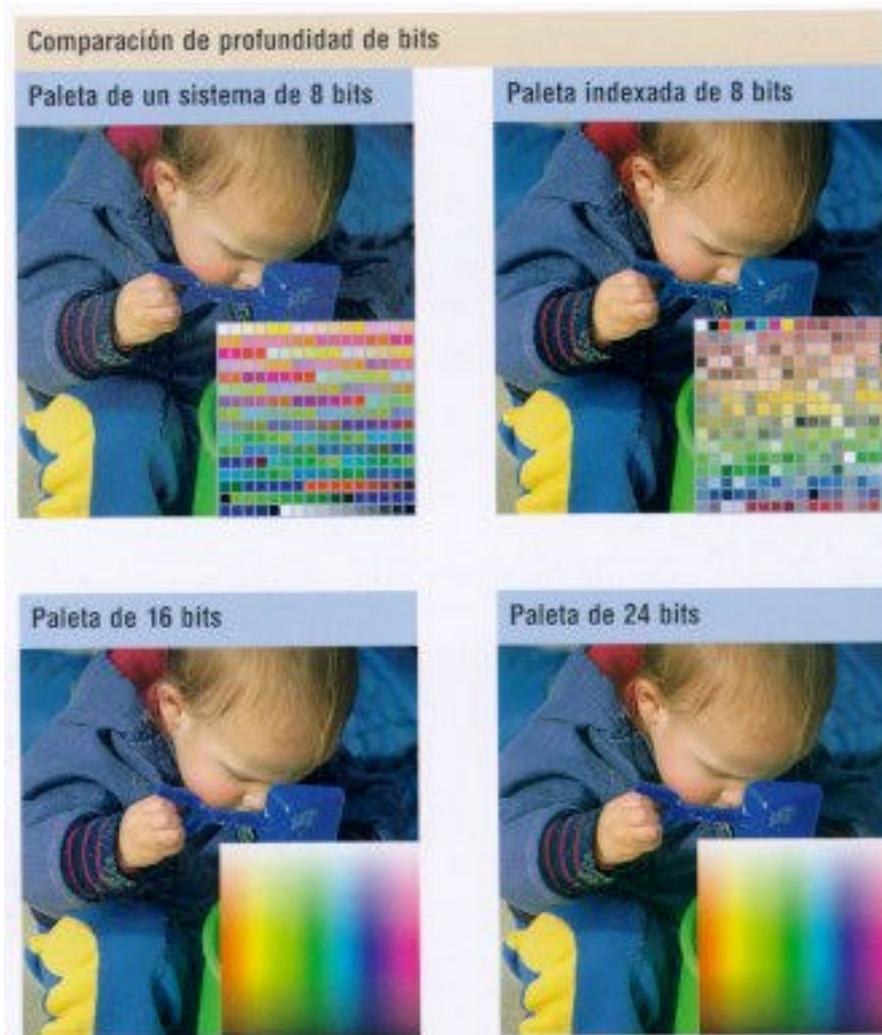
Para el sombreado cualquiera de los modelos puede ser utilizado ya que normalmente los colores a interpolar son muy cercanos.

En mezclados, donde los colores pueden ser muy distantes se recomienda utilizar el modelo RGB. O bien si el objetivo es mezclar elementos cuya H o S es constante los modelos HSV o HLS pueden ser los más apropiados.

13. Reproducción del color

En artes gráficas el color se reproduce de la siguiente forma: existen cuatro rejillas de puntos orientadas de forma diferentes correspondientes al magenta, al amarillo, al cian y al negro. Por medio de un proceso denominado "separación del color" el negro reemplaza cantidades iguales de CMY. Esto permite la creación de un negro más intenso y puro que mezclando únicamente los tres colores y por otra parte facilita el secado al disminuir la cantidad de tinta de los tres colores necesaria. La impresión se realiza como una rejilla de infinitos puntos con sólo los cuatro colores, sin embargo el ojo humano es capaz de asociar o reunirlos para crear las diferentes gamas tonales. Este

mismo proceso se realiza con los múltiples puntos de color que aparecen en un monitor de color.



Considérese un monitor con 3 bits por pixel, uno para el rojo, otro para el azul, y otro para el verde. Si la pantalla puede mostrar cinco intensidades diferentes por pixel, el resultado es $5 \times 5 \times 5 = 125$ combinaciones de color.

Aparece un problema cuando se tiene una imagen de n bits por pixel que debe ser mostrada o reproducida en un dispositivo de $m < n$ bits por pixel. ¿Qué colores deben ser eliminados sin perder calidad en la imagen?. Se debe sacrificar la resolución del color. La solución más sencilla es utilizar un conjunto de colores predefinidos y una relación prefijada de colores de imagen hacia colores en pantalla.

El número de bits que se necesitan para grabar la información de un pixel se denomina profundidad de bit.

Los ficheros más sencillos tienen una profundidad de 1 bit. En ellos cada pixel queda descrito por un solo dígito binario. Este dígito toma los valores 1 o 0 (activado o desactivado). Por lo tanto un pixel tendrá dos colores: blanco o negro ($2^1=2$).

Las imágenes de escalas de grises o de color de 8 bits emplean uno de los 256 tonos de grises o de los 256 colores respectivamente ($2^8=256$). Si ese utiliza una profundidad de 24 bits, es posible alcanzar los 16.7 millones de colores ya se mezclan cada uno de los 256 colores disponibles de rojo, azul o verde ($2^{24}=2^8 \times 2^8 \times 2^8 = 16.7$ millones). Como no todos los monitores pueden visualizar colores de 24 bits, no es posible ver imágenes con esta profundidad. La solución más sencilla es asignar a cada uno de los píxeles de la imagen de 24 bits el color más parecido de una paleta de color del sistema. Otra solución es la Indexación. Se emplean los 256 colores que aparecen más frecuentemente en la imagen de 24 bits. Un monitor de 16 bits proporciona una imagen indexada de buena calidad ya que puede ofrecer los 65536 colores más utilizados.

Existen dos algoritmos para determinar qué colores deben visualizarse y cuáles no.

- ?? Al. Popular: crea un histograma de los colores de la imagen y usa los 2^m colores más frecuentes en el mapeado.
- ?? Median cut Algorithm: crea una cajas donde los ejes principales corresponden a los rojos, azules y verdes utilizados en la imagen. La caja se parte por la mitad de su eje mayor y así sucesivamente. Esta división termina cuando se obtienen 2^m cajas. Los colores a utilizar corresponden a los centroides de caja de una de las cajas utilizadas.