

# Medición de Color

En la vida diaria, estamos rodeados por la naturaleza y por objetos que tienen colores bien conocidos, por ejemplo: la manzana roja, el cielo azul, el pasto verde, la casa blanca, el carro gris, la puerta café, etc. Sin embargo existen diferencias de observación que pueden definir el mismo color de manera diferente, ya que la percepción visual de cada persona varía de acuerdo a su conocimiento, criterio, sensibilidad o experiencia, por lo que para una persona el color del cielo puede ser "azul cielo"; para otra es "azul claro"; o bien; para otra "azul pastel", aquí ya se está agregando un atributo más al color, por lo que la expresión verbal de los colores es subjetiva y compleja, ya que también hay factores que intervienen en la apariencia de éstos, como son: la fuente de luz; el observador; el tamaño; el fondo; el ángulo de observación; entre otros. Sin embargo ¿Cómo se puede medir el color numéricamente? ¿se puede expresar de manera exacta?



## *Apasionados por la Metrología*

*La Guía MetAs*, es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs & Metrologos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan: noticias de la metrología, artículos e información técnica; seleccionada por nuestros colaboradores, que deseamos compartir con Usted, colegas, usuarios, clientes, estudiantes, amigos y en fin, con todos aquellos interesados o relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro  
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México  
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas  
E-mail: [laguiametas@metas.com.mx](mailto:laguiametas@metas.com.mx). Web: [www.metas.com.mx](http://www.metas.com.mx)

### Servicios Metrológicos:

#### Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones, Masa, Densidad, Volumen y Óptica

#### Ingeniería:

Selección de Equipos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación y Mantenimiento

#### Gestión Metrológica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metrológica

#### Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

## FUNDAMENTOS DE COLOR

Primeramente veremos a continuación algunos fundamentos del color que son importantes para dar respuesta a estas preguntas.

### Color

Se define como la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo.

### Percepción de color

La percepción del color incluye tres elementos necesarios: a) una fuente de luz, b) un objeto que es iluminado, y c) un observador.

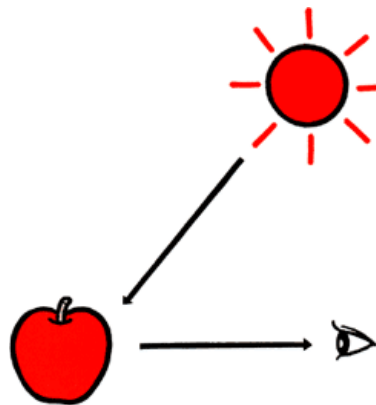


Figura 1. Elementos para la percepción del color.

Espectro  
del Latín  
apariciencia o  
*Spectrum*  
distribución  
de colores

#### a) Fuente de Luz

La luz es una forma de energía y se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La longitud de onda es una característica importante de la onda electromagnética y varía desde fracciones de nanómetro ( $1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm}$ ) hasta kilómetros.

Todo cuerpo iluminado absorbe una parte de las ondas electromagnéticas y refleja las restantes, las ondas reflejadas son captadas por el ojo e interpretadas como colores según las longitudes de ondas correspondientes.

Isaac Newton uso por primera vez la palabra espectro (del latín, "apariciencia" o "aparición") al describir sus experimentos en óptica. Newton observó que cuando un estrecho haz de luz solar incide sobre un prisma de vidrio triangular con un ángulo, una parte se refleja y otra pasa a través del vidrio y se desintegra en diferentes bandas de colores.

Cuando llueve y luce el sol, cada gota de lluvia se comporta igual que el prisma de Newton y de la unión de millones de gotas de agua se forma el fenómeno del arco iris.

El ojo humano solo puede detectar longitudes de onda de la región visible (380 nm a 780 nm) del espectro electromagnético, el cual se muestra en la figura 2.

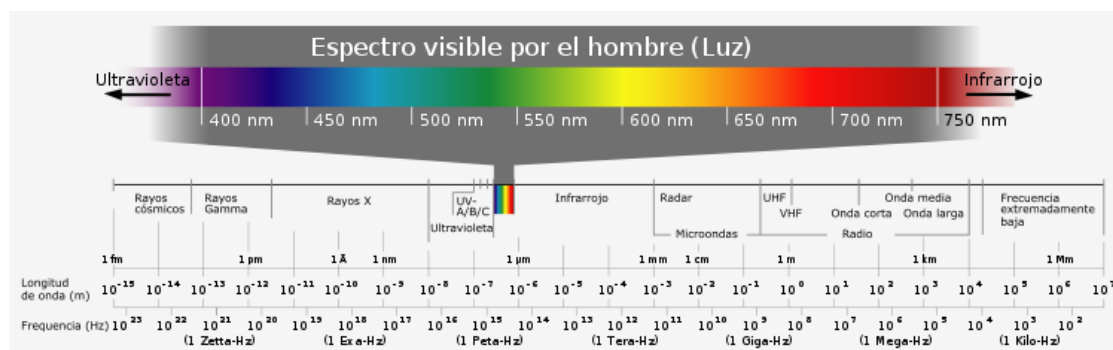


Figura 2. Espectro electromagnético.

A pesar que el espectro es continuo y por lo tanto no hay cantidades vacías entre uno y otro color, se puede establecer la aproximación mostrada en el cuadro 1.

**Espectro Visible**

Color	Longitud de onda
violeta	~ 380...450 nm
azul	~ 450...495 nm
verde	~ 495...570 nm
amarillo	~ 570...590 nm
naranja	~ 590...620 nm
rojo	~ 620...750 nm

Cuadro 1. Longitudes de onda para cada color.

**b) Objeto**

Las radiaciones de iluminación son modificadas por el objeto mediante procesos físicos como la transmisión, reflexión, absorción y dispersión. Las proporciones relativas de estos procesos dependen de las características del material como su forma, espesor, longitud, composición química, etc.

### c) Observador

Los detectores comunes de la luz y el color son el ojo, el sistema nervioso y el cerebro. El ojo enfoca la imagen del objeto en la retina. Los detectores fotosensibles de la retina se denominan bastones y conos por su forma. Los bastones se activan en la oscuridad, y sólo permiten distinguir el negro, el blanco y los distintos grises, el color es detectado por los conos, hay tres tipos de conos que son sensibles a la luz en longitudes de onda distintas, por ello se les conoce como conos sensibles azules; conos sensibles verdes y conos sensibles rojos. De este modo la luz reflejada de un objeto pigmentado estimula los tres tipos de conos y el cerebro interpreta el color como efecto de señales recibidas desde los conos, este mecanismo de percepción del color está basado en la mezcla de color aditiva.

Fuente de  
Luz  
+  
Objeto  
+  
Observador

#### Mezcla de color aditiva

La mezcla de color aditiva se produce cuando dos o más luces son sumadas enfocándolas en una pantalla blanca; los colores rojo, azul y verde son utilizados como colores primarios para crear el magenta, cian y amarillo.



Figura 3. Mezcla aditiva de colores primarios.

#### Mezcla de color sustractiva

La mezcla sustractiva de colores se produce cuando uno o más componentes espectrales son suprimidos de la luz incidente por los fenómenos de absorción y dispersión, entonces se puede observar la figura 4.

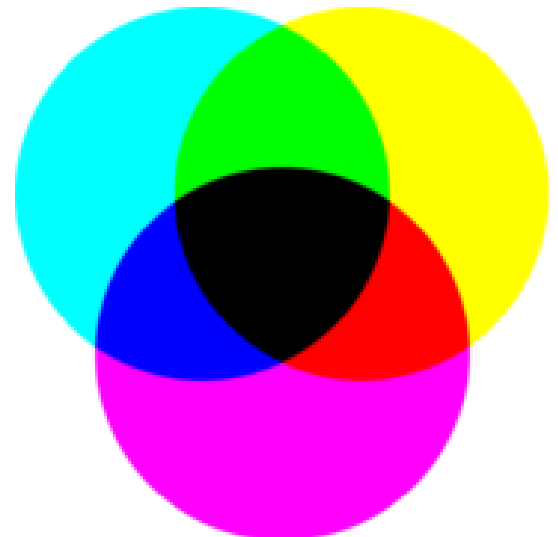


Figura 4. Mezcla sustractiva de colores primarios.

## Reflexión

Es un proceso físico donde un haz de luz que se propaga a través de un medio homogéneo encuentra en su camino una superficie éste se refleja en ella, tal fenómeno es conocido como reflexión regular o especular.

Cuando la luz incide sobre un objeto, su superficie absorbe ciertas longitudes de onda y reflejan otras. Sólo las longitudes de onda reflejadas podrán ser vistas por el ojo y por tanto en el cerebro sólo se percibirán esos colores.

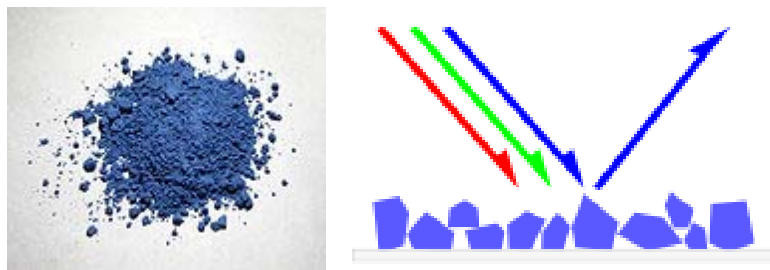


Figura 5. El pigmento azul absorbe la luz verde y roja, reflejando la luz azul.

Sólo las longitudes de onda reflejadas podrán ser vistas

## Reflectancia

Se define como la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente sobre un objeto.

### Reflectancia difusa

La reflectancia difusa tiene lugar en todas las direcciones como consecuencia de los procesos de absorción y dispersión y predomina cuando los materiales de la superficie reflectante son débiles absorbentes a la longitud de onda incidente y cuando la penetración de la radiación es grande en relación a la longitud de onda.

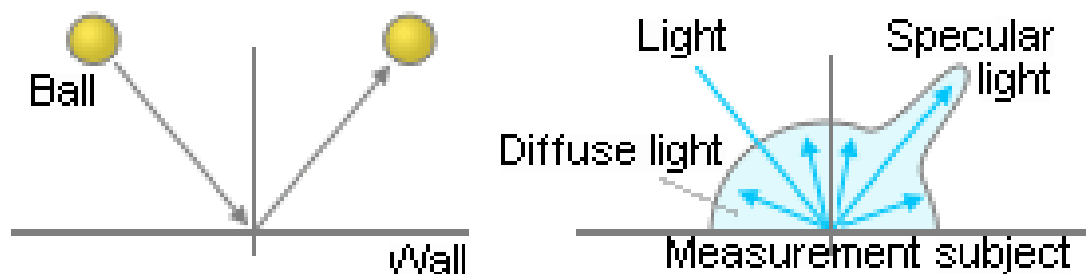


Figura 6. Fenómeno de reflectancia.

## HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN DE COLOR

Como solución a los problemas de evaluación del color se crearon sistemas de medición para poder cuantificarlo y expresarlo numéricamente, cuyo principio está basado en la cantidad de luz reflejada por el objeto.

Uno de los primeros sistemas de medición de color es el sistema **Munsell** creado por A. H. Munsell en 1905, el cual utilizó un gran número de tarjetas de colores clasificadas de acuerdo a su tono, luminosidad y saturación; posteriormente el sistema Munsell evolucionó un poco más al asignarle una codificación de letras y números.

De manera similar podemos mencionar el sistema **Ostwald**, y el sistema **OSA-UCS** creados en base a la comparaciones visuales de muestras de color en catálogos.

La organización internacional de luz y color **CIE** (Commission Internationale de L'Eclairage) desarrolló dos importantes sistemas para la evaluación de color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra.

Reflectancia  
Espectral

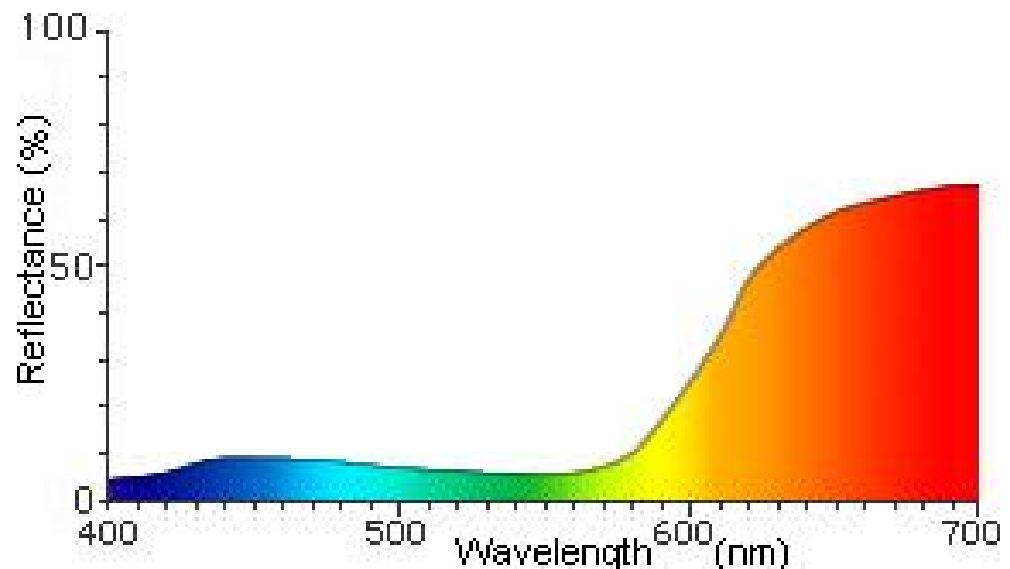


Figura 7. Gráfica de reflectancia espectral de una muestra de color.

El primer sistema fue creado en 1931 se refiere a los valores triestímulo ( $X Y Z$ ) y el segundo sistema creado en 1976 referido los espacios de color ( $L^* a^* b^*$ ), siendo estos sistemas los más utilizados en la actualidad por los instrumentos de medición de color.

## Sistema de medición CIE 1931, Valores triestímulo (X Y Z) y coordenadas de cromaticidad (x y)

El concepto de los valores triestímulo está basado en la teoría de los tres componentes de color que establece que el ojo humano posee receptores de los tres colores primarios: rojo, azul y verde; y todos los colores son mezclas que se derivan de ellos. Para la determinación de los valores triestímulos se tienen las ecuaciones (1) a (4):

$$X = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) \quad (1)$$

$$Y = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) \quad (2)$$

$$Z = k \sum_{380}^{780} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) \quad (3)$$

$$K = \frac{100}{\sum_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda)} \quad (4)$$

Donde:

$S(\lambda)$  = Energía espectral relativa del iluminante CIE.

$R(\lambda)$  = Factor de reflectancia del objeto.

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  = Funciones de mezcla definidas por el observador patrón para cada una de las longitudes de onda visibles.

$K$  = La luminancia relativa de una muestra se indica directamente por el valor de  $Y$ , asignando un valor de  $Y$  igual a cero para un negro absoluto y un valor igual a cien para un blanco perfecto lo que define la constante.

Para la determinación de las coordenadas de cromaticidad se tienen las ecuaciones (5), (6) y (7):

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (5)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (6)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (7)$$

CIE  
1931  
1976

Valores Triestímulo y Coordenadas de Color

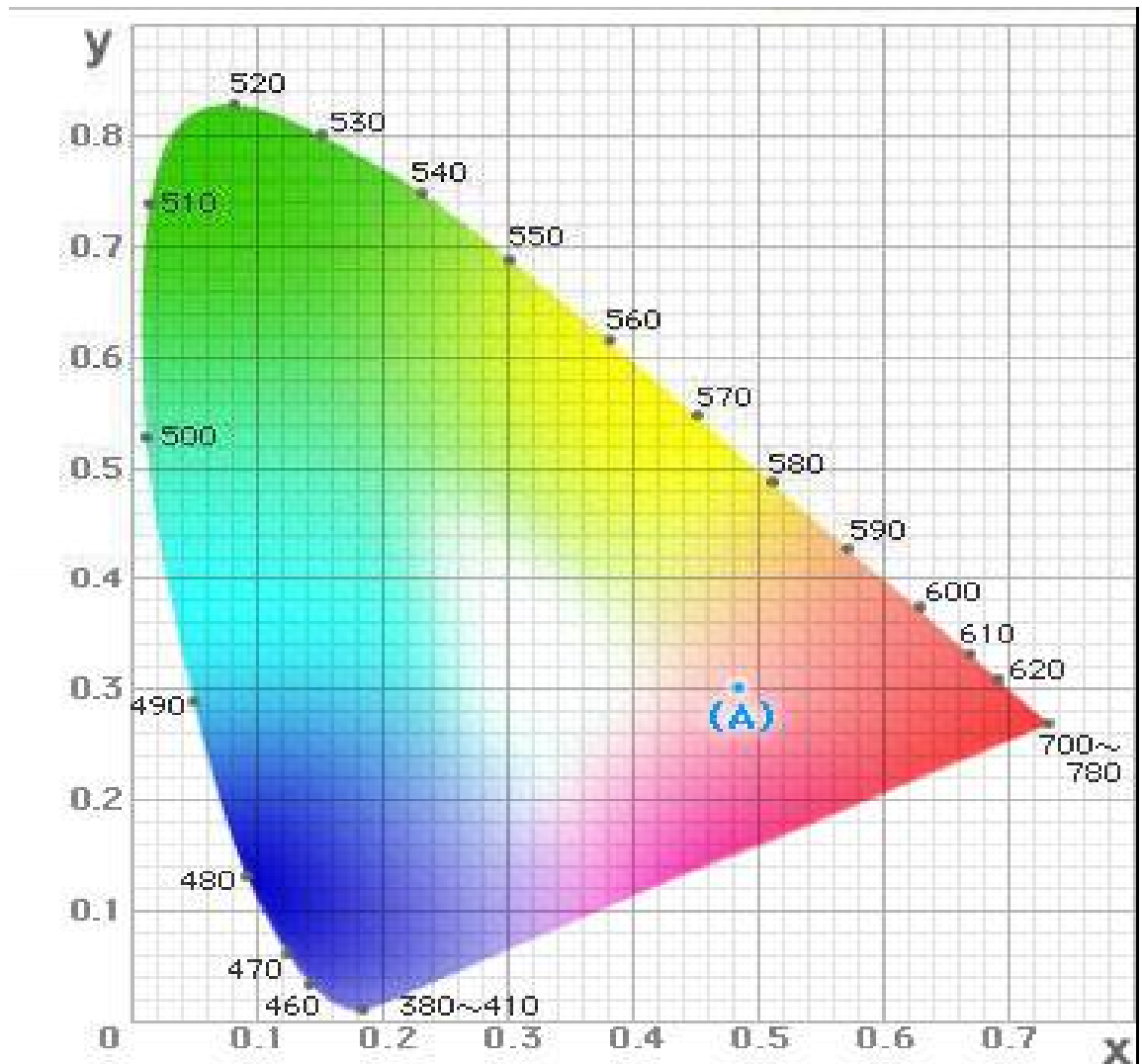


Figura 8. Diagrama de coordenadas de cromaticidad (x, y).

Sistema de medición CIE 1976, Espacios de color (L\* a\* b\*)

Este sistema de medición también es conocido como CIELAB, expresa la luminosidad L\* (claro u oscuro); a\* y b\* indican la orientación del color. Para la determinación de los espacios de color L\* a\* b\* se tienen las ecuaciones (8) a (11).

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/\beta} - 16 \quad \text{si} \left( \frac{Y}{Y_n} \right) > 0,008856 \quad (8)$$

$$L^* = 903,29 \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/\beta} - 16 \quad \text{si} \left( \frac{Y}{Y_n} \right) \leq 0,008856 \quad (9)$$



$$a^* = 500 \left[ \left( \frac{Y}{X_n} \right)^{1\beta} - \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1\beta} \right] \quad (10)$$

$$b^* = 200 \left[ \left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1\beta} - \left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1\beta} \right] \quad (11)$$

Donde:

$L^*$  = Luminosidad.

$a^*$  = Tendencia del color al rojo (positivo) o al verde (negativo).

$b^*$  = Tendencia del color al amarillo (positivo) o al azul (negativo).

$X, Y, Z$  = Valores triestímulo CIE calculados para el objeto a caracterizar.

$X_n Y_n Z_n$  = Valores  $X, Y, Z$ , para el blanco de referencia elegido.

Espacios de  
Color

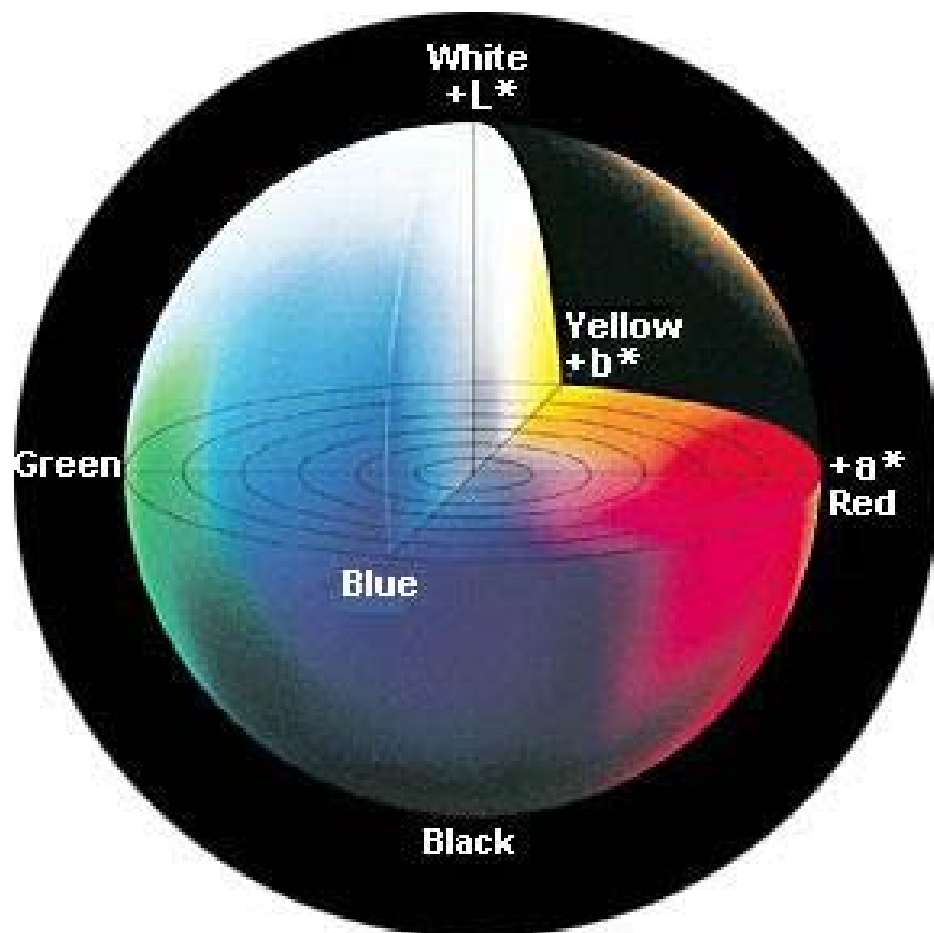


Figura 9. Diagrama de espacios de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

Para la aplicación de estos sistemas de medición de color la CIE consideró diferentes tipos de iluminantes ya que cada fuente de luz viene caracterizada por la energía que emite en las diferentes longitudes de onda, los más comunes son:

Iluminante A: Luz incandescente con una temperatura de color de 2 854 K (kelvin). (lámpara de tungsteno).

Iluminante C: Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6 774 K, no incluye la radiación ultravioleta.

Iluminante D65: Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6 504 K, incluye la radiación ultravioleta.

Otra consideración importante es el observador; definido como la visión normal de color de la media de la población humana, ya que dependiendo del ángulo de observación la sensibilidad del ojo cambia, por lo que la CIE definió en 1931 un observador a 2 ° (grados) y en 1964 definió el observador de 10 ° como se indican en la figura 10.

“Standard  
Observer”

2° viewing angle



10° viewing angle



Figura 10. Ángulos de observación.

En el reporte técnico de colorimetría CIE 15 (2004) se dan las recomendaciones para la medición de color y se encuentran publicados los valores de distribución espectral para cada tipo de iluminante y para cada observador que son utilizados en los cálculos de color.

Existen otros sistemas de medición de color que podemos mencionar:  $L^* C^* h^*$ ; Hunter  $L^* a^* b^*$ ;  $\Delta E^* a b$ ; y  $L^* u^* v^*$ , que de igual forma parten de los valores triestímulos basados en la medición de la reflectancia espectral.

## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE COLOR

La primera generación de instrumentos realizaba mediciones en reflectancia punto a punto seguidas por cálculos manuales de los valores triestímulos, (X, Y, Z), los instrumentos de segunda generación fueron espectrofotómetros con un registro automático capaz de trazar una curva de reflectancia espectral desde 400 a 700 nm en 2,5 min. Los espectrofotómetros de tercera generación mejoraron en velocidad y en el empleo de filtros de interferencia.

A finales de los años 70's apareció en el mercado una nueva y completa generación de espectrofotómetros que presentaban avances ópticos y electrónicos, que tenían incorporado un microprocesador capaz de manejar los complejos cálculos requeridos para la colorimetría aplicada.

En la actualidad se tienen los colorímetros y espectrofotómetros para la medición del color, la diferencia entre ellos es que el colorímetro está diseñado con tres filtros de color rojo, verde y azul para seleccionar la longitud de onda el haz de luz y los espectrofotómetros están diseñados con una red de difracción para separar el haz de luz en todos sus componentes.

Existe una gran variedad de colorímetros y espectrofotómetros de marcas y modelos en el mercado actual con diferentes características según su aplicación.



Figura 11. Colorímetros y espectrofotómetros para la medición de color.

## CONCLUSIONES

La luminosidad, el tono y la saturación del color son atributos que se denominan parámetros psicofísicos del color.

La percepción del color para cada persona es diferente ya que intervienen factores como el tipo de luz, las características físicas del objeto y las condiciones del observador.

La evaluación del color por métodos visuales es subjetiva, la evaluación con colorímetros y u o espectrofotómetros es objetiva.

La CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) es una organización internacional de cooperación e intercambio de información entre países miembros, dedicada a la solución de problemas relacionados con el arte y ciencia de la luz. Desde 1931 se considera el punto de partida de la colorimetría moderna, ya que con la implementación de sus recomendaciones se hizo posible la expresión de color en términos numéricos, lo cual favoreció los procesos de evaluación de color en términos de aceptación o rechazo de muestras, logrando un mejor control de calidad en las empresas.

La aplicación de la colorimetría es amplia, se utiliza en diversas industrias como: pinturas, tintas, textiles, cerámicos, plásticos, papel, automotriz, fotografía, alimentos, cosméticos y farmacéuticos.

El Arte  
y  
La Ciencia  
de la Luz

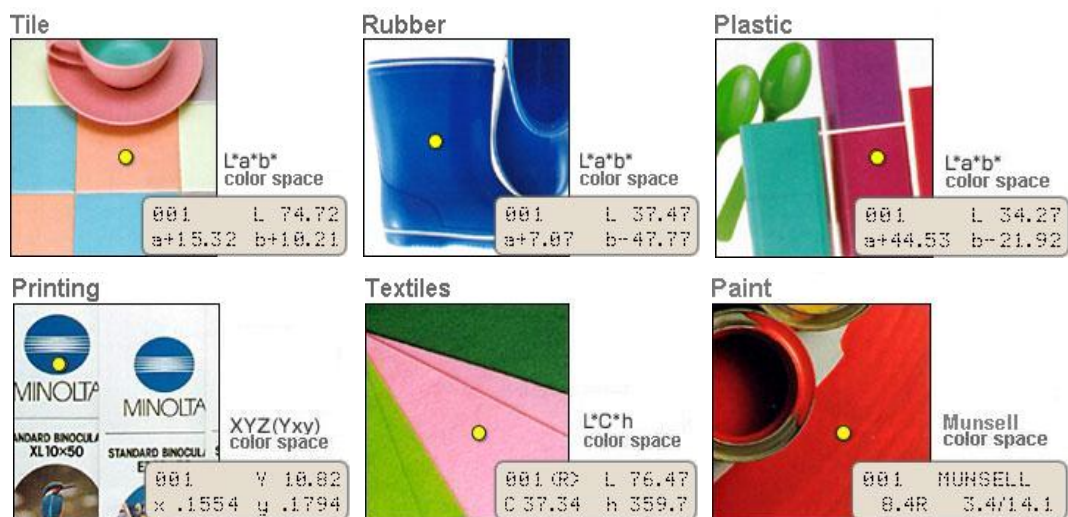


Figura 12. Aplicaciones de la colorimetría instrumental.

## REFERENCIAS

- CIE 15. (2004). Technical report, colorimetry. Commission Internationale de L'Eclairage.
- Hunter Lab. (2001). Principios básicos de medida y percepción de color. Información técnica. HUNTER LAB.
- Minolta. (1993). Precise color communication. Manual de colorímetros. MINOLTA.
- Shah, H. S. (1993). Medida de igualación en colores textiles. AIDO. España.
- Wikipedia. (2009). Color. <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>.