

TEORÍA DEL COLOR

Comenzaremos diciendo que el color en sí no existe, no es una característica del objeto, es más bien una apreciación subjetiva nuestra. Podemos definirlo como, una sensación que se produce en respuesta a la estimulación del ojo y de sus mecanismos nerviosos, por la energía luminosa de ciertas longitudes de onda.

Es decir el color es el producto de las longitudes de onda que son reflejadas o absorbidas por la superficie de un objeto, pero sin la intervención de nuestros ojos que captan esas radiaciones electromagnéticas de un cierto rango, que luego son transmitidas al cerebro, ese color no existiría. El color es el efecto en el cerebro de un observador cuando un objeto se observa en presencia de una fuente de luz.

Por esto para que exista el color es indispensable el iluminante, el objeto y el observador. Cualquier alteración en esos factores modifica la apreciación de este.

Las ondas visibles son aquellas cuya longitud está comprendida entre los 400 y los 700 nm; más allá de estos límites siguen existiendo radiaciones, pero ya no son percibidos por nuestra vista.

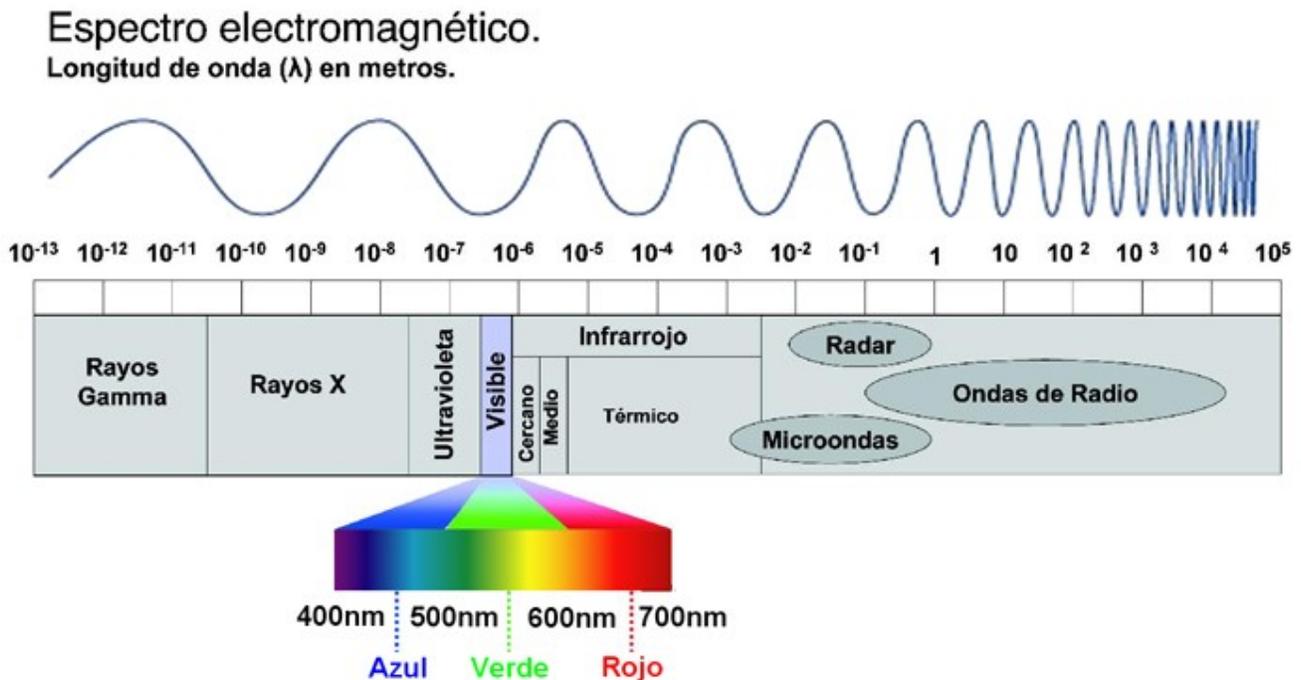


Figura 1. Espectro Electromagnético.

Teoría del color

Newton fue el primero en trabajar sobre la descomposición de la luz blanca en el espectro visible al atravesar un prisma y producir varios colores independientes.

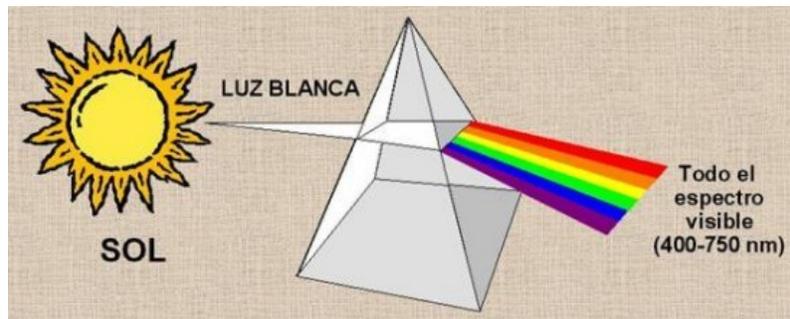


Figura 2. Descomposición de la luz blanca en el prisma.

Entre las diversas razones por las que un objeto parece tener color destaca su comportamiento al absorber y reflejar la luz de un modo diferente dependiendo de la longitud de onda. Generalmente los objetos absorben la luz muy eficazmente en una zona determinada del espectro y la dispersan en el resto.

Un objeto se percibirá como amarillo si refleja las longitudes de onda entre el verde y el rojo y absorbe las azules. Si el objeto absorbe todo el espectro se percibirá como negro, y si lo refleja por completo se percibirá blanco.

Hay otros elementos en el objeto que también influyen en la percepción del color, como por ejemplo el brillo y la textura las cuales se explicaran posteriormente.

COLORIMETRÍA

La colorimetría es la ciencia que trata la medición del color, donde son indispensables los tres componentes del color: la luz, un objeto y un observador.

LA LUZ.

La luz es una radiación que se propaga en forma de ondas de diferente longitud, velocidad y vibración. Esas ondas luminosas se pueden separar y medir. Un ejemplo de la separación de la luz solar es el arco iris que percibimos como franjas violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. A cada color corresponde una onda determinada.

Cuando la luz ilumina un objeto, éste retiene la mayoría de las ondas y refleja una en particular. Ese reflejo hace que lo veamos de un color determinado; por ejemplo un Tomate rojo refleja la onda de luz correspondiente a dicho color y absorbe las restantes. Un objeto se ve blanco porque simplemente está reflejando todas las ondas de luz y si es negro las absorbe todas y no refleja ninguna.

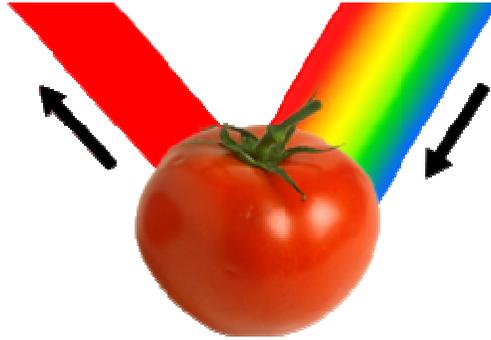


Figura 3. Absorción y reflexión de ondas de luz.

Según su origen la luz puede ser natural o artificial. La natural es la solar o la producida por la combustión y la artificial es la de las bombillas incandescentes (Luz Amarillenta) o los tubos de neón (Luz azulosa).

EL OBJETO

El objeto es aquel cuerpo o superficie en la cual incide la luz, encargado de absorber ciertas longitudes de ondas para reflejar las restantes y así permitir que el observador detecte el color.

En el sector de los recubrimientos el objeto es la película de pintura depositada sobre el sustrato y estandarizando el tipo de luz y observador es el propio colorista el encargado de entonar el color deseado haciendo variaciones en el objeto.

El ajuste de color es una técnica especial que exige un profundo conocimiento de los básicos de mezcla para conseguir una reproducción exacta. Además de las condiciones ambientales y de aplicación, existen tres factores que afectan la igualación del color:

- ♣ El espesor de capa: las aplicaciones en capas delgadas son más claras y limpias comparadas con las gruesas
- ♣ El secamiento: las pinturas sin secar son más claras y oscurecen un poco cuando secan
- ♣ El brillo: A mayor brillo el color se oscurece.

En consecuencia, para igualar el color de las pinturas, las comparaciones de prueba se hacen: aplicando las muestras al espesor (número de manos) recomendado para el repinte, dejando secar muy bien la aplicación y puliéndola garantizando brillo similar a la referencia.

La forma de iluminar un objeto es muy importante para apreciar sus características. Por ejemplo, un auto con pintura metalizada, no muestra su particular terminación si no hay luces directas que se reflejen en él; ya que el metalizado es una forma de apariencia que incluye el color, el brillo y la textura.

Teoría del color

HOMBRE U OBSERVADOR

La aptitud que las personas poseen para percibir el color y reproducirlo es muy diferente porque el sentido de la vista varía de un individuo a otro. Sin contar con los defectos de la visión y otros factores como la edad del individuo, el estado anímico, la salud y hábitos pueden afectar la apreciación del color.

En el ojo humano es la herramienta del hombre, en el cual existen cerca de 140 millones de detectores, clasificados en conos o bastones.

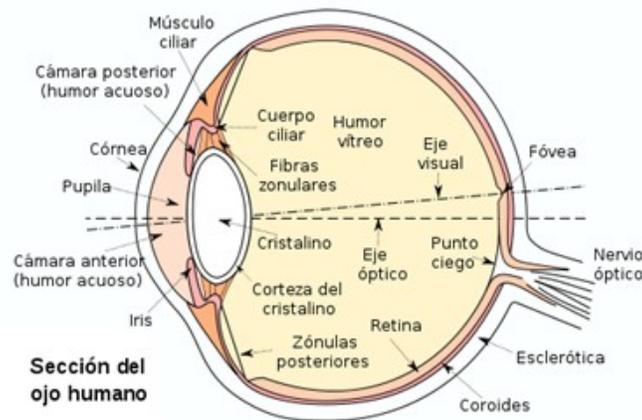


Figura 4. Esquema del ojo humano

Existen en la retina del ojo del ser humano aproximadamente 6 millones de conos; su nombre proviene de su forma, pues en la periferia de la misma son conos alargados.

En la parte central de la retina, la zona que coincide con el eje óptico del ojo humano, existen solo conos. Los conos tienen tres partes fundamentales: el segmento exterior, el segmento interior y el núcleo. En el segmento exterior hay capas transversales que contienen los pigmentos visuales.

Para ver el color es necesario el uso de los conos, responsables de la llamada visión fotópica. Existen tres clases de conos, cada una de ellos con un pigmento fotosensible distinto. Los tres foto pigmentos tienen su capacidad máxima de absorción hacia los 430, 530 y 560 nm de longitud de onda, y por eso se los suele llamar "azules", "verdes" y "rojos", por el supuesto "color de la luz" al que tienen una sensibilidad óptima.

También existen cerca de 130 millones de bastones en la retina del ojo humano. Sin embargo en la parte central de la misma, conocida como la fovea, que coincide con el centro óptico del ojo, no hay bastones.

Los bastones o bastoncillos son los responsables de la máxima sensibilidad a la luz, y nos permiten ver cuando los niveles de iluminación son muy bajos, se cree que los bastones no contribuyen en modo significativo a la visión de los colores.

COLORES PRIMARIOS Y MEZCLAS

Los colores primarios son la terna de colores que no se puedan reproducir entre sí tomados de a pares, esto es: que cualquier combinación, o mezcla, entre dos de ellos no puede resultar igual al restante.

Existen diferentes mezclas para la reproducción del color:

♣ **Mezclas Aditivas:** Son aquellas donde los colores primarios se suman, como en el caso de las luces, que al sumarlas el color resultante siempre es más claro que cualquiera de sus componentes. Este fenómeno no siempre es fácilmente observable. En este sistema de mezclas los colores primarios son: rojo, el azul y verde.

Cuando se superponen pares de luces de los colores primarios, resultan los colores secundarios amarillo, cian y magenta, además cuando se superponen los tres primarios, la sensación que se produce es la del color blanco

♣ **Mezclas Sustractivas:** Es la que se realiza con pigmentos, es decir con pinturas. El principio en el que se fundamenta la mezcla sustractiva es muy diferente a la mezcla aditiva y su resultado es bastante menos luminoso. La mezcla aditiva suma y la sustractiva resta. Mezclando los colores básicos en la mezcla sustractiva obtendremos el negro.

En estas mezclas se suelen utilizar el cian, magenta y amarillo como colores primarios. El verde es el opuesto del magenta, lo que en este contexto significa que el magenta actúa como un filtro que absorbe el verde.

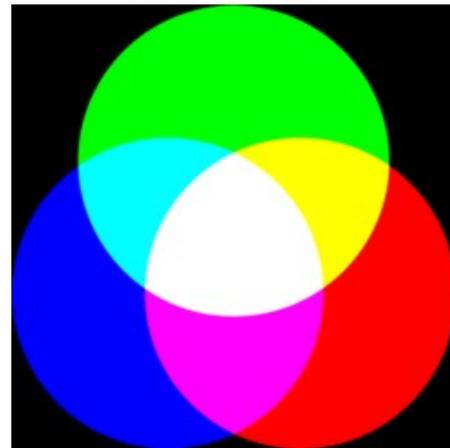


Figura 5. Superposición de luces (Mezcla Aditiva).

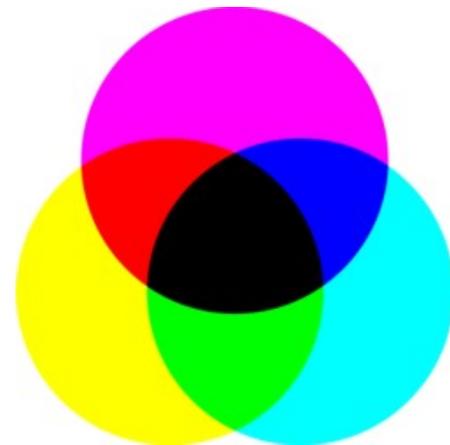


Figura 6. Superposición de pigmentos o pintura (Mezcla sustractiva).

SISTEMAS DE MEDICIÓN

Existen varios sistemas de medición, los cuales han evolucionado con el tiempo, este documento se basara en La CIE cuyas siglas corresponden en francés a Commission Internationale de l'Eclairage, es decir: Comisión Internacional de la Luz; la cual caracteriza el color en un espacio tridimensional donde el plano es la cromaticidad y su perpendicular es la luminosidad.

La cromaticidad de un color se compone de dos atributos: El tono y la pureza o croma.

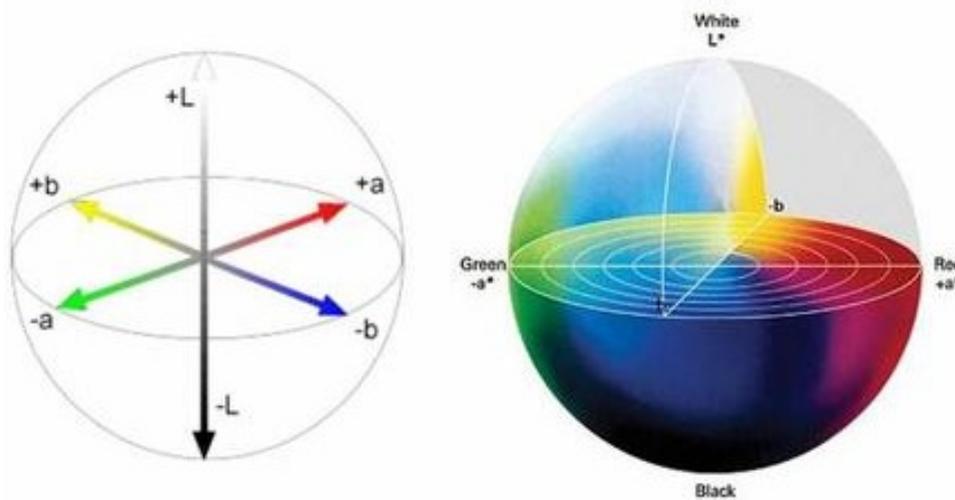


Figura 7. Esfera Cromática en el sistema CIELAB

En este sistema los ejes.

- Eje L: Indica la luminosidad, lo claro u oscuro, representando la escala acromática de grises que va desde Blanco al Negro
- Eje a: indica la variación entre Rojizo-Verdoso
- Eje b: indica la variación entre Amarilloso-Azuloso

El tono se especifica en el Sistema CIELAB con la variable H y la pureza o el croma con la variable C. Por esta razón al Sistema CIELAB también puede ser llamado CIELCH

- La coordenada C^* indica la distancia del punto del color al centro de la esfera, entre más lejano este de este punto más intenso o limpio es el color.
- El tono es el valor del ángulo desde el eje **a** positivo (rojo) hasta el punto que representa el color en el espacio. Da idea de la diferencia en tonalidad del color comparado con la referencia o patrón.

Teoría del color

Para medir el color según la CIE y determinar los valores correspondientes de cada una de las coordenadas por métodos matemáticos, es necesario tener en cuenta cuatro parámetros estandarizados: los observadores patrones, las condiciones geométricas de medición, los iluminantes patrones y el blanco de referencia; los cuales son estandarizados en equipos especializados como un espectrofotómetro.

OBSERVADORES PATRONES.

Actualmente existen dos tipos de observadores los cuales han evolucionado con el tiempo, variando el campo de observación.

En 1931 la CIE sugirió que el área activada por los estímulos debía ser la obtenida por una proyección de 2° de un ángulo sólido a una distancia de 45 cm de la pupila (lo que equivale aproximadamente a observar una moneda de 20 céntimos de euro a una distancia de 45 cm). Estos datos fueron los utilizados para el observador estándar CIE1931 de 2° .

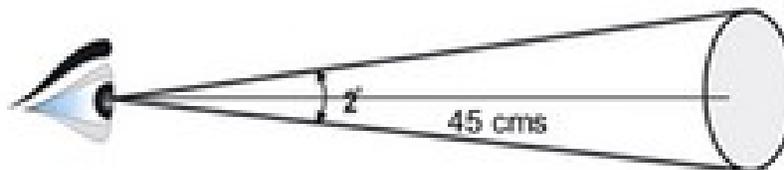


Figura 8. Observador de 2°

Como la distribución de conos y bastones no es uniforme en la superficie de la retina, el observador estándar de 2° de 1931 no era el más adecuado para apreciaciones del color con ángulos visuales amplios que se dan en situaciones cotidianas, por esto la CIE definió en 1964 un segundo observador basado en experimentos de correspondencia del color con un ángulo visual de diez grados (lo que equivale aproximadamente a observar un CD de los de diámetro pequeño a una distancia de 45 cm).

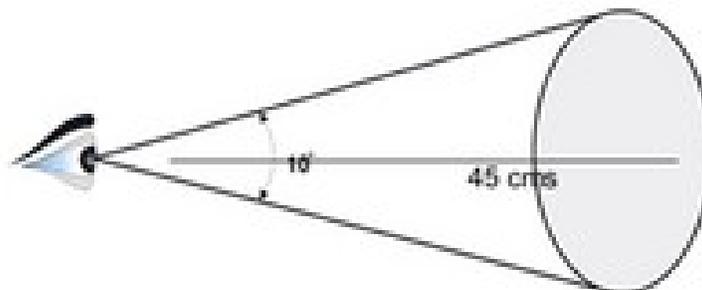


Figura 9. Observador de 10°

Teoría del color

LAS CONDICIONES GEOMÉTRICAS DE MEDICIÓN.

Para medir el color es necesario que la luz penetre en el objeto. Ya que si la luz solo se refleja especularmente en la superficie, como en un espejo, da la información solo de la fuente de luz y no del objeto mismo, que es lo que nos interesa cuando deseamos evaluar el color.

Cuando medimos el color de algo, debemos evaluar la componente difusa de la luz reflejada, ya que es ella la que ha penetrado la superficie exterior del material e interactuado con los pigmentos que se hallan por debajo de la misma, produciendo la absorción espectral que modifica la radiación incidente dando lugar al fenómeno del color.

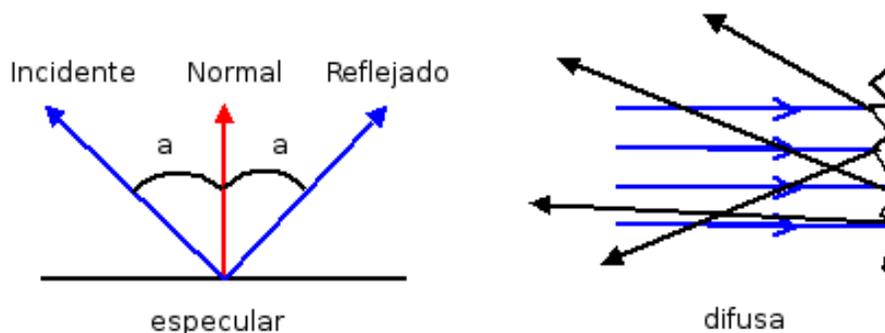


Figura 10. Reflexión de la luz

Para medir la componente difusa de la luz reflejada o la reflexión difusa la CIE recomendó cuatro geometrías:

- 45°/0°
- 0°/45°
- Difusa/0°
- 0°/Difusa

El primer valor indica la dirección del haz que ilumina la muestra, el segundo, la dirección de medición del haz reflejado. O sea, incidencia a 45° y medición a 0° o al revés. Cuando indica difusa quiere decir o que se ilumina difusamente (con luz proveniente de todos lados) o que se mide la componente total difusa, en ambos casos empleando una esfera integradora.

Estas geometrías son propias de los instrumentos de medición. Cuando se adquiere uno, se está explicitando la geometría con que se va a medir.

Normalmente se acepta que los resultados con la geometrías 45°/0°o 0°/45°son equivalentes, no siendo siempre válido este criterio cuando se comparan estas con la Difusa/0°o 0°/Difusa. En general es recomendable comparar mediciones del mismo tipo.

Teoría del color

LOS ILUMINANTES

La CIE recomendó en 1931 tres Iluminantes o fuentes de luz para ser empleados en la medición del color.

Estos iluminantes estaban basados en el uso de la lámpara incandescente (o de tungsteno) que, en esa época era la más estable, y con el uso de filtros líquidos conteniendo soluciones conocidas, estas reproducían otras dos luces cuyo color era similar a la luz solar directa o a la luz de un día cubierto.

Los Iluminantes Patrones fueron tres: A (2857 K), B (4870 K) y C (6770 K). Como las lámparas incandescentes estaban fabricadas con bulbos de vidrio proveían poca o ninguna radiación ultravioleta, por ello, debido a la aparición de los blanqueadores ópticos, conocidos también como agentes fluorescentes, se hizo necesario especificar fuentes de luz patrones que tuvieran un espectro ultravioleta similar al que tiene la luz diurna.

Es así que en 1967, en Washington, EE.UU, se recomendaron los Iluminantes Patrones D – los cuales se pueden calcular para cualquier temperatura de color correlacionada. Como consecuencia del uso de los Iluminantes D se ha dejado, en la práctica, de usar el iluminante B y en menor grado el C.

En consecuencia, se recomienda, si no se sabe que Iluminante patrón utilizar o en caso de dudas, se emplee el D65 o el A o ambos.

Se pueden resumir los patrones de iluminantes de la CIE como:

- Iluminante A: Corresponde a la luz emitida por una lámpara con filamento de wólfram. Equivale a la luz emitida por el cuerpo negro a una temperatura de 2.855 °K.
- Iluminante B: Corresponde a la luz del mediodía. Su temperatura de color es de 4.874 °K.
- Iluminante C: Corresponde a la luz del día en el hemisferio norte sin sol directo. Su temperatura de color es de 6.774 °K.
- Iluminante D: Corresponde a la mezcla de luz solar y cielo nublado. Su temperatura de color es de 6.500 °K. Es el adoptado actualmente como blanco de referencia para la televisión en color.
- Iluminante E: Es el blanco equienergético y representa el blanco que se obtiene al estar presentes todas las longitudes de onda del espectro visible con igual energía. Su temperatura de color es de 5.500°K.
- Iluminante F: Corresponde a los tubos fluorescentes.

Teoría del color

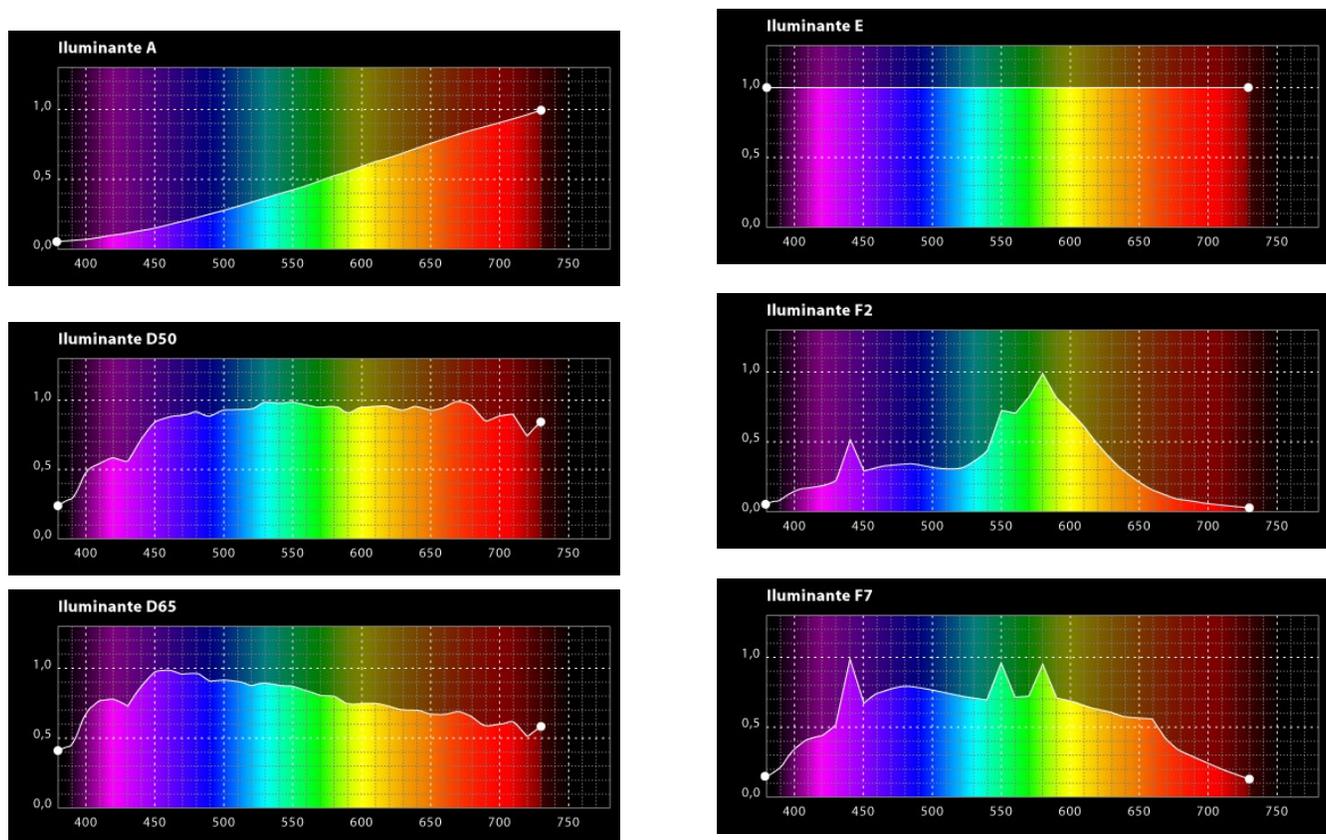


Figura 11. Graficas espectrales de distintos iluminantes

BLANCO DE REFERENCIA

La CIE ha establecido que el Blanco de Referencia es el Difusor Perfecto al cual no importa de donde se lo mire (cualquiera sea el ángulo de observación) siempre se lo verá con igual claridad o luminosidad.

Como los difusores perfectos no existen, es necesario suplantarlos con algún material que sea posible de adquirir comercialmente. Desde el comienzo de la colorimetría se han utilizado placas cerámicas como patrones secundarios, dada su estabilidad en el tiempo. El modo de usar las mismas es calibrarlas periódicamente.

Además de las placas cerámicas se usan materiales como el óxido de Magnesio (MgO), el Sulfato de Bario (SO₄Ba), el poly-tetra-fluoro-etileno (PTFE) mas conocido por su nombre comercial (Teflon) y otros que también pueden ser empleados como patrones secundarios. Lo fundamental es que deben estar calibrados respecto del difusor perfecto.

El mantenimiento, conservación y recalibración de los patrones secundarios es imprescindible para poder hacer buen uso de las capacidades de los instrumentos de medición del color y obtener resultados confiables y reproducibles.

LOS DETECTORES - EQUIPOS DE MEDICIÓN

El ojo humano puede distinguir aproximadamente 10 millones de colores, con la dificultad de no poder almacenarlos en su memoria o reconocer un color determinado. No obstante el color está ganando más importancia como criterio de calidad en la industria, la estandarización del color en los productos o imagen corporativa en las empresas se ha convertido con el tiempo en una de las prioridades, aportando un valor agregado al producto o servicio.

Existen diversos tipos de detectores desde los naturales o los detectores de ojo, los conos y bastones y los físicos, que dan algún tipo de respuesta cuando son irradiados con radiación electromagnética entre 380 y 770 nm; es decir, dan algún tipo de respuesta cuando son iluminados o incide luz en ellos.

Debido a la baja confiabilidad del observador humano que depende del estado de ánimo, la edad, el cansancio, apreciaciones subjetivas del color y la velocidad en los tiempos de reacción, además de influencias externas como la luz del ambiente; y a la deficiencia del hombre para poder comunicar y documentar el color y sus diferencias, se han desarrollado los sistemas de detección de color que resultan más fiables y eficaces que el ojo humano.

Los equipos de medición de color funcionan con sistemas normalizados internacionalmente y dan solución a las dificultades mencionadas, garantizando una descripción objetiva del color.



Figura 12. Espectrofotómetros portátiles, equipos de medición de color

Los aparatos de medición de color, o espectrofotómetros, modernos miden el porcentaje de luz reflejada desde el objeto coloreado, esto se realiza a cada longitud de onda y esos datos se denominan datos espectrales.

Un objeto negro no refleja ninguna luz a través de todo el espectro (0% de reflexión) mientras que una superficie blanca refleja casi toda la luz (100% de reflexión); los demás colores reflejan la luz solo en ciertas partes del espectro, por tanto cada color tiene su curva espectral específica que lo identifica, única como las huellas dactilares para los humanos.

Teoría del color

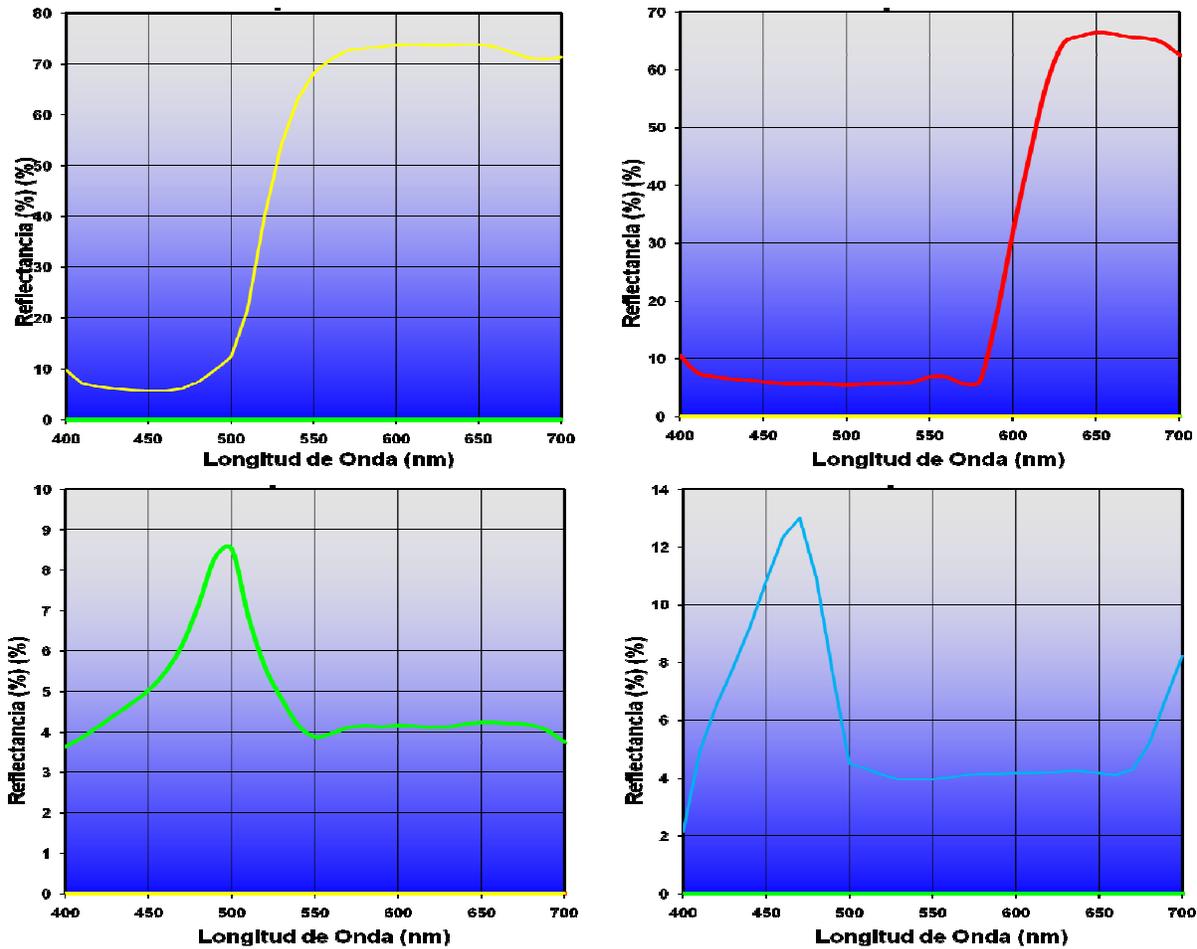


Figura 13. Curvas espectrales para cada uno de los colores: Amarillo, Rojo, Verde y Azul

Los equipos de medición combinan la información de la fuente luminosa, el observador y el objeto para hablar y documentar el color por medio de escalas mundiales como la CIELab.

En la industria de las pinturas y recubrimientos para poder suministrar un tono siempre constante hay que determinar un estándar y comparar cada muestra fabricada con este. Esto se puede cuantificar matemáticamente a través de la diferencia cromática entre dos estímulos, midiendo la distancia existente entre dos puntos en un espacio tridimensional.

Esta distancia se puede calcular así:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Si dos puntos en el espacio (que representan dos estímulos) son coincidentes, entonces la diferencia cromática (ΔE^*) entre ambos estímulos es igual a cero. Según se incrementa la distancia entre esos dos puntos, (L^*_1, a^*_1, b^*_1) y (L^*_2, a^*_2, b^*_2), es razonable suponer que va aumentando la percepción de que existe una diferencia cromática entre los estímulos que ambos puntos representan.

Teoría del color

DISPOSICIONES DE LOS ESPECTROFOTÓMETROS

Los espectrofotómetros son los equipos de medición que nos facilitan el cálculo matemático de la combinación de los tres elementos necesarios para la percepción del color. La industria ha impuesto dos disposiciones de medida: geometría de 45/0 y geometría de esfera.

La geometría de 45/0 simula las condiciones normales para la evaluación del color, en ella se excluye automáticamente la componente especular. En materiales normalmente lisos y brillantes, esta es una geometría recomendable.

Cuando comparamos un objeto de alto brillo con una muestra que tiene la misma pigmentación y brillo inferior, nuestro ojo percibe el objeto de alto brillo más oscura, exactamente este fenómeno mide un aparato de medición de colores de 45/0.

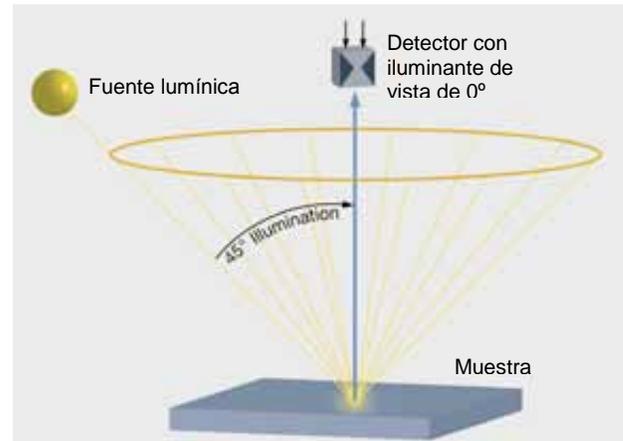


Figura 14. Geometría 45/0 en espectrofotómetros

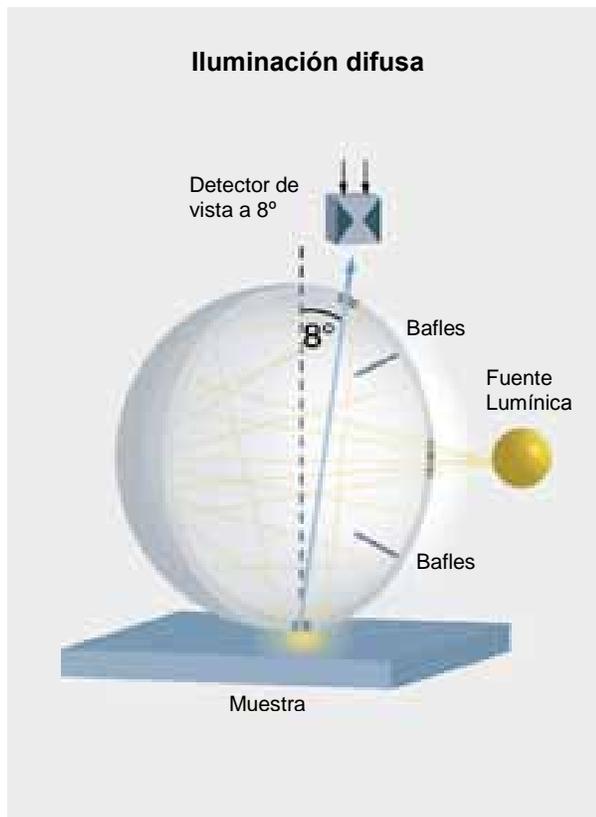


Figura 15. Esquema de espectrofotómetro de esfera integradora

Si se mide empleando un equipo con esfera integradora, se ilumina la muestra de manera difusa gracias a la forma esférica y a que esta está recubierta con un pigmento de alta blancura.

El uso de estos equipos es recomendable para los materiales con textura o direccionalidad; generalmente, estos pueden excluir o no la componente especular si se lo desea, gracias a modificaciones (trampas de brillo) y opciones del equipo identificadas como SPIN (Brillo incluido) o SPEX (brillo excluido).

La Figura 15 muestra el esquema de medición con la esfera integradora. Baffles en el interior de la esfera y la ubicación del detector bajo un ángulo de 8° impiden que la luz caiga directamente sobre la superficie de la muestra.

Teoría del color

BRILLO.

El brillo es una propiedad de la superficie que influye en la medición del color, en superficies planas, completamente lisas y pulidas, se puede percibir imágenes reflejadas claramente; la luz incidente se refleja solo en la dirección de reflexión principal.

El brillo se puede definir como el porcentaje de luz incidente que se refleja en el mismo ángulo incidente.



Figura 16. Brillo en la superficie del automóvil.



Figura 17. Aplicación del mismo recubrimiento en diferentes sustratos al interior de un vehículo

En superficies rugosas la luz no solo se refleja especularmente sino también de forma difusa en otras direcciones, lo que disminuye la calidad de imagen de la superficie y cambia la percepción del color, en cuanto mas difusa sea la dispersión de la luz, mas mate es la superficie.

EL METAMERISMO

El metamerismo es el fenómeno que produce un cambio en la percepción visual del color. Hay varios tipos de metamerismo, entre ellos el metamerismo del iluminante que se produce cuando tenemos dos muestras de color que al verlas bajo un iluminante tienen el mismo aspecto visual, pero cuando cambiamos el iluminante la igualdad entre las muestras desaparece, pudiéndose apreciar diferencias entre ellas.

Este metamerismo se da cuando las curvas del espectro de reflexión de dos muestras de color son diferentes entre sí, pero al sumarlas a la curva de reflexión del iluminante nos devuelve una misma sensación visual. La eliminación del metamerismo, es decir, la igualdad entre las dos muestras siempre se dará cuando ambas tengan la misma curva de reflexión, independiente al iluminante usado.

También existe el metamerismo del observador, que ocurre cuando al evaluar un mismo par de muestras un observador las encuentra similares mientras que para otro observador existe gran diferencia en el color.

Teoría del color

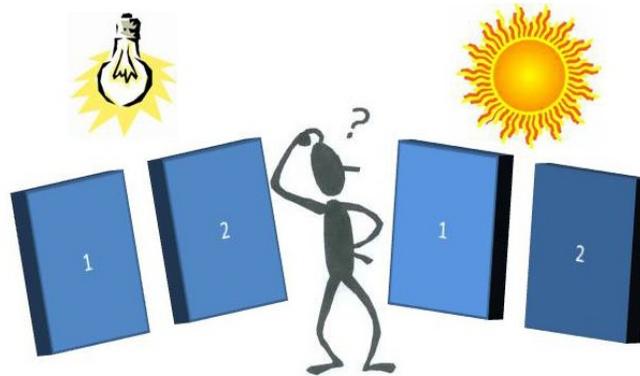


Figura 18. Metamerismo del iluminante

APLICACIÓN DEL COLOR.

En la práctica existen otros factores que afectan la percepción del color, tales como el fondo a usar, el tipo de aplicación, el número de manos aplicadas, si las manos son cargadas o fogueadas (delgadas).

Todas estas variables deben ser conocidas por el colorista, quien es el encargado de aproximar el color a un patrón o estándar y por el pintor quien debe garantizar en la aplicación definitiva condiciones similares a aquellas en las cuales se desarrolló el color.

CARALZ LTDA ofrece varios fondos poliuretano dos componentes, entre ellos el **2901 Fondo Gris 2K** de uso muy común, también, en el sector de repinte automotriz es muy usada la escala de grises desde blanco hasta negro, que se puede lograr por medio de mezclas entre el **1990 Fondo Escala Grises Blanco** y **1980 Fondo Escala Grises Negro**; gracias a estas mezclas se logra facilitar la entonación de colores.

En tonos claros, como el blanco y los amarillos, se recomienda hacer uso de un fondo blanco; en los rojos un fondo gris claro, en los azules y verdes es aconsejable un gris oscuro, y por último en los tonos oscuros, como el negro, se usa fondo negro preferiblemente.

La selección adecuada del fondo para la aplicación del acabado es muy importante, si se realiza correctamente se puede aumentar el rendimiento de la pintura, ya que no es necesario aplicar a cubrimiento completo, sino que por el contrario el color del fondo ayuda a ajustar la muestra para lograr el tono del patrón.

En la aplicación de los pigmentos de efecto (Aluminios y perlados) influye mucho la forma de aplicación, ya que de esto depende directamente la orientación de las partículas. Entre mas húmeda, cargada, lenta, cercana o presurizada sea la mano de aplicación mas oscuro se presentará el color; así mismo, en los productos mate tales aplicaciones realzan el brillo.