

CAPÍTULO 3

3.1. - COLORIMETRÍA TEXTIL

GENERALIDADES

En Física, cuando se emplea la palabra color, se hace únicamente de forma vaga o somera, pues físicamente lo que distingue una sensación de color de otra es la longitud de onda de la radiación luminosa que impresiona nuestro sentido de la vista, y si, como generalmente sucede, la radiación es compuesta, el ojo no puede analizar las distintas radiaciones o longitudes de onda que recibe y aprecia tan sólo el tinte o "color" resultante.

Lo que habitualmente denominamos luz es radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida entre 380 nm y 780 nm. Las cuales son registradas por minúsculas células receptoras (conos y bastoncillos) ubicadas en la retina del ojo. La misión de ambas es captar la energía de las radiaciones que inciden en ellas y transformarlas en impulsos eléctricos. Con tales impulsos están formados los códigos que, a través del sistema nervioso, son enviados al cerebro, donde tiene lugar la sensación de color propiamente dicha. Como sensación experimentada por los seres humanos y determinados animales, la percepción del color es un proceso neurofisiológico muy complejo. Los métodos utilizados actualmente para la especificación del color se encuadran en la especialidad denominada colorimetría.

3.1.1. - COLORIMETRÍA

La Colorimetría es la ciencia del color, esta permite establecer un sistema numérico capaz de escribir dentro de los límites de nuestra percepción visual, aquellos aspectos psicofísicos que atribuimos al color. Para medir un color hace falta entender de qué se trata y para ello es necesaria la luz, el objeto y un observador.

3.1.1.1. - El objeto: Las características referentes a textura de los objetos como transparencia, opacidad y brillo, entre otras, así como la forma y el tamaño, inciden en la percepción del color. Si tinturamos, por ejemplo, dos tejidos con un mismo colorante, pero una de ellos fuera amarillento y la otra tuviera mejor grado de blanco, la percepción sería de un color menos intenso en el primer caso y más luminoso en el segundo.

Es importante aclarar que no es la materia la que posee el color, sino que éste es una percepción sensorial. La constitución molecular del objeto permite que absorba y refleje determinadas longitudes de onda. Cuando observamos que una manzana es roja, lo que sucede es que su superficie absorbe todas las longitudes de onda, menos la que corresponde a lo que vemos como rojo; de ahí que percibamos ese color.

3.1.1.2. - El sujeto: En este punto se hace referencia al tipo de observador. En el ojo humano se encuentra una serie de terminaciones nerviosas conocidas como conos y bastones que por su cualidad fotoreceptora hacen posible la visión. Los conos permiten la visión

diurna y cromática por la conversión de las distintas longitudes de onda en sensaciones de color; los bastones permiten la visión nocturna, acromática. Cabe recordar que la sensación de color producida por el estímulo existe sólo en el cerebro del sujeto. El estímulo luminoso es producto de la reflexión de la luz que ilumina en el objeto (o en su superficie) dirigida a los ojos del observador se divide en tres sensaciones: una roja, otra verde y otra azul. Estos son los colores primarios. Cada uno de estos tres elementos está caracterizado por funciones de la longitud de onda.

3.1.1.3. - La fuente luminosa: Gracias a la presencia de la luz percibimos no sólo los objetos sino también su cromaticidad. De las diferencias e intensidades lumínicas que inciden sobre el objeto resultan variaciones en la percepción de un mismo color. Existe, por ejemplo, diferencia entre luz solar y luz artificial; y dentro de la luz natural, las diferentes posiciones del Sol a lo largo del día hacen que la incidencia de luz provoque variaciones en el color del objeto.

En relación con la luz artificial, e independientemente de los diferentes tipos que se ofrecen en el mercado, quiero señalar dos ejemplos cotidianos. La lámpara de filamento (el tradicional foco) genera una luz de coloración amarillenta que incide directamente sobre el color particular de los objetos, y la llamada 'luz blanca' de los tubos fluorescentes tiñe los objetos con una coloración azulada.

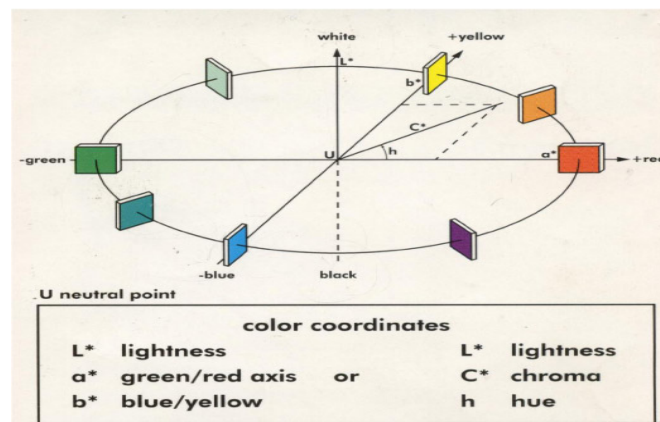
Podemos concluir que la fuente luminosa o de emisión de energía electromagnética ejerce una influencia cualitativa y cuantitativa en la percepción cromática.

En conclusión, no sólo la luz es una condición necesaria para percibir los colores; la presencia de los otros dos componentes es también imprescindible. Se puede tener luz y objeto que recoja ésta, pero si no hay observador no habrá percepción; puede haber luz y observador, pero si no hay objeto no hay color.

3. 2. - ESPACIO CIELAB

Las siglas CIE responden al francés Commission International de l'Eclairage, es decir: **Comisión Internacional de la Luz**

El espacio CIE 1976, llamado sistema CIELAB (Figura 1) que es el método de identificación tridimensional de un color utilizando la teoría de los tres pares antagónicos de la visión de los colores: blanco-negro (L^*), rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*).



Coordenadas CIELAB

1. Gráfico

En el espacio CIELAB L^* indica la claridad; es decir, todos los matices neutros del gris del blanco al negro¹ y a^* y b^* son las coordenadas cromáticas. En el grafico $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ del verde, $+b^*$ del amarillo y $-b^*$ del azul.

Las coordenadas rectangulares (a^* , b^* , L^*) del espacio CIELAB pueden transformarse en coordenadas polares (C^* , h , L^*), en donde C^* es la medida de pureza o saturación de colorante, h es el ángulo de matiz o tonalidad de color y L^* es la claridad.

La diferencia entre un color y otro se puede determinar por la diferencia entre los valores de las coordenadas (a^* , b^* , L^*) o (C^* , h , L^*) entre una y otra muestra; esto es, el (Δa^* , Δb^* , ΔL^*) o el (ΔC^* , Δh , ΔL^*). Esta diferencia también puede determinarse mediante el ΔE que es el la raíz cuadrada de los cuadrados de cada uno (Δa^* , Δb^* , ΔL^*) o el (ΔC^* , Δh , ΔL^*) (formula a) que representa la diferencia del color de una muestra con respecto al estándar.

$$\Delta E = \left[(dL^2) + (da^2) + (db^2) \right]^{1/2}$$

El ΔE no tiene dirección.

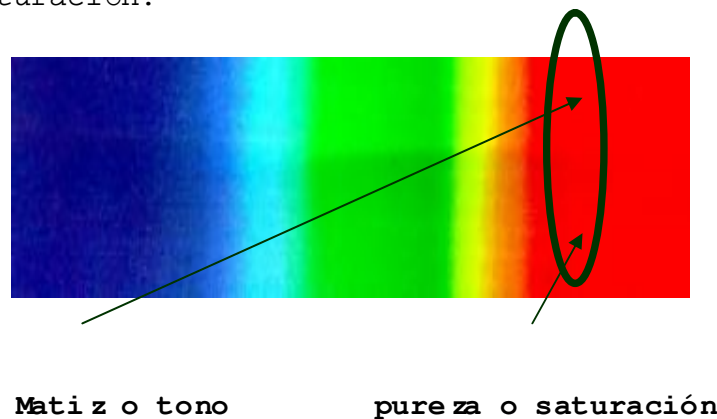
Diferencia de color

a) Fórmula

En toda radiación luminosa cabe distinguir dos aspectos: su **intensidad** (cantidad de energía que llega a una determinada

¹ Para un negro ideal $L^* = 0$, para un blanco ideal $L^* = 100$.

sección por unidad de tiempo, y su **cromaticidad** (figura 2). Este segundo aspecto viene determinado por dos sensaciones que con nuestro ojo podemos apreciar como son **tono** o **matiz** y **pureza** o **saturación** del color. Así, por ejemplo, cuando se dice que una radiación es roja se refiere a su matiz (o longitud de onda dominante), pero dentro del mismo tono o clase de color se distingue entre un rojo subido o un rojo pálido por su distinta pureza o saturación.



Cromaticidad de un color

2. Gráfico

3.3. - VARIABLES DEL COLOR

El matiz o tono, el valor o luminosidad y la saturación son las tres variables básicas de un color y operan siempre simultáneamente.

3.3.1. - Matiz: Es el croma (gráfico 3) de un color y depende de la longitud de onda dominante. Es la cualidad que permite clasificar a los colores como amarillo, rojo, violeta, etc. El matiz se mide de acuerdo con la proximidad que tiene un color

con relación a otro que se halle próximo en el círculo cromático; por ejemplo: verde amarillento, naranja rojizo, azul violáceo, etc.



Croma de un color

3. Gráfico

3.3.2. - Luminosidad: Indica las luminancias de un color; es decir, el grado de claridad u oscuridad que posee como cualidad intrínseca (Gráfico 4). Dentro del círculo cromático, el amarillo es el color de mayor luminancia y el violeta el de menor.

Independientemente de los valores propios de los colores, éstos se pueden alterar mediante la adición de blanco que lleva el color a claves o valores de luminancia más altos, o de negro que los disminuye, resultante de la mezcla de los colores con blanco o negro y tiene referencia de valor y de matiz. Por ejemplo, el amarillo mezclado con negro modifica su matiz hacia el verde y se oscurece.

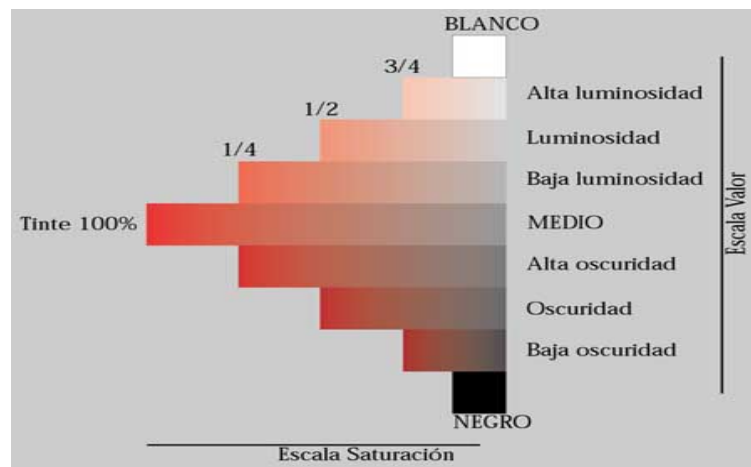


Grado de claridad y oscuridad de un color

4. Gráfico

3.3.3. - Saturación: Se refiere al grado de pureza de un color (Gráfico 5) y se mide con relación al gris. Los colores muy saturados poseen mayor grado de pureza y se presentan con más intensidad luminosa en relación con su valor. Los colores con menor saturación se muestran más agrisados, con mayor cantidad de impurezas y con menor intensidad luminosa.

En relación directa con la saturación se encuentra la diferencia proporcional entre el pigmento y el medio solvente. A mayor cantidad de medio solvente corresponde menor saturación y a mayor cantidad de pigmento con relación al medio, mayor saturación.



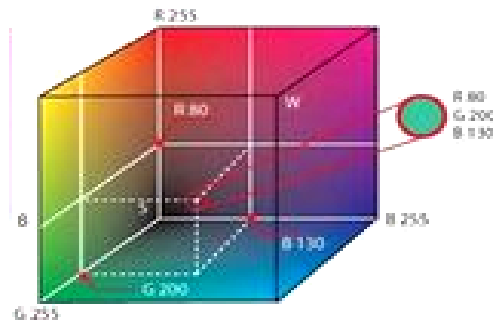
Grado de pureza de un color

5. Gráfico

3.4. - Espacios de colores

Un espacio de color es un método por el cual podemos especificar, crear y visualizar diferentes tonos (Gráfico 6). Usualmente un color es especificado usando tres coordenadas, el cual representa su posición dentro de un espacio de color específico. Estas coordenadas no nos dicen cual es el color,

sino que muestran donde se encuentra un color dentro de un espacio de color en particular.



Espacio RGB Mezcla aditiva

6. Gráfico

El cubo de color RGB es conocido como un espacio de color aditivo (colores primarios) porque cuando la luz de dos diferentes frecuencias viajan juntos, desde el punto de vista del observador, estos colores son sumados para crear nuevos tipos de colores. El color rojo, verde y azul fueron escogidos porque cada uno corresponde aproximadamente con uno de los tres tipos de conos sensitivos al color en el ojo humano (65% sensibles al rojo, 33% sensibles al verde y 2% sensibles al azul). Con la combinación apropiada de rojo, verde y azul se pueden reproducir muchos de los colores que pueden percibir los humanos. Por ejemplo, rojo puro y verde claro producen amarillo, rojo y azul producen magenta, verde y azul combinados crean cian y los tres juntos mezclados a máxima intensidad, crean el blanco.

3. 5. - LA ESPECTROFOTOMETRÍA

GENERALIDADES

La espectrofotometría es un método de análisis óptico mas usado en la actualidad para la formulación, comparación y control de calidad de tonos en la industria textil. El mismo que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma.

3. 6. - ESPECTROFOTÓMETRO

Un espectrofotómetro es un instrumento que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones electromagnéticas (REM), comúnmente denominado Luz, facilitando la identificación, calificación y cuantificación de su energía. Su eficiencia, resolución, sensibilidad y rango espectral, dependerán de las variables de diseño y de la selección de los componentes ópticos que lo conforman. Cuando la luz atraviesa una sustancia, parte de la energía es absorbida. El color de las sustancias se debe a que estas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre ellas, y sólo vemos aquellas longitudes de onda que no fueron absorbidas. Existen espectrofotómetros portátiles y de mesa (Gráfico 7) dentro de la industria textil.



Espectrofotómetro de mesa

7. Gráfico

3. 6. 1. - COMPONENTES DE UN ESPECTROFOTÓMETRO

3. 6. 1. 1. - Fuente de luz

La función principal es iluminar la muestra para lo cual debe cumplir con las condiciones de estabilidad, direccionabilidad, distribución de energía espectral continua y larga vida. Las fuentes empleadas son lámpara de tungsteno y lámpara de arco de xenón (Gráfico 8).

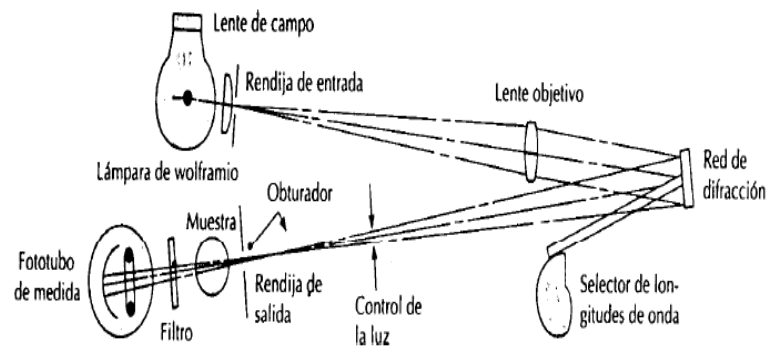
3. 6. 1. 2. - Monocromador

El objetivo del monocromador es el de obtener luz monocromática, se encuentra constituido por las rendijas de entrada y salida,

colimadores y el elemento de dispersión. El monocromador aísla las radiaciones de longitud de onda deseada que inciden o se reflejan desde el conjunto.

3. 6. 1. 3. - Fotodetectores

En los instrumentos modernos se encuentra una serie de 16 fotodetectores para percibir la señal en forma simultánea en 16 longitudes de onda, cubriendo el espectro visible. Esto reduce el tiempo de medida, y minimiza las partes móviles del equipo.



Componentes de un espectrofotómetro

8. Gráfico

Este instrumento tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra.

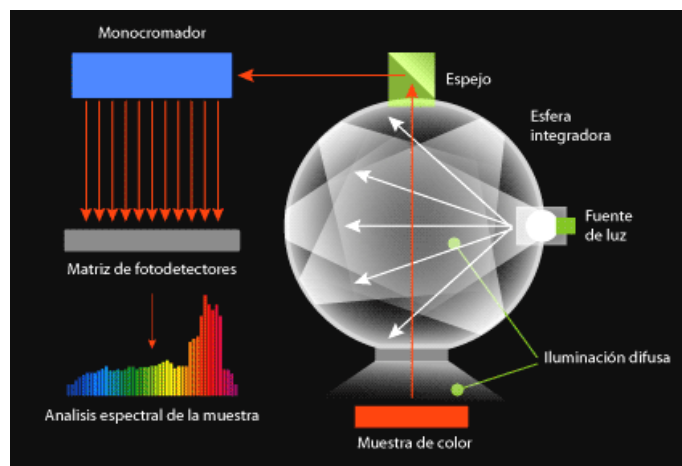
3. 6. 2. - FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO

Para medir un color la CIE (Comisión Internacional de la luz) especificó cuatro cosas:

- Los Observadores Patrones.

- Las Condiciones Geométricas de Medición.
- Los Iluminantes Patrones.
- El Blanco de referencia.

Para medir el color de un material o un objeto es necesario que la luz penetre en el mismo. Ya que si la luz solo se refleja en la superficie, como en el caso de un espejo o un metal muy pulido, la misma solo se reflejará especularmente, dando información solo de la fuente de luz y no del objeto mismo, que es lo que nos interesa cuando deseamos evaluar el color. Los espectrofotómetros miden la cantidad proporcional de luz reflejada por una superficie como una función de las longitudes de onda para producir un espectro de reflectancia (Gráfico 9). El espectro de reflectancia de una muestra se puede usar, junto con la función del observador estándar CIE y la distribución relativa de energía espectral de un iluminante para calcular los valores triestímulos CIE XYZ para esa muestra bajo ese iluminante.



Funcionamiento de un espectrofotómetro

El funcionamiento de un espectrofotómetro consiste básicamente en iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda. Lo más usual es que los datos se recojan en 31 intervalos de longitudes de onda (los cortes van de 400 nm, 410 nm, 420 nm... 700 nm). Esto se consigue haciendo pasar la luz a través de un dispositivo monocromático que fracciona la luz en distintos intervalos de longitudes de onda. El instrumento se calibra con una muestra o placa blanca cuya **reflectancia** en cada segmento de longitudes de onda se conoce en comparación con una superficie de reflexión difusa perfecta.

La reflectancia de una muestra se expresa como una fracción entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 y 100. Es importante darse cuenta de que los valores de reflectancia obtenidos son valores relativos y, para muestras no fluorescentes, son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra. Así, aunque los factores de reflectancia se midan usando una fuente de luz concreta, es perfectamente correcto calcular los valores calorimétricos para cualquier iluminante conocido.

3. 6. 3. - GEOMETRÍA ÓPTICA DE UN ESPECTROFOTÓMETRO

La geometría óptica del instrumento es importante (Gráfico 10). En algunos instrumentos, se usa una esfera integradora que permite iluminar la muestra de forma difusa, de forma igualada

desde todos los ángulos, mientras que la luz reflejada se recoge en un ángulo

Aproximadamente perpendicular a la superficie de la muestra.

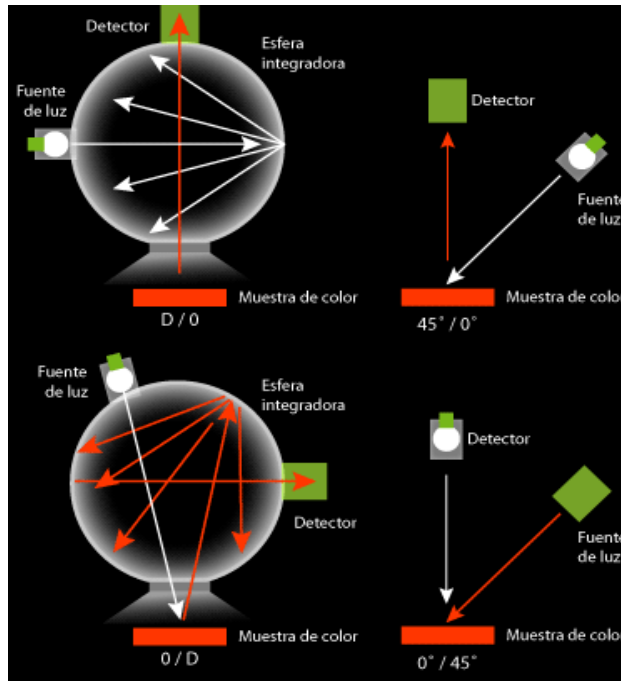
Otros instrumentos, por el contrario, iluminan la muestra desde un ángulo determinado y recogen la luz reflejada desde otro ángulo. Un caso típico es que la muestra se ilumine desde un ángulo de 45° con respecto a la superficie y que la luz reflejada se mida desde un ángulo 0° . A esto se le llama "geometría $45^\circ/0^\circ$ ". Lo contrario es la geometría $0^\circ/45^\circ$. Las geometrías basadas en la esfera antes mencionadas se conocen como D/0 y 0/D. Es extremadamente difícil establecer la correspondencia de medidas tomadas entre instrumentos cuya geometría óptica no sea idéntica. Para la mayoría de las superficies, la reflectancia cambia según los ángulos de iluminación y observación. Las cuatro geometrías estándares establecidas por CIE son:

Iluminación difusa y toma de la luz en la normal (D/0).

Iluminación en la normal y toma de la luz difusa (0/D).

Iluminación a 45° y toma de la luz en la normal (45/0)

Iluminación en la normal y toma de la luz a 45° (0/45).

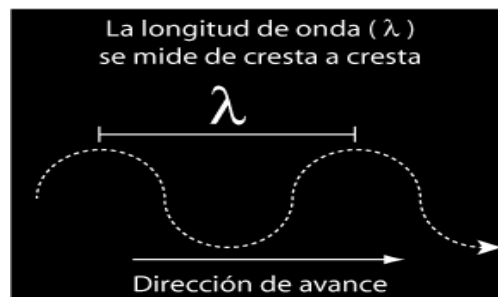


Geometrías estándar de un espectrofotómetro de reflectancia

10. Gráfico

3. 7. - UN NANÓMETRO (nm)

Cualquier radiación de energía electromagnética, luz visible incluida, se puede concebir en forma de onda. La energía se mueve hacia adelante como una ola, y la distancia entre cada una de sus crestas es lo que se llama "longitud de onda" (Gráfico 11) (wavelength), que se referencia con la letra griega lambda (λ).



Longitud de onda

11. Gráfico

Las longitudes de onda que corresponden a la luz son bastante pequeñas en términos convencionales, en torno a los 0,000005 metros (es decir: 10^{-6} metros).

Para mayor comodidad, usamos la medida del nanómetro (nm.), que mide una milmillonésima parte de un metro (10^{-9} metros). El sistema visual humano es sensible a las longitudes de onda situadas entre los 380 y los 780 nanómetros.

Es posible describir una luz mediante su frecuencia (abreviada por convención con la letra "**v**"). La frecuencia es el número total de ondas que pasa por un punto dado en un segundo.

$$c = v \cdot \lambda$$

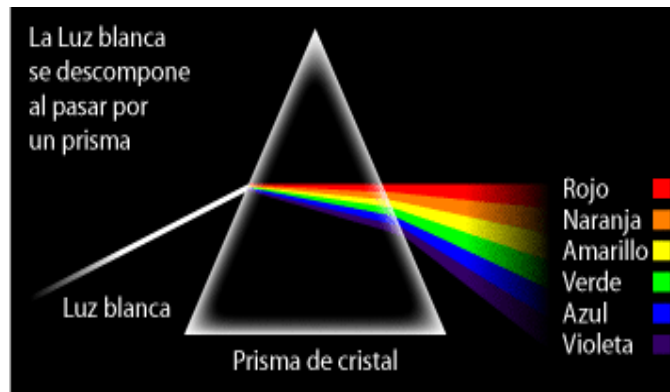
Velocidad de la energía electromagnética

b) Fórmula

La velocidad de la energía electromagnética (abreviada por convención con la letra "**c**") se relaciona con su longitud de onda (λ) y su frecuencia (**v**) mediante la fórmula **b**.

3.8. - EL ESPECTRO CROMÁTICO

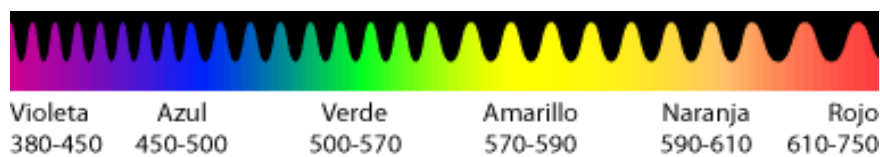
La concepción moderna del color nació con el descubrimiento de la naturaleza espectral de la luz que hizo Isaac Newton en el siglo XVII.



Descomposición de la luz al pasar por un prisma

12. Gráfico

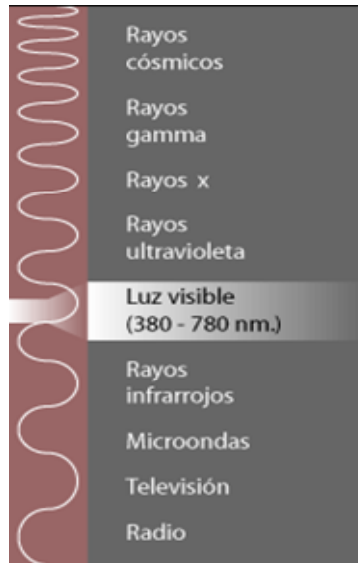
Newton creía que la luz era un flujo de partículas. Sus experimentos con prismas de cristal demostraron que la luz se podía fraccionar en varios colores individuales (Gráfico 13). Es más, llegó a la conclusión de que las luces de distintos colores tenía diferentes grados de refracción; por ejemplo, la luz azul se desviaba más que la roja al pasar del aire a un medio con un índice de refracción mayor, como es el caso de un prisma de cristal.



Longitudes de onda expresadas en nm que el ojo humano percibe

13. Gráfico

Ahora sabemos que los famosos experimentos de Isaac Newton demostraban que la luz blanca estaba formada por energía de distintas longitudes de onda (Gráfico 14).



Espectro Electromagnético

14. Gráfico

El ojo humano es sensible a una amplia franja de longitudes de onda situadas entre los 380 y los 780 nanómetros, aproximadamente. El espectro de luz visible o espectro cromático representa sólo una mínima fracción de todo el espectro electromagnético.

Dentro del espectro de luz visible, ciertas longitudes de onda nos causan determinadas sensaciones visuales. Así, por ejemplo, las longitudes de onda más cortas se perciben como colores violetas o azulados. Sin embargo, es importante entender que el uso de expresiones como "luz azul" es sólo una cuestión de comodidad expresiva que no se contradice con el hecho de que el color sólo existe realmente en nuestra mente.

3.9. - PORQUÉ SOMOS SENSIBLES A LAS LONGITUDES DE ONDA ENTRE LOS 380 Y LOS 780 NANÓMETROS.

El mundo en el que vivimos tendría un aspecto muy distinto si nuestros ojos fueran sensibles a longitudes de onda que no fueran aquellas a las que llamamos "**espectro luminoso**".

La famosa afirmación de Isaac Newton de que los rayos de luz no tienen **color** se hace evidente cuando pensamos cómo se vería el mundo si nuestro rango de percepción estuviera entre los 4.000 y los 7.000 nanómetros de longitud de onda en vez de los 380 y 780 entre los que realmente está.

La luz de unos 700 nanómetros de longitud de onda no es roja por ninguna propiedad intrínseca de esa longitud de onda, sino porque ese es el efecto que causa en nuestro sistema visual.

De hecho, algunas criaturas, como los pájaros y las abejas, tienen una sensibilidad visual que es diferente y, en buena medida, más amplia que la nuestra.

No está claro porque hemos evolucionado hasta ser sensible a los 380 - 780 nanómetros. Una posibilidad es que las ondas de luz que son más cortas que ese intervalo dañan los tejidos vivos, y que las que son más largas llevan asociado calor. El ojo humano contiene un pigmento llamado "pigmento macular" cuya presencia, según parecen sugerir las investigaciones, protege a los ojos de las ondas electromagnéticas menores a los 400 nanómetros aproximadamente.

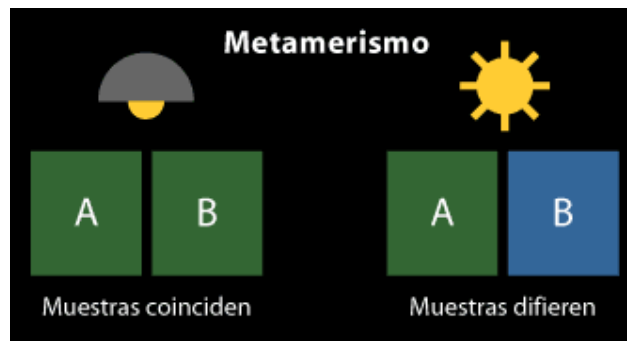
3.10. - EL METAMERISMO

Es un fenómeno **psicofísico** definido generalmente como la situación en la cual dos muestras de color coinciden bajo unas

condiciones determinadas (fuente de luz, observador, geometría) pero no bajo otras diferentes (Grafico 15).

El fenómeno en el cual se basa el metamerismo es que la coincidencia de color es posible incluso aunque la reflectancia espectral de las dos muestras sea diferente, por esto algunas coincidencias de color pueden ser consideradas condicionales. Por otra parte, si dos muestras tienen el mismo espectro de reflexión, coincidirán cuando sean vistas en las mismas condiciones.

De dos muestras de color que son iguales sólo en ciertas circunstancias se dice que forman un par metamérico.



Metamerismo

15. Gráfico

3.10.1. - TIPOS DE METAMERISMO

3.10.1.1. - El metamerismo de iluminancia es la forma de metamerismo más común. Se da cuando dos muestras coinciden cuando son vistas bajo un tipo de luz, pero no coinciden cuando son iluminadas por otra fuente de luz diferente.

3.10.1.2. - El metamerismo geométrico se da cuando dos muestras coinciden vistas bajo un determinado ángulo de visión, pero no coinciden al variar este ángulo. Se da en muestras cuyo espectro de reflectancia sea dependiente del ángulo de visión.

3.10.1.3. - El metamerismo de observador ocurre a causa de diferencias en la **visión en color** entre varios observadores. A menudo estas diferencias tienen un origen biológico, como, por ejemplo, que dos personas tengan diferentes proporciones de **conos** sensibles a la radiación de longitud de onda larga y de conos sensibles a radiaciones de longitud de onda más corta. Por esto, dos muestras con espectros diferentes pueden ser percibidas como la misma por un observador bajo unas ciertas condiciones de iluminación pero otro observador diferente no verá que coincidan.

3.10.1.4. - El metamerismo de campo se da porque la proporción de los tres tipos de conos en la retina no varía sólo entre observadores, sino que para un mismo observador ésta proporción varía incluso dentro de su posición dentro de la misma. Así, un objeto luminoso de pequeño tamaño puede iluminar sólo la parte central de la retina, donde podrían estar ausentes los conos sensibles a las radiaciones de longitud de onda larga (o media o corta), pero al incrementar el tamaño de dicho objeto, aumenta la parte de la retina iluminada, activando conos sensibles a radiaciones de longitud de onda largas (o medias o cortas), cambiando por tanto la percepción subjetiva del color de ese

objeto. Por tanto es posible que dos objetos que presenten el mismo color a una distancia, a otra distancia diferente aparezcan de color diferente.

3.11. - METAMERISMO Y CONSTANCIA DEL COLOR

El metamerismo en ocasiones se confunde con la no constancia del color. Sin embargo, el metamerismo se refiere a dos muestras diferentes mientras que lo último se da en muestras únicas. La constancia del color se refiere a que diferentes muestras tienden a conservar, aproximadamente, su apariencia a la luz del día cuando son observadas bajo diferentes condiciones lumínicas. Cuando las muestras no se comportan como esperamos en este sentido, dicho fenómeno es denominado no constancia del color.