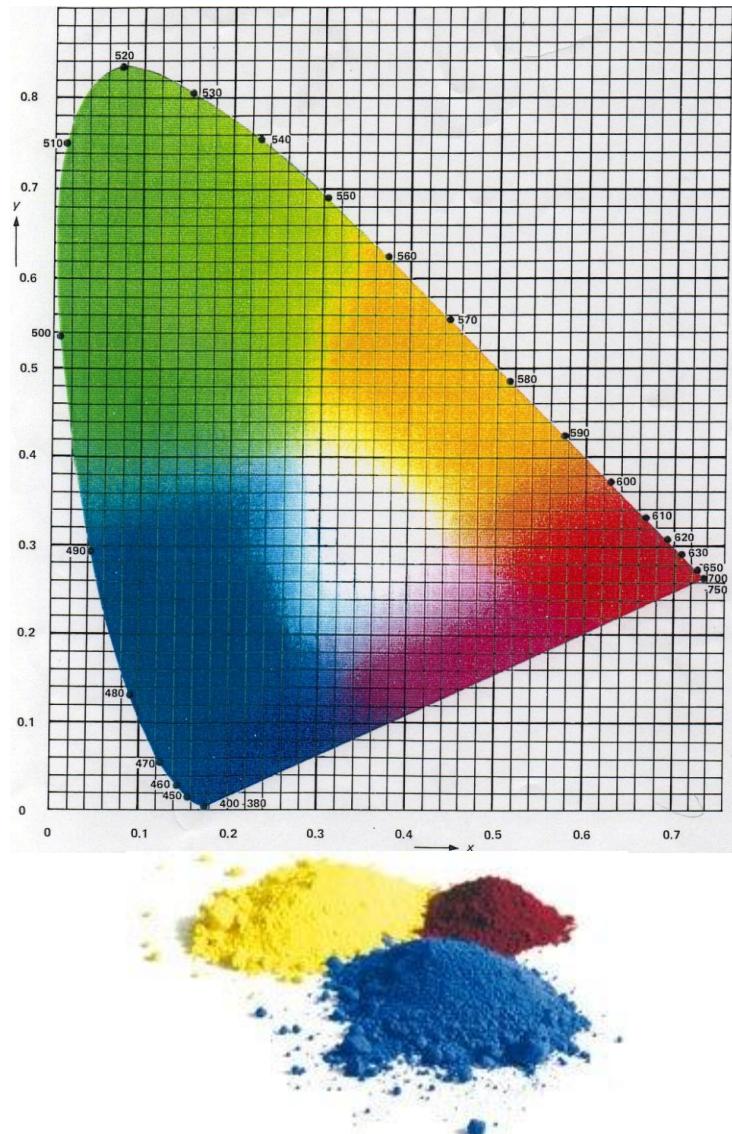




**Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales**

**Universidad Politécnica de Madrid**



## **TALLER sobre EL COLOR y su MEDICIÓN**

*Por: JOSE VICENTE ALONSO FELIPE Ingeniero Técnico Industrial (UVa) & Master Universitario MIMARMA (UPM)*

## Prólogo

El color y su medición siempre han despertado la curiosidad del ser humano y han ido adquiriendo importancia significativa desde hace mucho tiempo como consecuencia del desarrollo industrial, tanto desde el punto de vista de la física del color como desde la psicología del color.

Son muchos los sectores industriales donde su cuantificación y control son de importancia significativa, no hay nada más que pensar en el campo de la automoción, textil, industria del plástico, industria de pinturas y recubrimientos, imprenta, alimentación, etc.

En esta ocasión se presenta una monografía relativa al color, medición y control titulada "*Taller sobre el color y su medición*" que expone de una forma general, sencilla y variopinta diversos aspectos relevantes sobre el color y la colorimetría industrial. Son fruto del conocimiento y experiencia adquirida fundamentalmente en el campo de control de calidad en pinturas y control de calidad en textiles, así como de diversos cursos relacionados con la colorimetría industrial y el manejo de colorímetros triestímulos y espectrocolorímetros.

Es un compendio o monografía sobre diversos aspectos del color como son: historia de la métrica del color, física del color, psicología del color, diversos sistemas de coordenadas colorimétricas, medidas de diferencia de color, reproducción del color, envejecimiento y solidez del color, índices de blancura y amarilleo, test de visión del color, manejo digital del color, también figura al final una relación de fabricantes y distribuidores de colorímetros, espectrocolorímetros, cartas de color, etc.

Puede resultar interesante para aquellas personas que se inicien o tengan curiosidad en conocer aspectos del color en campos en que haya relación como bellas artes, reprografía, diseñadores, interioristas, interesados en tinción de tejidos, pinturas arquitectónicas o industriales, igualación del color, etc. Todo desde el punto de vista de dar una visión rápida y global de la colorimetría.

En el texto también se recoge de forma significativa el documento divulgativo de la empresa Konica Minolta titulado: *Precise Color Communication* que es muy ilustrativo y didáctico sobre el mundo del color.

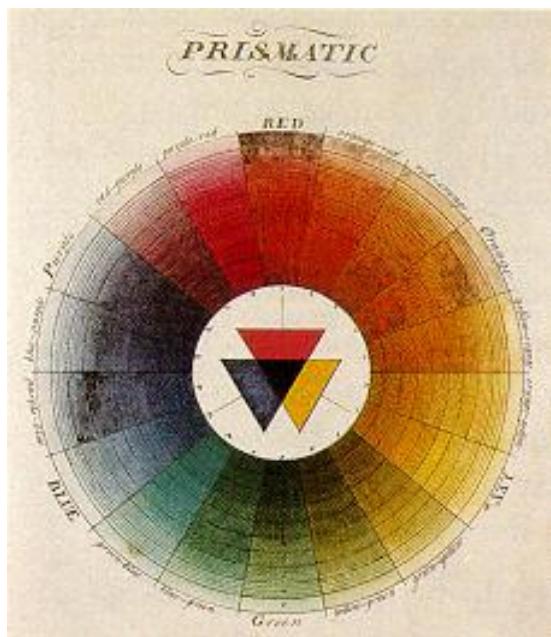
Madrid, 13 de julio de 2016

## TALLER SOBRE EL COLOR Y SU MEDICIÓN.

### Introducción.

**Moses Harris** fue un entomólogo y grabador que vivió entre 1730 y 1788, en su afán por plasmar los insectos que había estudiado poseía un conocimiento considerable del grabado y sus técnicas, esto lo llevó, como a muchos artistas, al estudio de las combinaciones de colores y creó en 1776 el primer círculo cromático, llamado Sistema Natural de los Colores. Muestra los colores de manera equidistante y tiene 18 tonalidades diferentes. Harris hace una especificación de los colores que utilizó: bermellón, amarillo del rey y ultramarino.

El aporte de Harris es quasi-matemático ya que divide a los colores en dos categorías, *grandes principales* (rojo, azul y amarillo) y *principales* (mezclas de cada dos de los anteriores (naranja, violeta y verde), a su vez la mezcla en mayor o menor proporción de estos daba aún mas colores. El sistema de Harris dispone a cada color a 180º de su complementario y cada color representa 20º de la circunferencia. En su circunferencia se muestra que entre cada color principal y un gran principal se forman aun dos colores más con la proporción de dos a uno. Por ejemplo 2 partes de naranja y 1 de amarillo para el tono naranja-amarillo y 2 partes de amarillo y 1 de naranja para el amarillo – naranja y así sucesivamente.

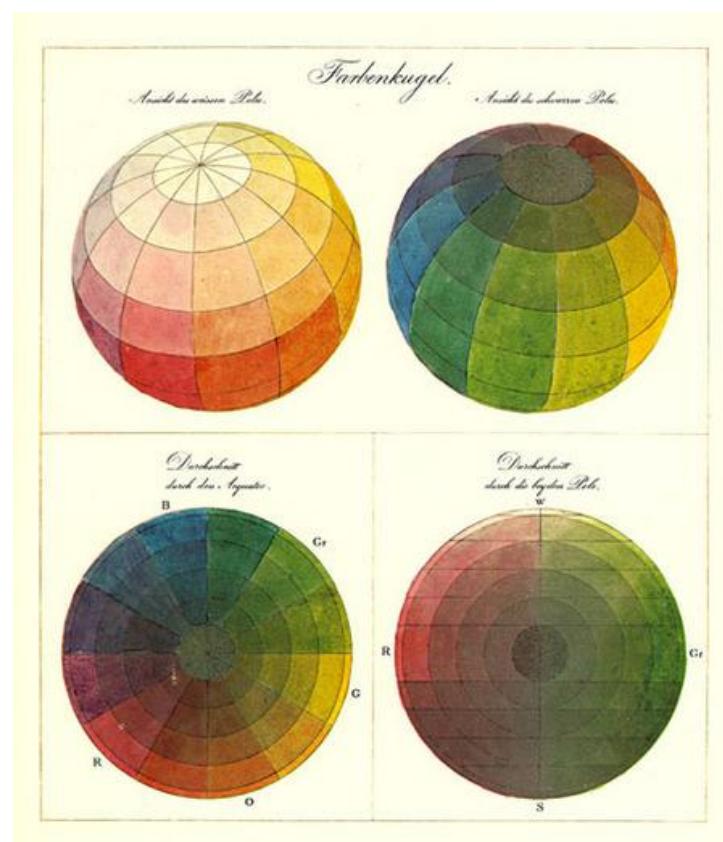


Círculo cromático de Harris

Pero no solo había interés por el estudio de los colores visto desde esta ubicación geométrica, también había quien se interesaba por el estudio del color según la acción de la luz en objetos tridimensionales tal es el caso de Runge.

**Philipp Otto Runge** nace en 1777 fue pintor en la época del romanticismo alemán. En el esquema publicado en sus trabajos sobre el color nos muestra estas dos esferas, una hacia el blanco y una hacia el negro donde muestra no solo la mezcla de los colores con sus adyacentes sino hacia los polos con blanco o negro creando de alguna manera un espacio de color esférico y por tanto tridimensional.

En 1810, después de investigar el color durante años y en correspondencia con Johann Wolfgang von Goethe, publicó *Die Farbenkugel* (La Esfera de color), en el que describe una esfera esquemática tridimensional para organizar todos los colores imaginables de acuerdo a su tono, brillantez, y saturación. Los tonos puros se mostraban alrededor de su ecuador. A través del eje central estaba una escala de valor gris, desde el negro del fondo hasta el blanco en lo alto. Sobre la superficie de la esfera, los colores se graduaban desde el negro al tono puro hasta el blanco, en siete pasos. Las mezclas intermedias en teoría estaban dentro de la esfera. Lamentablemente debido a su pronta muerte, otras teorías del color opacaron su descubrimiento, Goethe se valió de sus estudios para escribir su “Zur Farbenlehre” y en 1900 Henry Munsell patentó el primer orden en la esfera cromática.



*Espacio de color de Runge*

## La teoría del color de Goethe y su relación con la personalidad del ser humano.

### Psicología del color.

El gran escritor e intelectual **Johann Wolfgang von Goethe**, con su obra sobre **Teoría del color**, sentó las bases de la psicología del color que conocemos en la actualidad, destacando la percepción humana como el aspecto olvidado por las teorías newtonianas.



*Shutterstock – PhotoAllel*

El estudio del color ha despertado, a lo largo de la historia, la atención de no pocos estudiosos. Y es que se trata de un factor de la naturaleza tan fascinante como enigmático, que no deja de sorprender, y que aún no termina de descifrar por completo la ciencia, sobre todo en **los procesos de percepción del color**.

Así mismo, las áreas de estudio que han abordado este tema no son pocos, así como los atributos, científicos y no científicos, que se han asociado a los colores.

Esto último, esta clase de percepción subjetiva es el centro del estudio que realizó **Johann Wolfgang von Goethe**. Sí, el literato autor de '**Fausto**', el **padre del romanticismo alemán**, fue un profundo apasionado del estudio del color y un ferviente crítico de Newton acerca de sus estudios del color.

## “Zur Farbenlehre”



*Johann Wolfgang von Goethe*

Este título en alemán es el que tiene su obra publicada en 1810. “**Teoría de los Colores**” es la obra que Goethe presumió como uno de sus logros, el que más le enorgullecía:

*No me enorgullezco demasiado de mis logros como poeta. En mi época han vivido escritores creativos excelentes, los ha habido aun más brillantes antes de mí, y siempre los habrá después de mi tiempo. Pero de ser yo el único en mi siglo que conoce la verdad acerca de la teoría de los colores... ¡Eso es de lo que estoy orgulloso y lo que me da un sentimiento de superioridad sobre muchos.*

Con "conocer la verdad" se refería directamente a lo que él aseguró comprender: la percepción subjetiva del color. Justo esto fue lo criticado por la comunidad científica, además que se contraponía a los estudios de Newton, en específico en su obra “**Óptica**”, publicada en 1704.

Las diferencias entre Goethe y Newton han sido tratadas ampliamente por diversos estudios, sin embargo la diferencia específica es que Goethe dio un primordial papel a la **percepción del color**, al aspecto subjetivo de este, atribuyéndole un **valor** determinado, una especie de **personalidad** a los colores.

Esto, por supuesto, conlleva un distanciamiento inmediato de los métodos científicos pero no así de la relevancia de sus afirmaciones. Goethe es el maestro precursor de la psicología del color como tal, al analizar el efecto del color en la percepción y la conducta humana.

## La rosa de los temperamentos.



*La Rosa de los Temperamentos*

El antecedente de la publicación **Teoría de los Colores** se ubica en un estudio que realizó junto al filósofo e historiador **Friedrich Schiller**, a esta obra le llamaron **Rosa de los Temperamentos**, realizado entre 1798 y 1799.

Se trata de una relación de los colores con los rasgos de carácter de las personas. Es decir: **doce colores, doce temperamentos u ocupaciones**: tiranos, héroes, aventureros, hedonistas, amantes, poetas, oradores públicos, historiadores, maestros, filósofos, pedantes, gobernantes, y estos, a su vez, agrupados en los **cuatro temperamentos** derivados de la teoría filosófica griega y romana de la antigüedad, y que son: colérico, melancólico, sanguíneo y flemático.

El sentido subjetivo de los estudios de Goethe, como decía, no resta importancia a lo que hoy en día se conoce como **psicología del color**. En un sentido estricto, este estudio no se trata de una ciencia, sin embargo su influencia está presente en las artes, la moda, el diseño, la arquitectura, ya que el color juega un elemento importantísimo para estas materias.

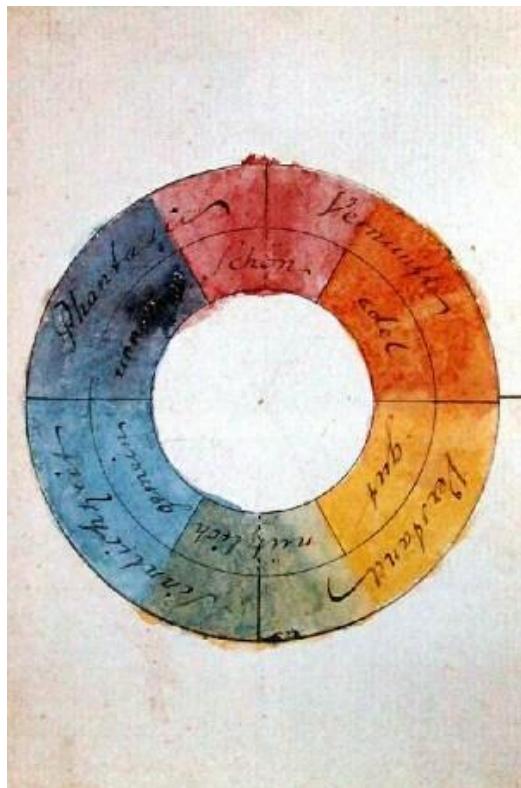
Así, Goethe, aunque muchas de sus afirmaciones fueron desestimadas por la física moderna y tuvo sus propios críticos en la época, contó con apoyo de no pocas personalidades de distintas áreas, y en distintos períodos, como el filósofo **Arthur Schopenhauer**. Si hay algún texto que evidencie el encomiable interés de Schopenhauer por temas que excedían la filosofía pura para adentrarse en los furos de la ciencia, ése es su tratado de óptica: **Sobre la visión y los colores** (*Über das Sehen und die Farben*, 1816).

En él, Schopenhauer viene a corregir y completar, siempre desde una actitud entusiástica y constructiva, la teoría de los colores elaborada por su tan admirado Goethe en *Teoría de los colores* (Zur Farbenlehre, 1810), así como a desmarcarse por completo de los planteamientos y conclusiones newtonianas sobre el fenómeno físico de los colores refractados por un prisma al incidir la luz sobre él.

También contó con el apoyo de los físicos: **Thomas Johann Seebeck** y **Hermann von Helmholtz**.

Además de artistas como el inglés **J. M. W. Turner** y el genial **Wassily Kandinsky**.

### El círculo del color.



*Círculo del color de Goethe*

Existen distintos círculos del color, que siguen alguna línea de catalogación: colores primarios, secundarios, atributos de color: tono, intensidad, grado. También se distinguen los colores luz (aditivos) y los colores pigmento (sustractivos), sin embargo, todos estos planteamientos modernos no se encontraban del todo asentados y aceptados en el momento que Goethe hizo sus estudios y catálogos. Él, en su momento, realizó un círculo del color atribuyendo cierto "**orden natural**". En su círculo colocó de forma opuesta el azul, rojo y amarillo, la combinación de estos, a su vez, forman otros colores, que nosotros conocemos, como tales, secundarios y terciarios.

El *toque* de Goethe fue que realizó, lo que él llamó, un **diagrama de la mente humana**, así atribuyó a cada color ciertos aspectos que en todo caso **explicarían el complejo comportamiento de las personas**.

Así mismo, realizó otros diagramas triangulares en los que se basó en el contenido emocional de cada color. Estos atributos siguen presentes en la psicología del color, aunque, agregaría, no se trata de una postura absoluta, por supuesto, el aspecto cultural del color es algo que también influye en los atributos subjetivos que percibimos con los colores.



*En orden Izq. a Der. Lucidez, Serenidad, Poder, Melancolía, Seriedad*

Así pues, Goethe, en su estudio del color nos dejó una explicación del color, sí tal vez echa a un lado por la ciencia, pero no de poca relevancia en la actual psicología del color. Es de destacar la **sensibilidad del autor a la naturaleza**, así como de su forma poética de plasmar sus conceptos.



*Shutterstock – shekaka*

Los siguientes son los atributos que Goethe relacionó con cada color.

**Amarillo:** Es el color más cercano a la luz. En su pureza más alta que siempre lleva consigo la naturaleza de brillo, tiene un carácter suave, emocionante sereno. Por otro lado es muy susceptible a la contaminación, produce un efecto muy desgradable y negativo al mancharse.

**Azul:** Se puede decir que el azul tiene un principio de la oscuridad en él. Este color tiene un efecto peculiar y casi indescriptible en el ojo. En su pureza más alta es, por así decirlo, una negación estimulante. Su aspecto es, pues, una especie de contradicción entre la excitación y reposo.

**Rojo:** El efecto de este color es tan peculiar como su naturaleza. Se transmite una impresión de gravedad y dignidad, y al mismo tiempo de gracia y atractivo. El primero en su estado oscuro y profundo, en el último en su luz atenuada.

**Violeta:** El violeta es el color de la madurez y la experiencia. En un matiz claro expresa profundidad, misticismo, misterio, melancolía, es el color de la intuición y la magia; en su tonalidad púrpura es símbolo de realeza, suntuosidad y dignidad.

**Naranja:** Mezcla de amarillo y rojo, tiene las cualidades de ambos, aunque en menor grado. Es el color de la energía, un color para temperamentos primarios, que gusta a niños, bárbaros y salvajes porque refuerza sus tendencias naturales al entusiasmo, al ardor, a la euforia.

**Verde:** Este color es reconfortante, libera al espíritu y equilibra las sensaciones. El ojo experimenta un estado de agrado cuando lo observa.

**EL COLOR Y SU MEDICIÓN.**

**REPRODUCCIÓN DEL COLOR.**

**SOLIDEZ DEL COLOR.**

**VISIÓN DE LOS COLORES: TEST DE ISHIHARA.**

**MANEJO DIGITAL DE LOS COLORES.**

**1.- Medida psicofísica del color.**

El color es una cuestión de percepción, de interpretación subjetiva. Para denominar el mismo color, diferentes personas pueden basarse en referencias diferentes, acervos culturales distintos, interpretaciones psicofísicas distintas, etc. y expresarlo con palabras o calificativos distintos, por ejemplo rojo intenso, rojo teja, rojo carmesí o verde pistacho, verde oliva, verde turquesa, verde claro, amarillo canario, etc.

Las palabras para denominar los colores han cambiado a lo largo del tiempo, así cierto tipo de rojo ha sido denominado “bermellón”, “cinabrio”, “carmesí”, “escarlata”. Una denominación algo más precisa tiene en cuenta alguna cualidad del color como “vivo”, “apagado”, “profundo”, “claro”, “oscuro”, etc. Como vemos expresar verbalmente un color es complicado e inexacto, lo que implica que para otra persona sea muy difícil entenderlo y reproducirlo.

Un principio enunciado por **Newton (1672)**, reafirmado por Young (1802) y verificado en la práctica, **afirma que cualquier color puede ser igualado por la suma de tres colores primarios convenientemente elegidos**. Este principio fundamental es la base sobre la que se sustenta toda la colorimetría. Una técnica experimental simple para llevar a cabo la duplicación de un color es la siguiente: el observador mira en un instrumento óptico cuyo campo visual está dividido en dos partes, la luz cuyo color debe igualarse se introduce en una mitad y la otra se ilumina con las luces de las tres fuentes primarias. Variando las cantidades de estas luces puede encontrarse una combinación que produce una igualación de color exacta de las dos partes del campo visual, y sólo una combinación dada produce una igualación de color. El color desconocido puede especificarse por esas cantidades llamadas valores triestímulo.

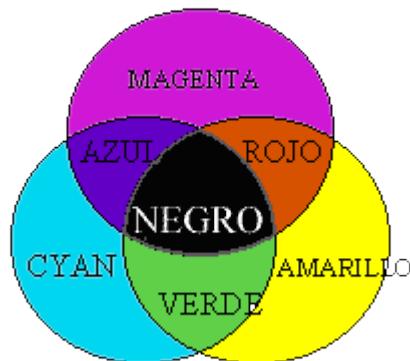
Los valores triestímulo así obtenidos constituyen una especificación del color para el observador y las condiciones que determinan el estímulo equivalente.

**¿Cuáles son los colores convenientes?** Son convenientes aquellos que son suficientemente luminosos y a la vez independientes entre sí. Es preciso establecer claramente que: los primarios son estímulos especificados en magnitudes de potencia radiante de ciertas longitudes de onda cuyo efecto produce sensaciones visuales que son linealmente independientes entre sí.

### LEYES DE GRASSMAN.

Los diversos experimentos de hace ya muchos años sobre mezclas aditivas de colores fueron estudiados por H.G. Grassman y se conocen como leyes de Grassman.

Se entiende por mezcla aditiva de colores la combinación de dos estímulos que actúan de forma que entran en el ojo simultáneamente e inciden en la misma zona de la retina. Estas leyes dan lugar a otras propiedades importantes en la igualación del color:



1.- Para especificar una mezcla de color son necesarias y suficientes tres variables independientes. De aquí el nombre de "triestímulo" y de "colorimetría tricromática" y el principio según el cual todos los tonos de color pueden igualarse con una adecuada mezcla de tres triestímulos diferentes, siendo la única condición a la hora de elegirlos que ninguno de ellos pueda obtenerse (igualarse) como mezcla de otros dos. Matemáticamente se puede expresar:

$$c(C) = r(R) + g(G) + b(B)$$

donde **r, g, b** son la luminancia, en lúmenes, de tres fuentes de referencia **R, G, B** (roja, verde, azul) necesarios para igualar **c** lúmenes de un color dado **C**.

Lo esencial de esta ley es que existe una y sólo una combinación de tres primarios que igualan cualquier color percibido.

2.- Los estímulos que evocan la misma apariencia de color producen resultados idénticos en mezclas aditivas de colores. Este segundo principio significa que estímulos características físicas diferentes, por ejemplo con distribuciones espectrales de radiancia (flujo radiante), pueden igualar el mismo color. Estos estímulos que físicamente diferentes que permiten la misma igualación de color se llaman **metámeros** y el fenómeno llamado **metamerismo** se presenta cuando una misma igualación de color consiste en diferentes componentes de la mezcla. Matemáticamente puede expresarse como sigue:

$$\begin{aligned}c_1(C_1) &= r_1(R) + g_1(G) + b_1(B) \\c_2(C_2) &= r_2(R) + g_2(G) + b_2(B)\end{aligned}$$

si  $c_1(C_1) = c_2(C_2)$  entonces  $r_1(R) + g_1(G) + b_1(B) = r_2(R) + g_2(G) + b_2(B)$

3.- En una ecuación de color la igualdad no varía si ambos miembros se multiplican por una constante K (ley de proporcionalidad). Esto supone que una vez igualado un estímulo las proporciones de cada componente de la mezcla aditiva no cambian cuando lo hace la luminancia del estímulo de color.

4.- Si se suman dos colores cualesquiera, evaluados con los mismos estímulos de referencia, la suma algebraica de ambos es equivalente a la suma algebraica de las cantidades de los estímulos de referencia necesarios para igualar los colores en cuestión (ley de aditividad). Matemáticamente se expresa:

$$\begin{aligned}c_1(C_1) &= r_1(R) + g_1(G) + b_1(B) \\c_2(C_2) &= r_2(R) + g_2(G) + b_2(B)\end{aligned}$$

entonces:  $c_1(C_1) + c_2(C_2) = (r_1 + r_2)(R) + (g_1 + g_2)(G) + (b_1 + b_2)(B)$

Sobre la base de esta propiedad se constituye toda la colorimetría actual. Este conjunto de propiedades se conoce como leyes de las mezclas cromáticas o leyes de Grassman.

El **color luz** es el producido por las radiaciones luminosas. La mezcla de dos colores luz proporciona un color más luminoso, por lo que se denomina mezcla aditiva. Los tres colores primarios luz son: rojo anaranjado, verde y violeta. Combinando dos a dos los colores primarios surgen los secundarios. Así ROJO + VERDE = luz AMARILLA, VIOLETA + VERDE = luz AZUL CYAN, ROJO + VIOLETA = luz MAGENTA.

Dos luces coloreadas se llaman COMPLEMENTARIAS, cuando mezcladas en una cierta proporción, igualan la luz blanca. Son siempre una luz primaria y una secundaria.

Los **pigmentos o sustancias coloreadas**, poseen diferentes composiciones químicas y físicas que hacen que sean capaces de absorber determinadas longitudes de onda y reflejar otras. La mezcla de colores pigmentos produce una resta de luz, por lo que se le denomina mezcla sustractiva. Los PRIMARIOS de la mezcla sustractiva son: amarillo, magenta y azul cyan. La mezcla de los primarios dos a dos da lugar a los secundarios. Así AMARILLO + MAGENTA = ROJO ANARANJADO, MAGENTA + AZUL = VIOLETA, AZUL + AMARILLO = VERDE.

Los colores pigmento COMPLEMENTARIOS son aquellos cuya mezcla se acerca al negro. Para conseguir este efecto es necesario mezclar un color pigmento primario con uno secundario que no contenga al anterior. Por ejemplo AMARILLO + VIOLETA = NEGRO, MAGENTA + VERDE = NEGRO, CYAN + ROJO = NEGRO.

**Escala de Permanencia  
(Valor P)**

Los pigmentos tienen un grado de permanencia establecido por la ASTM en el artículo *Artists' Oil and Artists' Acrylic Emulsion Paints*. Los grados se clasifican como se indica a continuación:

- |           |        |       |         |       |
|-----------|--------|-------|---------|-------|
| 1.        | 2. Muy | 3.    | 4.      | 5.    |
| Excelente | bueno  | Bueno | Regular | Pobre |

**Escala de  
Transparencia/Opacidad  
(Valor T)**

Desde 1 ó menos transparente (El más opaco)  
Hasta 8 ó más transparente (El menos opaco)

**Índice de color (C.I.)**

Todos los fabricantes de pigmentos del mundo someten sus productos a evaluación y les es dado un Índice de Color. Este es un código internacional.

## **METRICA DEL COLOR.**

Cuando clasificamos los colores, se pueden descomponer en sus tres elementos primarios o cualidades: **tono (color), claridad (luminosidad) y cromaticidad (saturación)**. El color es el tono, la continuación de los tonos crea la rueda de color mostrada en la figura siguiente. Los colores pueden separarse en “claros” y “oscuros” cuando se comparan sus luminosidades. Como se ve en la figura la claridad de los colores varía verticalmente, aumenta hacia arriba y disminuye hacia abajo.

La cromaticidad nos indica si se trata de colores “vivos” o “apagados”. La saturación varía horizontalmente. Los colores en el centro son apagados o grisáceos o de poca intensidad cromática.

En los sistemas de color anglosajones se conoce como: **Hue, Value, Chroma (H,V,C)**.

Fig. 1: Rueda del color

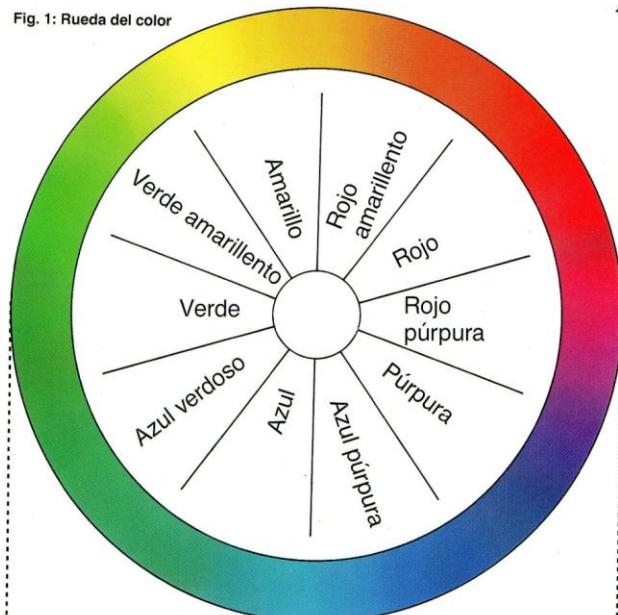


Fig. 2: Variaciones en Claridad y Croma del corte desde rojo púrpura hasta verde

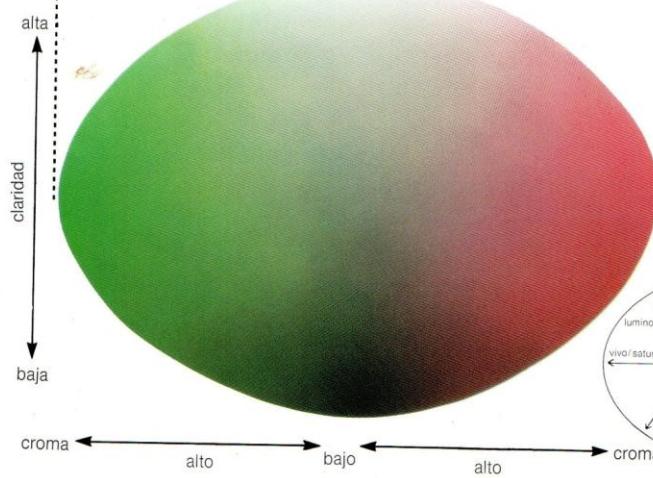


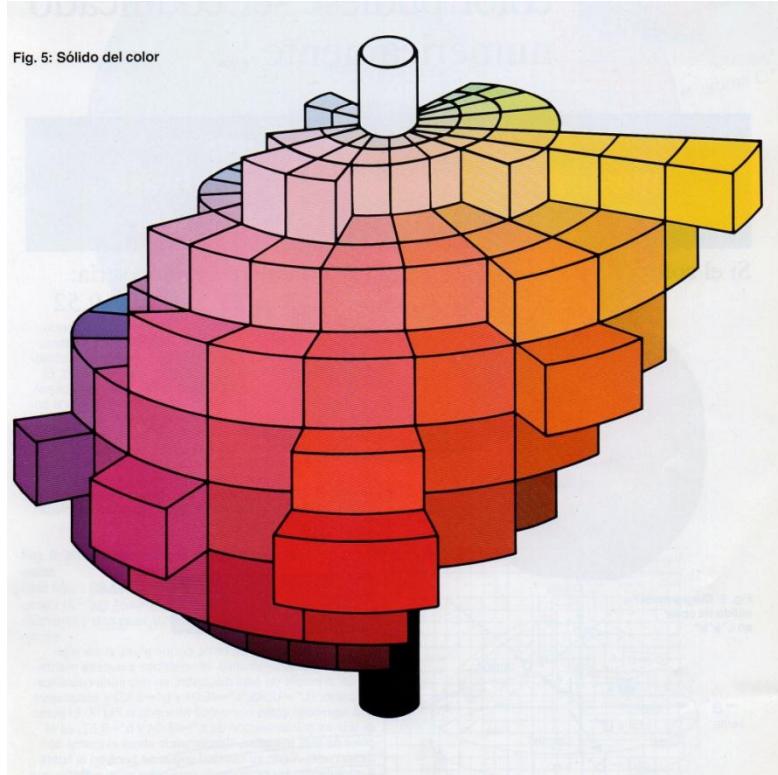
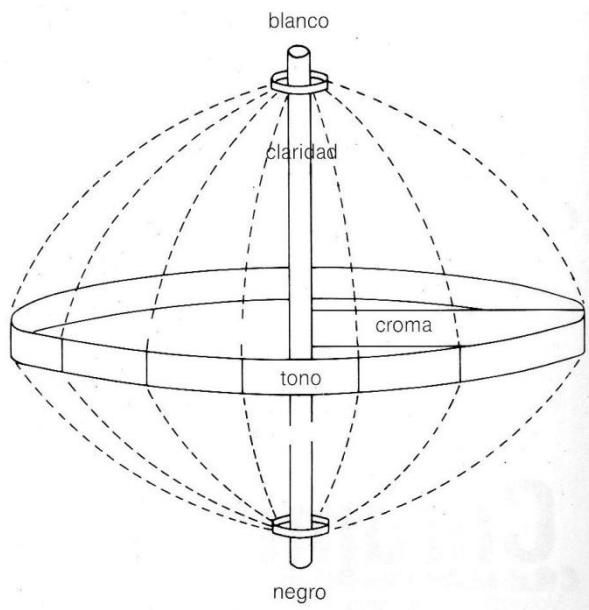
Fig. 3: Variaciones de claridad y croma en un plano



6

[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

Tono, claridad y croma son las tres características del color y pueden visualizarse en tres dimensiones, como se observa en las figuras:



[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

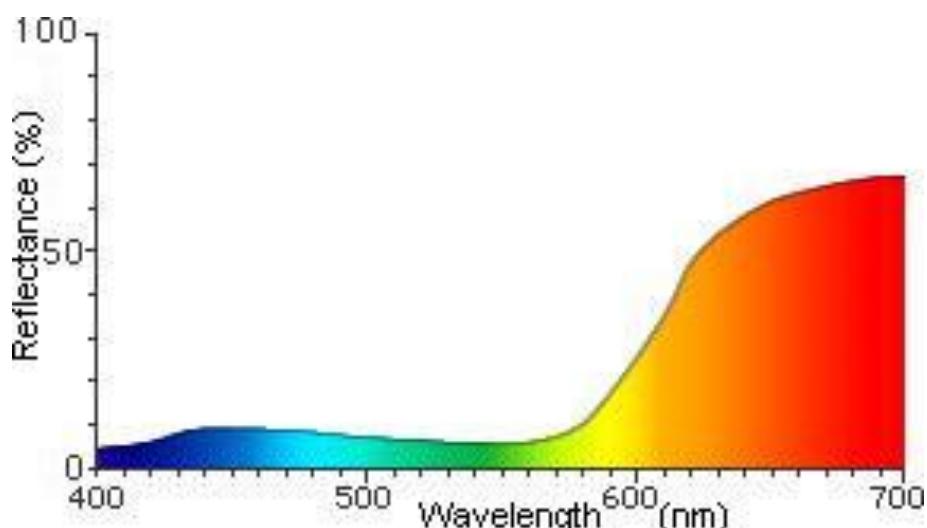
## 2.- SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL COLOR.

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.

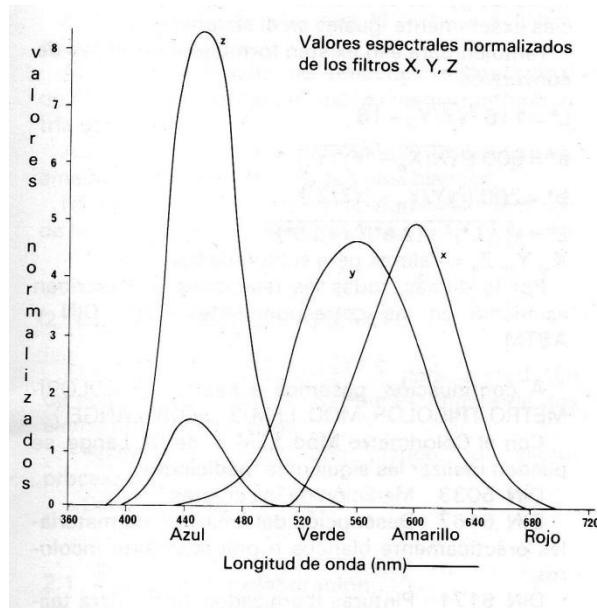
La organización internacional de luz y color **CIE (Commission Internationale de L'Eclairage)** desarrolló dos importantes sistemas para la evaluación de color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra.



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):

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

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

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

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

Donde:

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

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

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

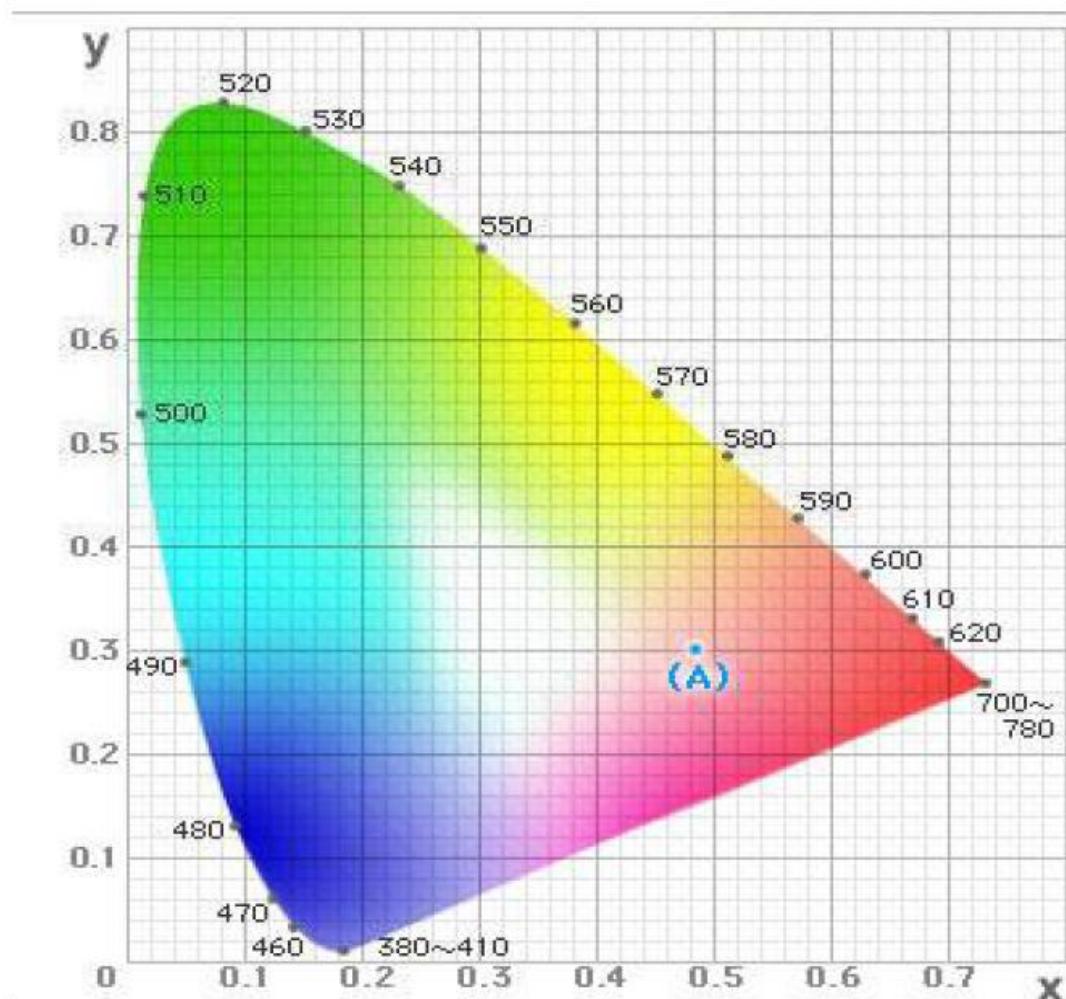
K = La luminancia relativa de una muestra se indica directamente por el valor de Y, asignando un valor de Y igual a cero para un negro absoluto y un valor igual a cien para un blanco perfecto lo que define la constante.

Para la determinación de las coordenadas de cromaticidad se tienen las ecuaciones:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

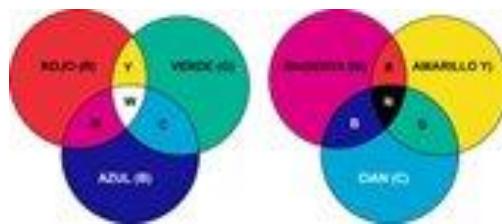


**Figura 8. Diagrama de coordenadas de cromaticidad (x, y).**

Todos los colores opacos, susceptibles de preparación, se hallan dentro del borde exterior, en la llamada “suela de zapato”. En el centro del espacio de color se halla el punto acromático o punto blanco. También se denomina Diagrama de Maxwell.

### TEORÍA DE MAXWELL

Basándose en la teoría de Newton (hacer pasar un rayo de luz blanca por un prisma, el cual separa este rayo de luz en el espectro lumínico de acuerdo a su longitud de onda), Maxwell dedujo que si se coloca un foco de luz con un filtro rojo, otro con uno verde y un tercero con uno azul, se genera luz BLANCA, pero en la intersección de estos rayos de luz se genera un nuevo color.



Así se establece lo siguiente:

#### COLORES PRIMARIOS LUZ O ADITIVOS:

R (rojo), G (verde) y B (azul), que sumados dan LUZ BLANCA (W)

#### COLORES SUSTRACTIVOS O SECUNDARIOS:

C (cian), M (magenta) y Y (amarillo), que se generan en la intersección de los colores aditivos.

$$R + G = Y$$

$$G + B = C$$

$$B + R = M$$

La suma de los colores sustractivos entrega la ausencia de luz, negro (N).

#### COLORES COMPLEMENTARIOS LUZ

La suma de éstos entrega luz blanca.

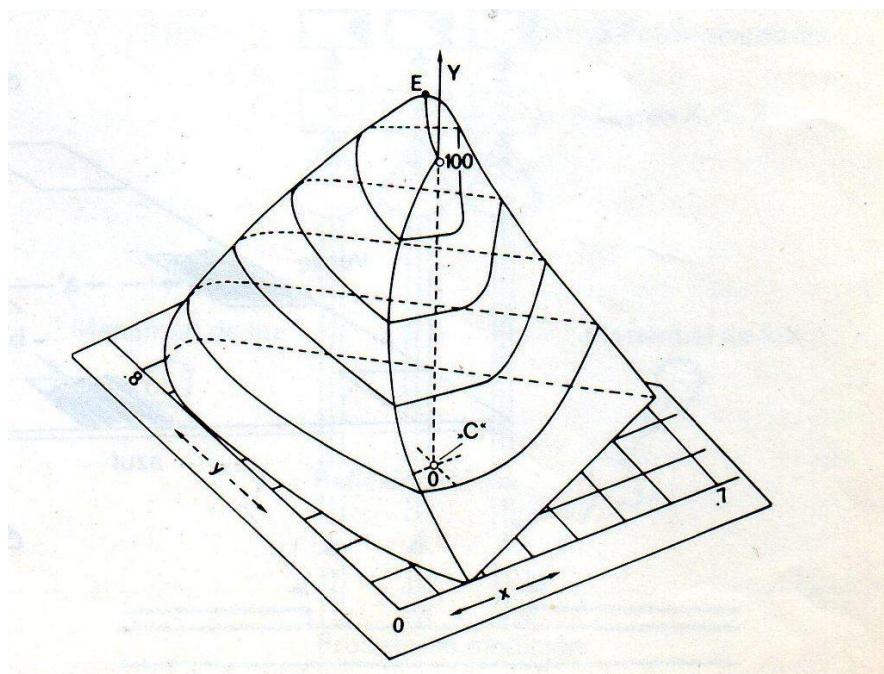
$$R \Leftrightarrow C (= B + G)$$

$$G \Leftrightarrow M (= B + R)$$

$$B \Leftrightarrow Y (= R + G)$$

Como medida para la claridad o luminosidad de un color normalizado,  $Y = R_y$ , se representa como eje estéreo vertical sobre el plano cromático.

El punto acromático es la clase de color de una tonalidad cromática o coloración, que tiene el mismo grado de remisión en todas las longitudes de onda. Una muestra blanca tiene el mismo lugar cromático que una muestra gris o una muestra negra. Únicamente el valor de la luz normalizada  $Y = R_y$  nos diferencia la muestra.



Este sistema CIE es matemáticamente exacto, pero **NO es un espacio de color uniforme** por lo que presenta el inconveniente de que el ojo humano no percibe como de igual magnitud diferencias o distancias matemáticamente de igual magnitud dentro del triángulo de colores.

Así, en el ámbito del azul violeta se identifican distancias matemáticamente mínimas como diferencias, mientras que en la gama de los verdes ya no se perciben distancias matemáticamente mayores como de distinto color.

Mc Adam, fue el primero en ocuparse de este problema, definió un trazado de las diferencias o contrastes cromáticos todavía identificables o perceptibles para el ojo humano, como elipses y si incluimos la claridad o luminosidad como elipsoides.

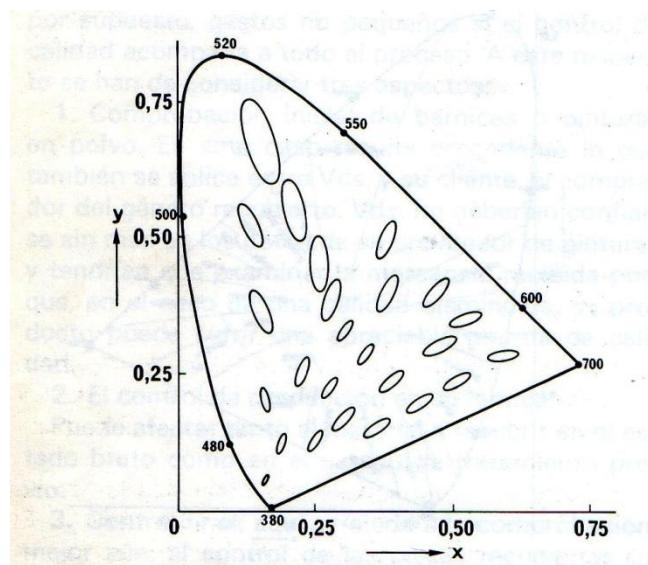
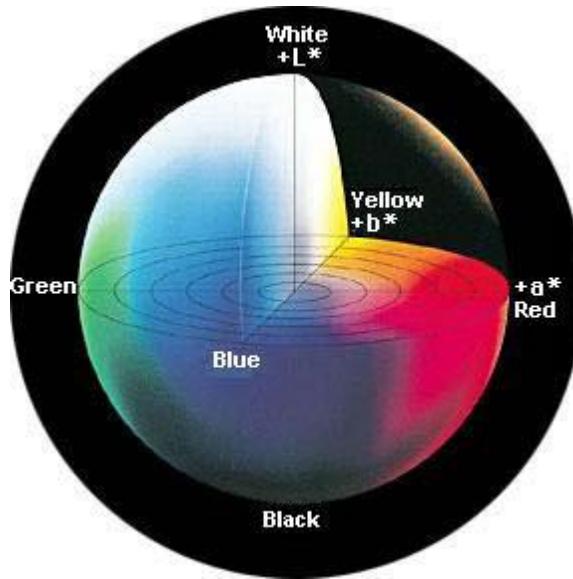


Fig. 5: Elipses de MC-Adam.

Como consecuencia de todo esto se desarrolló el sistema CIE- Lab introducido por Judd-Hunter por lo que a veces se le conoce como sistema Hunter-Lab, así como el sistema CIE- L\*a\*b\*. En estos sistemas las coordenadas cromáticas L es la coordenada que nos da la posición en el eje claro-oscuro o luminosidad. La coordenada a indica la situación en el eje rojo-verde en función de **a positiva** o **a negativa**, b es la posición en el eje amarillo-azul en función de **b positiva** o **b negativa**. En estos sistemas de coordenadas las distancias matemáticamente iguales en todas las gamas cromáticas también corresponden a distancias aproximadamente iguales en el sistema gráfico.

### 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, como ya se ha comentado brevemente. Para la determinación de los espacios de color L\* a\* b\* se parte las ecuaciones que relacionan valores triestímulos de la muestra y valores triestímulos del blanco patrón o de referencia elegido. Como patrones de blancura se emplean normalmente bloques o zócalos de sulfato de bario, carbonato de magnesio, dióxido de titanio.



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.

Para la aplicación de estos sistemas de medición de color la CIE se consideran diferentes tipos de iluminantes ya que cada fuente de luz viene caracterizada por la energía que emite en las diferentes longitudes de onda. Se define un iluminante como la distribución energéticapectral de una luz determinada, considerada estándar, realizable o no físicamente.

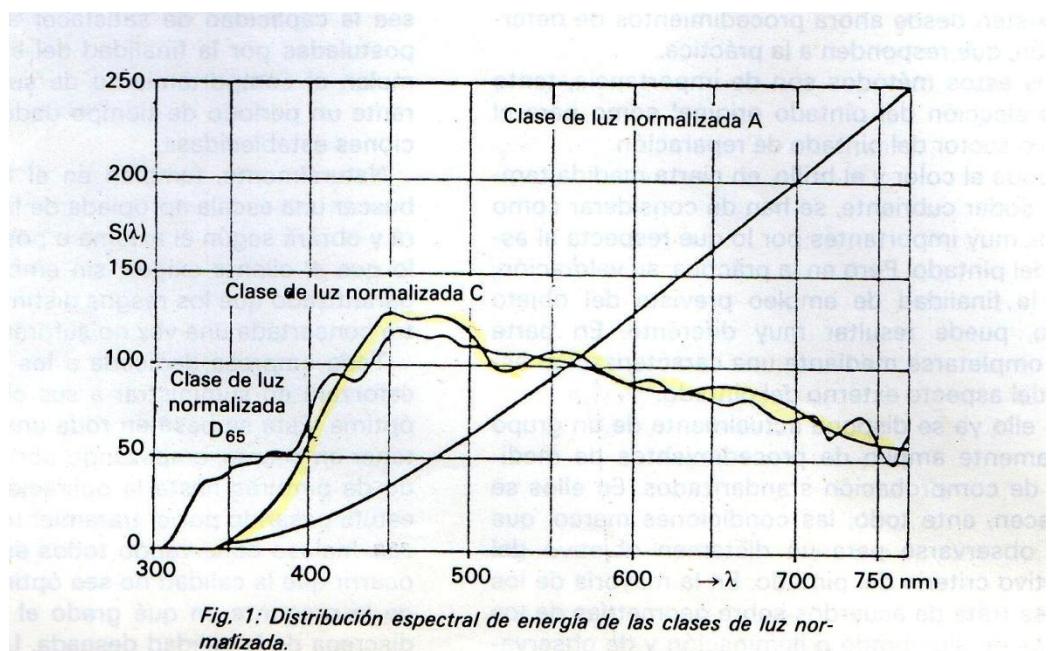
Los más comunes son:

**Iluminante A:** Luz incandescente con una temperatura de color de 2854ºK (lámpara de tungsteno).

**Iluminante C:** Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6774ºK, no incluye la radiación ultravioleta.

**Iluminante D65:** Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6504 K, incluye la radiación ultravioleta.

**Iluminante F:** Distribución energéticapectral de un tubo fluorescente tipo blanco cálido.



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 2º (grados) y en 1964 definió el observador de 10º** como se ve en las figuras siguientes.

**2º viewing angle**



**10º viewing angle**



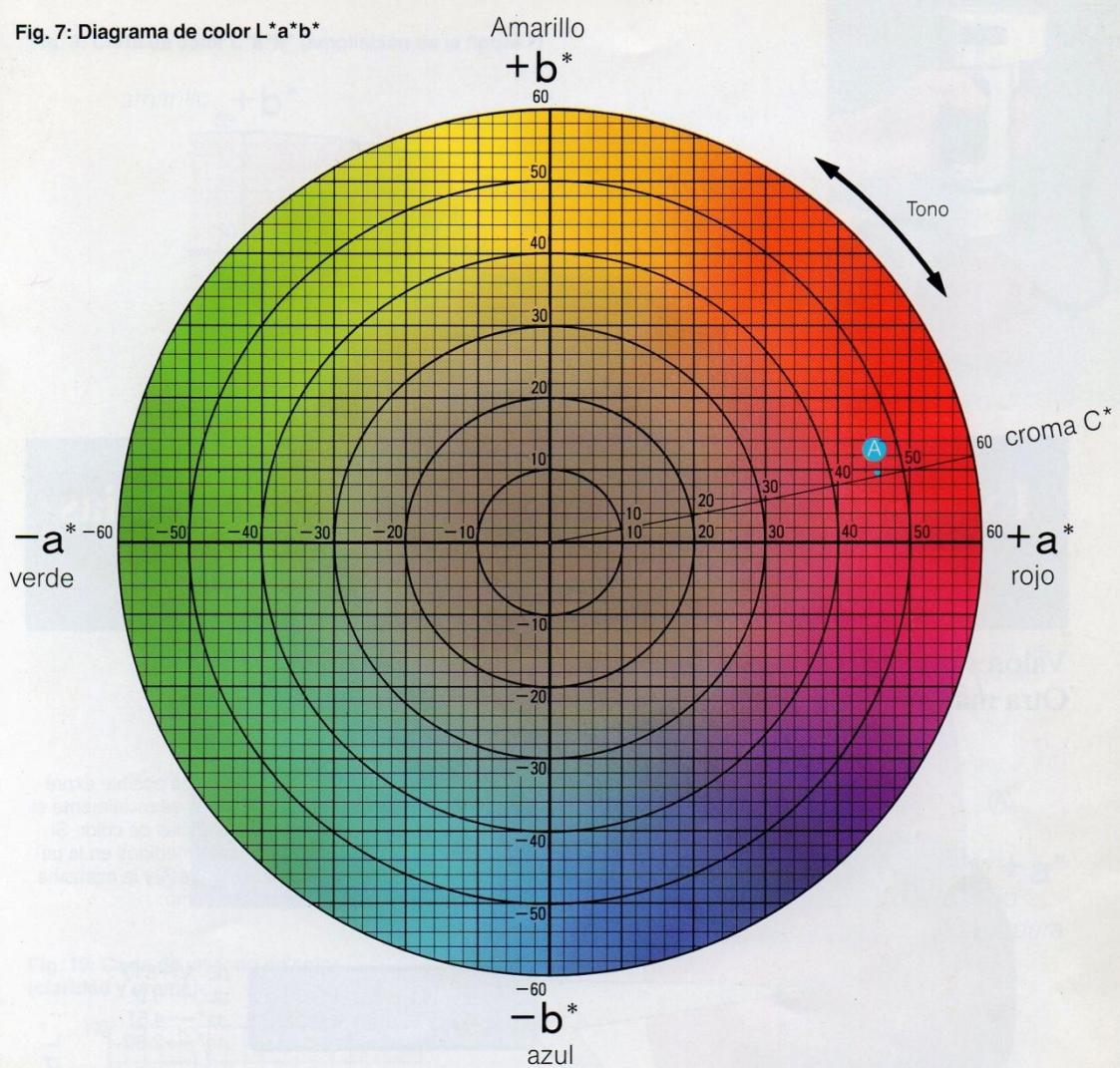
Existen otros sistemas de medición de color que podemos mencionar:

$L^* C^* h^*$ ; 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.

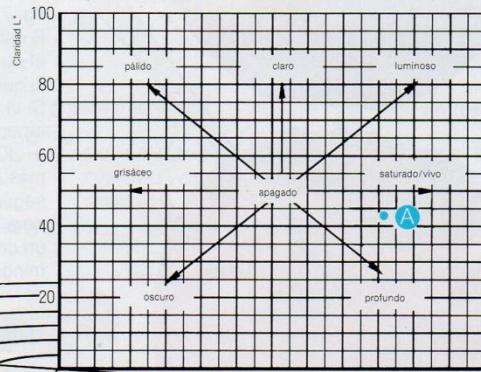
La *chroma* o cromaticidad viene expresada por la ecuación:  $C^* = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$

Colorímetro TRIESTIMULOS MICRO COLOR Dr. Lange. Es un colorímetro de tres campos, dispone de tres fotocélulas sensibles a valores cromáticos normalizados X, Y, Z. Una bola o esfera de Ulbricht con una lámpara de destellos de xenón sirve para la iluminación difusa de la probeta o muestra a medir. Mide según la norma alemana DIN 5033, la reflexión difusa de la muestra bajo un ángulo de 8º; a través de un conductor óptico (cable de fibra de vidrio) se transmite la luz a la unidad portátil de medición para su disociación en los filtros de colores normalizados definidos exactamente. Al mismo tiempo dispone de un segundo conductor óptico de referencia que valora o analiza la fuente de luz así como el estado de la superficie esférica, lo que proporciona una alta reproducibilidad de los resultados de medición. Dispone de software de medida de color y memoria. La estación de datos puede almacenar 400 estándar de referencia y 10 diferentes estándar de calibración.

Dispone de un zócalo de calibración con los valores X,Y,Z para el iluminante D65 realizado físicamente por lámpara de xenón, el observador normalizado 10º y la geometría de medición d/8º. Tiene trazabilidad a un patrón de sulfato de bario, medido exactamente con un fotómetro espectral. Se pueden medir superficies o muestras pulverulentas.

**Fig. 7: Diagrama de color L\*a\*b\*****Fig. 8: Modificaciones relativas del tono de color.**

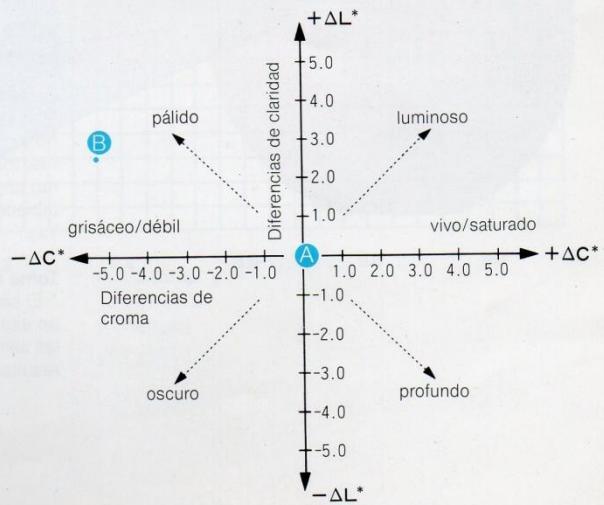
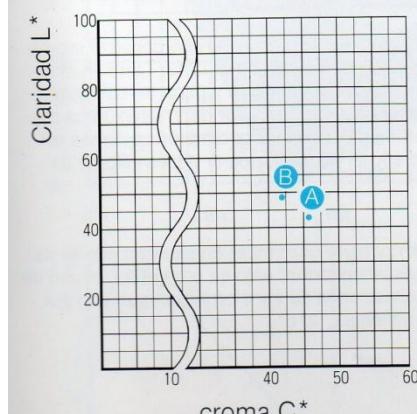
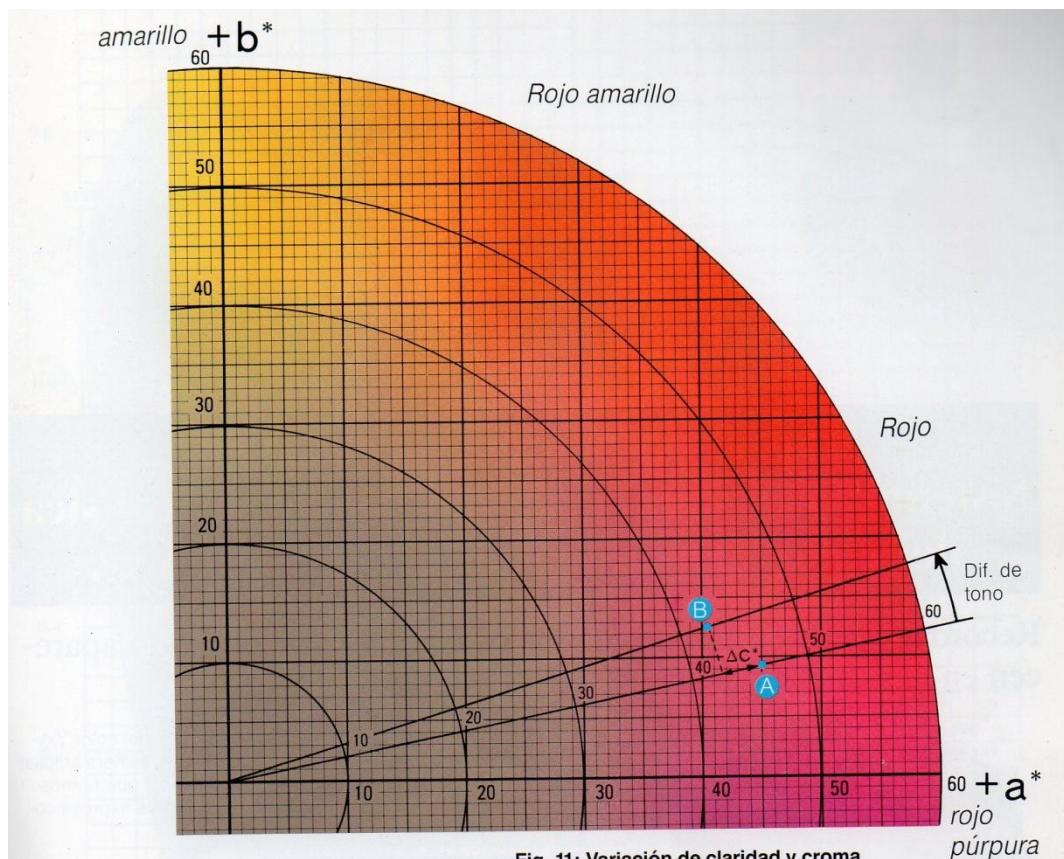
Esta figura muestra la anterior carta de color girada 90° con la claridad L\* aumentando verticalmente y donde el croma C\* varía radialmente.



[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_comunication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_comunication.pdf)

Cuando los colores están determinados de forma objetiva por coordenadas cromáticas, es posible expresar de forma matemática pequeñas diferencias de color o tolerancias de color. Se expresa como  $\Delta E^*$ .

Su ecuación es:  $\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$



[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

### 3.- Notación Munsell. Carta de color en arte.

Los colores también pueden ser identificados asignando letras y números a las distintas variaciones en la carta de colores tridimensional. Desarrollada originalmente por el artista americano A.H. Munsell, este diagrama se denomina “carta de color Munsell”.

En este sistema con una de las gráficas asignamos el tono. La claridad y el chroma se asignan con el otro gráfico, donde vemos que la claridad varía verticalmente y el croma horizontalmente. Para cada tono tendremos una gráfica de claridad y croma. La notación Munsell se asigna por combinación de estos dos gráficos y se usa ampliamente en trabajos de diseño.

Por ejemplo para una taza de un tono verde sería **5G(tono) 5(claridad)/10(croma)**.

Fig. 13: Rueda de colores Munsell

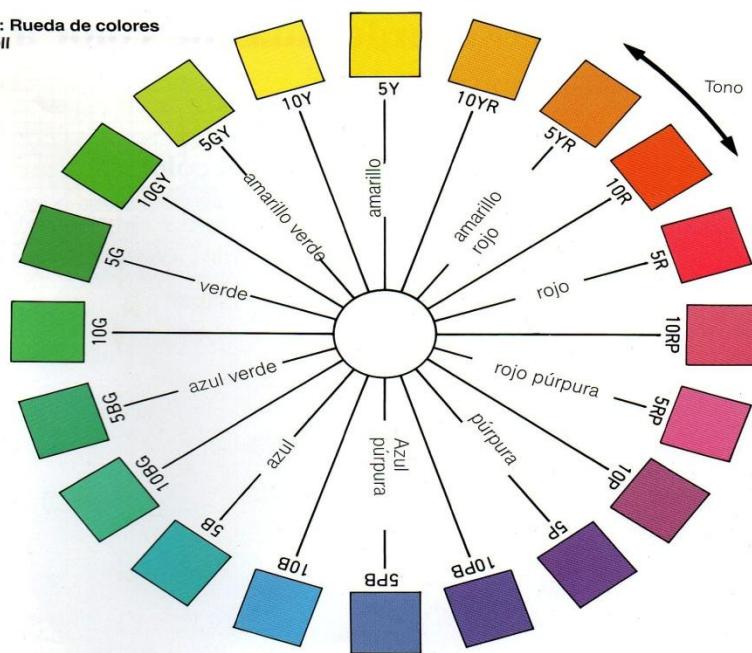
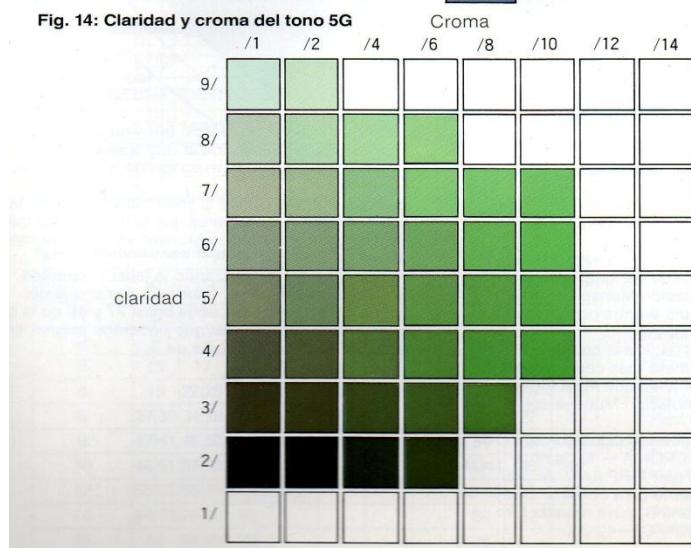


Fig. 14: Claridad y croma del tono 5G



[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

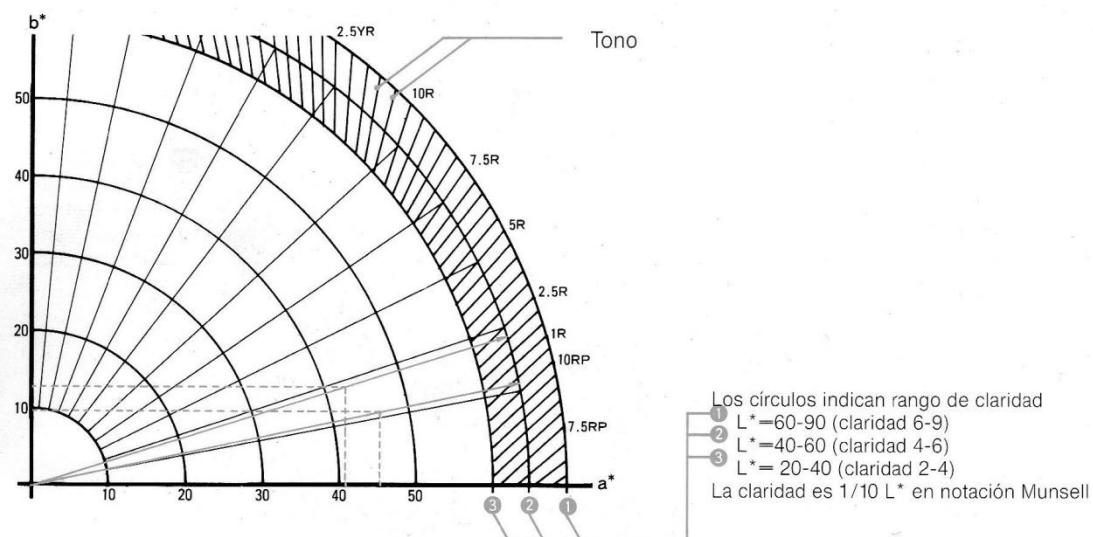
# Conversión de las coordenadas de color a la notación Munsell.

Desde L\*a\*b\* a notación Munsell.

Lee el valor y deja que tus ojos confirmen el color.

Cuando las coordenadas de color se utilizan en industrias de diseño e impresión, normalmente se convierten al sistema más usado en estas áreas, el sistema Munsell. Para hacer esto, usar la figura 15 y la tabla 1 para la conversión fácil y rápida.

En la siguiente discusión, consideraremos la conversión entre el código L\*a\*b\* y notación Munsell como se relata en la medida de la manzana de la figura 7 de la página 11 y las notaciones Munsell de la página 17 usadas para la conversión fácil de los valores medidos (numéricos) a notación Munsell.



Basándonos en lo anterior, convertiremos los valores medidos de la manzana A a la notación Munsell. La manzana A fue medida como:

$$L^* = 42.83; a^* = 45.04; b^* = 9.52; C^* = 46.04$$

Localizar la intersección de  $a^* = 45.04$  y  $b^* = 9.52$  sobre la figura 15.

Ya que  $L^* = 42.82$  pertenece al círculo ②, trazar una línea desde el centro a través de la intersección de  $a^*$  y  $b^*$  hasta el círculo ②.

Si miramos al punto donde esta línea trazada intersecta con el círculo ②, se puede ver que la línea de TONO (HUE) indica una notación Munsell de 10RP. (si la línea intersecta al círculo ② entre dos líneas de TONO, tomar la más cercana).

Después, dado que  $C^* = 46.04$ , ir a la columna RP de la tabla 1 y localice el número más cercano de croma. En este caso sería 44, así que lea a través de la tabla para obtener la notación Munsell del Croma de 10.

Con los valores mencionados determinados como: TONO = 10RP; CLARIDAD = 4 y CROMA = 10, la notación Munsell se puede escribir así: 10RP 4/10. Ahora utilicemos el mismo procedimiento para determinar la notación Munsell para la manzana B, cuya medida fue:  $L^* = 48.95$ ,  $a^* = 40.53$  y  $b^* = 12.36$ .

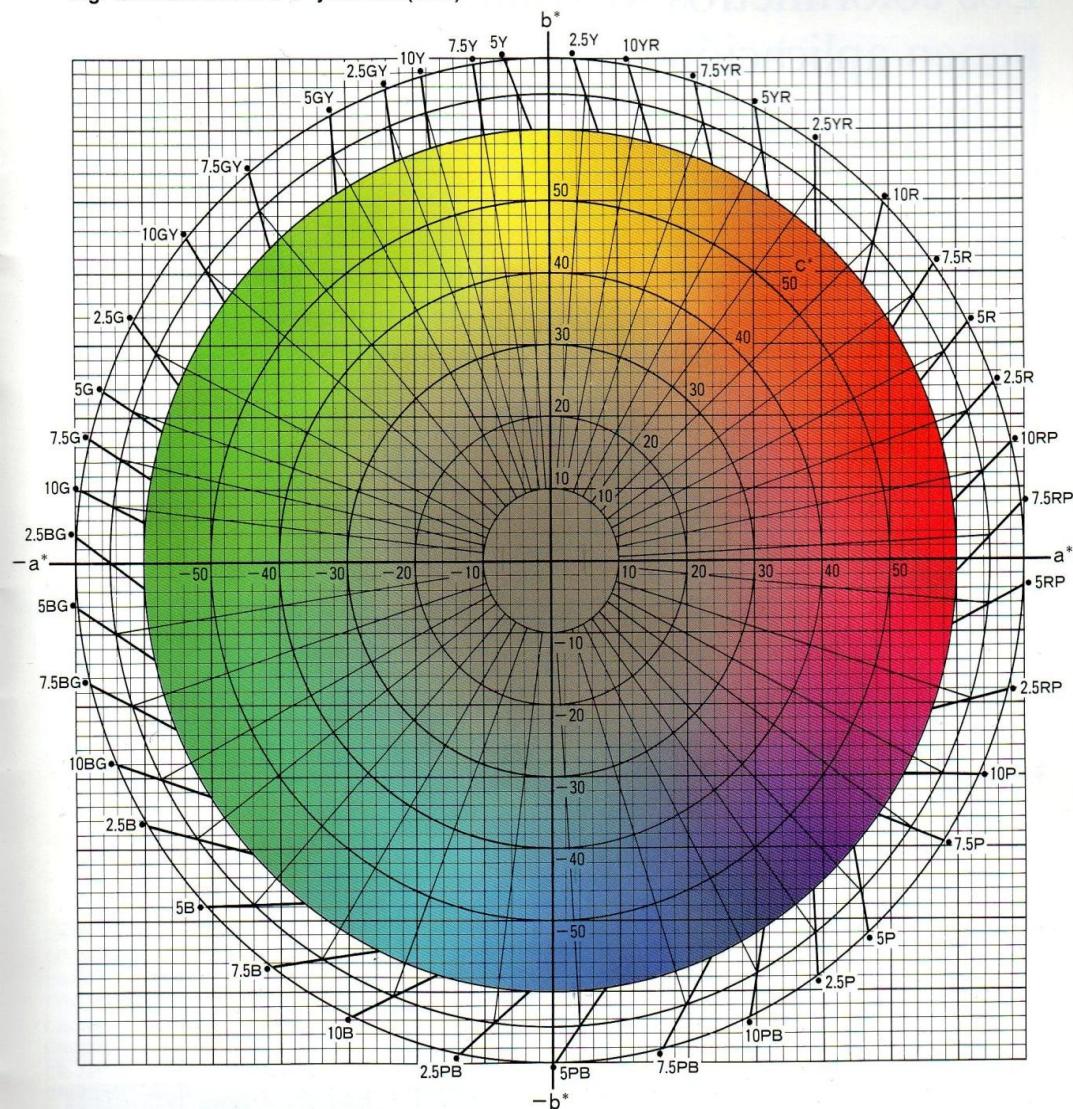
Localizar la intersección de  $a^* = 40.53$  y  $b^* = 12.32$  en la figura 15.

Dado que  $L^* = 48.95$  (aprox. 50) y su valor corresponde al del círculo ③, trazar una línea desde el centro a través de la intersección de  $a^*$  y  $b^*$  hasta el círculo ③.

Si miras al punto donde la línea trazada intersecta con el círculo ③, observarás que la línea TONO que corresponde en notación Munsell es de aproximadamente, 2'5 R.

Ya que  $C^* = 42.36$ , utilizando la tabla 1 veremos que en la columna R el valor más cercano al del croma  $C^*$  en este caso sería entre 37 y 46 en la columna de la izquierda así que podemos asignar en notación Munsell un croma de 9.

Fig. 15: Notaciones L\*a\*b\* y Munsell (tono)



Tab. 1: Notaciones Munsell (croma C) y L\*a\*b\* (croma C\*)

	R	YR	Y	GY	G	BG	B	PB	P	RP
Notación del tono Munsell	1	5	7	8	7	6	5	4	4	4
Croma L*a*b*	2	9	12	15	13	11	10	9	9	9
Croma munsell	3	15	17	22	22	19	16	15	13	13
	4	19	22	25	29	29	25	22	20	17
	6	27	30	34	38	42	45	43	39	31
	8	37	41	46	50	56	59	58	51	45
	10	46	51	57	63	70	74	73	65	56
	12	55	62	68	76	84	88	87	77	
	14	64	73	79	90	98				44
	16	84	94	101	109				75	

En columnas con dos cifras, la de la izquierda es para tonos 1~5; la de la derecha para tonos 6~10.

#### Tome Nota:

\* El colorímetro CR-200 puede convertir los códigos numéricos de color en notación Munsell automáticamente.

\* Para valores de a\* y b\* muy grandes o pequeños multiplicar o dividir por un factor apropiado antes de dibujar y leer los valores de tono.

\* Los colores de las figuras y fotografías de este manual pueden diferir de los reales por la impresión.

#### **4.- INDICES DE BLANCURA Y AMARILLEO.**

El concepto de blancura es difícil de establecer y mucho más definirlo unívocamente. Hace más de 700 años el poeta italiano Dante, dijo: "como la blancura, la justicia no es susceptible de graduación". Muchas veces el problema de la evaluación de la blancura está relacionado indisolublemente con el de la fluorescencia. Teóricamente podría decirse que el blanco "ideal" es aquel que tiene una respuesta espectral plana en todo el espectro y además es altamente difusor. En general, la evaluación de la blancura está relacionada con la evaluación del azul o de la reflectancia al azul. Algunos materiales como el papel y los textiles, de forma natural tienden a absorber en el azul y de allí su "amarilleamiento". Para evitar este fenómeno, se introduce en su composición los blanqueantes ópticos.

Del mismo modo en la industria del papel, la blancura es evaluada de alguna manera como la reflectancia al azul, definiéndola de un modo determinado. Este criterio no siempre es seguido por otras industrias, de tal modo que aparece una gran cantidad de criterios y fórmulas utilizadas para evaluar la blancura.

Una de las definiciones de blancura sería: es el atributo de una superficie difusora bajo una iluminación dada, el cual determina su similitud respecto del color de un blanco preferido o patrón. No existe un criterio unánime para medir este atributo en términos de cromaticidad y luminosidad o luminancia.

Una norma para medir la blancura sería la UNE citada, también existen al respecto normas ASTM, DIN, etc.

#### **NORMAS UNE DE INTERES EN COLORIMETRIA.**

UNE 72031. Magnitudes colorimétricas.

UNE 40080. Determinación de coordenadas cromáticas CIE.

UNE 40435. Determinación de diferencias de color según el sistema CIELAB.

UNE 72322. Evaluación de la blancura relativa (para campo mayor de 4º).

UNE 48071. Ensayo acelerado de amarillo.

UNE-EN ISO 105-C06. Textiles. Ensayos de solidez del color. Solidez al lavado doméstico y comercial.

UNE-EN 20105 – A02. Textiles. Ensayos de solidez del color. Escala de grises para evaluar la degradación.

UNE-EN 20105 – A03. Textiles. Ensayos de solidez del color. Escala de grises para evaluar la descarga.

ISO 105 B02, B04, B06. Ensayos de envejecimiento con Xenotest.

Veamos brevemente la norma UNE 72322. Esta norma evalúa la blancura relativa de muestras, que no difieran mucho en color y fluorescencia. La blancura se calcula de forma relativa al blanco patrón o zócalo blanco de calibración del colorímetro. Las formulas para calcular la blancura son:

Blancura  $W = 100 (Y_m/Y_n) + U_n - U_m$

Tinte  $T = V_n - V_m$

Donde:  $U = (800 X + 1700 Y) / (X+Y+Z)$

$$V = (900 X - 650 Y) / (X+Y+Z)$$

Siendo como ya se ha visto: X,Y,Z los valores triestímulos relativos obtenidos con un determinado iluminante. Los subíndices *n* y *m* corresponden al blanco de referencia y a la muestra respectivamente.

Para el difusor perfecto W es igual a 100 y T igual a cero. Cuanto mayor sea W la muestra será más blanca. Si T es positivo, cuanto mayor sea su valor la muestra será más verdosa; si T es negativo, cuanto mayor sea su valor absoluto la muestra será más rojiza. Estas fórmulas tienen un límite de validez.

### Índice de amarilleo.

A parte de los índices de blancura o grados de blancura o simplemente blancura de los materiales, han sido propuestos en el tiempo diversos modos de evaluar el amarilleamiento de aquellos materiales que presentan una tendencia a absorber el azul y amarilllear. Se han propuesto entre otras las fórmulas:

$$YI = 100 \cdot (1,28 X - 1,06 Z) / Y$$

$$YI = (R_{700} - R_{450}) / R_{700}$$

También está descrito otro índice de amarilleo según ASTM E-313.



## 5.- IGUALACIÓN DEL COLOR.

Se trata de determinar la concentración de pigmentos base o primarios en una muestra opaca coloreada problema usando las *ecuaciones de Kubelka-Munk*. Para muestras opacas la aproximación de Kubelka-Munk que se utiliza es:

$$K/S = (1-R)^2 / 2R \quad [1]$$

En el caso de una mezcla de colorantes o pigmentos se cumpliría:

$$(K/S)_{mezcla} = K_{mezcla} / S_{mezcla} = c_1 K_1 + c_2 K_2 + c_3 K_3 + \dots / c_1 S_1 + c_2 S_2 + c_3 S_3 + \dots \quad [2]$$

Donde:  $c_1, c_2, c_3 \dots$  son las concentraciones de los colorantes.

R es un valor que viene dado por una fracción entre 0 y 1, no como porcentaje a la hora de aplicar las ecuaciones.

La primera ecuación de Kubelka-Munk descrita define la cantidad K/S, donde K es un coeficiente de absorción y S es un coeficiente de dispersión, en términos de una medida cuantitativa de R (reflectancia) y luego proporciona una ley de mezcla mostrando cuanto de la relación K/S proporcionan los colorantes de una mezcla dependiendo de sus concentraciones.

Si R' es la reflectancia medida, con la componente especular incluida, para calcular R corregida por la reflexiones de la superficie se aplicaría.

$$R = R' - k_1 / 1 - k_1 - k_2 (1-R') \quad [3]$$

Con este nuevo valor de R, se calculan nuevos valores de R' según ecuación:

$$R' = k_1 + (1-k_1) \cdot (1-k_2)R / 1-k_2R \quad [4]$$

Donde  $k_1$  es el coeficiente de reflexión de Fresnel para luz colimada y  $k_2$  es el coeficiente de reflexión de Fresnel para luz difusa.

La aproximación de la ley de mezcla de Kubelka-Munk vendría dada para mezclas ternarias por la expresión:

$$(K/S)_{mezcla} = (K/S)_1 \cdot c_1 + (K/S)_2 \cdot c_2 + (K/S)_3 \cdot c_3 + (K/S)_W \cdot c_W$$

, para pequeñas cantidades de pigmentos primarios de pinturas diluidos o mezclados con cantidades grandes de pigmento base blanco ( $c_W$ ).

La concentración puede ser expresada de forma relativa, teniendo en cuenta que  
 $c_1 + c_2 + c_3 + c_w = 1$

$(K/S)_{mezcla} = (K_1c_1 + K_2c_2 + K_3c_3) / S_w$  para tres pigmentos no dispersantes de la luz sobre un sustrato como un textil o un papel.

En este tratamiento de formulación del color por ecuaciones Kubelka-Munk debemos asumir varias hipótesis de partida:

(1) La radiación incidente debe ser completamente dispersada por la muestra, esto se cumple para muestras del tipo textil, pinturas y plásticos completamente opacos.

(2) No debe haber cambio del índice de refracción en los límites de la muestra. Esto se cumple de forma completa en algunas muestras, como son pinturas al agua, al óleo, etc. En otras situaciones se modifican las ecuaciones de Kubelka-Munk para incluir el efecto de la reflexión perdida como consecuencia de los cambios de índice de refracción en los límites de la muestra.

(3) Los cálculos con las ecuaciones de Kubelka-Munk deben ser realizados en varias longitudes de onda a lo largo del espectro de reflectancia.

### FORMULACIÓN DEL COLOR.

La función de un colorista industrial es en primer lugar preparar los materiales coloreados que reúna los requisitos de su industria, normalmente en función de los requerimientos de un diseñador, de un estudio de mercado o de un aplicador ó proveedor de muestras coloreadas.

La misión del colorista es seleccionar los colorantes o pigmentos adecuados y ajustar sus cantidades hasta obtener un resultado considerado satisfactorio. Siempre estará condicionado por la triada: fuente, objeto y observador.

En la práctica industrial los pasos para la formulación de un color vienen dados por:

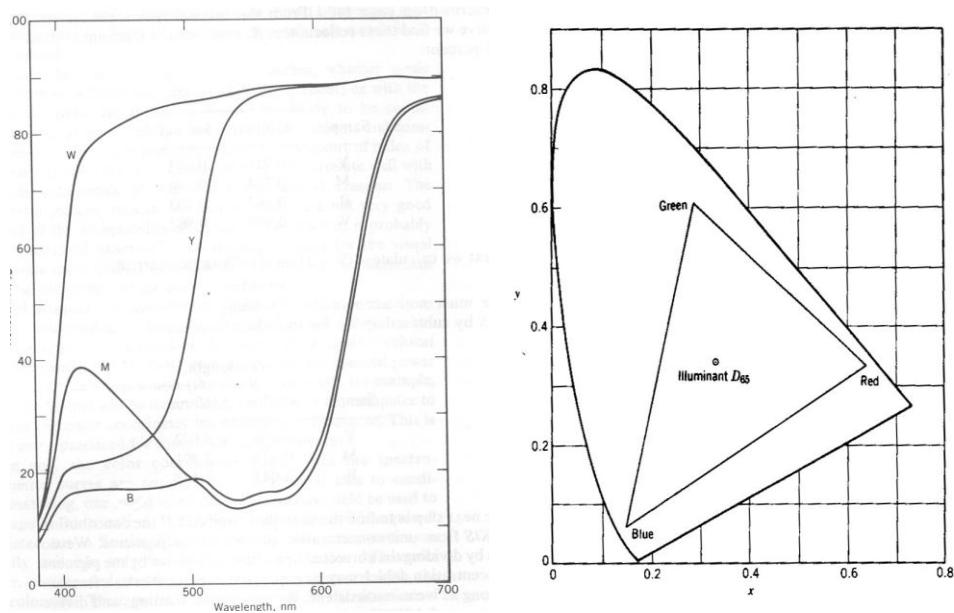
- Seleccionar los colorantes ó pigmentos, en su caso se seleccionan tres primarios. Por mezcla aditiva se obtiene resto ubicados en el lugar geométrico que indica el diagrama de color adjunto.
- Fabricar una muestra inicial de prueba.
- Ajustar la prueba a la muestra de referencia dentro de una tolerancia.

### DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Consideremos el caso particular siguiente que posteriormente se puede generalizar a otras mezclas binarias y ternarias problema a reproducir.

Vamos a obtener la concentración de los pigmentos base de una muestra opaca coloreada a reproducir, utilizando la ley de Kubelka-Munk.

Partimos de los espectros de reflectancia de cuatro muestras pintadas con los colores base a utilizar, obtenidos con un espectrofotómetro Vis-UV con accesorio de medida de reflectancia difusa y software de medición de color.



Disponemos de los siguientes espectros: espectro de reflectancia señalado como **W**, muestra pintada únicamente con **pigmento blanco**. Muestra **Y** que contiene aproximadamente 18,5% (entre 10% y 30% en general) en peso de **pigmento amarillo diluido en pigmento blanco**, por su parte la muestra **M** contiene aproximadamente 13,6% (entre 10% y 30% en general para cualquier primario) en peso de **pigmento magenta sobre pigmento blanco**. La muestra **B problema a reproducir**, contiene cantidades desconocidas de pigmentos amarillo y magenta en pigmento blanco.

A partir del espectro de reflectancia de los pigmentos primarios elegimos las longitudes de onda idóneas para el cálculo basado en ley de Kubelka-Munk. Para este caso concreto parece razonable elegir los valores de **420 nm para el pigmento magenta y 560 nm para el pigmento amarillo**. Leemos a estas longitudes de onda el valor de la reflectancia y lo expresamos como fracción en lugar de porcentaje para muestras Y, M, B, W, para simplificar el problema vamos a obviar la corrección para R expuesta inicialmente (corrección de Saunderson).

Posteriormente **calculamos K/S por la ecuación [1] a las dos longitudes de onda y para las cuatro muestras.**

Ahora debemos considerar la pequeña contribución del pigmento diluyente blanco en el valor de K/S restándolo del valor K/S de las muestras **M, Y y B.**  
**Valor K/S corregido por el fondo blanco.**

El siguiente paso es **obtener “K/S unitario”** que es la contribución de K/S por unidad de concentración para cada uno de los pigmentos. Consiste en dividir K/S corregido por la fracción de pigmento base en tanto por uno, es decir 0,185 para la muestra amarilla y 0,136 para la muestra magenta en este caso.

Valiéndonos de la ley de mezcla de Kubelka-Munk plantearemos dos ecuaciones con dos incógnitas que son las concentraciones de pigmentos primarios sobre base de blanco para esta mezcla binaria.

El sistema de ecuaciones sería de la forma:

$$\text{para una } \lambda_1 \quad (K/S)_{\text{corregido problema}} = (K/S)_{\text{unitario Y}} \cdot c_Y + (K/S)_{\text{unitario M}} \cdot c_M$$

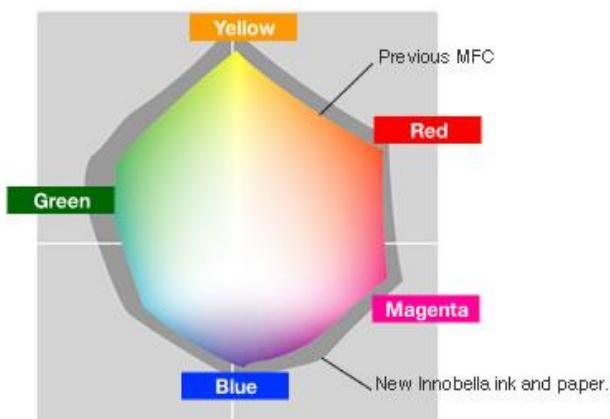
$$\text{para una } \lambda_2 \quad (K/S)_{\text{corregido problema}} = (K/S)_{\text{unitario Y}} \cdot c_Y + (K/S)_{\text{unitario M}} \cdot c_M$$

Estas concentraciones se obtiene en tanto por uno, se pasan a tanto por ciento sobre peso de blanco y mediante pesada exacta y mezclado homogéneo se prepara la primera probeta de muestra y una vez seca, se miden sus coordenadas cromáticas, y se calcula  $\Delta E^*$  con respecto a la referencia o problema a reproducir **muestra B** ( $L^*, a^*, b^*$ ).

Se interpretan resultados, en su caso se puede reajustar el color.

Represéntese en espacio de color CIE  $L^*, a^*, b^*$  el punto color problema y las aproximaciones de prueba sucesivas.

Como opción y para introducirse en los ensayos de envejecimiento, se puede evaluar la solidez de la muestra coloreada formulado a la luz y condiciones ambientales basándose en normas UNE, ISO, ASTM, AATCC al efecto.



## 6.- SOLIDEZ DEL COLOR.

Muchas veces no sólo interesan las propiedades cromáticas de un material, sino también la permanencia de las mismas cuando el material es expuesto a la acción deterioradora de la radiación solar o de los agentes climáticos. A veces, como en el caso de los materiales textiles se aplica el mismo criterio a la resistencia a la decoloración de los textiles sometidos a tratamientos como lavado en húmedo, limpieza en seco, solidez al sudor, a agentes químicos diversos, etc.

Para evaluar estas diferencias

**El envejecimiento de los productos** puede llegar a ocasionar pérdidas anuales millonarias. Estos daños a menudo se manifiestan en forma de cambio de color, pérdida de brillo, pérdida de resistencia mecánica, agrietamiento, deslaminado, desconche o rotura del producto y oxidación. Entre las principales causas de envejecimiento se encuentran la luz solar (especialmente la ultravioleta), las altas temperaturas y la humedad (ya sea en forma de lluvia, rocío, elevada humedad), así como factores ambientales como zonas costeras, zonas industriales, zonas urbanas, etc. A menudo se producen un efecto sinérgico por la combinación de estos factores. La estabilidad a la luz en el interior también es crítica para los productos que están expuestos a luz solar a través de un cristal de una ventana o a una intensa fuente de luz interior. Las condiciones de ensayo de envejecimiento acelerado deben ser conformes al tipo de material y a la aplicación final del mismo. La exposición natural a la intemperie proporciona resultados más seguros, mientras que las pruebas de envejecimiento acelerado proporcionan datos rápidos para nuevos desarrollos.

Estos ensayos de envejecimiento se simulan a través de diversas técnicas.

**Envejecimiento en exposición a la intemperie en Florida o Arizona.** Se trata de una referencia y un estándar mundial de exposición a la luz solar y a la humedad. Permite obtener la predicción más realista en cuanto a los efectos sobre el producto. Sin embargo, a menudo se requieren años para poder completar estas exposiciones, además del desplazamiento hasta la zona de ensayos y su supervisión; las condiciones de exposición son difícilmente reproducibles. Florida se caracteriza por una exposición a la luz solar de intensidad muy elevada, con altas temperaturas todo el año, abundante lluvia y mucha humedad. El desierto de Arizona también es una referencia para ensayos de durabilidad. Los productos se exponen aquí a unas condiciones extremas: alta intensidad UV, temperaturas muy elevadas, fluctuaciones radicales de temperatura y una humedad baja. Arizona recibe aproximadamente un 20% más de luz solar que Florida y las temperaturas máximas están unos 12°C por encima de las máximas de Florida. Para muchos materiales este entorno acelera el proceso de degradación. El color y brillo de pinturas, propiedades de los plásticos, solidez a la luz y resistencia mecánica de textiles pueden ser modificadas en gran medida por este ambiente.

**Concentradores de espejos de luz solar natural.** Es un sistema que intensifica la luz solar natural sobre las probetas a ensayar, lo cual permite obtener resultados más rápidos y naturales. Sin embargo, esta técnica está expuesta a las variaciones estacionales y a las altas temperaturas. Estos equipos proporcionan un factor de aceleración para un año de exposición similar a una exposición de 5 años en Florida.

**Cámaras QUV para envejecimiento.** Se trata de una cabina que dispone de lámparas fluorescentes UV intentando una aproximación lo más perfecta posible a la luz UV del sol. Sin embargo no emiten las longitudes de onda más largas necesarias para ciertos materiales.

**Cámaras de Xenón.** Reproduce la totalidad del espectro de la luz solar (tanto la luz UV, así como la visible y la infrarroja). Es especialmente útil para ensayos de colorantes, pigmentos, textil, tintas, industria automoción, etc. utiliza luz de arco de xenón filtrada para una correcta correlación con el espectro completo de luz solar, por ejemplo el Xenotest ©. Los filtros de luz de día se utilizan para simular la exposición directa a la luz solar, mientras que los filtros de cristal de ventana sirven para reproducir el efecto de luz solar cuando pasa a través de un cristal de ventana. Los filtros de luz día se utilizan para ensayos de exterior. Los filtros UV extendida se utilizan para acelerar la degradación de algunos productos. Los filtros de ventana se utilizan para ensayos en interior. Los filtros de infrarrojos se utilizan para ensayos de textil y productos termosensibles. Para evaluar la degradación se sitúa en el carrusel de probetas de ensayo una escala de azules con 8 pigmentos azules de diverso grado de degradación. También es posible medir coordenadas cromáticas antes y después ensayo y calcular la diferencia de color y asignar un grado solidez con escalas en normas ISO al efecto.

Entre los equipos que simulan degradación del color a parte de los citados, están cabinas para ensayo acelerado de amarilleo, Linitest © para ensayos de solidez al lavado, limpieza en seco, abrasímetros, cámaras climáticas en general, etc.

Normalmente los ensayos se realizan de dos maneras: una es determinar si la muestra decolora o no en un tiempo establecido de exposición; otra sería medir cuánto tiempo de exposición se necesita para que se produzca una decoloración dada.



**Normas UNE** al efecto, medida de diferencias de color según el sistema **CIELAB UNE 40.435** Esta norma tiene por objeto fijar el método a seguir para determinar la diferencia de color que pueda existir entre dos materiales textiles o en general entre dos cuerpos sólidos opacos, no fluorescentes, similar y uniformemente coloreados en la zona de medición, a partir de los valores triestímulos X, Y, Z obtenidos mediante cualquier instrumento que reúna las características de precisión y reproducibilidad necesarias.

**Normas UNE-EN 20105 – A02, UNE-EN 20105 – A03.**

Escalas de grises para valorar la degradación y la descarga en el medio de lavado, en el caso de textiles. En la siguiente tabla se especifican nueve grados de contraste en la ESCALA DE GRISES para evaluar decoloración de materiales, diferencias de color y descargas en testigos en unidades *Adams-Nickerson*.

<i>Grado solidez</i>	$\Delta E$
5	0,0
4-5	0,8
4	1,5
3-4	2,1
3	3,0
2-3	4,2
2	6,0
1-2	8,5
1	12,0



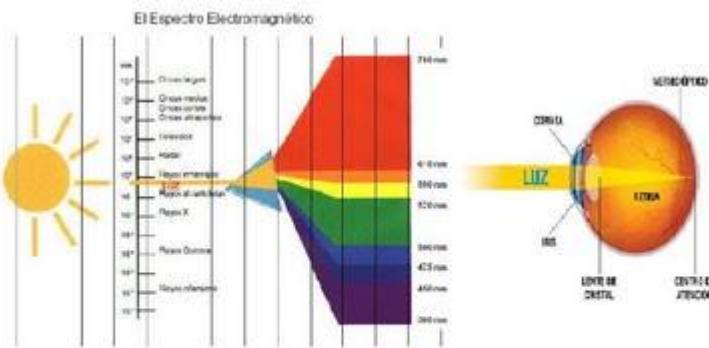
Equipo para ensayo de solidez de color de cueros pigmentados

## 7.- Test Ishihara

El test de Ishihara es el test más utilizado para diagnóstico y clasificación de discromatopsias (alteraciones en la visión de colores, como el daltonismo) aunque además es muy útil para otros procesos como conocer el estado del nervio óptico y sus fibras en patologías como el Graves-Basedow o compresión nerviosa en tumores, etc. No permite distinguir defectos del eje azul-amarillo, aunque en realidad son muy raros; los principales son del eje rojo verde: la protanopia (Dalton) en la que, a grosso modo, el espectro azul-verde se ve gris y tienen el espectro rojo muy acortado (carecen del cono rojo); y la deuteranopia (Nagel) donde el verde se visualiza gris (carecen del cono verde).

Si visualizas 17 o más números normales, es una exploración normal. Si son menos de 13, es patológica.

Tome lápiz y papel y anote el número que puede ver en los círculos de la imagen siguiente. Vaya anotando todos los números y al finalizar compruebe sus resultados.

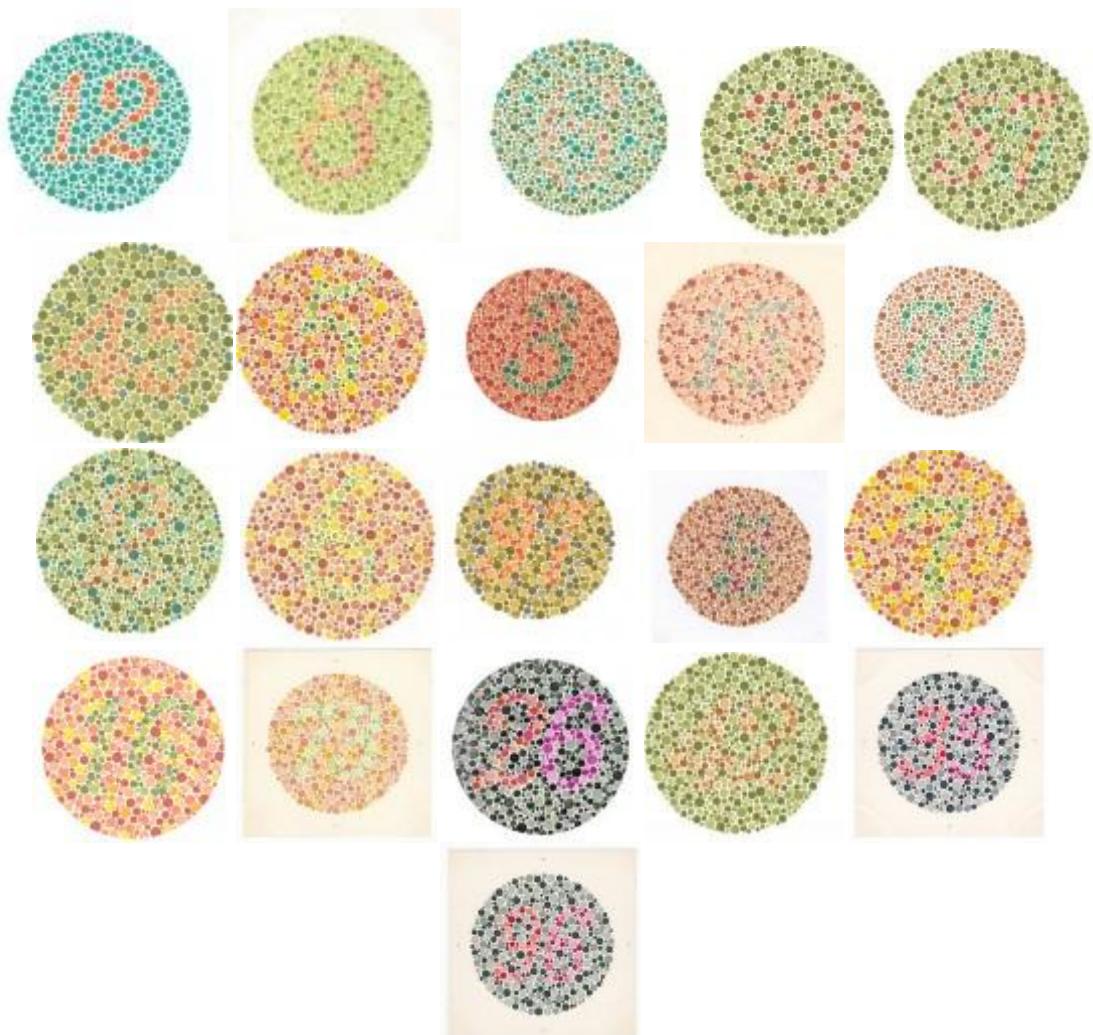


### VALORACION DE RESULTADOS:

**Sujetos normales** verán, por orden: 12, 8, 6, 29, 57, 45, 5, 3, 15, 74, 2, 6, 97, 5, 7, 16, 73, 26, 42, 35 y 96.

**Pacientes con deficiencia en el eje rojo-verde** suelen ver, por orden: 12, 3, 5, 70, 35, 2, 5, 17, 21, X, X, X, X, X, X, X, X.

En los cuatro últimos, **un pronatope (Dalton)** verá 6, 2, 5, 6. **Un deuteranope (Nagel)** 2, 4, 3 y 9.



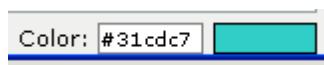
*Representación del Test de Ishihara*

## 8.- MANEJO DIGITAL DE LOS COLORES.

El sistema hexadecimal es muy importante en el manejo digital de los colores.

Los colores primarios son el verde, el rojo y el azul. Cualquier otro color es mezcla de esos tres colores. Según la cantidad de cada color básico obtenemos unos colores u otros. En el mundo audiovisual se utiliza el sistema RGB para codificar los colores que se utilizan. El sistema RGB (Red, Green, Blue) da información sobre la intensidad de cada color básico para crear el color que nos interese. La intensidad de un color varía desde 0 hasta 255, y para no escribir muchas cifras se utiliza un sistema hexadecimal.

De esa forma a cualquier color le corresponde un código de seis dígitos de forma que los dos primeros corresponden a la intensidad de rojo, los dos siguientes al de verde y los dos últimos al de azul.



Veamos que intensidad de cada color le corresponde al anterior:

$$\text{Rojo } 31_{16} = 3 \cdot 16 + 1 \cdot 1 = 49$$

$$\text{Verde } CD_{16} = C \cdot 16 + D \cdot 1 = 12 \cdot 16 + 13 \cdot 1 = 205$$

$$\text{Azul } C7_{16} = C \cdot 16 + 7 \cdot 1 = 12 \cdot 16 + 7 = 199$$

En la siguiente tabla tienes los códigos RGB de algunos colores corrientes:

Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal	Color	Hexadecimal
cyan	#00ffff	black	#000000	blue	#0000ff	fucsia	#ff00ff
gray	#808080	green	#008000	lime	#00ff00	marrón	#800000
navy	#000080	olive	#808000	purple	#800080	red	#ff0000
silver	#c0c0c0	teal	#008080	white	#ffffff	yellow	#ffff00

En esta otra tabla tienes algunos colores con su expresión en hexadecimal y en decimal.

hexadecimal	Notaciones RGB	decimal
#A52A2A		165, 42, 42
#DEB887		222, 184, 135
#5F9EA0		95, 158, 160
#7FFF00		127, 255, 0
#D2691E		210, 105, 30
#FF7F50		255, 127, 80
#6495ED		100, 149, 237

El sistema de numeración hexadecimal es un sistema de base 16. Igual que en el sistema decimal, cada vez que teníamos 10 unidades de un determinado nivel, obteníamos una unidad del nivel superior (diez unidades: una decena, diez decenas: una centena, etc.) en el hexadecimal cada vez que juntamos 16 unidades de un nivel obtenemos una unidad del nivel superior. En un sistema hexadecimal debe haber por tanto 16 dígitos distintos.

Como sólo disponemos de diez dígitos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9) necesitamos ampliar esa cantidad y se hace mediante letras, con la siguiente relación en sistema decimal:

Hexadecimal	Decimal	Hexadecimal	Decimal
A	10	D	13
B	11	E	14
C	12	F	15

Este sistema de numeración es muy utilizado en informática porque simplifica la expresión binaria de los objetos. En Informática se utiliza el byte como unidad básica de información. Un byte está compuesto de 8 bits, es decir, un conjunto de ocho ceros y unos. Por eso, con un byte se puede codificar desde el 000000002 hasta el 111111112.

Es decir,  $00000000_2 = 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 0$

$11111111_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + 2 + 1 = 255$  Por lo tanto con un byte podemos representar 256 valores, desde el 0 hasta el 255. Pero para ello necesitamos 8 dígitos. La ventaja del sistema hexadecimal es que para representar los mismos valores sólo necesitamos 2 dígitos.

**CONVERSIÓN DE DECIMAL A HEXADECIMAL.**

Como en los restantes sistemas de numeración, la forma de pasar a hexadecimal es dividiendo entre la base del sistema, en este caso 16. Veamos un ejemplo.

Ejemplo 1: Convierte el número 7509 a base 16.

$$\begin{array}{r}
 7509 \\
 \hline
 16) 441 \\
 3 \quad \quad \quad 16) 27 \\
 \quad 9 \quad \quad \quad \quad 16) 1 \\
 \quad \quad B \quad \quad \quad \quad \quad 1
 \end{array}$$

Por tanto, el número **7509 = 1B9316**

**CONVERSIÓN DE HEXADECIMAL A DECIMAL.**

El paso contrario consiste en escribir el hexadecimal como potencias de base 16 y calcular. En esta ocasión hay que sustituir las letras que haya por su equivalente valor en decimal.

Ejemplo 2: Convertir el número **3AF16** en decimal.

El número sería  $3AF_{16} = 3 \cdot 16^2 + A \cdot 16^1 + F \cdot 16^0 = 3 \cdot 256 + 10 \cdot 16 + 15 \cdot 1 = 943$

**Ejercicio 1:** Queremos poner un fondo de pantalla, para un trabajo con el ordenador, que es una versión de azul y que tiene como código RGB #2E16B1. ¿Qué intensidad de cada color le corresponde?

**Ejercicio 2:** ¿Cuál será el código RGB que le corresponderá a un color si las intensidades de colores primarios son Azul = 100, Rojo = 165 y Verde = 215?

**Equipamiento para métrica del color:**

- 1.- <http://www.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/colour-measurement>.
- 2.- <http://www.aquateknica.com>
- 3.- <http://www.xrite.com/>
- 4.- <http://www.neurtek.com/es/color-y-brillo>
- 5.- <http://www.lumaquin.com/>
- 6.- [https://www.pantone.com/downloads/articles/pdfs/L10\\_315\\_Defining\\_Color\\_Munsell](https://www.pantone.com/downloads/articles/pdfs/L10_315_Defining_Color_Munsell)

## Bibliografía y páginas WEB.

1.-

[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

2.- <https://hipertextual.com/2015/04/teoria-del-color-goethe por IVONNE LARA>

3.- <http://www.psicologiadecolor.es/johann-wolfgang-von-goethe-y-la-teoria-del-color/>

4.- <http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/part1/index.html>  
<http://www2.konicaminolta.eu/eu/Measuring/pcc/es/index.html>

5.- <http://institucional.us.es/revistas/themata/51/Cabrera%20Rodri%CC%81guez.pdf>

6.- [http://www.unirioja.es/cu/fede/color\\_de\\_vino/capitulo03.pdf](http://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo03.pdf)

7.-[http://www.grupoalquerque.es/ferias/2012/archivos/s-n\\_nuevos/s-n\\_hexadecimal.pdf](http://www.grupoalquerque.es/ferias/2012/archivos/s-n_nuevos/s-n_hexadecimal.pdf)

8.-

[http://www.academia.edu/9034111/Teor%C3%ADa\\_del\\_color\\_Runge\\_Goethe\\_Maxwell\\_y\\_Harris](http://www.academia.edu/9034111/Teor%C3%ADa_del_color_Runge_Goethe_Maxwell_y_Harris)

9.- <http://www.iscc.org/pdf/RungeFarben-Kugel.pdf>

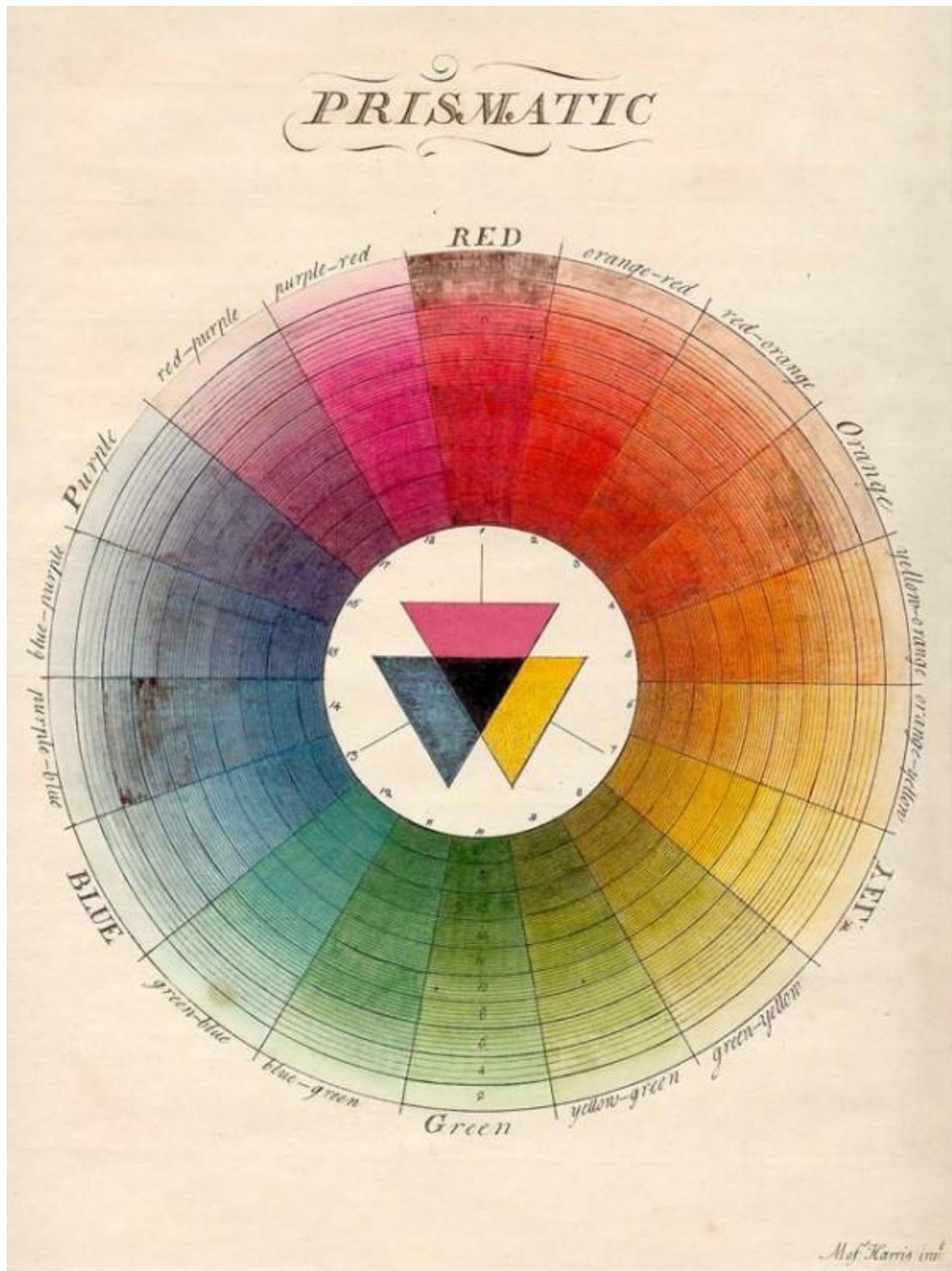
10.- <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448607783.pdf>

11.- [http://www.circulobellasartes.com/fich\\_libro/Johann\\_Wolfgang\\_von\\_Goethe-Paisajes\\_\(59\).pdf](http://www.circulobellasartes.com/fich_libro/Johann_Wolfgang_von_Goethe-Paisajes_(59).pdf)

12.- [Precise Color communication KonicaMinolta.](#)

[http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color\\_communication.pdf](http://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf)

13.- [ww.lumaquin.com/biblioteca/archivos/2011\\_11QLAB%20LW6000\\_3\\_OK.pdf](http://www.lumaquin.com/biblioteca/archivos/2011_11QLAB%20LW6000_3_OK.pdf).  
[Envejecimiento y solidez a la luz. Breve guía.](#)



<https://www.titanlux.es/titanarts/el-gran-moses-harris/>

### Leyes de Grassmann.

Las cuatro **Leyes de Grassmann** fueron enunciadas en 1853 por el físico alemán *Hermann Grassmann*, que las sistematizó:

#### 1<sup>a</sup> Ley

Por síntesis aditiva del color es posible conseguir todos los colores percibidos mezclando tres franjas del espectro visible (roja, verde y azul) en la proporción de intensidad adecuada, siempre que ninguno de los tres iluminantes o valores elegidos pueda obtenerse por mezcla de los otros dos.

$$C = \alpha (A) + \beta (B) + \gamma (C)$$

(A) (B) (C) = colores

$\alpha$   $\beta$   $\gamma$  = cantidades radiaciones cromáticamente equivalentes, es decir radiaciones que producen iguales sensaciones de matiz, saturación y luminosidad, teniendo diferente distribución espectral.

Metamerismo: Simplificación de la visión humana que permite que dos luces de composición espectral diferente produzcan idéntica sensación.

#### 2<sup>a</sup> Ley

Establece que cuando se ha conseguido la igualdad de color enunciada en la primera ley, la luminancia del color igualado es la suma de las luminancias de los primarios utilizados en la igualación.

En definitiva, la luminancia se suma:  $L_x = L_A + L_B + L_C$

#### 3<sup>a</sup> Ley

**Siempre que dos superficies produzcan igual sensación cromática, es posible variar su luminancia, manteniendo constante el matiz y la saturación, sin que varíe la igualdad cromática. De ahí que el sistema CIE de especificación del color no tenga en cuenta más que estos dos parámetros (matiz y saturación) y desdeñe el tercero.**

#### 4<sup>a</sup> Ley

Si se suman dos colores cualesquiera obteniéndose otro color resultante, éste podría haberse obtenido también sumando los primarios de cada uno de los colores origen.

$$A+B=C \quad A_1 + A_2 + A_3 + B_1 + B_2 + B_3 = C$$