



Una guía  
para entender  
el color

## Impulse el éxito de su empresa con el color

¿Qué importancia tiene el color en su empresa, o más específicamente, qué importancia tiene que el color sea preciso? Cuando los productos llegan al estante, ¿atraen la atención? ¿Inspiran confianza? ¿Aseguran un reconocimiento inmediato de la marca?



El color es un factor que responde a todas estas preguntas. Los estudios muestran que el 70% de la decisión de compra se toma en los estantes, y los consumidores no eligen paquetes con colores desvanecidos, sino los “más frescos”, con colores más brillantes.

Esta Guía para comprender el color es una herramienta instructiva útil y una guía práctica para todo lo relacionado con el color. Tanto si es un novato como un experto en el arte y la ciencia del color, en esta guía encontrarán información útil que los ayudará a garantizar que el color desempeñe un papel positivo en el éxito de los productos que está fabricando y en el reconocimiento de sus respectivas marcas, especialmente en el momento cero de la verdad, cuando se toma la decisión de compra.

Analizaremos los conceptos básicos del color, la mejor manera de medir, gestionar, comunicar e informar sobre el color, y estrategias proactivas para garantizar un color consistente y confiable, incluso en los flujos de trabajo y las cadenas de suministro más complejas.

Con todos los recientes avances en instrumentos y software de medición del color, la posibilidad de garantizar que el color cumpla con todas las especificaciones y que se encuentre dentro de los niveles aceptables de tolerancia es más fácil que nunca antes. ¡Esperamos que esta guía le resulte útil para que los colores impulsen el éxito de su empresa!



## Índice

Comunicación del color .....	4
La ciencia del color .....	5
Escalas para medir el color .....	7
Expresión de los colores en números .....	11
CIELCH (L*C*h°).....	13
Diferencias de colores, notación y tolerancias Delta CIELAB y CIELCH.....	14
Notación del espacio de color CIE .....	16
Otras expresiones del color.....	22
Agentes abrillantadores ópticos .....	23
Medición del color en números .....	24
Espectrofotómetros de tipo 45°/0° .....	25
Espectrofotómetros de esfera .....	26
Espectrofotómetros multiángulo .....	27
Aplicaciones .....	29
Momento cero de la verdad .....	30
Glosario.....	31

## Comunicación del color

En cualquier debate sobre el color, un buen punto para comenzar son los desafíos que encontramos en la comunicación del color.

Este es un ejemplo que demuestra los desafíos de la comunicación del color. ¿Cómo describiría el color de esta rosa? ¿Diría que es amarilla, un tipo de amarillo limón o tal vez un amarillo canario brillante? Hágales la misma pregunta a algunos colegas y compare las respuestas.

La percepción y la interpretación del color son altamente subjetivas. La fatiga visual, la edad, el entorno en el que ve el color y otros factores pueden influir en la percepción del color.



Pero incluso sin estas consideraciones físicas, cada observador interpreta el color según sus preferencias personales. Cada persona define oralmente el color de un objeto de manera diferente. Como resultado, la comunicación objetiva de un color en particular a otra persona sin el uso de alguna clase de estándar resulta algo difícil. También debe existir una forma de comparar un color con otro de manera precisa.

La solución a este interrogante es un instrumento de medición que identifica de manera explícita el color que se mide; es decir, un instrumento que diferencia un color de todos los otros y le asigna un valor numérico.



### INFORMACIÓN CLAVE PARA LLEVAR

La percepción del color es altamente subjetiva y puede verse influenciada por una serie de factores psicológicos, vivenciales y ambientales. Un instrumento de medición que le asigna un valor a un color específico es la forma más confiable de comunicar el color a otras personas.

## La ciencia del color

En esta sección de la guía, ahondaremos en la ciencia del color en detalle. Como se puede imaginar, es un debate puramente técnico. Sin embargo, es una buena referencia para todos los que estén involucrados en la especificación, comunicación, medición, gestión y generación de informes del color en cualquier industria.

### Atributos del color

Cada color tiene su propia apariencia distintiva basado en tres elementos: tono, croma (o saturación) y valor (claridad). Al describir un color con estos tres atributos, puede identificar con precisión un color en particular y distinguirlo de otros.

### Tono

Cuando le solicitan que identifique el color de un objeto, probablemente primero haga referencia al tono. Es muy sencillo, el tono es cómo percibimos el color de un objeto (rojo, naranja, verde, azul, etc.). La rueda del color en la Figura 7 muestra la transición gradual continua del color de un tono al otro. Como muestra la rueda, si mezclar pinturas azul y verde, obtendría un color azul-verde. Mezcle azul y amarillo para obtener el verde, rojo y amarillo para obtener naranja, o agregue amarillo al verde para obtener amarillo-verde, etc.

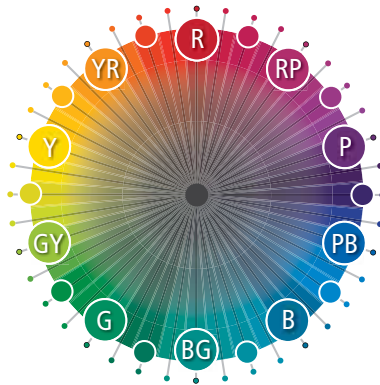


Figura 7. Tono

### Croma

Croma describe la intensidad o la opacidad de un color; en otras palabras, la cercanía de un color al gris o el tono puro. Por ejemplo, piense en la apariencia de un tomate y un rábano. El rojo del tomate es intenso, mientras que el rábano luce más opaco.



La Figura 8 muestra cómo cambia la croma cuando nos movemos del centro hacia el perímetro. Los colores en el centro son grises (opacos) y se vuelven más saturados (intensos) cuando se mueven a los perímetros. La croma también se conoce como saturación.

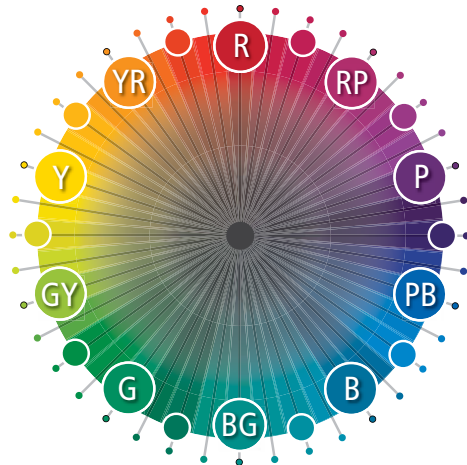


Figura 8. Cromaticidad

### Valor

La intensidad lumínica de un color, es decir, su grado de claridad, se denomina valor. Los colores se pueden clasificar como claros u oscuros cuando se comparan sus valores.

6

Por ejemplo, cuando se coloca un tomate junto a un rábano, el rojo del tomate parece más claro. En contraste, el rábano tiene un valor rojo más oscuro. En la Figura 9, el valor o la claridad se representan en el eje vertical.

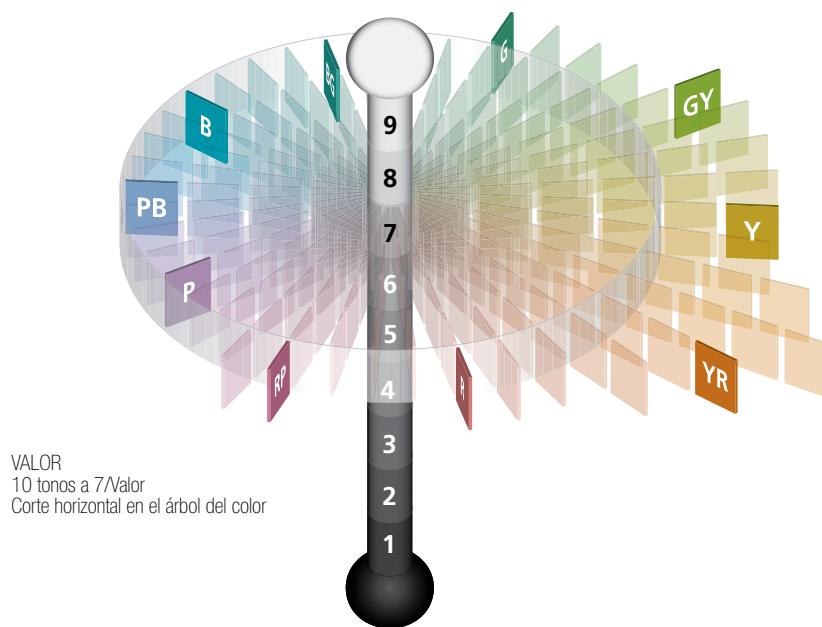


Figura 9 Sistema de color tridimensional que representa la claridad

## Escalas para medir el color

Como mencionamos antes, la clave para comunicar el color de manera precisa y concisa es mediante el “color en números”. En esta sección, hablaremos sobre las diferentes formas en las que se pueden calcular esos “números” para representar colores individuales.

### La escala de Munsell

En 1905, el artista Albert H. Munsell creó un sistema de clasificación del color, o escala de color, que aún se usa hoy. La notación del color del sistema de Munsell es importante desde una perspectiva histórica porque se basa en la percepción humana. Además, se trazó antes de que la instrumentación para medir y especificar el color estuviera disponible. El sistema de Munsell asigna valores numéricos a las tres propiedades del color: tono, croma y valor. Las muestras del color adyacente representan intervalos iguales de la percepción visual.

El modelo en la Figura 10 ilustra el árbol del color de Munsell, que proporciona muestras físicas para juzgar el color visualmente.

A medida que examinamos cómo ocurre el color, hay tres cosas que debe haber presente:

- Una fuente de luz (iluminante)
- Un objeto (muestra)
- Un observador/ procesador

Como humanos vemos el color porque los ojos procesan la interacción de la luz que impacta contra un objeto. ¿Qué sucede si reemplazamos los ojos por un instrumento, puede ver y registrar las mismas diferencias del color que pueden detectar los ojos?

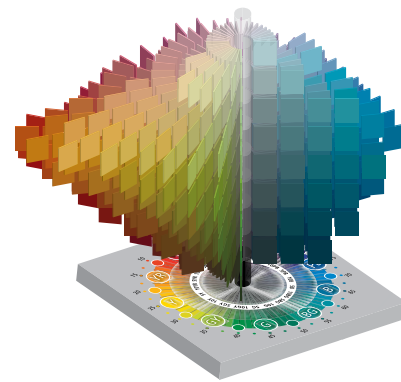


Figura 10 Árbol de color de Munsell



### Sistemas de color de CIE

La CIE, o Commission Internationale de l'Eclairage (Comisión internacional de iluminación) es el organismo responsable de las recomendaciones internacionales para la fotometría y la colorimetría. En 1931, la CIE estandarizó los sistemas de clasificación del color especificando la fuente de luz (o iluminantes), el observador y la metodología que se usaron para derivar los valores para describir el color, independientemente de la industria o caso de uso.

Los sistemas de color de CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en el espacio de color. Estos espacios del color incluyen:

- CIE XYZ
- CIE L\*a\*b\*
- CIE L\*C\*h°

Para obtener estos valores, debemos comprender cómo se calculan. Como ya se mencionó, los ojos necesitan tres elementos para ver el color: una fuente de luz, un objeto y un observador o procesador. Lo mismo cuenta para los instrumentos usados para ver el color. Los instrumentos de medición del color perciben el color de la misma forma que lo hacen los ojos, recopilando y filtrando las longitudes de onda de la luz reflejada en un objeto. El instrumento percibe las longitudes de onda de la luz reflejada como valores numéricos. Estos valores se registran como puntos en el espectro visible y se denominan datos espectrales. Los datos espectrales se representan como una curva espectral. Esta curva es la huella digital del color (Figura 11)

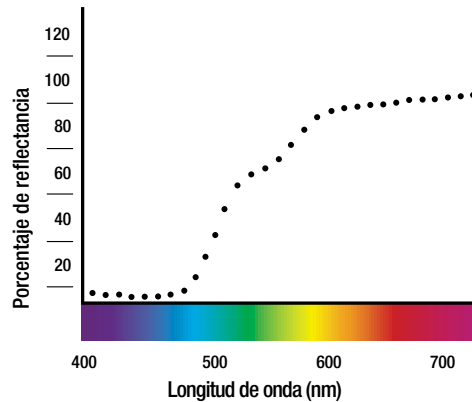


Figura 11 La curva espectral de una muestra medida



Un espectrofotómetro mide los datos espectrales, la cantidad de energía lumínica reflejada de un objeto en varios intervalos junto con el espectro visible. Los datos espectrales se muestran como una curva espectral.

8

Cuando obtenemos el espectro de un color, o la curva de reflectancia, podemos aplicar la matemática para asignar el color a un espacio del color.

Para esto, multiplicamos los datos de la curva de reflectancia por un iluminante estándar de la CIE. El iluminante es una representación gráfica de la fuente de luz bajo la cual se ven las muestras. Cada fuente de luz tiene un poder de distribución que afecta la forma en que vemos el color. Estos son algunos ejemplos de iluminantes diferentes:

- A — incandescente,
- D65 — luz solar (Figura 12) y
- F2 — fluorescente.

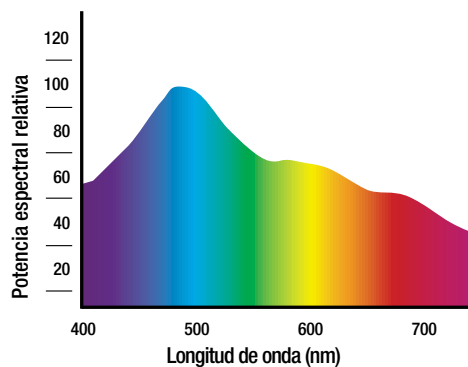


Figura 12 Luz solar (Iluminante estándar D65/10°)



Multiplicamos el resultado de este cálculo por el observador estándar de la CIE.

En 1931 y 1964, la CIE encargó un trabajo para derivar el concepto de un observador estándar, que se basa en la respuesta humana promedio, a las longitudes de onda de la luz (Figura 13). En resumen, el observador estándar representa cómo una persona promedio ve el color en el espectro visible.

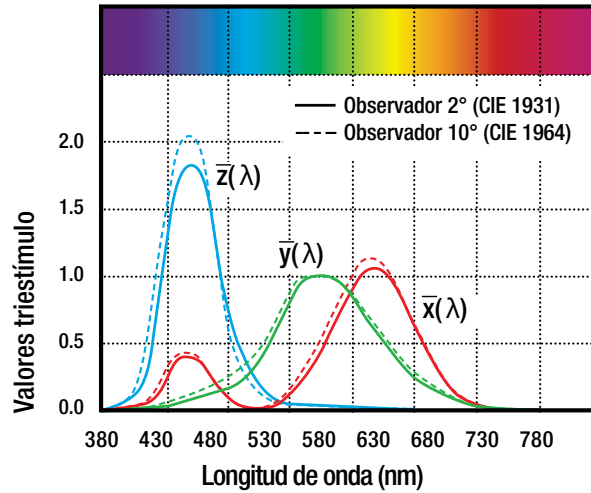


Figura 13 Observadores estándar CIE 2° y 10°

Una vez calculados estos valores, convertimos los datos en valores triestímulo de XYZ (Figura 14). Estos valores ahora pueden identificar un color de manera numérica.

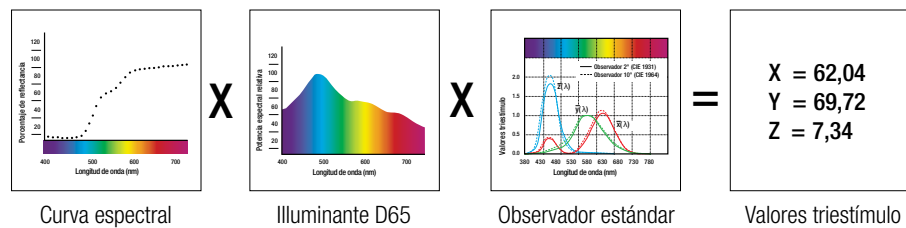


Figura 14 Valores triestímulo

### Valores de cromaticidad

Lamentablemente, los valores triestímulo tienen un uso limitado como especificaciones del color ya que no se pueden correlacionar correctamente con los atributos visuales. Mientras que Y se relaciona con el valor (claridad), X y Z no se correlacionan con el tono y croma.

Como resultado, cuando se estableció el observador estándar de 1931 de la CIE, la comisión recomendaba usar las coordenadas de cromaticidad  $xy$ . Estas coordenadas se usan para formar el diagrama de cromaticidad en la Figura 15. La notación  $Yxy$  especifica los colores al identificar el valor (Y) y el color como se ve en el diagrama de cromaticidad (x, y).

Como muestra la Figura 16, el tono se representa en todos los puntos alrededor del perímetro del diagrama de cromaticidad. La croma o saturación se representa con un movimiento del área central blanca (neutra) al perímetro del diagrama, donde la saturación al 100 % iguala el tono puro.

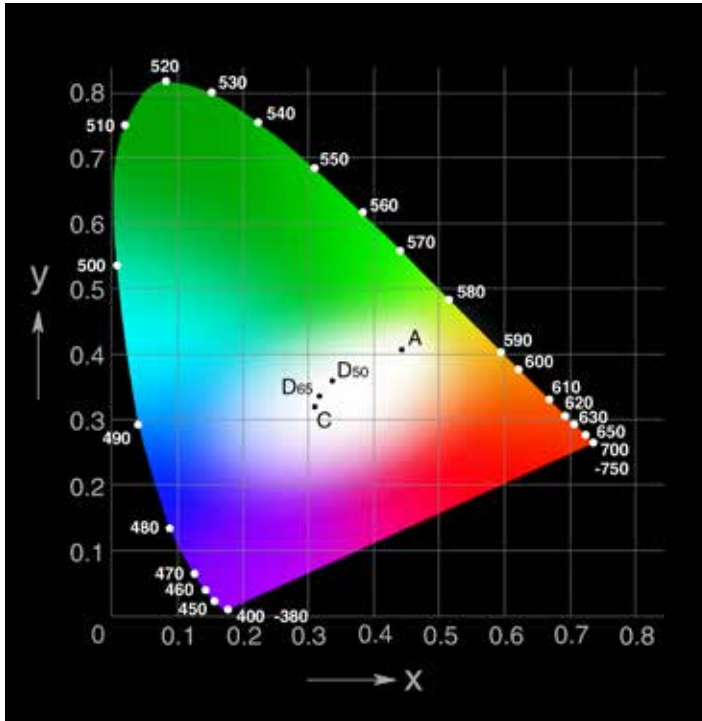


Figura 15. Diagrama de cromaticidad CIE 1931 (x, y)

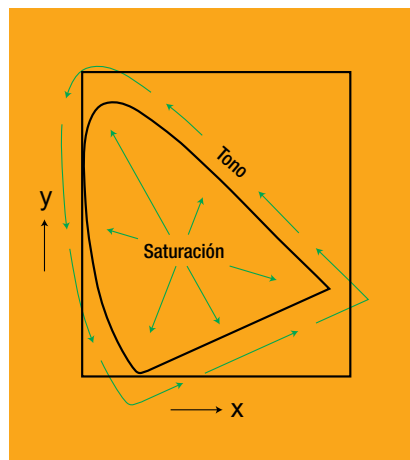


Figura 16. Diagrama de cromaticidad

## Expresión de los colores en números

Para superar las limitaciones de los diagramas de cromaticidad como Yxy, la CIE recomienda dos escalas de color alternativas y uniformes: CIE 1976 ( $L^*a^*b^*$ ) o CIELAB y CIELCH ( $L^*C^*h^\circ$ ).

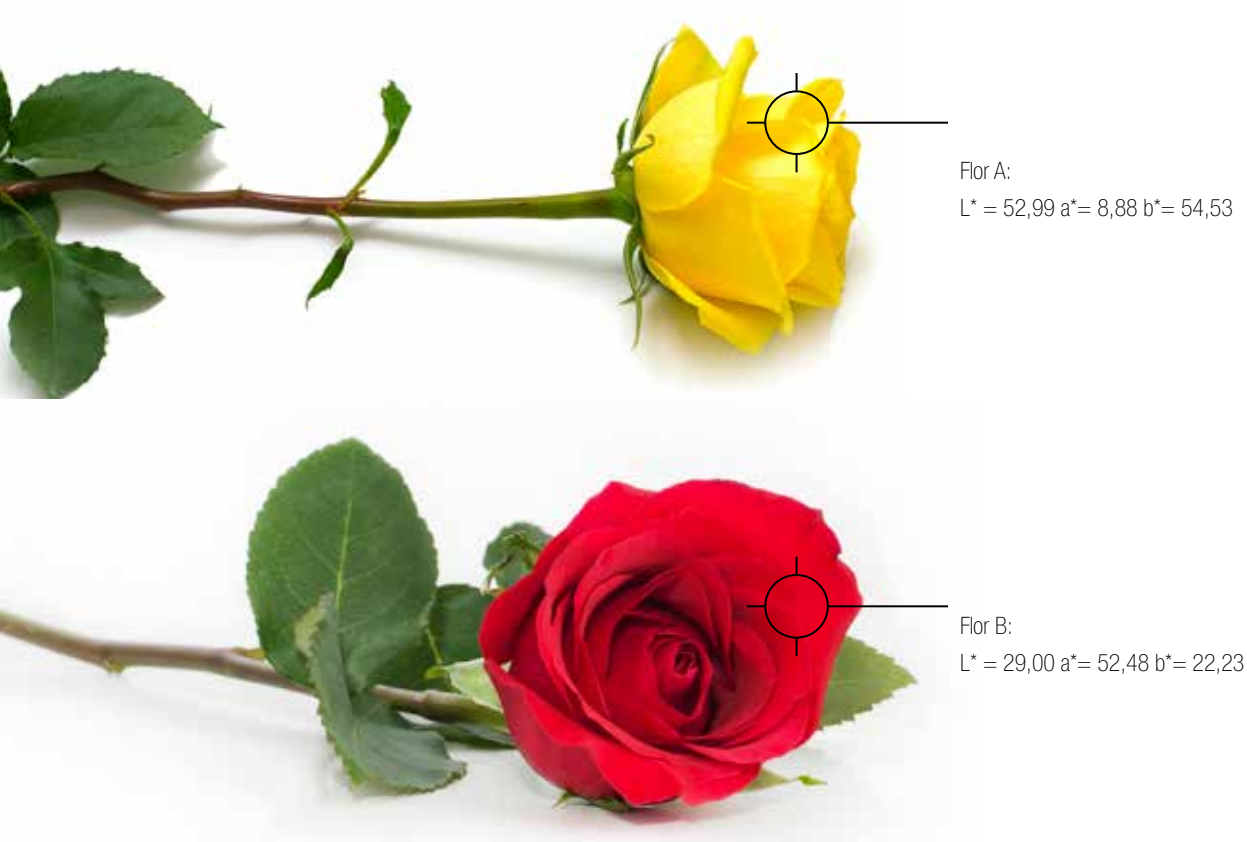
Estas escalas de color se basan en la teoría de colores opuestos de la visión del color, que dice que dos colores no pueden ser ambos verdes y rojos al mismo tiempo, ni azul y amarillo al mismo tiempo. Como resultado, los valores únicos se pueden usar para describir los atributos rojo/verde y amarillo/azul.

### CIELAB ( $L^*a^*b^*$ )

Cuando un color se expresa en CIELAB,  $L^*$  define la claridad,  $a^*$  designa el valor rojo/verde y  $b^*$  el valor amarillo/azul.

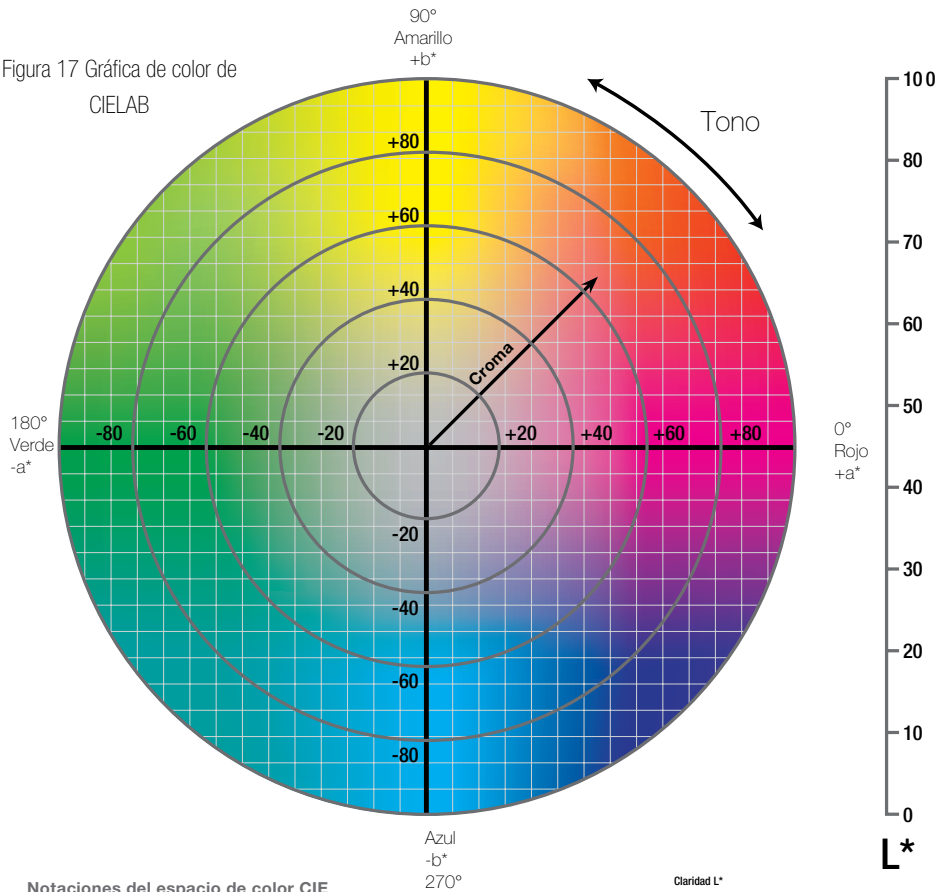
Las Figuras 17 y 18 (en la siguiente página) muestran los diagramas de esquema de colores para  $L^*a^*b^*$ . El eje  $a^*$  va de izquierda a derecha. Un movimiento de la medición del color en la dirección  $+a$  ilustra un cambio hacia el rojo. Junto al eje  $b^*$ , el movimiento  $+b$  representa un cambio hacia el amarillo. El eje central  $L^*$  muestra  $L = 0$  (negro o absorción total) al final. En el centro de este plano se encuentra el neutro o gris.

Para demostrar cómo los valores  $L^*a^*b^*$  representan los colores específicos de las Flores A y B, hemos graficado los valores en el gráfico de colores CIELAB en la Figura 17.



Los valores  $a^*$  y  $b^*$  de Flores A y B se intersectan en los espacios de color identificados respectivamente como puntos A y B (ver Figura 17). Estos puntos especifican el tono de cada flor (color) y la croma (intensidad u opacidad). Cuando se agregan los valores  $L^*$  (grado de claridad) en la Figura 18, se obtiene el color final de cada flor.

Figura 17 Gráfica de color de CIELAB



**Notaciones del espacio de color CIE**

- $\Delta L^*$  - diferencia en el valor de claridad/oscuridad  $^+a^*$  = más claro  $^-a^*$  = más oscuro
  - $\Delta$  diferencia en el eje rojo/verde  $^+a^*$  = más rojo  $^-a^*$  = más verde
  - $\Delta b^*$  - diferencia en el eje amarillo/azul  $^+b^*$  = más amarillo  $^-b^*$  = más azul
  - $\Delta C^*$  - diferencia en la croma  $^+a^*$  = más brillante  $^-a^*$  = más opaco
  - $\Delta H^*$  - diferencia en el tono
  - $\Delta E^*$  - valor total de la diferencia de color
  - $\Delta E_{D50}$  - valor total de la diferencia de color aceptable
- $\Delta E_{1942}$  •  $\Delta E_{1976}$  •  $\Delta E_{D50}$  1984 •  $\Delta E_{1992}$  •  $\Delta E_{2000}$

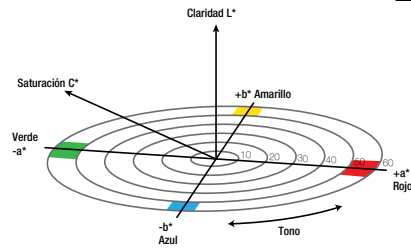


Figura 18 El valor  $L^*$  se representa en el eje central. Los ejes  $a^*$  y  $b^*$

## CIELCH (L\*C\*h°)

Mientras CIELAB usa coordenadas cartesianas para calcular un color en el espacio de color, CIELCH usa las coordenadas polares. Esta expresión de color puede derivarse de CIELAB. L\* define la claridad, C\* especifica la croma y h° denota el ángulo del tono, una medición angular.

La expresión L\*C\*h° ofrece una ventaja sobre CIELAB ya que es muy fácil de relacionar con los sistemas previos que se basan en muestras físicas, como la escala de color de Munsell.

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>, Z<sub>n</sub>, son valores para un blanco de referencia para el iluminante u observador usados.



$$L^* = 116 (Y/Y_n) \quad C^* = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

## Diferencias, notación y tolerancia del color Delta CIELAB y CIELCH

La evaluación del color es más que una expresión numérica. Generalmente es una evaluación de la diferencia del color (delta) de un estándar conocido. CIELAB y CIELCH se usan para comparar los colores de dos objetos.

Las expresiones para estas diferencias en el color son  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$  o  $DL^*$   $Da^*$   $Db^*$  y  $\Delta L^*$   $\Delta C^*$   $\Delta H^*$  o  $DL^*$   $DC^*$   $DH^*$  ( $\Delta$  o  $D$  simboliza "delta", que indica la diferencia).

Dado  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$ , la diferencia total o la distancia en el diagrama de CIELAB se puede presentar como un valor único, conocido como  $\Delta E^*$ .

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^2) + (\Delta a^2) + (\Delta b^2)]^{1/2}$$

Comparemos el color de la Flor A hasta la Flor C, ilustradas en la página siguiente. De forma separada, cada una se clasificaría como una rosa color amarillo. ¿Pero cuál es la relación cuando se colocan a la par? ¿Cómo difieren los colores?

Con la ecuación para  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$ , la diferencia de color entre la Flor A y la Flor C se puede expresar como:

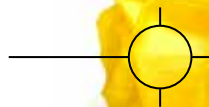
$$\Delta L^* = +11,10$$

$$\Delta a^* = -6,10$$

$$\Delta b^* = -5,25$$

La diferencia total de color se puede expresar como  $\Delta E^*=13,71$ .

Flor A:  
 $L^* = 52,99$   $a^* = 8,882$   $b^* = 54,53$



Flor C:  
 $L^* = 64,09$   $a^* = 2,72$   $b^* = 49,28$



$$\begin{aligned}\Delta L^* &= +11,10, \Delta a^* = -6,10, \Delta b^* = -5,25 \\ \Delta E^*_{ab} &= [(+11,1)^2 + (-6,1)^2 + (-5,25)^2]^{1/2} \\ \Delta E^*_{ab} &= 13,71\end{aligned}$$

Los valores de Flores A y C se muestran a continuación. En el eje  $a^*$ , una lectura de -6,10 indica más verde o menos rojo. En el eje  $b^*$ , una lectura de -5,25 indica más azul o menos amarillo. En el plano  $L^*$ , la diferencia de la medición de +11,10 muestra que la Flor C es más clara que la Flor A.

Si las dos mismas flores se compararan con CIELCH, las diferencias en el color se expresarían como:  
 $\Delta L^* = +11,10$   
 $\Delta C^* = -5,88$   
 $\Delta H^* = 5,49$

Haciendo referencia nuevamente a las flores antes mencionadas, el valor  $\Delta C^*$  de -5,88 indica que la Flor C es menos cromática o menos saturada. El valor  $\Delta H^*$  de 5,49 indica que la Flor C es más verde en cuanto al tono que la Flor A. Los valores  $L^*$  y  $\Delta L^*$  son idénticos para CIELCH y CIELAB.

## Notación del espacio de color CIE

$\Delta L^*$  = diferencia en el valor de claridad/oscuridad

+ = más claro – = más oscuro

$\Delta a^*$  = diferencia en el eje rojo/verde

+ = más rojo – = más verde

$\Delta b^*$  = diferencia en el eje amarillo/azul

+ = más amarillo – = más azul

$\Delta C^*$  = diferencia en la croma

+ = más claro – = más opaco

$\Delta H^*$  = diferencia en el tono

$\Delta E^*$  = valor total de la diferencia de color Consulte la Figura 17 más arriba.

### Color visual y tolerancia

La mala memoria del color, la fatiga visual, el daltonismo y las condiciones de visión pueden afectar la capacidad del ojo humano para distinguir las diferencias en el color. Además de esas limitaciones, el ojo no detecta las de igual manera las diferencias en el tono (rojo, amarillo, verde, azul, etc.), la croma (saturación) o la luz. De hecho, el observador promedio primero verá diferencias en el tono, luego diferencias en la croma y por último diferencias en la claridad. La aceptabilidad visual está mejor representada por un elipsoide (Figura 19).

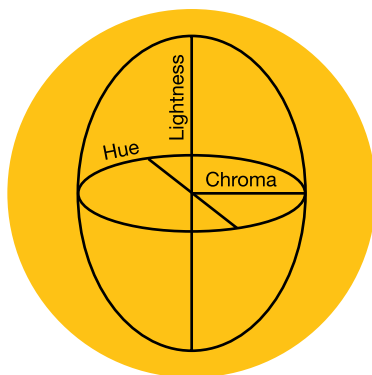


Figura 19. Elipsoide de tolerancia

Como resultado, nuestra tolerancia para una igualación de colores aceptable consiste en un límite tridimensional con límites variables de claridad, tono y croma, y deben coincidir con la evaluación visual. CIELAB y CIELCH pueden ser usados para crear estos límites. Las fórmulas de tolerancia adicionales, conocidas como CMC y CIE94, producen tolerancias elipsoidales.

### Tolerancia CIELAB

Al usar la tolerancia con CIELAB, debe elegir un límite de diferencia para  $\Delta L^*$  (claridad),  $\Delta a^*$  (rojo/verde) y  $\Delta b^*$  (amarillo/azul). Estos límites crean un cuadro de tolerancia rectangular alrededor del estándar (Figura 20).



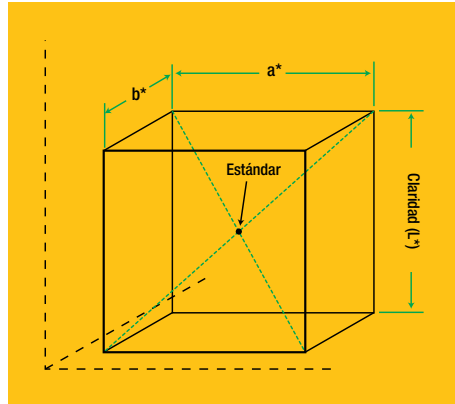


Figura 20. Cuadro de tolerancia de CIELAB

Al comparar este cuadro de tolerancia con el elipsoide visualmente aceptado, surgen algunos problemas. Una tolerancia en forma de cuadro alrededor del elipsoide puede proporcionar buenos números para un color aceptable. Si el cuadro de tolerancia es lo suficientemente pequeño para caber en el elipsoide, es posible que se obtengan números incorrectos para un color visualmente aceptable (Figura 21).

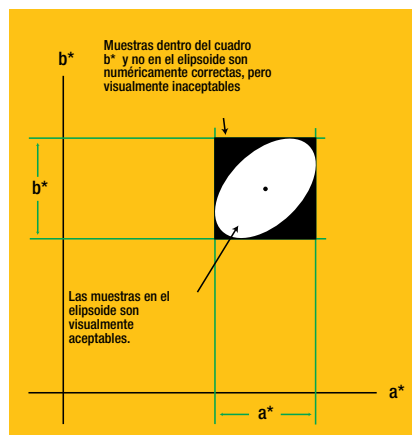


Figura 21. Numéricamente correcto frente a visualmente aceptable

### Tolerancia CIELCH

Los usuarios de CIELCH deben elegir un límite de diferencia para  $\Delta L^*$  (claridad),  $\Delta C^*$  (croma) y  $\Delta H^*$  (tono). Esto crea un cuadro con forma de cuña alrededor del estándar. Como CIELCH es un sistema de coordenadas polar, el cuadro de tolerancia se puede rotar en orientación al ángulo de tono (Figura 22).

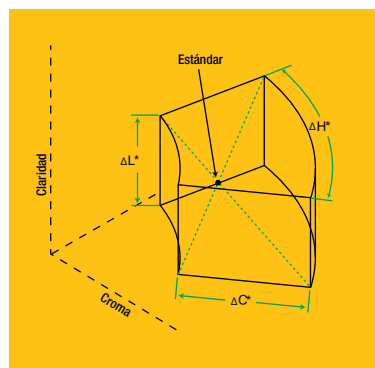


Figura 22. Cuña de tolerancia de CIELCH

Cuando esta tolerancia se compara con el elipsoide, podemos ver que iguala mucho más la percepción humana. Esto reduce la cantidad de discrepancias entre el observador y los valores instrumentales (Figura 23).

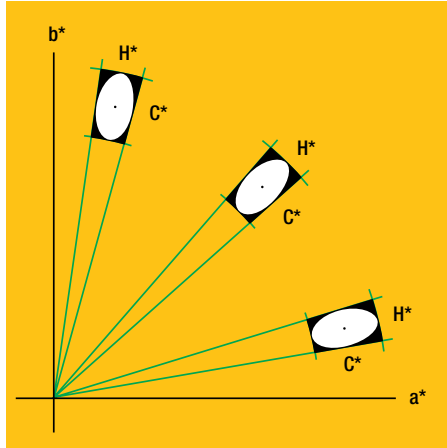


Figura 23. Elipsoides de tolerancia CIELCH

### Tolerancia CMC

CMC no es un espacio de color sino un sistema de tolerancia. La tolerancia CMC se basa en CIELCH y ofrece un mejor acuerdo entre la evaluación visual y la diferencia del color medido. La tolerancia CMC fue desarrollada por el Comité para la Medición del Color de la Sociedad de Tintoreros y Coloristas en Gran Bretaña y pasó a ser de dominio público en 1988.

El cálculo CMC define matemáticamente un elipsoide alrededor del color estándar con un semieje que corresponde al tono, la croma y la claridad. El elipsoide representa el volumen del color aceptable y varía automáticamente en tamaño y forma según la posición del color en el espacio de color.

La Figura 24 muestra la variación de los elipsoides en el espacio de color. Los elipsoides en el área naranja del espacio de color son más largos y más angostos que los más anchos y más redondeados en el área verde. El tamaño y la forma de los elipsoides también cambian a medida que el color varía en la croma y/o la claridad.

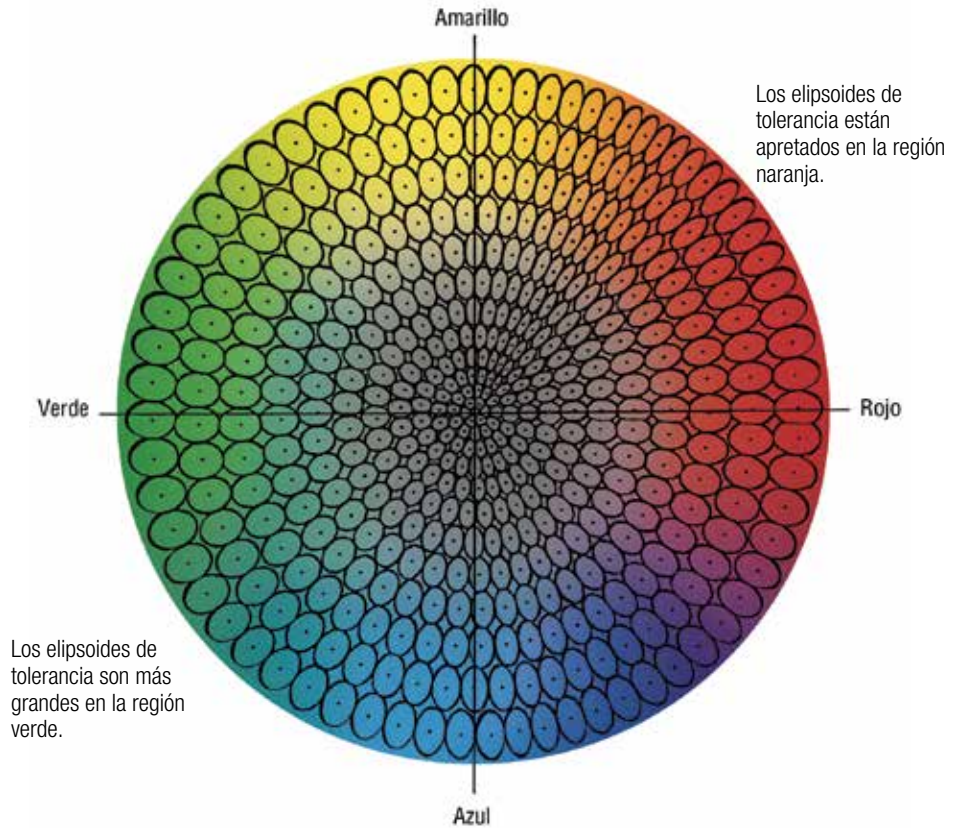


Figura 24. Elipsoides de tolerancia en el espacio de color

La ecuación CMC le permite variar el tamaño general del elipsoide para igualar de mejor manera lo que es visualmente aceptable. Al variar el factor comercial (cf), el elipsoide puede volverse tan grande o pequeño como sea necesario para igualar la evaluación visual. El valor cf es la tolerancia, lo que significa que si  $cf=1,0$ , entonces  $\Delta un E$  CMC menor que 1,0 pasaría, pero mayor que 1,0 no sería aprobado (ver Figura 25).

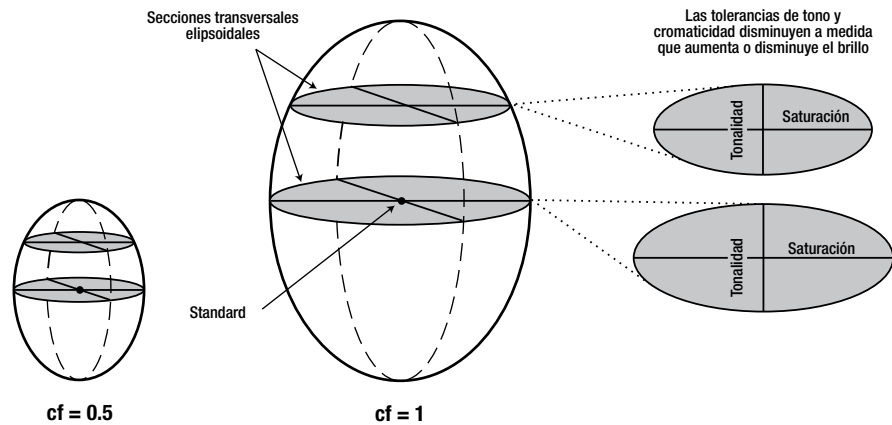


Figura 25 Factor comercial (cf) de las tolerancias

Como el ojo generalmente aceptaría diferencias más grandes en la claridad (l) que en la croma (c), una relación predeterminada para (l:c) es 2:1. Una relación de 2:1 permitirá una diferencia del doble en la claridad como en la croma. La ecuación CMC permite que esta relación se ajuste para lograr un mejor acuerdo con la evaluación visual (ver Figura 26).

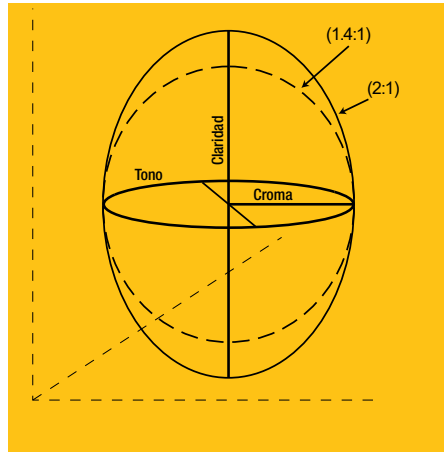


Figura 26. Elipsoides de tolerancia CMC

#### Tolerancia CIE94

En 1994, la CIE introdujo un nuevo método de tolerancia llamado CIE94. Al igual que CMC, el método de tolerancia CIE94 también produce un elipsoide. El usuario tiene control de la relación entre la claridad ( $K_L$ ) y la croma ( $K_C$ ), al igual que el factor comercial ( $cf$ ). Esta configuración afecta el tamaño y la forma del elipsoide de una manera similar a como la configuración  $l:c$  y  $cf$  afecta CMC.

Sin embargo, mientras CMC es para el uso en la industria textil, CIE94 es para el uso en la industria de la pintura y el recubrimiento. Al momento de elegir entre estas dos tolerancias debe considerar el tipo de superficie que se mide.

Si la superficie es texturizada o irregular, CMC podría ser la mejor opción. Si la superficie es suave o regular, CIE94 podría ser la mejor opción.

#### Delta E 2000

Delta E 2000 es la primera revisión importante de la ecuación delta E desde CIE94 (o  $dE_{94}$ ). A diferencia de  $dE_{94}$ , que asume que  $L^*$  refleja correctamente las diferencias percibidas en la claridad,  $dE_{2000}$  varía el peso de  $L^*$  según dónde recae el color en el rango de claridad.  $dE_{2000}$  se está volviendo cada vez más popular en las aplicaciones de artes gráficas y seguramente reemplacen a  $dE_{94}$  de manera global en un futuro no muy lejano.

#### Evaluación visual en comparación con la instrumental

Aunque ningún sistema de tolerancia del color es perfecto, las ecuaciones CMC, CIE94 y ahora  $dE_{2000}$  son las que mejor representan las diferencias en el color como las ven los ojos.

Método de tolerancia	% de acuerdo con la visual
CIELAB	75 %
CIELCH	85 %
CMC o CIE 94	95 %

### Seleccionar la tolerancia adecuada

Al decidir qué cálculo de diferencia del color usar, considere las siguientes cinco reglas:

1. Seleccione un método de cálculo único y úselo consistentemente.
2. Siempre especifique exactamente cómo se realizan los cálculos.
3. Nunca intente convertir las diferencias del color calculadas con diferentes ecuaciones mediante el uso de factores promedio.
4. Use diferencias de color calculadas solo como una primera aproximación en la configuración de las tolerancias, hasta que se puedan confirmar con una apreciación visual.
5. Siempre recuerde que nadie acepta o rechaza el color por los números, la forma en la que lucen es lo que cuenta, especialmente cuando los consumidores toman las decisiones de compra en la tienda o salón de exhibiciones.

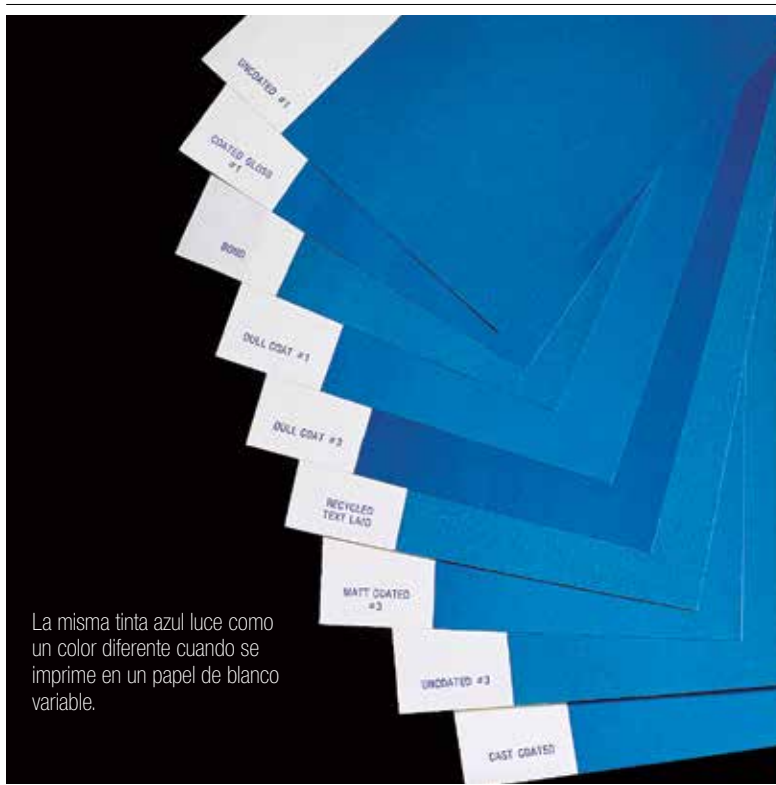
## Otras expresiones del color

### Índices de blanco y amarillo

Algunas industrias, como la pintura, la textil y fabricación del papel evalúan sus materiales y productos según los estándares de blancura. Generalmente, este índice de blancura es una clasificación de preferencia sobre qué tan blanco debería lucir un material, ya sea en papel fotográfico o de impresión o plásticos.

En algunos casos, un fabricante quizás quiera evaluar el grado de amarillo o el tinte de un material. Esto se hace para determinar cuánto de ese color se aleja del blanco preferido y se acerca un tinte más azulado.

El efecto del nivel de blanco o amarillo puede ser importante, por ejemplo, al imprimir tintas o tinturas en un papel. Una tinta azul impresa en un blanco altamente valorado lucirá diferente a la misma tinta impresa en papel prensa u otra existencia menos valorada.



Los métodos de evaluación de estándares estadounidenses (ASTM) han definido los índices de blanco y amarillo. El índice de blanco E313 se usa para medir materiales casi blancos y opacos como el papel, la pintura y el plástico. De hecho, este índice se puede usar para cualquier material cuyo color parezca blanco.

El índice de amarillo E313 de ASTM se usa para determinar el grado en el que el color de una muestra se aleja del blanco ideal. El índice de amarillo D1925 se usa para medir plásticos.

## Agentes abrillantadores ópticos

Las empresas utilizan cada vez más agentes abrillantadores ópticos (OBA), también conocidos como agentes de blanqueo fluorescente (FWA), para lograr una apariencia “más blanca que el blanco” sobre una variedad de materiales. Agregar estos abrillantadores ópticos brinda a los productos una apariencia más blanca y brillante y compensa el tono amarillento que adquieren los productos blancos con el tiempo.

Obviamente, agregar OBA crea un producto más blanco, pero el agregado de estos abrillantadores puede alterar de manera fundamental la forma en la que se percibe el color, lo que hace imposible medirlo con precisión mediante técnicas convencionales de medición.

Sin embargo, con la ayuda de una fuente de luz ultravioleta, como una “luz negra”, se pueden ver claramente diferencias de color entre productos que contienen distintas cantidades de OBA. Los productos que contienen más OBA parecen más brillantes, mientras que los productos con menos OBA se ven más oscuros. El desafío es que se necesita una cantidad consistente de luz UV para poder cuantificar la cantidad de OBA en un producto dado. Esto significa que, si hay poca o ninguna luz UV, las diferencias de color podrían ser imperceptibles. En cambio, cuando se dispone de luz UV, las diferencias de color se tornan bastante evidentes. Así, aunque los materiales y las telas que usan OBA pueden parecer similares durante la producción, esos

mismos productos pueden verse muy distintos con distintas condiciones de iluminación, como la luz de una tienda, la luz solar o la luz de una casa.

La única forma de lograr la consistencia del color en los productos que usan OBA es con herramientas que permitan medir con precisión la cantidad de OBA en el producto. Para eso, X-Rite Pantone introdujo el control de luz UV calibrada a los espectrofotómetros de esfera de mesa y portátil, incluyendo los de mesa Ci7800/Ci7600 y el Ci64UV portátil. Estos dispositivos ofrecen una luz UV calibrada que permite la medición de los OBA. Los elementos abrillantados ópticamente también se pueden examinar visualmente bajo una iluminación UV controlada, como el proporcionado



por la cabina de luz SpectraLight QC de X-Rite.

### CxF3

En 2015, el comité de ISO TC130 que establece los estándares globales para las artes gráficas adoptó Color Exchange Format, versión 3 (CxF3) de X-Rite como el nuevo estándar para el intercambio y la verificación de los datos del color. Este estándar (ISO 17972-1:2015) le ofrece a la industria de las artes gráficas una forma precisa y eficiente de comunicar la información del color en cualquier cadena de suministro.

El formato CxF3 está definido en una forma completamente abierta para que se puedan comunicar todos los aspectos de un color, incluso cuando no se conoce la aplicación y las funciones de

comunicación del color requeridas. Esto significa que todos los proveedores de software que implementan y admiten CxF3 pueden extender de manera sencilla y precisa la información en todos los flujos de trabajo globales.

## Medición del color por los números

Los instrumentos más comunes que se usan para medir el color son los espectrofotómetros. Para algunas aplicaciones, también se pueden usar los colorímetros, sobre estos se hablará más adelante en esta guía. También puede consultar el glosario a medida que lee el resto de esta guía si encuentra algún término que no le resulta conocido.

Hoy en día se usan tres tipos principales de espectrofotómetros en impresión, empaques y aplicaciones industriales: los espectrofotómetros tradicionales de tipo  $0^\circ/45^\circ$  (o  $45^\circ/0^\circ$ ), los espectrofotómetros de esfera (con geometría difusa/ $8^\circ$ ) y los espectrofotómetros multiángulo (MA).

Estos instrumentos principalmente capturan la información del color, y en algunos casos pueden capturar datos de la apariencia como el brillo. En el futuro, espere encontrar instrumentos en el mercado que puedan capturar con precisión tanto el color como la apariencia para un conjunto de datos más completo que describen el objeto o el material que se está midiendo. Primero, veamos qué significan los nombres.



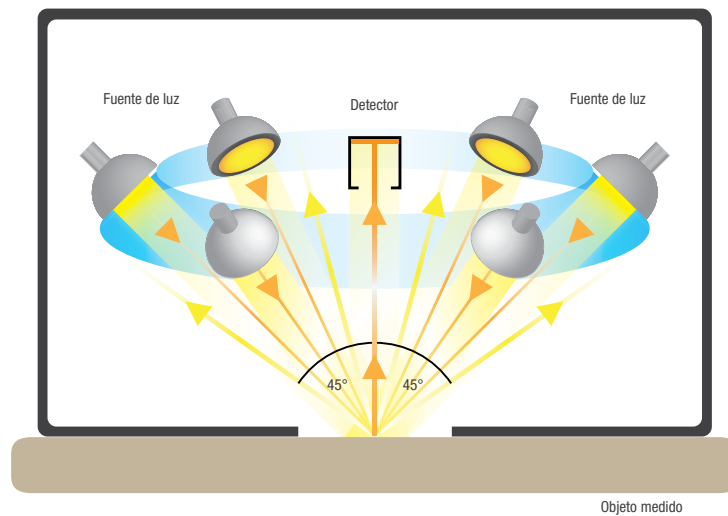
## Espectrofotómetros de tipo 45°/0°

En el caso de los espectrofotómetros de tipo 45°/0°, el primer número se refiere al ángulo de iluminación y el segundo número se refiere al ángulo de visión (esto es verdad independientemente de la geometría del instrumento, el primer número siempre define la iluminación, y el segundo siempre define la visión). En un espectrofotómetro de tipo 45°/0°, como el X-Rite VS450, la fuente de iluminación incide a un ángulo de 45° respecto de la dirección perpendicular a la muestra y el detector capta la luz reflejada a un ángulo de 0° (perpendicularmente a la superficie del objeto).



Espectrofotómetro VS450 de tipo 45°/0°

### Espectrofotómetro de tipo 45°/0°



La geometría asociada con los espectrofotómetros de tipo 45°/0°

## Espectrofotómetros de esfera

En un espectrofotómetro de esfera (o de geometría difusa/8°), como en Ci64 de X-Rite, el objeto a medir se ilumina de manera difusa (es decir, desde todas las direcciones) y el detector recibe la luz reflejada a un ángulo de 8° respecto de la superficie del objeto. Esta disposición se conoce como “geometría esférica” porque estos instrumentos contienen una esfera que ofrece iluminación difusa.



Espectrofotómetro de esfera portátil X-Rite Ci64

En un espectrofotómetro de esfera, el interior de la esfera está recubierto con una sustancia blanca, muy reflectiva, opaca y de bajo brillo que se usa para proyectar y dispersar la luz, lo que la convierte en un reflector blanco casi perfecto. Cuando el haz de luz incide sobre un punto de la superficie de la esfera, más del 99 % de la luz se refleja. Al mismo tiempo, el acabado mate de la esfera hace que la luz se disperse en todas direcciones. Esto ocurre en cada punto de la superficie y hace que la luz dentro de la esfera parezca provenir de todas las direcciones simultáneamente. Así, el interior de la esfera se convierte en la fuente de luz. La Figura 5 muestra la geometría asociada con un espectrofotómetro de esfera.

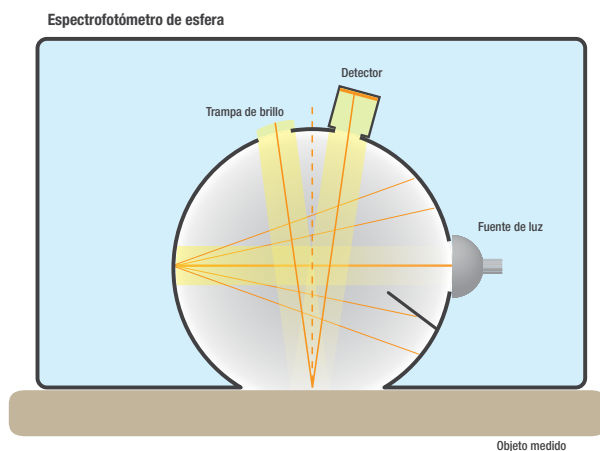


Figura 5 La geometría difusa de los espectrofotómetros de esfera (difusa/8°).

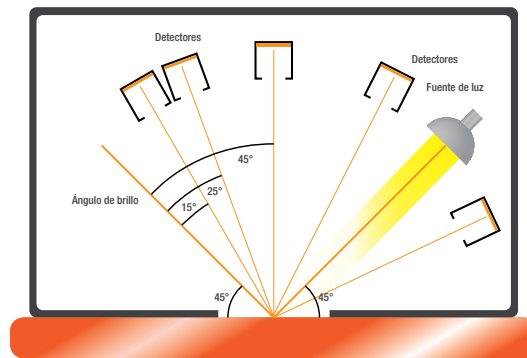


### INFORMACIÓN CLAVE PARA LLEVAR

Los espectrofotómetros vienen en tres presentaciones: Multiángulo (MA), de tipo 45°/0° y de esfera. Cada uno aborda diferentes necesidades de medición del color.

## Espectrofotómetros multiángulo (MA)

Los espectrofotómetros MA se utilizan fundamentalmente en aplicaciones de medición industriales que involucran superficies con efectos especiales, como la pintura de un automóvil, las tintas o recubrimientos metálicos o nacarados y los productos cosméticos. Estos instrumentos generalmente se usan en laboratorios, en la línea de producción, en operaciones de control de calidad y en el área de envíos. Los espectrofotómetros MA, como el espectrofotómetro multiángulo portátil MA98 de X-Rite, son bastante complejos y requieren que los usuarios verifiquen cinco o más juegos de valores  $L^*a^*b^*$  o valores delta E (dE). Generalmente tienen una apertura de unos 12 mm, que es demasiado grande para medir los detalles finos que se presentan en muchas aplicaciones industriales a pequeña escala. La iluminación principal incide a  $45^\circ$ . Algunos módulos tienen una fuente de iluminación secundaria a  $15^\circ$ .



Espectrofotómetro multiángulo.

Un ejemplo de aplicación para un espectrofotómetro MA es el uso de espectrofotómetros multiángulo sin contacto para medir los parámetros colorimétricos de recubrimientos con efectos especiales en la industria automotriz con el objetivo de capturar información confiable sobre el color en casos en los que se utilizan dichos recubrimientos.

### Colorímetros

Los colorímetros no son lo mismo que los espectrofotómetros. Los colorímetros son dispositivos triestímulo (con tres filtros) que usan los filtros rojo, verde y azul que emulan la respuesta del ojo humano a la luz y el color. En algunas aplicaciones de control de calidad, estas herramientas representan la respuesta de menor costo. Los instrumentos combinados, llamados espectrocolorímetros, incorporan la funcionalidad de colorímetro con parte de la funcionalidad de un espectrofotómetro.



Figura 6. Colorímetro RM200QC de X-Rite

Los colorímetros no pueden compensar el metamerismo (un cambio en la apariencia de una muestra debido a la luz usada para iluminar la superficie). Como los colorímetros solo usan un único tipo de luz y porque no registran la reflectancia espectral de los medios, no pueden predecir este cambio. Los espectrofotómetros pueden compensar este cambio, lo que convierte a los espectrofotómetros en una opción superior para obtener mediciones del color precisas, constantes y repetitivas.

### **Densitómetros**

En las industrias de la impresión y los empaques, medir la densidad de la tinta ha sido el método preferido para verificar la calidad en la imprenta (además del método “a ojo” preferido por los operarios de la imprenta más veteranos). Según Brian Ashe, el arquitecto de las soluciones de la unidad de negocios Pantone Digital de X-Rite, “Un densitómetro es muy bueno para medir los colores de proceso (cian, magenta, amarillo y negro, el CMYK del proceso de cuatro colores) porque esencialmente observa la película de tinta que se deposita sobre el sustrato. Sin embargo, los densitómetros son muy buenos para medir la densidad, pero no el color. De hecho, no ven el color en absoluto”. También es importante tener en cuenta el hecho de que las fallas en la tinta debidas a la contaminación también pueden causar problemas. En estos casos, las mediciones de densidad generalmente arrojan buenos valores y las fallas solo se pueden detectar a través de la supervisión de valores espectrales.

Con los espectrofotómetros de hoy, no solo podemos medir valores espectrales más precisos, sino que el software asociado puede informar al operario de la imprenta exactamente qué cambios debe hacer en los ajustes de llave de tinta para lograr las densidades adecuadas o para acercar el color al deseado. Muchas veces, esto se puede hacer incluso antes de que el ojo humano perciba las diferencias. Un instrumento combinado, como el X-Rite eXact puede ofrecer mediciones de la densidad y espectral en un solo instrumento, a veces llamado espectrodensitómetro.



### **INFORMACIÓN CLAVE PARA LLEVAR**

Los colorímetros y los densitómetros pueden jugar un papel importante en el proceso de medición del color, pero no entregan los mismos datos del color que un espectrofotómetro. Los instrumentos combinados (espectrocolorímetros o espectrodensitómetros) pueden ser una buena respuesta para las organizaciones que buscan una solución económica que incorpore algunas capacidades de cada clase de instrumento.

## Aplicaciones

Los usos de los espectrofotómetros parecen ser ilimitados. Las decisiones de igualación de colores son tomadas todos los días por parte de quienes comparan un objeto reproducido con un punto de referencia. La medición del color asistida por la espectrofotometría puede ser útil en áreas como:

- Establecer especificaciones y tolerancias para obtener colores aceptables.
- Determinar si la materia prima u otro componente son aceptables y cumplen con las especificaciones.
- Verificar la formulación precisa de las tintas y otros colorantes.
- Garantizar recetas precisas de colorantes en un ambiente de pruebas en el laboratorio antes de que pasen a la producción.
- Evaluar el producto durante el proceso productivo para evitar cambios costosos en el color.
- Validar el rendimiento del color para inspirar confianza en los clientes.
- Implementar buenos procesos de control de calidad para los productos acabados o piezas a ensamblar.
- Establecer un lenguaje y proceso de comunicación común en toda la cadena de suministro, tanto local, como regional o global.



### INFORMACIÓN CLAVE PARA LLEVAR

Medir, gestionar y comunicar el color mediante los números, usando instrumentos de medición del color y las técnicas de medición y gestión del color significa hacer una verdadera diferencia en las empresas de todo el mundo y en todas las industrias.

Obtenga más información sobre cómo las empresas utilizan las técnicas de medición, gestión y comunicación del color para reducir el desperdicio, acelerar el tiempo de salida al mercado, mejorar la calidad del producto y aumentar la satisfacción del cliente y la rentabilidad, para esto visite [www.xrite.com/resources.aspx](http://www.xrite.com/resources.aspx).

## Momento cero de la verdad

Google se refiere al momento de una decisión de compra como el momento cero de la verdad (ZMOT). Se compone de una serie de micromomentos: Momentos de querer saber, querer ir, querer hacer y querer comprar.

Google dice: "Son todos micromomentos y son el nuevo campo de batalla de las marcas". Y el color es una parte importante a la hora de hacer que esto suceda, al menos el 70 % del tiempo, según las investigaciones.

## Glosario

**Blanco absoluto:** En teoría, un material que refleja perfectamente toda la energía de la luz en toda la longitud de onda visible. En la práctica, un blanco sólido con datos de reflectancia espectral que se usa como un “blanco de referencia” para todas las mediciones de la reflectancia absoluta. Cuando se calibra un espectrofotómetro, se suele medir una placa cerámica blanca y se usa como el blanco absoluto de referencia.

**Absorber/absorción:** Disipación de la energía de ondas electromagnéticas en otras formas (por ej.: calor) como resultado de su interacción con la materia; una disminución en la transmisión direccional de la radiación incidente, lo que resulta en una modificación o conversión de la energía absorbida.

**Color acromático:** Un color neutro que no tiene tono (blanco, gris o negro).

**Primarios aditivos:** Luz roja, verde y azul. Cuando los tres primarios aditivos se combinan con una intensidad del 100 %, se produce la luz blanca. Cuando estos tres combinan en diferentes intensidades, se produce una gama de diferentes colores. La combinación de dos colores primarios al 100 % produce un color primario sustractivo, ya sea cian, magenta o amarillo.  
Rojo al 100 % + verde al 100 % = amarillo, rojo al 100 % + azul al 100 % = magenta, verde al 100 % + azul al 100 % = cian. Consulte los primarios sustractivos

**Apariencia:** Manifestación de un objeto o material mediante los atributos visuales como el tamaño, la forma, el color, la textura, el lustre, la transparencia, la opacidad, etc.

**Luz solar artificial:** Término aplicado en líneas generales a las fuentes de luz, frecuentemente equipada con filtros, que intenta reproducir el color y la distribución espectral de la luz solar. Se prefiere una definición más específica de la fuente de luz.

**Atributo:** Una característica distintiva de una sensación, percepción o modo de apariencia. Los colores se suelen describir basándose en sus atributos de tono, croma (o saturación) y claridad.

**Negro:** En teoría, la absorción completa de la luz incidente; la ausencia de cualquier reflejo. En la práctica, cualquier color que sea cercano a su ideal en una situación de visión relativa, es decir: un color con una saturación muy baja y luminancia muy baja.

**Brillo:** La dimensión del color que hace referencia a una escala acromática, que va del negro al blanco. También llamada claridad, reflectancia luminosa o transmitancia (véase). Debido a la confusión con la saturación, no se recomienda el uso de este término.

**C\*:** Abreviatura de cromaticidad.

**Croma/cromaticidad:** El nivel de intensidad o saturación de un tono en particular, definido como la distancia de alejamiento de un color cromático del color neutro (gris) con el mismo valor. En un entorno de mezcla de color aditivo imagine la mezcla de un gris natural y un rojo intenso con el mismo valor.

Empezando con el gris neutro, agregue pequeñas cantidades de rojo hasta que se logre el color rojo intenso. La escala resultante obtenida representará la croma en aumento. La escala comienza

en cero para los colores neutros, pero no tiene un fin arbitrario. Munsell originalmente estableció el 10 como la croma más alta para un pigmento bermellón y relacionó otros pigmentos con este. Se notaron otros pigmentos con una croma superior, pero se mantuvo la escala original. La escala de la croma para los materiales con reflejo normales puede extenderse hasta 20, y para los materiales fluorescentes puede ser hasta 30.

**Cromático:** Que se percibe que tiene un tono, ni blanco ni gris ni negro.

**Coordenadas de cromaticidad (CIE):** Las relaciones de cada uno de los tres valores triestímulo X, Y y Z en relación con la suma de los tres, designados como x, y, y z, respectivamente. A veces se los denomina el coeficiente tricromático. Cuando se escriben sin subíndices, se asume que se les ha calculado por el iluminante C y el segundo observador estándar (1931) a menos que se especifique lo contrario. Si se obtuvieron para otros iluminantes u observadores, se debe usar un subíndice que describa el observador o el iluminante. Por ejemplo,  $x_{10}$  y  $y_{10}$  son coordenadas de cromaticidad para el observador  $10^\circ$  e iluminante C.

**Diagrama de cromaticidad (CIE):** Un gráfico bidimensional de las coordenadas de cromaticidad (donde x es la abscisa e y es la ordenada) lo que muestra el lugar del espectro (coordenadas de cromaticidad de la luz monocromática, 380-770 nm). Tiene muchas propiedades útiles para comparar los colores del material luminoso y no luminoso.

**CIE (Commission Internationale de l'Eclairage):** La comisión internacional de iluminación, la principal organización internacional orientada al color y la medición del color.

**Espacio de color CIE 1976  $L^*a^*b^*$ :** Un espacio de color uniforme que usa una fórmula de raíz cúbica de Adams-Nickerson, adoptada por CI en 1976 para usarla en las mediciones de pequeñas diferencias en el color.

**Espacio de color CIE 1976  $L^*u^*v^*$ :** Un espacio de color uniforme adoptado en 1976. Apropiado para el uso en la mezcla aditiva de la luz (por ejemplo, TV en color).

**Coordenadas de cromaticidad CIE:** Ver coordenadas de cromaticidad (CIE).

**Diagrama de cromaticidad CIE:** Ver diagrama de cromaticidad (CIE).

**Iluminantes de la luz solar CIE:** Ver iluminantes de la luz solar (CIE). Función de luminosidad CIE (y): Ver función de luminosidad (CIE). Iluminantes estándar CIE: Ver iluminantes estándar (CIE). Observador estándar de CIE: Ver observador estándar (CIE). Valores triestímulo CIE: Ver valores triestímulo (CIE).

**CIELAB:** Un espacio de color uniforme (escala de colores opuestos) en el que los colores se ubican en un sistema de coordenadas rectangular tridimensional; las tres dimensiones son la claridad ( $L^*$ ), los tonos rojos/verde ( $a^*$ ) y amarillo/azul ( $b^*$ ). CIELab es parte de las recomendaciones CIE actuales. También conocido como  $L^*a^*b^*$ .



**CIELAB (o CIE L\*a\*b\*, CIE Lab):** Espacio de color en el que los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se representan en un sistema de coordenadas cartesianas. Las distancias iguales en el espacio representan aproximadamente diferencias en colores iguales. El valor  $L^*$  representa la claridad; el valor  $a^*$  representa el eje rojo/verde y el valor  $b^*$  = representa el eje amarillo/azul. CIELAB es un espacio de color popular para usar en la medición de objetos reflectivos y transmisivos.

**CMC (Comité para la Medición del Color de la Sociedad de Tintoreros y Coloristas en Gran Bretaña):** Una organización que en 1988 desarrolló y publicó una ecuación más lógica y basada en elipses que se basa en el espacio de color  $L^*C^*h^\circ$  para valores informáticos DE (ver delta E\*) como una alternativa a las coordenadas rectangulares del espacio de color CIELAB.

**Color:** Un aspecto de la apariencia; un estímulo basado en la respuesta visual a la luz que consiste en las tres dimensiones del tono, la saturación y la claridad.

**Atributo del color:** Una característica tridimensional de la apariencia de un objeto. Una dimensión suele definir la claridad, las otras dos juntas definen la cromaticidad.

**Diferencia del color:** La magnitud y el carácter de la diferencia entre dos colores en condiciones especificadas.

**Funciones de igualación de colores:** Cantidades relativas de tres aditivos primarios necesarios para igualar cada longitud de onda de la luz. Este término generalmente se usa para referirse a las funciones de igualación de colores del observador estándar de CIE.

**Medición del color:** Medición física de la luz radiada, transmitida o reflejada por una muestra bajo condiciones especificadas y matemáticamente transformada en términos colorimétricos estandarizados. Estos términos se pueden correlacionar con evaluaciones visuales de colores relativos entre sí.

**Modelo de color:** Una escala o sistema de medición del color que especifica en números los atributos percibidos del color. Se usa en las aplicaciones de gráficos informáticos y con los instrumentos de medición del color.

**Sistemas de clasificación del color:** Sistemas usados para describir una disposición de colores tridimensionales en orden. Se pueden usar tres bases para clasificar los colores: 1) una base de apariencia (es decir, una base psicológica) en términos de tono, saturación y claridad; un ejemplo es el sistema de Munsell; 2) una base de mezcla de colores aditivos en orden (es decir, una base psicológica); algunos ejemplos son el sistema CIE y el sistema Ostwald; y 3) una base de mezcla de colores sustractivos en orden; un ejemplo es el sistema de color Plochere basado en una mezcla de tintas en orden.

**Espacio de color:** Un sólido tridimensional que incluye todos los colores posibles. Las dimensiones se pueden describir en varias geometrías, lo que da origen a varios espacios en el sólido.

**Especificación del color:** Los valores triestímulo, las coordenadas de cromaticidad y el valor de luminancia u otros valores de la escala de color, usados para designar un color numéricamente en un sistema de color especificado.

**Temperatura del color:** Una medición del color de la luz radiada por un cuerpo negro mientras se calienta. Esta medición se expresa en términos de una escala absoluta o grados Kelvin. Las temperaturas Kelvin menores, como 2400 K son rojas; las temperaturas mayores, como 9300 K son azules. La temperatura neutra es blanca, a 6504 K.

**Rueda del color:** La transición gradual continua de los colores del espectro visible organizados en un círculo, donde los colores complementarios como el rojo y el verde se ubican directamente enfrentados.

**Colorantes:** Materiales usados para crear colores: tinturas, pigmentos, tonalizadores, ceras, fósforos.

**Colorímetro:** Un instrumento de medición óptica que responde al color de manera similar al ojo humano filtrando la luz reflejada en sus regiones dominantes de rojo, verde y azul.

**Colorimétrico:** Relacionado con los valores que proporcionan las cantidades de luces de tres colores o receptores: rojo, verde y azul.

**Colorista:** Una persona especializada en el arte de la igualación de colores (formulación de colorantes) y experta en el comportamiento de los colorantes en un material en particular; un tintorero (véase) (en el uso estadounidense) o un shader. La palabra "colorista" es de origen europeo.

**Complementos:** Dos colores que crean un gris neutro cuando se combinan. En una rueda de color, los complementos se encuentran directamente opuestos entre sí: azul-amarillo, rojo-verde, etc.

**Contraste:** El nivel de variación entre las áreas claras y oscuras de una imagen.

**CxF:** Color eXchange Format (formato de intercambio de color), originalmente desarrollado por X-Rite, que ahora fue adoptado como parte de las normas ISO 17972 como los nuevos estándares para una comunicación del color digital sencilla. Un archivo CxF contiene datos espectrales, valores  $L^*a^*b^*$ , ángulo del observador, iluminancia, filtros físicos y también pueden contener información de la formulación del color.

**D65:** El iluminante estándar de la CIE que representa una temperatura del color de 6504 K. Esta es la temperatura del color más usada en las cabinas de visualización de la industria de las artes gráficas. Ver Kelvin (K)

**Iluminantes basados en la luz solar (CIE):** Una serie de curvas de distribución de energía espectral del iluminante basadas en las mediciones de la luz solar natural y recomendadas por la CIE en 1965. Los valores se definen para el área de la longitud de onda entre 300 y 830 nm. Se describen en términos de la temperatura del color correlacionada. D65 es el más importante debido a la semejanza de su temperatura del color correlacionada con la del iluminante C, 6774 K. También se usan D75 más azul que D65, y D55 más amarillo que D65.

**Delta (D o  $\Delta$ ):** Un símbolo usado para indicar una desviación o una diferencia.

**Delta E\*, delta e\*:** La diferencia del color total computada con una ecuación de diferencia del color ( $\Delta E_{ab}$  o  $\Delta E_{cm}$ ). En la tolerancia del color, el símbolo DE se suele usar para expresar el error Delta.

**Delta E 2000:** Delta-E 2000 es la primera revisión importante de la ecuación dE94. A diferencia de dE94, que asume que L\* refleja correctamente las diferencias percibidas en la claridad, dE2000 varía el peso de L\* según dónde recae el color en el rango la claridad.

**Tintura:** Un colorante soluble, en oposición al pigmento, que no es soluble.

**Rango dinámico:** El rango de valores medibles de un instrumento, desde la cantidad más baja que puede detectar hasta la cantidad más alta que puede manejar.

**Espectro electromagnético:** La enorme banda de ondas electromagnéticas que atraviesan el aire en diferentes tamaños, medida por la longitud de onda. Las diferentes longitudes de onda tienen propiedades diferentes, pero la mayoría son invisibles (y algunas completamente imperceptibles) para los seres humanos. Solo las longitudes de onda entre 380 y 720 nanómetros son visibles y producen luz. Las ondas fuera del espectro visible incluyen los rayos gama, los rayos x, las microondas y las ondas de radio.

**Objeto emisor:** Un objeto que emite luz. La emisión suele estar provocada por una reacción química, como los gases ardientes del sol o el filamento caliente de un foco.

**Lámpara fluorescente:** Un tubo de vidrio relleno de gas mercurio y recubierto en la superficie interna con fósforos. Cuando el gas se carga con una corriente eléctrica, se produce radiación. Esto, a su vez, energiza los fósforos y hace que brillen.

**Brillo:** Un parámetro adicional a considerar cuando se determina el estándar de un color, junto con el tono, el valor, la croma, la textura de un material y si el material tiene cualidades metálicas o nacaradas. El brillo es una tolerancia adicional que puede estar especificado en el juego de tolerancia de color de Munsell. La regla general para evaluar el brillo de una muestra de color es cuanto mayor es la unidad de brillo, más oscura será la muestra de color. En cambio, cuanto menor es la unidad de brillo, más clara será la muestra.

El brillo se mide en unidades de brillo, que usan el ángulo de medición y el valor de brillo (por ejemplo, un brillo de 60° = 29,8). El estándar D523 de la ASTM recomienda una geometría de 60° para la evaluación general del brillo.

**Escala de grises:** Una escala acromática que abarca del negro hasta una serie sucesiva de grises cada vez más claros hasta el blanco. Dicha serie puede estar formada de pasos que parecen estar a la misma distancia uno del otro (como la escala de valor de Munsell), o puede estar ordenada de acuerdo con otros criterios, tales como una progresión geométrica basada en la claridad. Estas escalas se pueden usar para describir la cantidad relativa de diferencia entre dos colores similares.

**Tono:** 1) El primer elemento en el sistema de clasificación del color, definido como el atributo mediante el que distinguimos el rojo del verde, el azul del amarillo, etc. Munsell definió cinco tonos principales (rojo, amarillo, verde, azul y violeta) y cinco tonos intermedios (amarillo-rojo, verde-amarillo, azul-violeta y rojo-violeta). Estos 10 tonos (representados por sus iniciales en inglés R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P y RP) se distribuyen equitativamente alrededor de un círculo dividido en 100 pasos visuales iguales, con el punto cero ubicado al principio del sector rojo. Los colores adyacentes se pueden mezclar para obtener una variación continua de un tono a otro. Los colores definidos

alrededor del círculo de tono se conocen como colores cromáticos. 2) El atributo del color mediante el que se percibe un color como rojo, amarillo, verde, azul, violeta, etc. El blanco, el negro y el gris no poseen tono.

**Illuminante:** Descripción matemática de la distribución de energía espectral relativa de una fuente de luz real o imaginaria, es decir, la energía relativa emitida por una fuente en cada longitud de onda en su espectro de emisión. A veces se usa como sinónimo de “fuente de luz” o “lámpara”, aunque este uso no se recomienda.

**Illuminante A (CIE):** Iluminación incandescente, color amarillo-naranja, con una temperatura del color correlacionada de 2856 K. Se define en el rango de la longitud de onda de 380 a 770 nm.

**Illuminante C (CIE):** Iluminación de tungsteno que simula la luz solar promedio, de color azulado con una temperatura del color correlacionada de 6774 K.

**Illuminantes D (CIE):** Illuminantes de luz solar, definidos entre 300 y 830 nm (la porción UV entre 300 y 380 nm necesaria para describir correctamente los colores que contienen tinturas o pigmentos fluorescentes). Se designan como D, con un subíndice para describir la temperatura del color correlacionada; D65 es el más comúnmente usado, con una temperatura del color correlacionada de 6504 K, cercana a la del iluminante C. Se basan en mediciones reales de la distribución espectral de la luz solar.

**Esfera de integración:** Una esfera fabricada o recubierta con un material altamente reflectivo que dispersa la luz en su interior.

**Kelvin (K):** Unidad de medición de la temperatura del color. La escala Kelvin comienza en el cero absoluto, que es igual a -273 Celsius.

**L\*a\*b\*:** Un espacio de color uniforme (escala de colores opuestos) en el que los colores se ubican en un sistema de coordenadas rectangular tridimensional; las tres dimensiones son la claridad (L\*), los tonos rojos/verde (a\*) y amarillo/azul (b\*). También conocido como CIELAB.

**Luz:** 1) Radiación electromagnética de la que un observador humano es consciente mediante las sensaciones visuales que se originan a partir del estímulo de la retina del ojo. Esta porción del espectro incluye las longitudes de onda entre 380 y 770 nm aproximadamente. Por lo tanto, hablar de luz ultravioleta es incorrecto porque el observador humano no puede ver la energía radiante en la región ultravioleta. 2) Adjetivo que significa reflectancia alta, transmisión o nivel de iluminación contrastado con el oscuro o bajo nivel de intensidad.

**Fuente de luz:** Un objeto que emite luz o energía radiante que puede percibir el ojo humano. La emisión de una fuente de luz se puede describir por la cantidad relativa de energía emitida en cada longitud de onda en el espectro visible, lo que define la fuente como un iluminante. La emisión también se puede describir en términos de su temperatura del color correlacionada.

**Claridad:** La percepción mediante la cual se distinguen los objetos blancos del gris y los objetos claros de los oscuros.

**Función de luminosidad (y) (CIE):** Una representación de la magnitud relativa de la respuesta visual como una función de la longitud de onda entre 380 y 780 nm, adoptada por la CIE en 1924.

**Metamerismo:** Un fenómeno exhibido por un par de colores que son iguales bajo uno o más conjuntos de iluminantes (ya sean reales o calculados), pero no bajo todos los iluminantes.

**Sistema de color de Munsell:** La identificación del color de una muestra por su tono, valor y croma de Munsell como se estima visualmente por la comparación con el libro de colores de Munsell.

**Escala de Munsell:** Es un espacio de color que especifica los colores en base a tres dimensiones: tono, valor (claridad) y croma (pureza del color). Fue creada por el profesor Albert H. Munsell en la primera década del siglo XX y adoptada por la USDA como el sistema de color oficial para la investigación del suelo en los años 30.

**Nanómetro (nm):** Unidad de longitud igual a  $10^{-9}$  metros (también conocida como un milmillonésimo de un metro).

**Observador:** El espectador humano que recibe un estímulo y experimenta una sensación a partir de este. En la visión, el estímulo es visual y la sensación es una apariencia.

**Observador, estándar:** Ver observador estándar.

**Energía radiante:** Una forma de energía que consiste en el espectro electromagnético, que viaja a 299.792 kilómetros por segundo (186.206 millas por segundo) a través del vacío y más lento en un medio más denso (aire, agua, vidrio, etc.). La naturaleza de la energía radiante se describe por su longitud de onda o frecuencia, aunque también se comporta como un cuanto distinto ("teoría corpuscular"). Los diversos tipos de energía se pueden transformar en otras formas de energía (eléctrica, química, mecánica, atómica, térmica, radiante), pero la energía misma no se puede destruir.

**Reflectancia:** La relación de la intensidad o flujo radiante reflejado con el flujo incidental. En el uso popular, se considera la relación de la intensidad de la energía radiante reflejada y la reflejada de un estándar de referencia definido.

**Reflectancia, especular:** Ver reflectancia especular.

**Reflectancia, total:** Ver reflectancia total.

**Saturación:** El atributo de la percepción del color que expresa la cantidad de desviación desde un gris con la misma claridad. Los grises no tienen saturación (ASTM). Ver croma/cromaticidad.

**Dispersión:** Difusión o redireccionamiento de energía radiante que encuentra partículas de diferentes índices de refracción. La dispersión ocurre en cualquier interfaz, en la superficie o dentro de un medio que contiene partículas.

**Datos espectrales:** La descripción más precisa del color de un objeto. La apariencia del color de un objeto es el resultado de la luz cambiada por un objeto y reflejada a un observador. Los datos espectrales son una descripción de cómo cambió la luz reflejada. El porcentaje de luz reflejada se

mide en varios intervalos en su espectro de longitudes de onda. La imagen se puede representar visualmente como una curva espectral.

**Curva de distribución de la energía espectral:** Intensidad de la energía radiante como una función de la longitud de onda, generalmente dada en términos de energía relativa.

**Reflectancia espectral:** El espectro de reflectancia o curva de reflectancia espectral es la representación de la reflectancia como una función de longitud de onda.

**Espectrofotómetro:** Dispositivo fotométrico que mide la transmitancia espectral, la reflectancia espectral o la emitancia espectral relativa.

**Curva espectrofotométrica:** Una curva medida en un espectrofotómetro; un gráfico con reflectancia o transmitancia relativa (o absorción) como la ordenada, graficada con longitudes de onda o frecuencia como la abscisa.

**Espectro:** Disposición espacial de los componentes de la energía radiante en el orden de sus longitudes de onda, cantidad de ondas o frecuencia.

**Brillo especular:** Reflectancia fraccional luminosa relativa de una superficie en el espejo o la dirección especular. A veces se mide a  $60^\circ$  en relación a un espejo perfecto.

**Reflejo especular:** Reflectancia de un haz de energía radiante en un ángulo igual pero opuesto al ángulo de incidencia; la reflectancia tipo espejo. La magnitud de la reflectancia especular en materiales brillantes depende del ángulo y de la diferencia en índices de refracción entre dos medios en una superficie. La magnitud se puede calcular con la Ley de Fresnel.

**Reflectancia especular excluida (SCE):** Medición de la reflectancia hecha de forma tal que la reflectancia especular se excluye de la medición; reflectancia difusa. La exclusión se puede conseguir mediante el uso de la incidencia  $0^\circ$  (perpendicular) en las muestras. Esto luego refleja el componente especular de la reflectancia de regreso al instrumento mediante el uso de los absorbentes negros o trampas de luz en el ángulo especular cuando el ángulo de incidente no es perpendicular, o en mediciones direccionales mediante la medición en un ángulo diferente al ángulo especular.

**Reflectancia especular incluida (SCI):** Medición de la reflectancia total de una superficie, incluida la reflectancia difusa y la especular.

**Estándar:** Una referencia contra la cual se realizan mediciones instrumentales.

**Iluminantes estándar (CIE):** Datos espectrales conocidos que fueron establecidos por la CIE para cuatro tipos diferentes de fuentes de luz. Cuando se usan datos triestímulo para describir un color, también se debe definir el iluminante. Estos iluminantes estándar se usan en lugar de las mediciones actuales de la fuente de luz.

**Observador estándar (CIE):** 1) Un observador hipotético con los datos de mezclas de colores triestímulo recomendados en 1931 por la CIE para un 2° ángulo de visión. Un observador complementario para un ángulo mayor que 10° fue adoptado en 1964. 2) Las características de la respuesta espectral del observador promedio definidas por la CIE. Hay dos conjuntos definidos de estos datos, los datos de 1931 para el 2° campo visual (visión de distancia) y los datos de 1964 para el 10° campo visual (aproximadamente la visión del largo de un brazo). Por costumbre, se supone que, si no se especifica el observador, los datos triestímulo se han calculado para el observador de 1931 o del 2° campo. Se debe especificar el uso de los datos de 1964.

**Primarios sustractivos:** Cian, magenta y amarillo. Teóricamente, cuando los tres primarios sustractivos se combinan al 100 % en el papel blanco, se obtiene el color negro. Cuando se combinan en diferentes intensidades, se produce una gama de diferentes colores. La combinación de dos colores primarios al 100 % produce un color primario aditivo, ya sea rojo, verde o azul:  
100 % cian + 100 % magenta = azul  
100 % cian + 100 % amarillo = verde  
100 % magenta + 100 % amarillo = rojo

**Tinte:** 1) verbo: Mezclar un pigmento blanco con colorantes absorbentes (generalmente cromáticos). 2) sustantivo: El color producido a partir de la mezcla del pigmento blanco con colorantes absorbentes (generalmente cromáticos). La mezcla resultante es más clara y menos saturada que el color sin el blanco agregado.

**Reflectancia total:** Reflectancia del flux radiante reflejado en todos los ángulos de la superficie; por consiguiente, incluye las reflectancias difusas y especulares.

**Transparente:** Describe un material que transmite luz sin difusión o dispersión.

► 39

**Triestímulo:** Que consiste en tres estímulos, generalmente se usa para describir los componentes de la mezcla aditiva requerida para evocar una sensación particular con el color.

**Colorímetro triestímulo:** Un instrumento que mide los valores triestímulo y los convierte a componentes de cromaticidad del color.

**Valores triestímulo (CIE):** Porcentajes de los componentes en una mezcla aditiva de tres colores necesaria para igualar un color. En el sistema CIE, se designan como X, Y y Z. El iluminante y las funciones de igualación de colores del observador estándar usadas deben ser designadas; de lo contrario, se supone que los valores corresponden al observador de 1931 (2° campo) y el iluminante C. Los valores obtenidos dependen del método de integración usado, la relación de la naturaleza de la muestra y el diseño del instrumento que se usó para medir la reflectancia o la transmitancia. Por lo tanto, los valores triestímulo no son valores absolutos característicos de una muestra, sino valores relativos que dependen del método usado para obtenerlos. La aproximación de los valores triestímulo de la CIE se pueden obtener de las mediciones hechas con un colorímetro triestímulo que generalmente normaliza las mediciones a 100. Estas luego se deben normalizar a los valores equivalentes de la CIE. Las mediciones del filtro se deben designar adecuadamente como R, G y B en lugar de X, Y y Z.

**Valor:** Indica el grado de claridad u oscuridad de un color en relación con una escala de gris neutro. La escala de valor (o V en el sistema de notación del color de Munsell) abarca desde el 0 para el negro puro hasta el 10 para el blanco puro. La escala de valor es neutra o sin tono.

**X:** 1) Uno de los tres valores triestímulo de la CIE, el rojo primario. 2) Funciones de igualación de colores espectrales o el observador estándar de la CIE usado para calcular el valor triestímulo X. 3) Una de las coordenadas de cromaticidad de la CIE calculada como la fracción de la suma de los tres valores triestímulo que se pueden atribuir al valor X.

**Y:** 1) Uno de los tres valores triestímulo de la CIE, igual a la reflectancia o transmitancia luminosa, el verde primario. 2) Función de igualación de colores espectrales o el observador estándar de la CIE usado para calcular el valor triestímulo Y. 3) Una de las coordenadas de cromaticidad de la CIE calculada como la fracción de la suma de los tres valores triestímulo que se pueden atribuir al valor Y.

**Z:** 1) Uno de los tres valores triestímulo de la CIE, el azul primario. 2) Función de igualación de colores espectrales o el observador estándar de la CIE usado para calcular el valor triestímulo Z. 3) Una de las coordenadas de cromaticidad de la CIE calculada como la fracción de la suma de los tres valores triestímulo que se pueden atribuir al valor Z primario.



