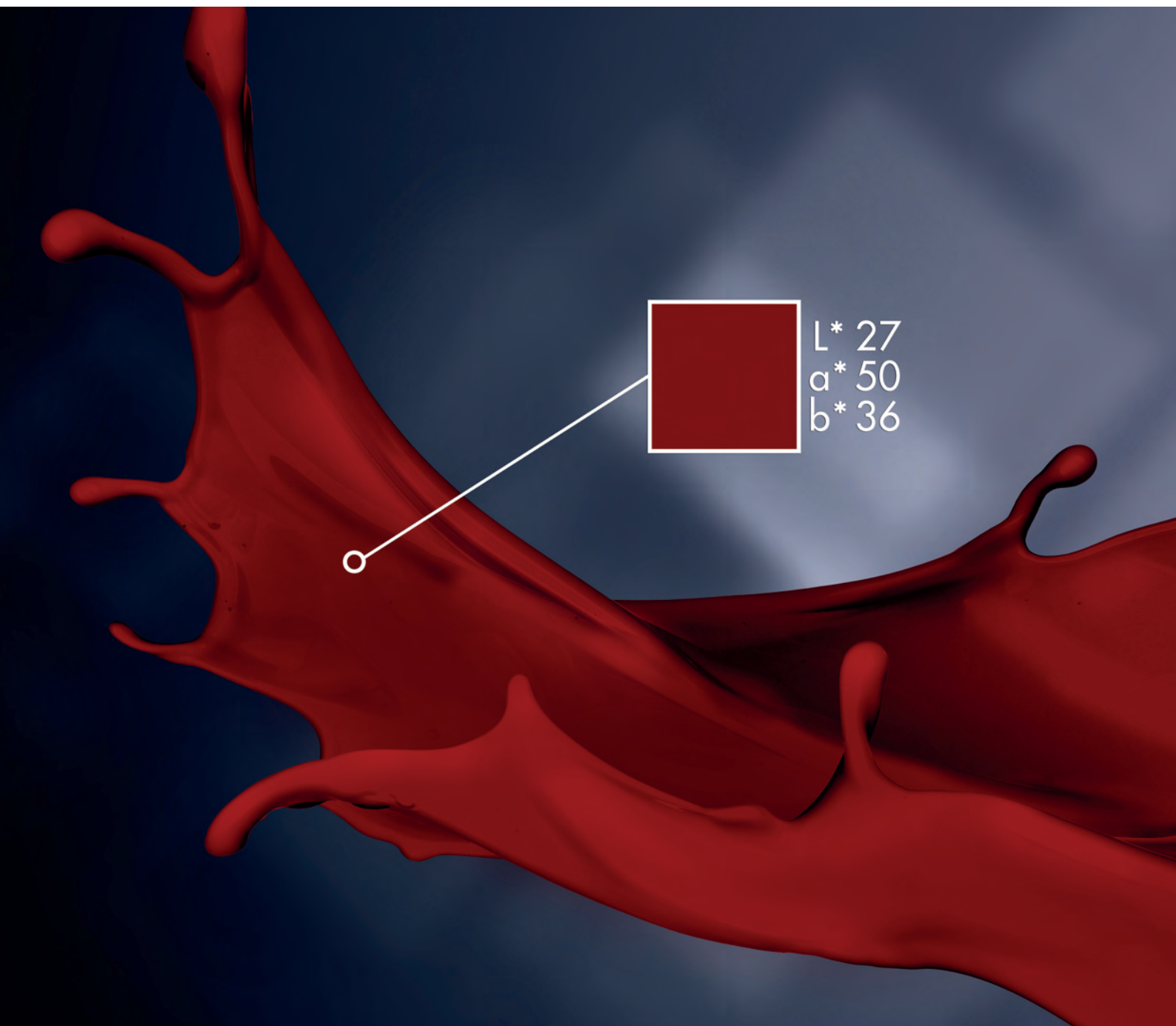


LIBRO 4 GESTION DEL COLOR



Distancias en Color, metamerismo y ecuaciones practicas sobre color

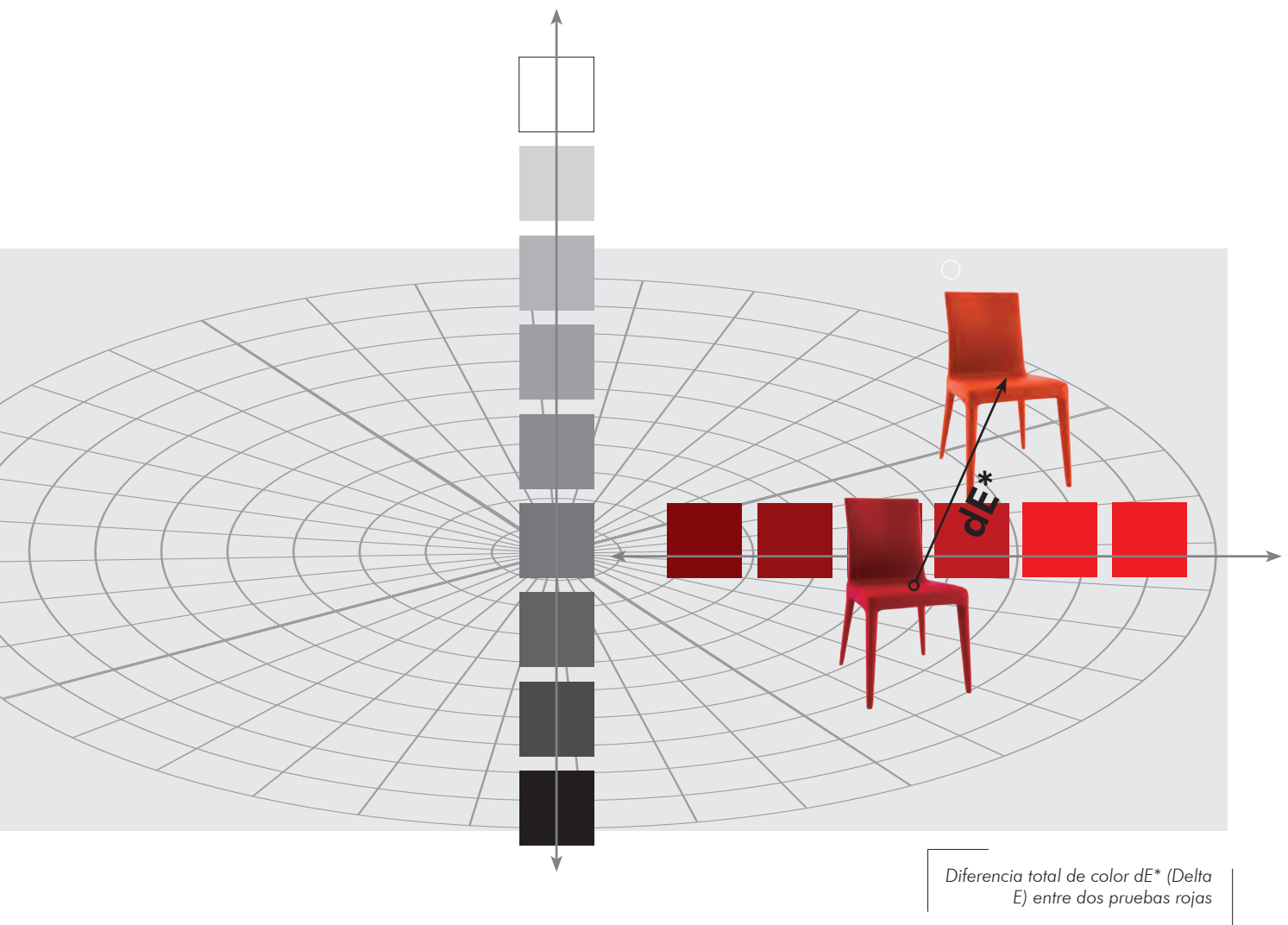
Diferencias de color y aceptación de colores

Introducción

Ya sea en la industria textil o de fabricación de muebles, en el ámbito del diseño automovilístico o en la fabricación de catálogos y material publicitario, las industrias que implementan procesos de coloración deben suministrar productos del mismo color y con el mismo aspecto, con la menor cantidad posible de variaciones de color con respecto al original o al estándar.

En la práctica, la mayoría de veces resulta imposible reproducir el color de un producto con una fidelidad del 100%, puesto que la propia muestra, p. ej. una camiseta, presentará diferencias de color mínimas en diversos puntos, incluso aunque nuestro ojo no aprecie dichas diferencias cromáticas como tales. Con ayuda de la colorimetría se pueden medir y captar estas diferencias de color. Para los

fabricantes, la medición del color y la evaluación de las diferencias de color son una gran ayuda para mantener las especificaciones acordadas entre cliente y proveedor. Para determinar la diferencia de color de dos muestras se introducen las coordenadas de color del estándar y de la reproducción en un espacio de color, donde la diferencia entre sí de los dos puntos de color introducidos representa la diferencia de color de las dos muestras. La distancia entre los dos puntos se calcula con una relación cuya proyección espacial se basa en cada una de las tres variables principales del sistema de color. Aquí en la mayoría de casos se suele utilizar también el sistema de color CIE Lab y las diferencias de color determinadas en él.



Diferencias de color en el espacio de color CIELab

La **diferencia de color** total entre dos colores se indica como valor dE (escritura alternativa: Delta E, ΔE). Éste se calcula mediante una fórmula creada en 1976. El espacio de color CIELab permite representar las variaciones de color mediante 2 procedimientos:

- Mediante las coordenadas L^* , a^* y b^* aplicadas perpendicularmente; la fórmula es:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}}$$

Siendo


- dL^* la variación de la luminosidad sobre el eje L^*
- da^* la variación rojo-verde sobre el eje a^*
- db^* la variación amarillo-azul sobre el eje b^*

- Mediante las coordenadas L^* , C^* y h aplicadas cilíndricamente; la fórmula es:

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}}$$

Siendo

- dL^* la variación de la luminosidad sobre el eje L^*
- dC^* la variación del croma o saturación sobre el radio C^*
- dH (en líneas de ángulo) la variación del ángulo de tono sobre h



Standard (S_0) Muestra (E_1)


$L^*_0 = 52,15$	$dL^* = +3,40$	$L^*_1 = 55,55$
$a^*_0 = +51,72$	$da^* = +2,60$	$a^*_1 = +54,32$
$b^*_0 = +19,29$	$db^* = +1,80$	$b^*_1 = +21,09$

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}}$$

$$dE^* = \sqrt{3,40^2 + 2,60^2 + 1,80^2} = 4,64$$

Bei D65 / 10°

Espacio de color CIELab.
Diferencias de color en $L^* a^* b^*$



Standard (S_0) Muestra (E_1)

$L^*_0 = 52,15$	$dL^* = +3,40$	$L^*_1 = 55,55$
$C^*_0 = 55,20$	$dC^* = +3,06$	$C^*_1 = 58,26$
$h_0 = 20,45^\circ$	$\left\{ \begin{array}{l} dh = 0,77^\circ \\ dH^* = 0,78 \end{array} \right.$	$h_1 = 21,22^\circ$

$$dE^* = \sqrt{dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2}}$$

$$dE^* = \sqrt{3,40^2 + 3,06^2 + 0,78^2} = 4,64$$

Bei D65 / 10°

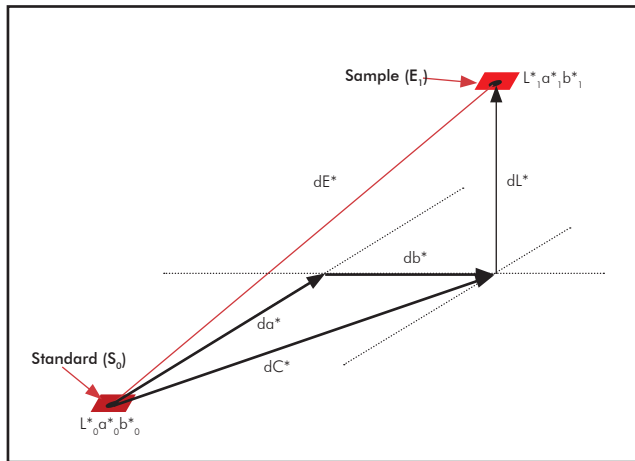
Espacio de color CIELab.
Diferencias de color en $L^* C^* h$

Debido a que la ecuación para calcular la diferencia (para la magnitud dh) sólo puede expresarse en unidades de longitud, la diferencia del ángulo de tono dh (en realidad expresada en $^\circ$) se transforma en una unidad de distancia. Esta diferencia de tono se describe mediante dH^* , en combinación con el radio del círculo cromático C^* , que representa la saturación.

Variaciones de color y tolerancias de color en el espacio de color CIELab L* a* b*

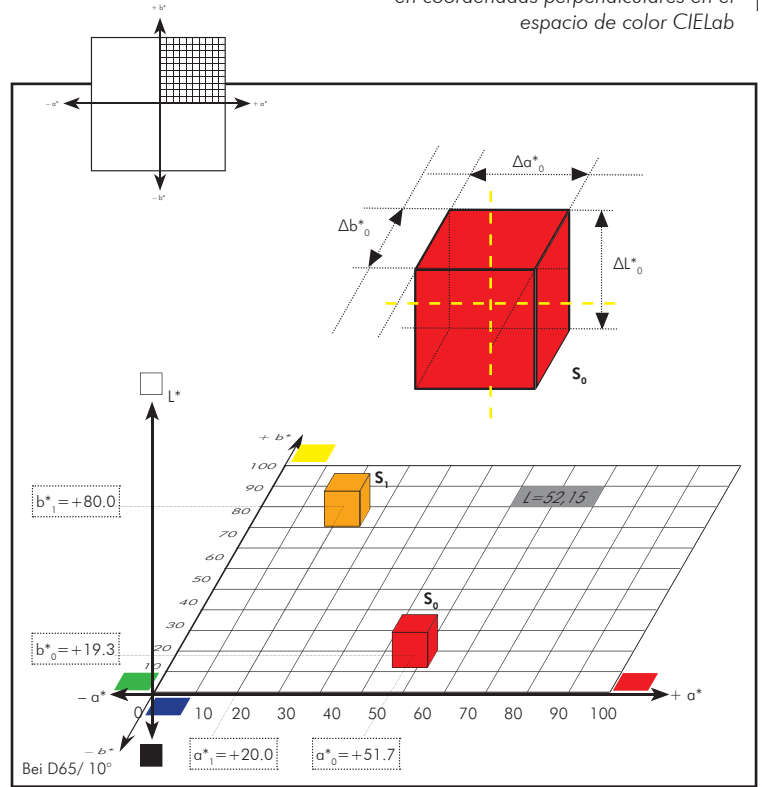
La descripción de la variación de color mediante las coordenadas L*, a* y b* aplicadas perpendicularmente obedece a nivel físico-perceptivo a la teoría de los procesos opuestos:

- variación rojo-verde: proyección de la diferencia sobre el eje a*
- variación amarillo-azul: proyección de la diferencia sobre el eje b*



Variaciones de color dL^* da^* db^* expresadas en coordenadas perpendiculares

Tolerancias dL^* da^* db^* expresadas en coordenadas perpendiculares en el espacio de color CIELab



dE^* diferencia total de color

dL^* diferencia de luminosidad (⊖ = darker; ⊕ = más claro)

da^* diferencia de color verde ↔ rojo (⊖ = más verde; ⊕ = más rojo)

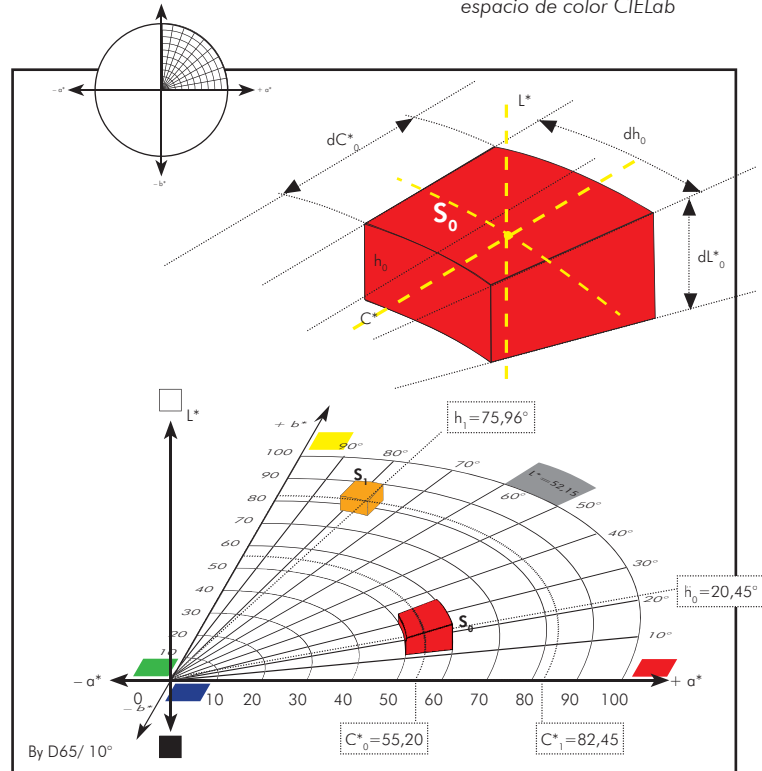
db^* diferencia de color amarillo ↔ azul (⊖ = más azul; ⊕ = más amarillo)

Variaciones de color y tolerancias de color en el espacio de color CIELab L* C* h

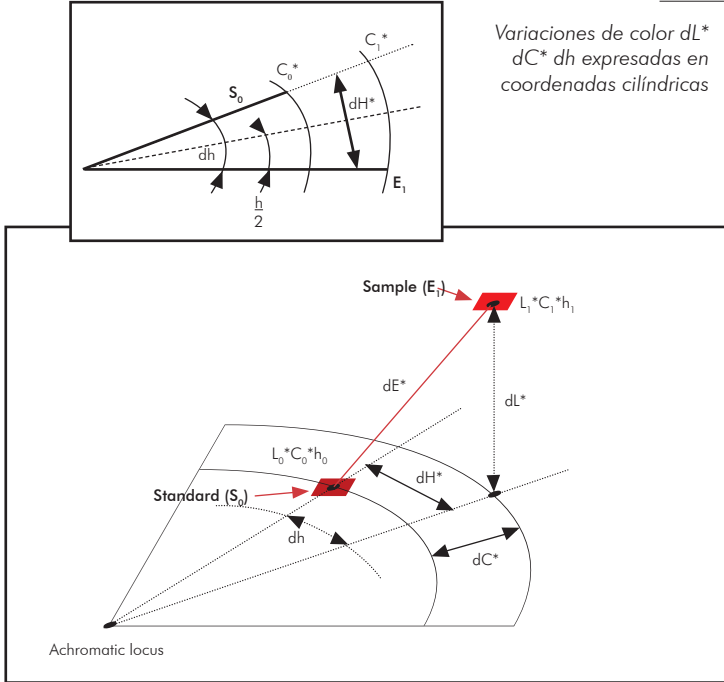
En comparación con el sistema teórico L*a*b*, en el espacio de percepción real los colores se no se comportan de forma lineal entre sí. El ojo humano no percibe las diferencias de color en el tono (verde, rojo, amarillo, azul) en la misma medida que percibe las diferencias en el cromatismo (saturación) y la luminosidad. Normalmente, primero se perciben las diferencias en el tono, después en el cromatismo y por último en la luminosidad. Una diferencia de color de p. ej. $dE = 1$ con un tono amarillo o verde brillante es una diferencia de color aceptable, mientras que por el contrario, con un tono gris acromático una diferencia

de color de $dE = 1$ representa un color diferente y no aceptable. Por tanto, la misma diferencia matemática de 1 no se corresponde con nuestra percepción visual. El espacio de color CIELab L* C* h pone a nuestra disposición una alternativa para la zona "acromática". La determinación de la variación de color mediante coordenadas L*, C* y h aplicadas cilíndricamente en el espacio de color CIELab permite describir el color y las diferencias de color del modo en que los vemos. La variación total de color (dE^*) se divide en la variación de luminosidad (dL^*), la variación de saturación (dC^*) y la variación de tono (dH^*).

Tolerancias dL^* dC^* dh expresadas en coordenadas cilíndricas en el espacio de color CIE Lab



Variaciones de color dL^* dC^* dh expresadas en coordenadas cilíndricas



La fórmula es la siguiente:

$$dE^* = \sqrt{(dL^*)^2 + (dC^*)^2 + (dh^*)^2}$$

L* eje de luminosidad

dL^* = variación de luminosidad: El valor y la interpretación son idénticos a la descripción en el sistema L^*a^*b

C* Chroma (croma)

dC^* = variación de croma: Representa la diferencia de las distancias, partiendo de cada punto de color hasta el eje de la luminosidad.

$dC^* = C^*1 - C^*0$
 siendo C^*0 = saturación del estándar
 y C^*1 = saturación de la muestra

- si dC^* es positivo, la muestra tiene una saturación superior al estándar
- si dC^* es negativo, la muestra tiene una saturación inferior al estándar

Tono H° (ángulo)

dh = variación del ángulo de tono: representa la variación del ángulo (en grados) entre las direcciones de los vectores asignados a los dos colores (estándar y muestra). Con ayuda de la siguiente conversión la variación del ángulo dh se transforma en la longitud dH^* :

$$dH^* = 2 \sqrt{C^*_0 C^*_1} \cdot \sin\left(\frac{dh}{2}\right)$$

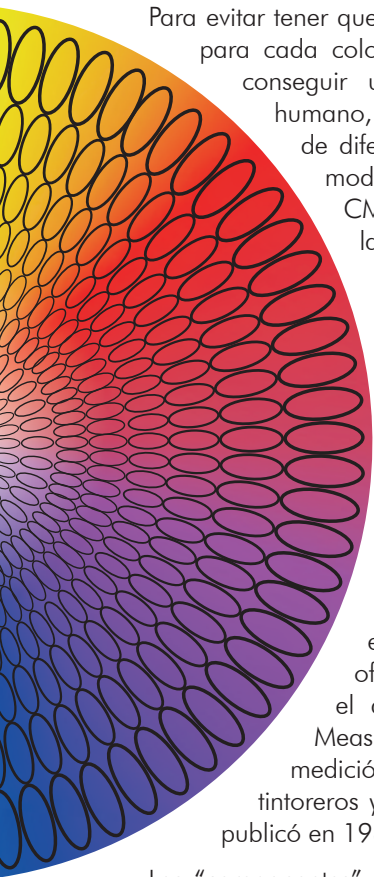
Tal descomposición de la variación total de color dE^* en dL^* , dC^* y dH^* iguala la descripción de las variaciones de color a la evaluación visual en la clasificación natural de los colores. Y debido a que es más sencilla y práctica, suele ser el método más utilizado.

Los especialistas en color usan la forma de expresión de las variaciones de color dL^* , da^* y db^* muy a menudo, si $C^* \leq 5$ y la evaluación de la diferencia de color según $L^*C^*H^*$ es > 5 .

Sistema de aceptabilidad de color CMC

Las fórmulas de diferencia de color en el espacio de color CIELab $L^*a^*b^*$ y L^*C^*h tienen la ventaja de que su aplicación es relativamente sencilla y práctica.

La desventaja es que el sistema de color CIELab no es visualmente uniforme. Las diferencias de color calculadas no se corresponden con las diferencias de color percibidas. En la práctica esto significa que, para los colores acromáticos, el ojo humano puede percibir las más pequeñas diferencias en el tono. Por tanto, en este caso debería determinarse un valor numérico dE^*ab lo menor posible. Cuanto más brillantes son los tonos que deben evaluarse, es decir, cuanto mayor es C , más hacia afuera se encuentran los colores en el sistema CIELab y de forma más sensible reacciona el ojo humano a las diferencias de color. Eventualmente, en este caso el ojo podría no reconocer una diferencia dE^*ab numéricamente mayor. El ojo percibe más las diferencias en el tono que las diferencias en la luminosidad o la saturación.



Para evitar tener que determinar tolerancias de color para cada color en el sistema CIELab y para conseguir una mejor adaptación al ojo humano, se siguió mejorando la fórmula de diferencia de color dE^*ab . De este modo surgió, entre otras, la fórmula CMC, muy utilizada hoy en día por la industria textil.

La fórmula CMC proviene de Gran Bretaña, donde se ha estado utilizando ininterrumpidamente en las investigaciones llevadas a cabo desde 1970. Se probó mediante decenas de miles de evaluaciones visuales y finalmente el instituto de normalización británico, la British Standard Institution, la estandarizó. Además, su nombre oficial, JPC70, se modificó por el de CMC (las siglas del Color Measurement Committee (Comité de medición del color) de la Sociedad de tintoreros y coloristas. La fórmula CMC se publicó en 1984.

Los "componentes" de dE , a saber dL , dC y dH , se ponderan mediante los factores de corrección S_L , S_C y S_H , los cuales a su vez dependen de la luminosidad, el croma y el tono. S_L , S_C y S_H son funciones hiperbólicas que aseguran que dL y dC tengan peso para colores más oscuros y acromáticos. Asimismo, dH pierde valor cuanto mayor es el croma. Por otro lado, dependiendo de la posición del círculo cromático, se realiza una corrección.

La fórmula de diferencia de color CMC es la siguiente:

$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{L S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

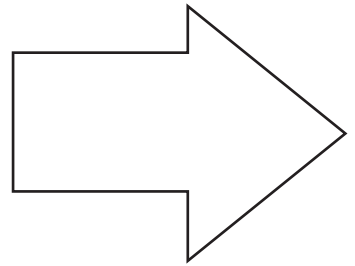
L factor de luminosidad

c factor de saturación

S_L función de L

S_C función de C

S_H función de H y C



■ Para S_L se aplica:

$$\text{If } L^* < 16 \quad S_L = 0.511$$

$$\text{If } L^* \geq 16 \quad S_L = \frac{0,040975L^*}{1 + 0,01765L^*}$$

¡Con esta corrección, cuando los colores son muy oscuros los valores dL se valoran en casi un 200% más!

■ Para S_C se aplica:

$$S_C = \frac{0,0638C^*}{1 + 0,0131C^*} + 0,638$$

Debido a la influencia de S_C , determinados d_H se ponderan más cerca del eje acromático, pero debido a la influencia del factor f no se ponderan tanto como con S_C solo. Según la fórmula CMC, en la zona de naranjas y en la de violetas dH se potencia, mientras en la zona de verdes hasta azules y en la de púrpuras hasta rojos se mitiga

■ Para S_H se aplica:

$$S_H = (FT + 1 - F) S_C$$

$$\text{Siendo } F = \sqrt{\frac{C^{*4}}{C^{*4} + 1900}}$$

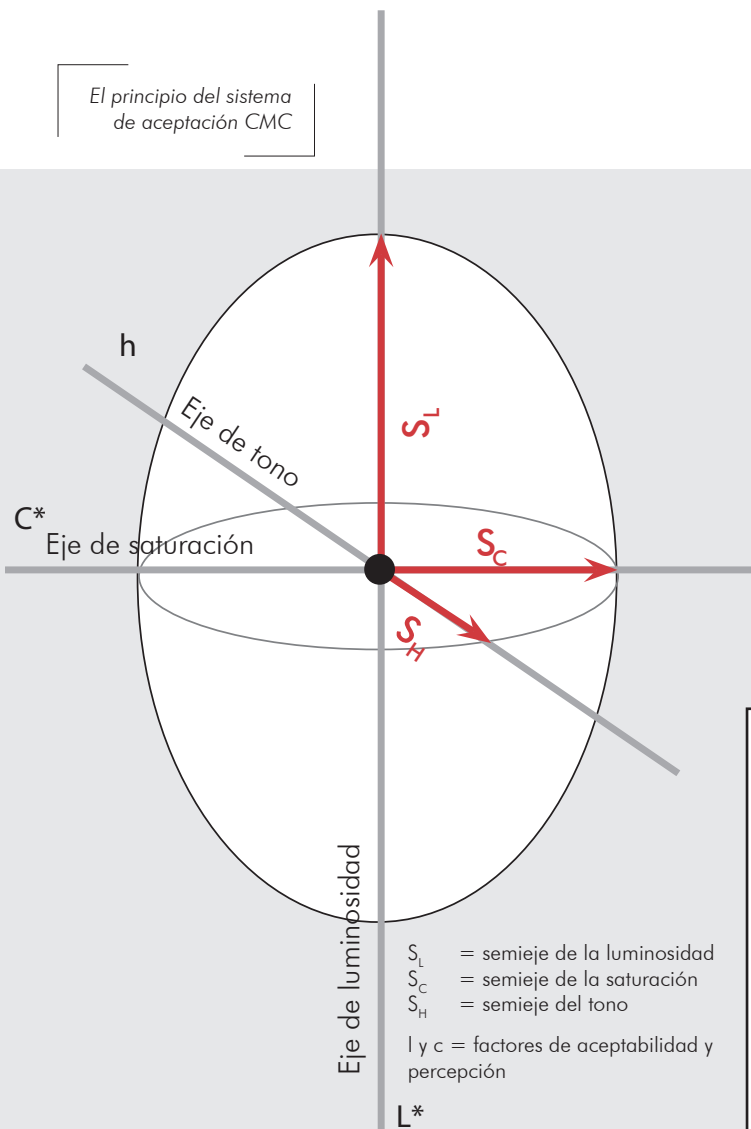
$$\text{y } T = 0,36 + |0,4 \cos(35 + h)|$$

$$\text{A menos que } 164^\circ < h < 345^\circ$$

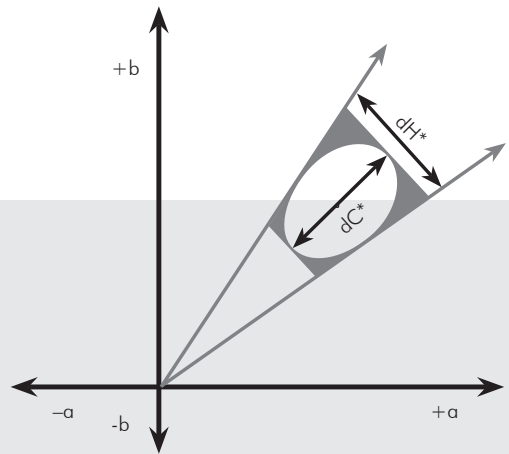
$$\text{o } T = 0,56 + |0,2 \cos(168 + h)|$$

Nota: $|$ representa el valor absoluto

El principio del sistema de aceptación CMC

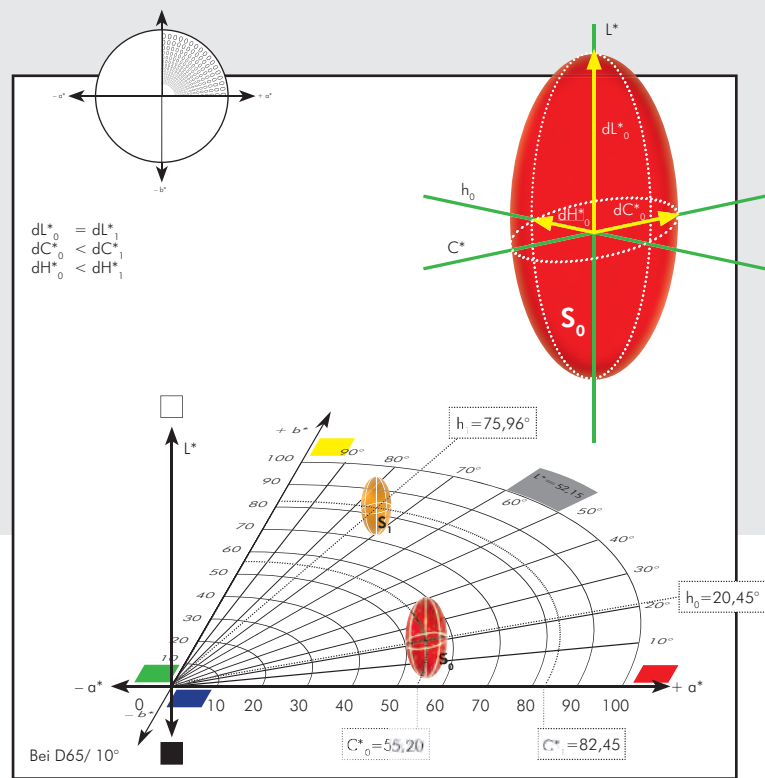


S_L = semieje de la luminosidad
 S_C = semieje de la saturación
 S_H = semieje del tono
 l y c = factores de aceptabilidad y percepción



$$dE_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{l S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{c S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{S_H}\right)^2}$$

CMC - tolerancia = elipsoide



Tolerancias de aceptabilidad CMC en el espacio de color CIE Lab

La fórmula de diferencia de color se basa en unas 2.000 muestras textiles analizadas bajo iluminación D65 y medidas con la función para un observador colorimétrico estándar CIE 1964 (10°).

Por tanto, las magnitudes de corrección (SL – SC – SH) han sido evaluadas empíricamente y están presentes en fórmulas que permiten un cálculo previo. Además, los dos factores adicionales l (luminosidad) y c (croma) pueden influir sobre los resultados sobre todo en la aceptación de una variación.

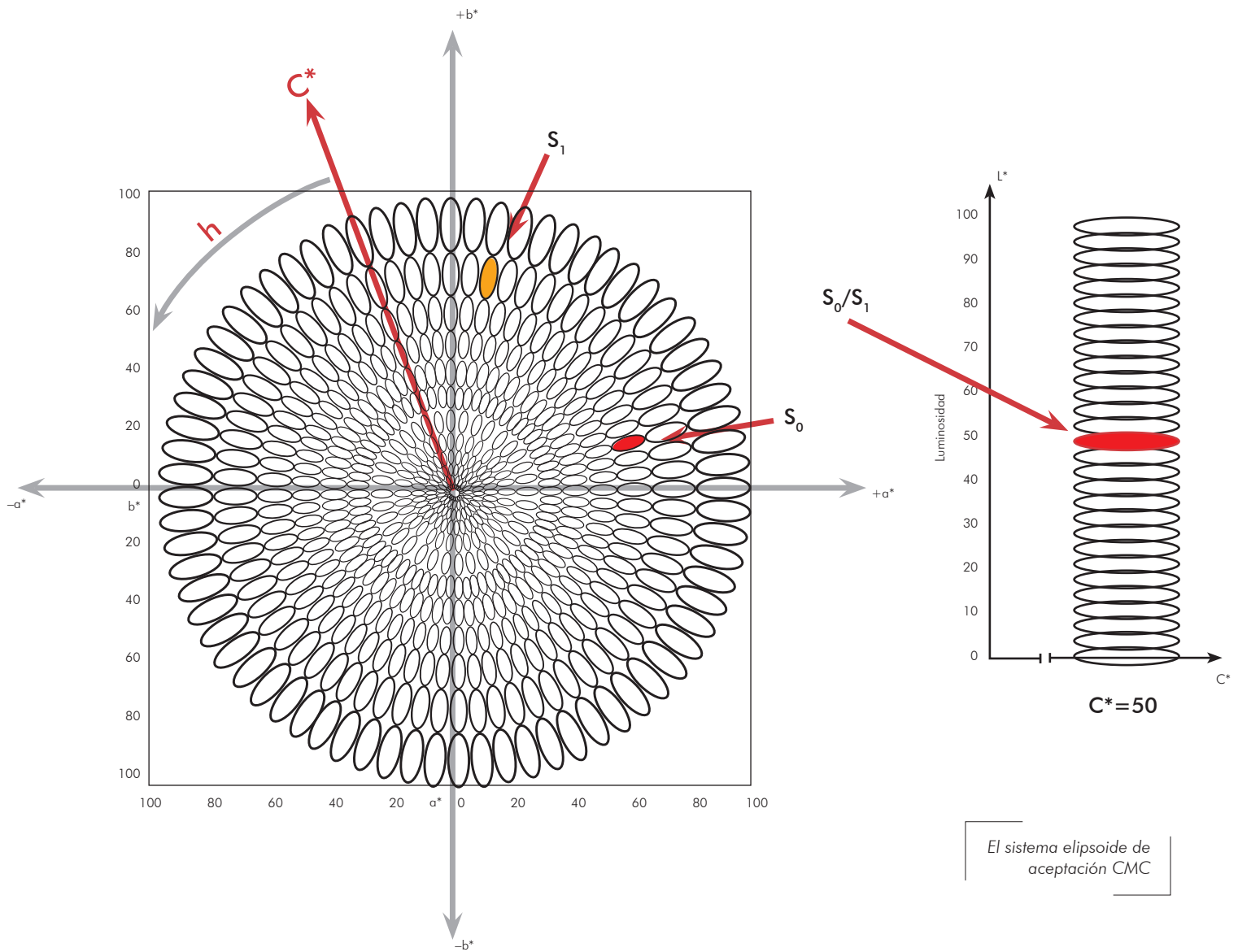
El usuario puede modificar los parámetros de corrección l y c.. Una relación de 1:1 corresponde a la perceptibilidad de la desviación de color. Para evaluar la aceptabilidad se pueden aumentar o reducir los valores l y c. Así por ejemplo, en la industria textil se utiliza la combinación CMC (2:,1), siendo l = 2 y c = 1. En este caso, l = 2 significa que en el cálculo de la diferencia total de color sólo se cuenta la mitad de la diferencia de luminosidad.

La variación de la luminosidad (dL*) sólo se modifica mediante la luminosidad. Así, la variación de la luminosidad

será mayor cuanto menores sean los valores de luminosidad y menor cuanto más luminosidad haya.

Las variaciones de croma (dC*) sólo se modifican mediante el croma. En comparación con el sistema CIE Lab, son menores en general, con excepción de los cromas, que tienen un valor bajo, inferior a 6.

Las variaciones de tono (dH*) se modifican mediante el ángulo de tono y el croma. Se puede ver que, en especial con los tonos naranja, las variaciones de color son mayores en relación con los tonos verdes y que el efecto de las variaciones de color en relación con el sistema CIE Lab se reduce de forma considerable cuando los colores están relativamente saturados.



Los efectos de estas magnitudes de corrección pueden observarse en el gráfico que figura arriba. Las variaciones determinadas visualmente y con las mismas dimensiones se indican como elipses para el área a^*/b^* con una luminosidad constante. El ojo humano percibe como iguales las variaciones dentro de la elipse. El lado derecho del gráfico muestra las elipses de aceptación sobre el eje L^* (con croma constante $C^* = 50$, pero con luminosidad L^* modulable de 0 -100).

El gráfico deja clara una cosa: la fórmula CMC no proporciona un sistema de representación homogéneo y tampoco conforma ningún espacio de color, pero sí permite calcular las variaciones de color y la aceptación a partir de un enfoque empírico de cada punto de color arbitrario en el espacio de color CIE Lab.

En el marco de la mejora de la fórmula de aceptación y de las diferencias de color, la CIE creó las fórmulas de diferencia de color CIE94 y CIE2000.

La fórmula de diferencia de color CIE94

En 1994 la CIE publicó la fórmula de diferencia de color CIE94. Ésta se basa en un enfoque similar al de la fórmula CMC, pero ofrece tres parámetros de corrección (k_L , k_C y k_H), que pueden optimizarse dependiendo del ámbito de aplicación. Además, la fórmula se amplía mediante las condiciones de observación, que sirven como base para la presentación y observación de las muestras.

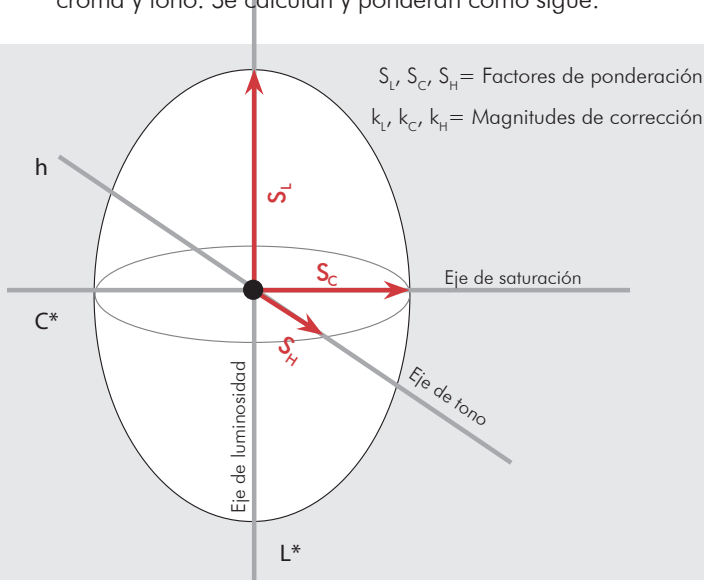
La fórmula de diferencia de color CIE94 es la siguiente:

$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

$$L_2^* - L_1^* = dL^*$$

La diferencia total de color dE_{94}^* entre 2 muestras de color representa la distancia, ponderada y adaptada por el usuario, en el espacio de color CIE76 (CIELab). En este caso, la fórmula tiene en cuenta los componentes de estas diferencias de color, como las variaciones para luminosidad (dL^*), la variación de saturación (dC^*) y la variación de tono (dH^*), bajo condiciones de referencia determinadas.

Los factores S_L , S_C y S_H representan los correspondientes factores de ponderación de las variaciones de la luminosidad, croma y tono. Se calculan y ponderan como sigue:



$$dE_{94} = \sqrt{\left(\frac{L_2^* - L_1^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{C_2^* - C_1^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH_{ab}^*}{k_H S_H}\right)^2}$$

Fórmula de diferencia de color CIE94

Los factores k_L , k_C y k_H son magnitudes de corrección asociadas a las condiciones de observación de las muestras. Las condiciones de referencia se determinan experimentalmente como condiciones típicas para la observación de colores de control

$$\begin{aligned} S_L &= 1 \\ S_C &= 1 + 0,045 C^* \\ S_H &= 1 + 0,0015 C^* \end{aligned}$$

Las condiciones de referencia:

- Iluminación – fuente de luz: la fuente de luz simula el iluminante estándar D65, que se corresponde con la luz diurna
- Iluminación de la muestra con una intensidad lumínica de aprox. 1.000 lux
- Entorno: trasfondo de observación homogéneo de color gris neutro y luminosidad $L^* = 50$
- Las superficies que deben observarse (muestras) deben cumplir las siguientes condiciones en la medida de lo posible:
 - El campo de observación y la distancia deben estar iluminados de tal forma que el campo de visión sea mayor que el campo de visión de 4° fijado centralmente
 - Las muestras deben disponerse una al lado de la otra; no pueden separarse y tienen que tocarse directamente, de modo que la línea de separación se vea lo menos posible.
 - La estructura, la textura y el color deben ser tan homogéneos como sea posible.

Nota:

Los factores de corrección k_L , k_C and k_H todavía están muy mal evaluados para condiciones especiales. Los factores de corrección k_L , k_C and k_H se igualan a 1 para las condiciones de referencia. Normalmente, en la industria textil se utilizan los siguientes factores: $k_L = 2$ and $k_C = k_H = 1$.

La fórmula de diferencia de color de la CIE debe expresarse en la forma de dE_{94}^* y escribirse con la abreviatura CIE94. Los factores de corrección k_L , k_C and k_H no tienen que ser iguales a 1. En tal caso, deben colocarse tras la abreviatura dE_{94}^* . Un ejemplo de la industria textil: la forma de escritura para los factores $k_L = 2$ and $k_C = k_H = 1$, es la siguiente: CIE94 (2:1:1) con el símbolo dE_{94}^* (2:1:1).

Gráfico de tolerancia CIE94

CIE2000, la fórmula de diferencia de color CIE más reciente

A pesar de ser mejor que la fórmula CMC, la CIE94 no tuvo ninguna o prácticamente ninguna aceptación en la industria. Por tanto, se refinó con ayuda de nuevos conjuntos de datos y se sustituyó por la nueva fórmula

La fórmula de diferencia de color CIE2000 es la siguiente:

$$dE_{00} = \sqrt{\left(\frac{dL^*}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{dC^*}{k_C S_C}\right) \left(\frac{dH^*}{k_H S_H}\right)}$$

El último término de la ecuación también se denomina "término rotacional". Introduce una ponderación adicional al tono para corregir la falta de acuerdo entre las distancias de color percibidas visualmente y las calculadas para la gama de los azules.

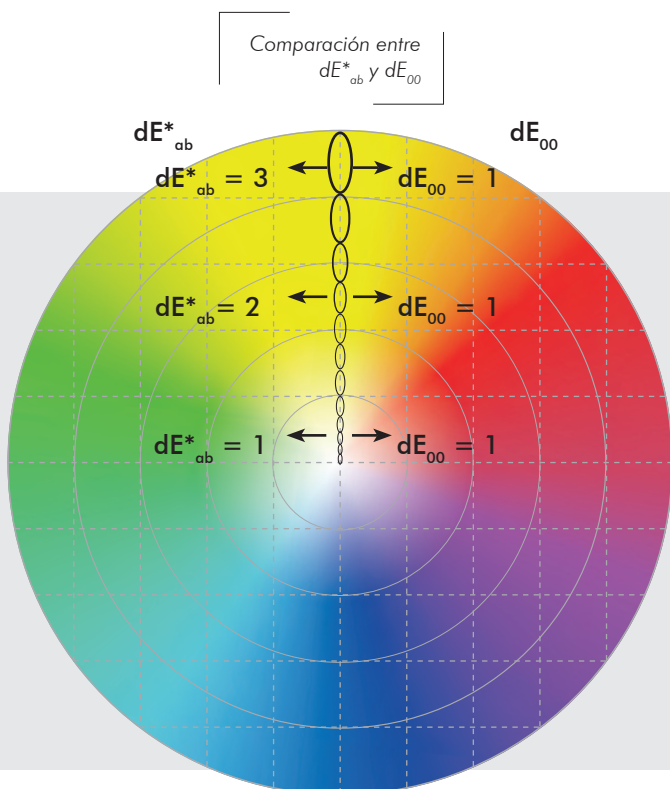
A partir de la ecuación arriba detallada se pueden representar todas las fórmulas de diferencia de color descritas hasta ahora. En consecuencia, en la CIE94 y en la CMC, $S_L = 1$. En las fórmulas de diferencia de color CMC y CIE94 el término rotacional no está disponible y por tanto es cero ($R_T=0$).

Con la CIE2000 se consiguió llegar muy cerca de la meta de obtener una diferencia de color del mismo valor para todos los tonos.

CIE2000. La fórmula de diferencia de color CIE2000 es la fórmula que está mejor adaptada actualmente a la percepción visual. No sólo contiene funciones de ponderación para la luminosidad, el croma y el tono, sino también términos mixtos. Estos términos tienen en cuenta que el croma puede depender, adicionalmente, del tono.

Resumen de la valoración de CMC, CIE94 y CIE2000

Todas las correcciones de las fórmulas CIE Lab-dE originales conforman una mejora sustancial de la evaluación de la diferencia de color. Sin embargo, mientras no exista una norma DIN o ISO, ninguna de las fórmulas dE corregidas podrá imponerse en la práctica. Por este motivo, el Comité de normalización del color en DIN (y aquí en especial la Comisión de trabajo FNF 4), en paralelo al desarrollo de la CIE (CIE2000), tuvo la idea de no modificar las fórmulas de diferencia de color, sino transformar todo el espacio de color para conseguir una mejor uniformidad. El resultado fue un nuevo sistema de coordenadas de color, que por ende definía un espacio de color uniforme perceptualmente para pequeñas diferencias de color. Debido a que ahora se pueden calcular las diferencias de color como longitud vectorial a partir de las diferencias de las coordenadas de color (aquí L_{99} , a_{99} y b_{99}), en este caso se habla de un "espacio de color euclídeo". La correspondiente fórmula se presentó en 1999 como fórmula DIN99.



Diferencias de color relativas: comparación de diferencias de color calculadas de forma diferente

		L*	a*	b*	C* _{ab}	dE* _{ab}	dE ₉₄	dE ₀₀	dE ₉₉
Cian (C)	1	54	-37	-50	62,2	6,00	3,54	2,29	2,16
	2	52	-41	-46	61,6				
Magenta (M)	1	47	75	-6	75,2	6,00	2,94	2,66	2,54
	2	45	79	-2	79,0				
Amarillo (Y)	1	88	-6	95	95,2	6,00	2,77	2,69	2,54
	2	86	-10	91	91,5				
Negro	1	18	0	-1	1,0	6,00	5,78	6,28	4,76
	2	16	4	-5	6,4				
C+M	1	26	22	-45	50,1	6,00	3,73	4,56	3,97
	2	24	26	-41	48,5				
C+Y	1	49	-65	30	71,6	6,00	3,26	2,97	2,83
	2	47	-69	26	73,7				
M+Y	1	48	65	45	79,1	6,00	3,23	3,48	2,59
	2	46	69	41	80,3				
Papel	1	93	0	-3	3,0	6,00	5,45	6,13	4,09
	2	91	4	-7	8,1				

El espacio de color DIN99

La base del espacio de color DIN99 es el espacio de color CIE Lab con sus coordenadas L^* , a^* , b^* .

La transformación de CIE Lab en DIN99 se realizó en dos partes: una transformación de la luminosidad a la nueva luminosidad DIN99 L_{99} y una transformación del cromatismo.

Después de las transformaciones ya pueden calcularse los valores como cromatismo (C_{99}), ángulo de tono (h_{99}) y diferencia de color (dE_{99}).

La fórmula DIN99 está concebida para diferencias de color pequeñas hasta medias. La aplicación se recomienda para diferencias de color pequeñas hasta 5 dE CIE Lab, que son las que se utilizan para el control de calidad y el cálculo de la composición.

Cálculo

Transformación de la luminosidad

La luminosidad L^* se transforma en la luminosidad DIN99 L_{99} :

$$L_{99} = \left(\frac{1}{k_E} \right) \cdot (105,51 \cdot \ln(1 + 0,0158 \cdot L^*))$$

Esta transformación pretende reproducir mejor la diferenciación de los tonos oscuros. Se asemeja a una función de potencia con un exponente de 0,75. Se expande la zona de los tonos oscuros y se contrae la de los tonos claros. Los valores de luminosidad medios se desplazan hacia arriba sobre el eje de luminosidad.

La variable k_E describe la influencia de las condiciones de observación modificadas.

Para las condiciones de referencia se aplica $k_E = 1$.

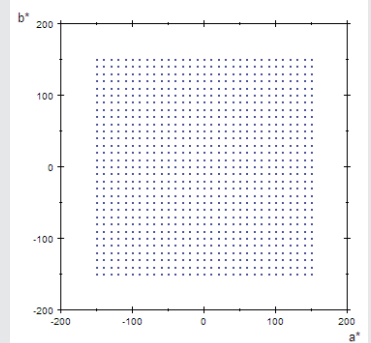
Transformación del cromatismo

La transformación de las coordenadas de cromatismo tiene lugar en tres pasos:

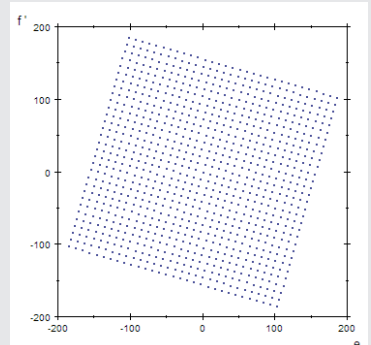
- Los ejes de cromatismo se giran 16°
- El eje amarillo-azul se multiplica por el factor 0,7, por lo que se contrae
- Los valores de cromatismo se comprimen logarítmicamente en dirección radial alrededor del eje L_{99}

Al contrario de lo que sucede con las fórmulas CIE94 y CIE2000, para calcular la diferencia de color no es necesario determinar el ángulo de tono.

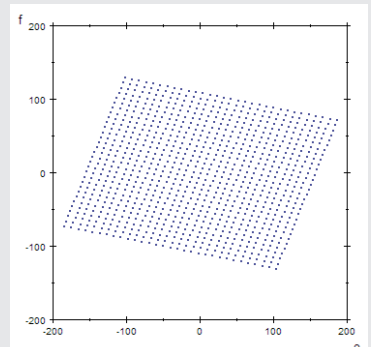
Situación inicial: plano a^*/b^* . Los puntos de esta imagen y de las siguientes representan las coordenadas a^*/b^* de 150 hasta 150 respectivamente en incrementos de diez



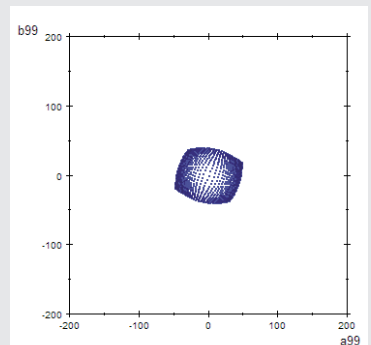
Paso 1: rotación del plano a^*/b^* en 16°



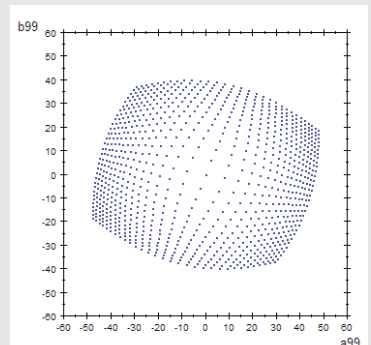
Paso 2: contracción del eje f



Paso 3: compresión radial del plano e/f



Vista ampliada del plano a_{99}/b_{99}



Los cálculos individuales son los siguientes:

a^* y b^* se transforman en:

Valores de rojez (eje rojo-verde)

$$e = (a^* \cdot \cos(16^\circ) + b^* \cdot \sin(16^\circ))$$

Valor de amarillez f (eje amarillo-azul)

$$f = 0,7 \cdot (-a^* \cdot \sin(16^\circ) + b^* \cdot \cos(16^\circ))$$

Ventaja respecto a otros procedimientos de corrección:

Ahora, con a_{99} y b_{99} transformados se puede proceder igual que se hace en CIE Lab para calcular un C_{99} (croma corregido, chroma) o un H_{99} (tono corregido, hue diferencia).

Las fórmulas son las siguientes respectivamente

$$dH_{99} = \frac{(a_{99B} \cdot b_{99P}) - (a_{99P} \cdot b_{99B})}{\sqrt{0,5 \cdot ((C_{99B} \cdot C_{99P}) + (a_{99B} \cdot a_{99P}) + (b_{99B} \cdot b_{99P}))}}$$

Calidad y perfeccionamiento

El espacio de color DIN99 se aproxima mucho a la fórmula de diferencia de color CIE94 y posee propiedades cualitativas similares, siendo comparable también con CMC(l:c). Una gran ventaja con respecto a CIE94 es la conmutabilidad de las muestras de modelo y de comparación en el cálculo, posible gracias a que la transformación se puede revertir por completo con la mayor sencillez.

La diferencia con CIE Lab radica en la coincidencia mejorada de los cálculos con las diferencias de color percibidas. El uso de la fórmula DIN99 se asemeja al de la fórmula CIE Lab.

Por tanto, a partir de ahí se puede calcular un valor de croma G (croma):

$$G = \sqrt{(e^2 + f^2)}$$

Con el factor de compensación

$$k = \frac{\ln(1 + 0.045 \cdot G)}{(k_{CH} \cdot k_E \cdot 0.045)}$$

se obtiene como resultado los

valores de tono

$$a_{99} = k \cdot \frac{e}{G}$$

$$b_{99} = k \cdot \frac{f}{G}$$

Si se da el caso de que $a^* = b^* = 0$, also $e = f = G = 0$, then $a_{99} = b_{99} = 0$.

or

$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (da_{99})^2 + (db_{99})^2}$$

where

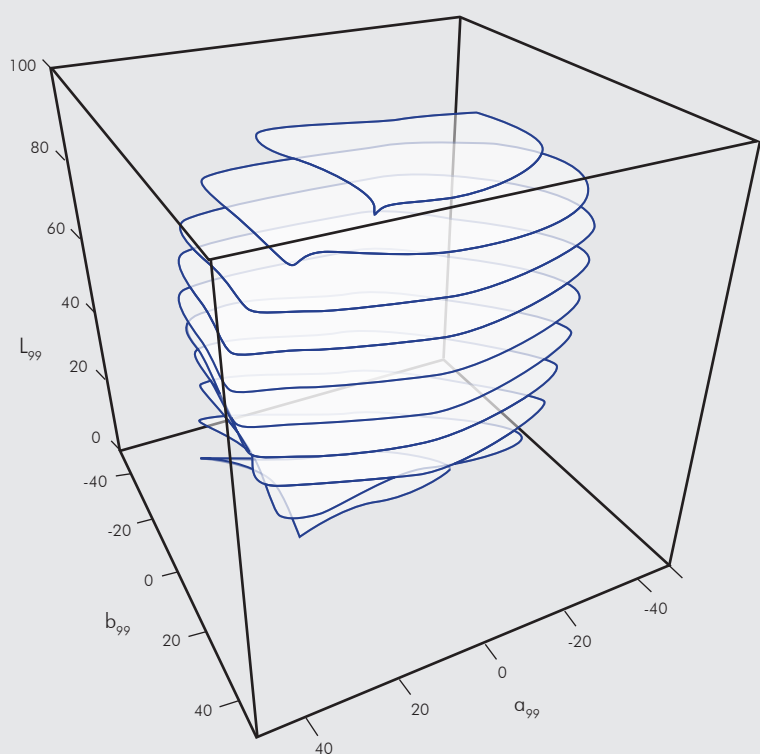
$$dE_{99} = \sqrt{(dL_{99})^2 + (dC_{99})^2 + (dH_{99})^2}$$

$$C_{99} = \sqrt{(a_{99})^2 + (b_{99})^2}$$

En el sistema DIN99, dC y dH se calculan igual que en CIE Lab. Los índices B y P representan la referencia (muestra para comparación) y la prueba (muestra).

La modificación del eje de luminosidad y la mayor ponderación de los colores cerca del eje acromático mediante la compresión de colores más saturados aumentan considerablemente la uniformidad de las diferencias de color percibidas.

Las categorías de evaluación ejes de luminosidad y de tono (amarillo-azul y rojo-verde) no se modifican en comparación con CIE Lab. El cálculo de la diferencia de color como distancia euclídea sencilla es una gran ventaja con respecto a CMC(l:c), CIE94 y CIE2000, cuyo cálculo es mucho más complicado.



Sólido óptimo de color
DIN99 – iluminante
(illuminant) D65

Ejemplo de un espacio de color moderno:

Vista de sección transversal de un sólido óptimo de color DIN99. Planos secantes de luminosidad $L_{99}=5$ hasta 95 en incrementos de diez. a_{99} representa la dirección amarillo-azul, b_{99} la dirección rojo-verde. Las deformaciones se deben a que en los espacios de color modernos la interconexión de los colores se incorpora con luminosidades. La superficie de este sólido de color se genera mediante espectros. La superficie representa la totalidad de colores óptimos (colores con la máxima saturación y potencia lumínica). El volumen del sólido de color reproduce todos los colores posibles teóricamente.

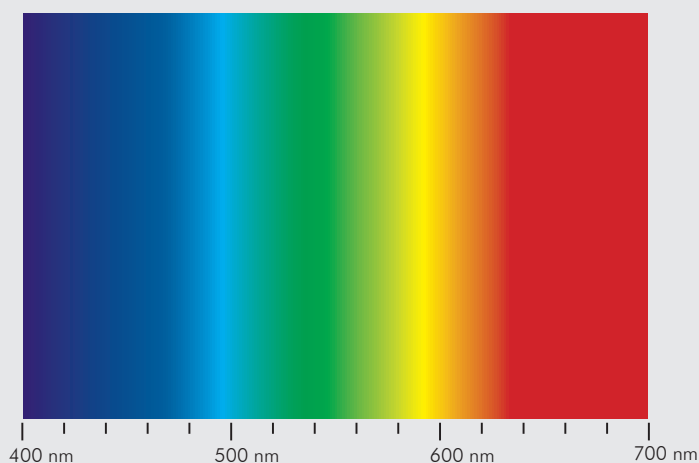
Conclusión y perspectivas de futuro

La medición instrumental del color sirve a la industria como método auxiliar en el control de calidad. Complementa la igualación de color visual y permite introducir valores numéricos como tolerancias. Así, la colaboración entre proveedores y clientes se apoya sobre la base que ambos usan mediciones técnicas. No obstante, es importante que la valoración colorimétrica concuerde con el juicio visual.

Los espacios de color desarrollados a lo largo de los años se acercan mucho a la percepción visual del color, pero también poseen puntos débiles, porque en muchos casos la concordancia de la distancia de color percibida visualmente no se corresponde con la magnitud de la diferencia de color dE^* medida.

Se sigue trabajando constantemente en el desarrollo de un espacio de color completamente homogéneo y de una fórmula para la diferencia de color, así como de la aceptación sencilla y representativa de la percepción visual. Las investigaciones llevadas a cabo durante los últimos años en los campos de la neuropsicología de la vista, la psicología de la percepción y de la estadística también llevan a una mejor eficiencia de la fórmula de aceptación y hacen que el uso automático sea cada vez más fiable. Por tanto, se puede afirmar sin temor a equivocarse que hoy día el perfecto dominio y el manejo técnico de los cálculos modelo matemáticos actuales en el ámbito del control objetivo y automático de los colores y las diferencias de color permiten aplicar correctamente la medición del color, garantizando así una gran calidad de los productos de color.

VISIBLE SPECTRUM



El metamerismo

Se habla de metamerismo cuando el color de dos muestras con funciones colorimétricas diferentes es idéntico bajo unas condiciones de observación e iluminación determinadas, pero diferentes cuando se modifica la iluminación.

En la medición del color, el metamerismo se comprueba determinando, bajo fuentes de luz (iluminantes) diferentes, los valores triestímulo de dos muestras con funciones colorimétricas diferentes. Las muestras metámeras arrojan un valor triestímulo idéntico bajo un iluminante, pero valores triestímulo distintos bajo otro iluminante. Los cálculos colorimétricos reducen la función colorimétrica a 3 valores. Por este motivo, el metamerismo sólo puede identificarse mediante los tres valores triestímulo si se modifica el iluminante.

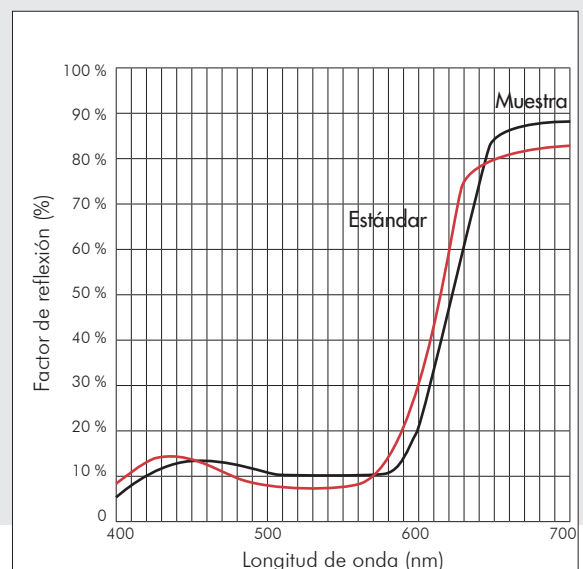


El metamerismo

Estímulos estándar (X-Y-Z) para el observador estándar de 10°

	Iluminante D65 (luz diurna)		Iluminante A (luz artificial)	
	Estándar STD.N	Muestra No. 2 ECH2.N	Estándar STD.N	Muestra No. 2 ECH2.N
X	$X_{2D} = 31,28$	$X_{2D} = 31,28$	$X_{2A} = 47,88$	$X_{2A} = 52,66$
Y	$Y_{2D} = 20,28$	$Y_{2D} = 20,28$	$Y_{2A} = 27,57$	$Y_{2A} = 31,41$
Z	$Z_{2D} = 12,71$	$Z_{2D} = 12,71$	$Z_{2A} = 4,04$	$Z_{2A} = 4,42$

Funciones colorimétricas



Lista de referencias

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [www.planet-wissen.de],
- Farbmanagement in der Digitalfotografie (ISBN 3-8266-1645-6), 2006, Redline GmbH, Heidelberg
- Beschreibung und Ordnung von Farben, Farbmeterik, Farbmodelle, DMA Digital Media for Artists – Archiv 2006-2011, Kunstuniversität Linz, Gerhard Funk
- Messen – Kontrollieren – Rezeptieren, Dr. Ludwig Gall [www.farbmeterik-gall.de]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [www.fogra.org]
- Wikipedia, various articles about color and color measurement [<http://de.wikipedia.org/wiki/Farbe>]
- Various representations of color models and color spaces [http://www.chemie-schule.de/chemieWiki_120]
- Praktische Farbmessung, Anni Berger-Schunn, 2. überarbeitete Auflage, 1994, Muster-Schmidt Verlag, Göttingen – Zürich
- Farbabstandsformeln in der Praxis, SIP 01.2011
- Schläpfer, K.: Farbmeterik in der grafischen Industrie, 3. Aufl. St. Gallen; UGRA 2002 (Tabelle S. 48)

Datos de publicación

Editor:

Datacolor, Inc. 5 Princess Road, Lawrenceville, NJ 08648, USA

Teléfono: 1-800-982-6497 | Fax: 609-895-7472 | marketing@datacolor.com | www.datacolor.com

Texto:

Gabriele Hiller, Hiller Direct Marketing, Stühren 41, 27211 Bassum, Alemania

www.hiller-direct-marketing.de

© Copyright Datacolor. Todos los derechos reservados

EUROPE

Datacolor AG Europe

6343 Rotkreuz

Teléfono: +41 44.835.3800

AMERICA

Datacolor Headquarters

Lawrenceville, NJ

Teléfono: +1 609.924.2189

ASIA

Datacolor Asia Pacific Limited

Hong Kong

Teléfono: +852 24208283