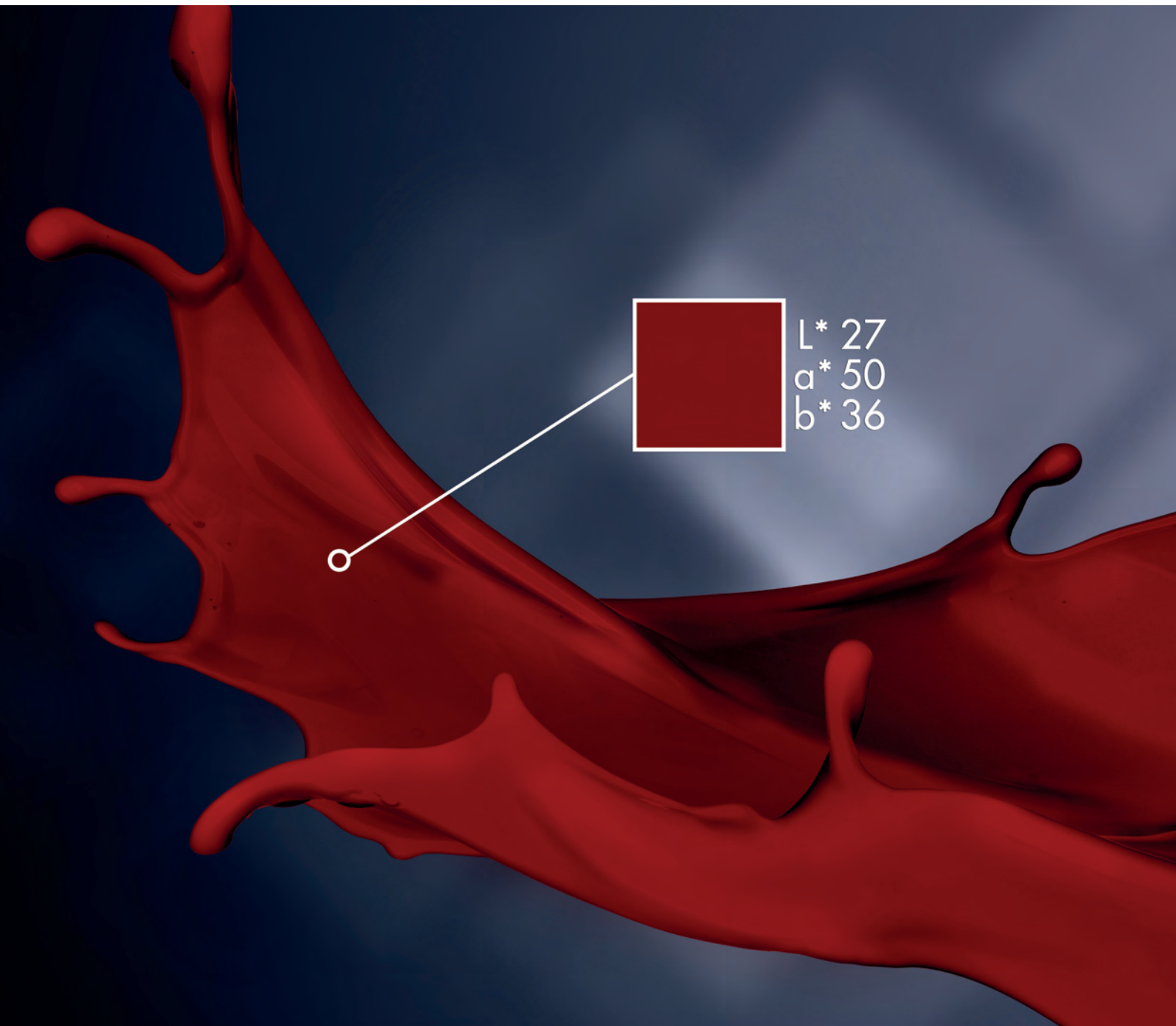


# LIBRO 3 GESTIÓN DEL COLOR



## Color y medición del color

UNA INTRODUCCIÓN AL MUNDO DE LA COLORIMETRÍA

# La medición del color. El sistema CIE 1931

## Introducción

Realmente, la medición de un color no es otra cosa que la visión del color estandarizada con los factores luz y observador normalizados.

La base científica para la medición del color es la existencia de 3 grupos de señales diferentes (los estímulos de color de referencia azul, verde y rojo) que el ojo del observador transmitirá. El punto de partida para la transferencia a un sistema normalizado es la sensibilidad de los conos S, M y L. Hoy en día se conocen las sensibilidades con respecto a la longitud de onda. En 1931 la CIE, Commission Internationale de l'Eclairage (Comisión Internacional de la Iluminación) sentó como base de un sistema colorimétrico internacional tres colores espectrales (sencillos de realizar) como estímulos de color de referencia, a saber el rojo  $R = 700,0 \text{ nm}$ , el verde  $G = 546,1 \text{ nm}$  y el azul  $B = 435,8 \text{ nm}$ .

Sin embargo, la sensibilidad de los conos también depende del ángulo de observación. La normalización se realizó con el término "observador estándar CIE". Igual que el iluminante estándar, el observador estándar viene dado por una tabla de valores numéricos que representan a un "observador humano estándar promedio". En ese caso, las percepciones de los colores no son específicas de un único observador.

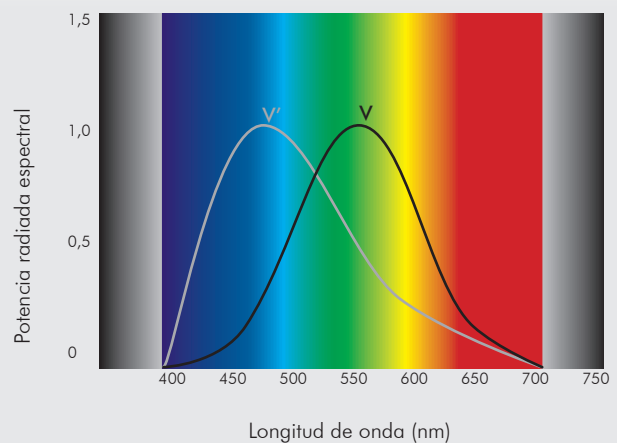
## La eficiencia luminosa relativa del ojo humano. La luminosidad

En el rango visible del espectro electromagnético (400 nm - 700 nm) el ojo humano experimenta con una luminosidad diferente las mismas radiancias espectrales de diferentes longitudes de onda. La CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) midió y estandarizó para el observador patrón esta sensibilidad espectral del ojo. La curva  $V(\lambda)$  indica la visión diurna (visión fotópica), durante la cual los conos en la retina están activos. En 1923 la CIE instituyó los valores de la eficiencia luminosa para la visión diurna y en 1924 se utilizaron para realizar cálculos colorimétricos.

La curva  $V'(\lambda)$  indica la visión nocturna (visión escotópica), durante la cual los bastones actúan como receptores efectivos. La CIE instituyó los valores de la eficiencia luminosa para la visión nocturna en una norma en 1951. En el rango de la densidad luminosa entre la visión diurna y la nocturna, el rango mesópico (visión al atardecer), la curva de sensibilidad espectral se desplaza hacia las longitudes de onda menores cuanto menor va siendo el nivel de luminosidad.



Sensibilidad a la luminosidad del ojo



Curva  $V \lambda$  = visión fotópica / día = (CIE 1924)  
Curva  $V' \lambda$  = visión escotópica / noche = (CIE 1951)

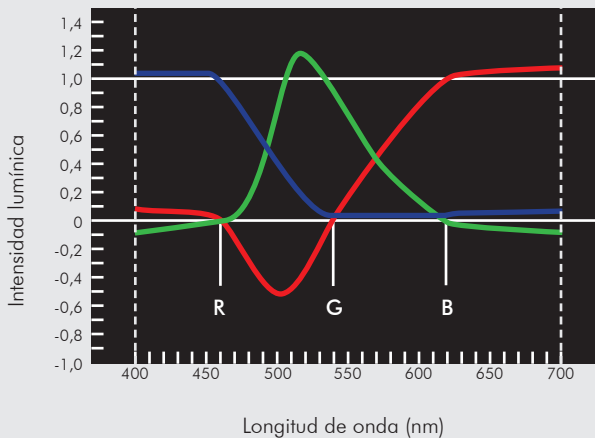
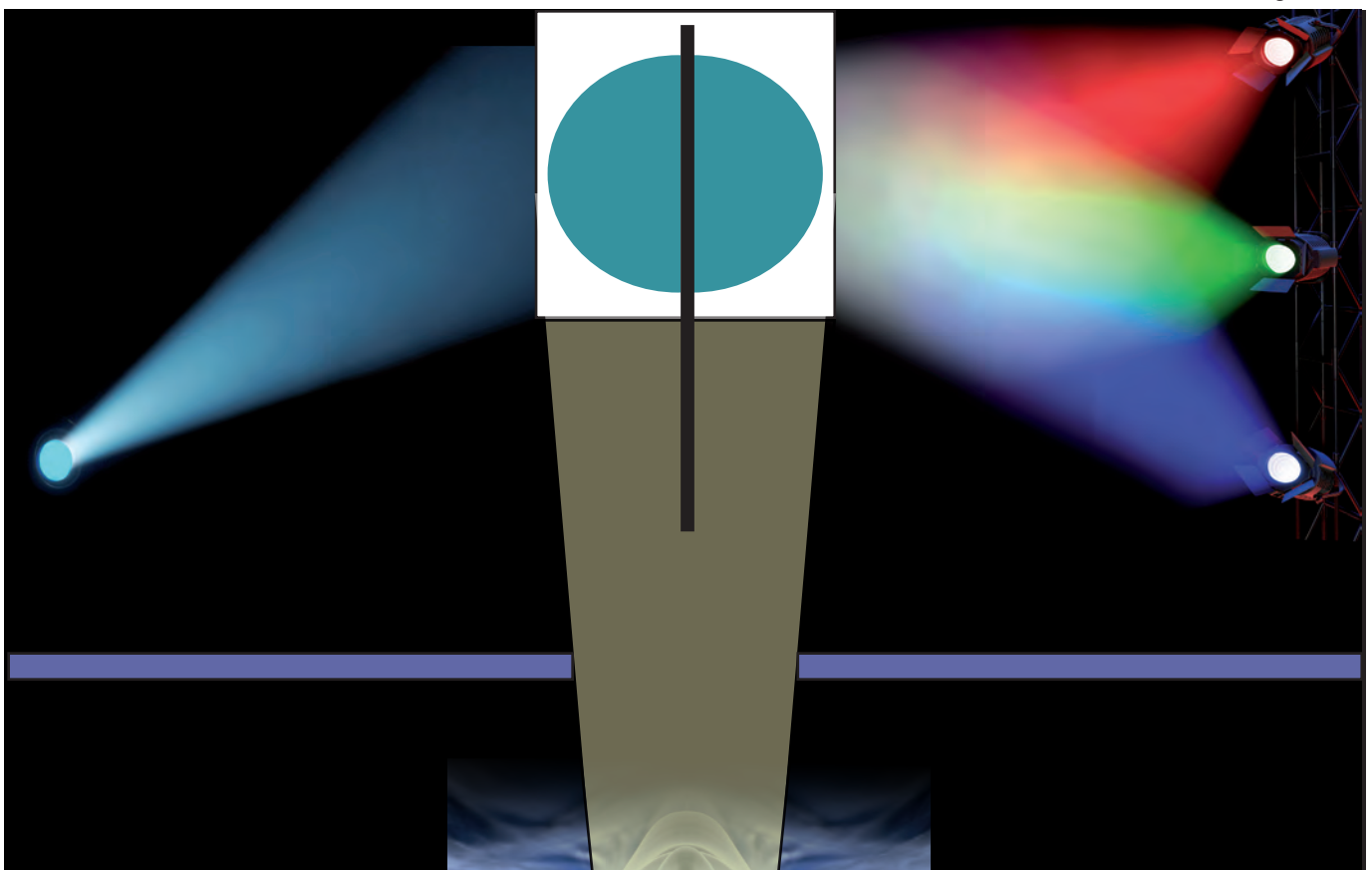
## La percepción del estímulo de color por parte del observador humano

Para definir el “observador estándar” como base de todas las mediciones y cálculos colorimétricos se realizaron experimentos con observadores humanos con vista normal.

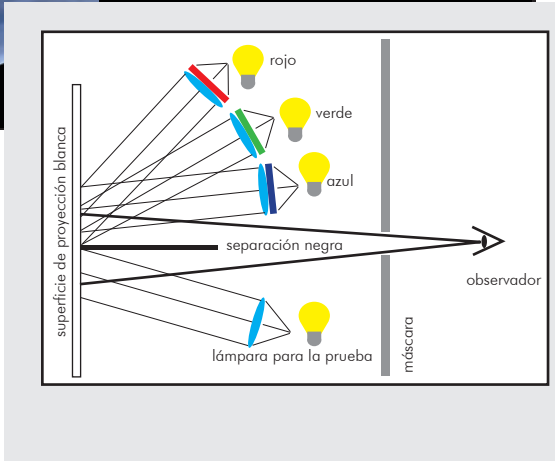
En estos experimentos se utilizó una pantalla dividida. En uno de los lados se proyectó un determinado color, en el otro tres lámparas con los colores azul, verde y rojo. El observador tenía que reproducir la impresión de color del primer color modificando la luminosidad de las tres fuentes de luz (teoría tricromática). Las cantidades de radiación para cada modificación de las tres fuentes de luz primarias y cada modificación de la luz de prueba

en cada longitud de onda se anotaban en una tabla. De este modo se pudo determinar todo el espectro de estímulos de color perceptibles por el observador humano y se registró numéricamente la capacidad de visión de los colores.

Los experimentos más importantes para determinar la percepción tricromática del estímulo de color del ojo los realizaron W. D. Wright en 1928 y J. D. Guild en 1931. Los experimentos de Wright y Guild pudieron probar que los valores numéricos divergen ligeramente porque las fuentes de luz primarias también eran ligeramente diferentes. Estos experimentos sobre la mezcla aditiva de color confirmaron la teoría tricromática de Young.

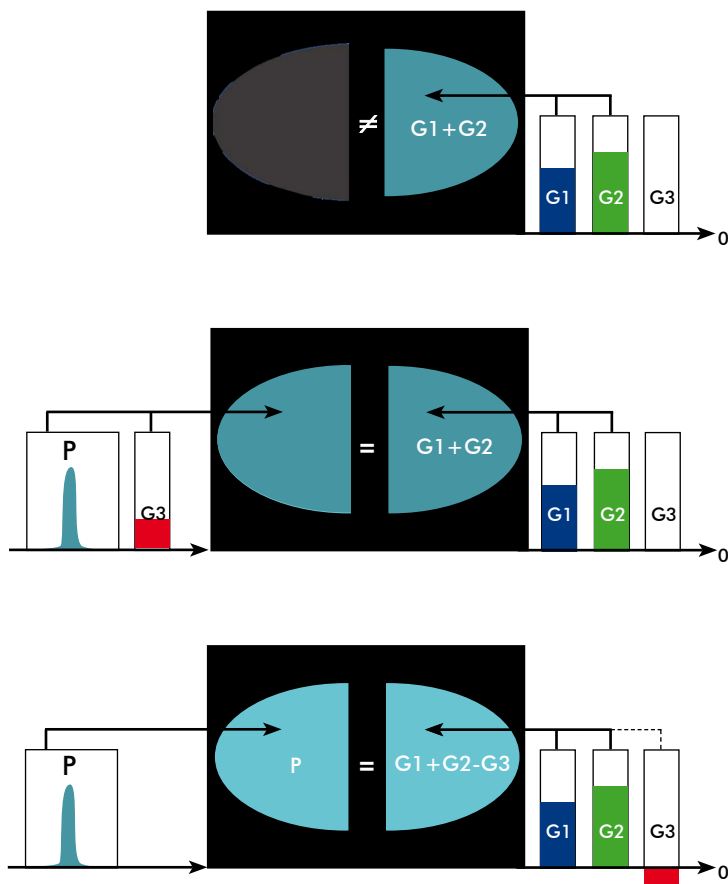


Intento de mezcla aditiva de radiación luminosa



## El observador colorimétrico estándar CIE 1931 (2°)

Durante los experimentos sobre la mezcla aditiva del color se demostró que con los tres estímulos de color de referencia RGB de la CIE no se podían generar todos los colores reales. A veces era necesario mezclar la muestra de color con uno de los tres colores primarios para conseguir una congruencia con la mezcla de los otros dos colores primarios. Esto significa que determinados colores sólo pueden conseguirse a partir de la mezcla de los tres colores primarios si uno de estos colores primarios aporta una "proporción negativa". Por tanto, para algunos colores espectrales los valores de una medida colorimétrica deberían ser negativos.



Proporción negativa de colores primarios durante la igualación de color mediante la mezcla del color.

**$P + G3 = G1 + G2$**   
**corresponde a**  
 **$P = G1 + G2 - G3$**

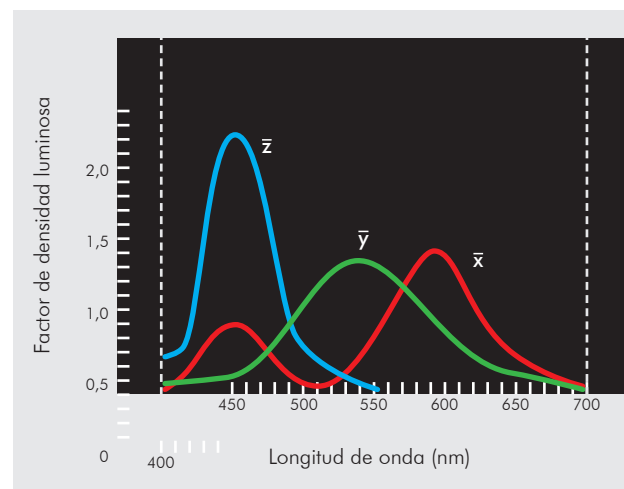
*P.. muestra de color, G1, G2, G3... tres colores primarios*

Debido a estas limitaciones, en 1931 la CIE definió tres medidas arbitrarias e imaginarias, X, Y y Z, como estímulos de color de referencia, escogiéndolas a partir del criterio de un análisis colorimétrico más fácil. Con estas tres medidas se pueden representar todos los colores reales a través de la mezcla aditiva. Estas medidas se denominan 'valores triestímulos CIE' y el espacio de color 'espacio de color XYZ CIE'.

La transformación de los estímulos de color de referencia RGB en los estímulos de color de referencia XYZ tuvo lugar con las siguientes características:

- Debían eliminarse los valores negativos de las ecuaciones (en ese momento era extremadamente complicado procesar los valores negativos electrónicamente)
- Definición de un nuevo sistema con tres estímulos de color de referencia 'imaginarios'  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ -para que el lugar de los estímulos de color espectrales cayera en un triángulo que se definiera mediante estos tres estímulos de color de referencia
- La función  $\bar{y}$  se seleccionó y calculó de tal modo que se correspondiera con la función de sensibilidad luminosa (CIE 1924) y por tanto pudiera simplificar los cálculos
- La función  $\bar{z}$  se igualó a cero para la mayor parte del rango espectral visible para así simplificar los cálculos también en este campo
- Los cálculos se realizaron tanto para una fuente de luz con una radiación continua como para todo el rango espectral, para que las áreas de las funciones  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ -fueran iguales.

Las funciones resultantes se denominan funciones colorimétricas CIE- $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ . Éstas no son funciones reales en el sentido estricto de la palabra, sino que representan al observador estándar promedio.



Funciones colorimétricas  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ - del observador estándar CIE31 (2°)

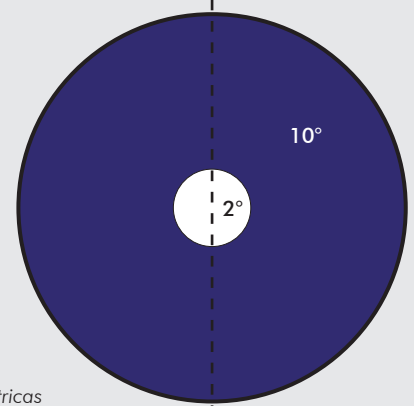
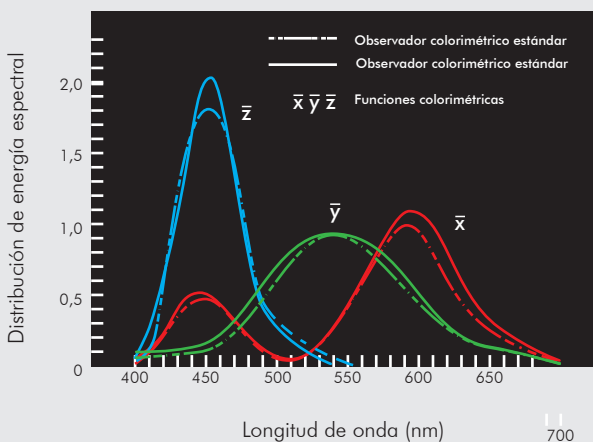
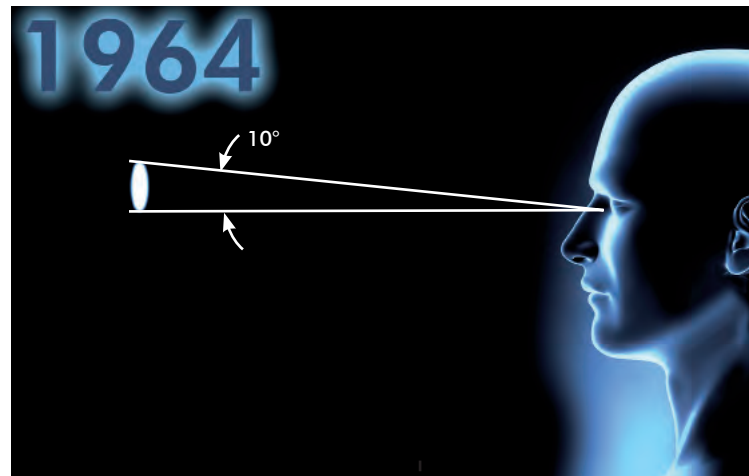
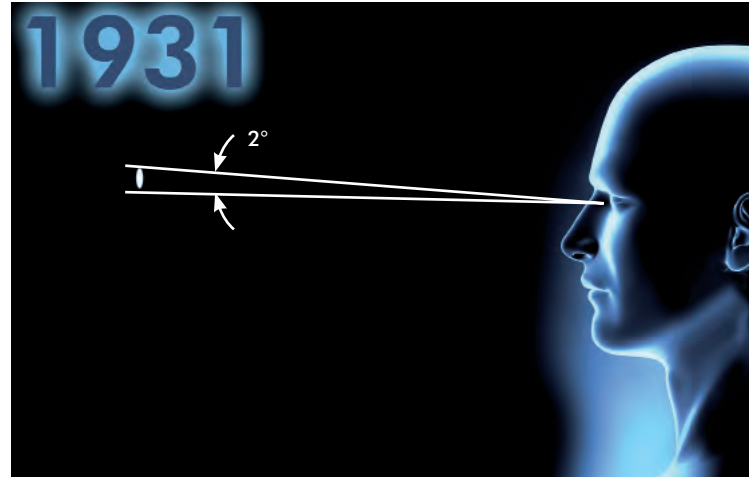
## El observador colorimétrico estándar CIE 1964 (10°)

Para que el tipo de percepción humana pudiera integrarse de forma controlada en un resultado de medición fue necesario definir un estándar para la visión humana. Esta visión normalizada se definió en los denominados observadores colorimétricos estándar CIE.

El observador colorimétrico estándar CIE 1931 (2°) se remonta a un experimento realizado para determinar la percepción promedio del color por parte de un observador humano. En este experimento se tuvo en cuenta que los humanos perciben los colores con la mayor exactitud cuando los mismos inciden en el área del ojo donde la vista es más aguda (fóvea, mancha amarilla). En estado de observación normal de una muestra de color, esta zona se desvía aproximadamente 2° del eje óptico del ojo. Por tanto se determinó que el ángulo con el cual el observador estándar observa debe ser de exactamente 2°. Esto se corresponde con un campo visual del tamaño de una moneda de 1 euro que se sujeta al frente con el brazo extendido.

Sin embargo, el campo visual normal de la percepción humana es mayor que esta zona de 2°. Además, Jacobsen (1948) y Judd (1949) consiguieron probar que los cálculos colorimétricos realizados tomando como base el ángulo de 2° no se correspondía de forma totalmente correcta con las observaciones reales en el ámbito de las longitudes de onda cortas (en especial en el caso del violeta). En consecuencia, en 1960 la CIE propuso otro ángulo de observación normalizado, el de 10°. Éste se corresponde con un campo visual del tamaño de una hoja DIN A4 a una distancia de observación normal de 30 cm. Por último, en el año 1964 la CIE estableció definitivamente como norma las funciones colorimétricas  $\bar{x}_{10}$ ,  $\bar{y}_{10}$ ,  $\bar{z}_{10}$  de este nuevo observador estándar.

O campo de visão do segundo observador corresponde ao tamanho da moeda de 1 euro que você segura com o braço esticado à sua frente.



Funciones colorimétricas  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  del observador estándar CIE 1964 (10°)

Observador colorimétrico estándar CIE 1964 (10°)  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  - Funciones colorimétricas



### Cálculos colorimétricos de los valores triestímulo XYZ del sistema CIE 31

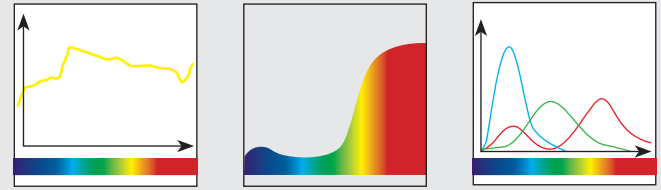
Aplicando las funciones colorimétricas normalizadas  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  del observador estándar se puede transformar la curva espectral en 3 valores, los denominados valores triestímulo XYZ. Con ayuda de estos valores triestímulos se puede determinar el color de un objeto o de una fuente de luz a partir de tres medidas.

**Un ejemplo:** cálculo del valor triestímulo X de una

especificación del estímulo de color. Para ello se multiplica para cada longitud de onda del rango espectral visible el valor de la función colorimétrica  $x$  por el valor de la distribución de energía espectral  $S$  de un tipo de iluminante estándar con la misma longitud de onda. Este cálculo se realiza para cada incremento de la longitud de onda seleccionado ( $d\lambda$ ) en todo el rango espectral (400 nm – 700 nm). A continuación se computa la suma de los productos así calculados para todas las longitudes de onda ( $\lambda$  de 400 – 700 nm).

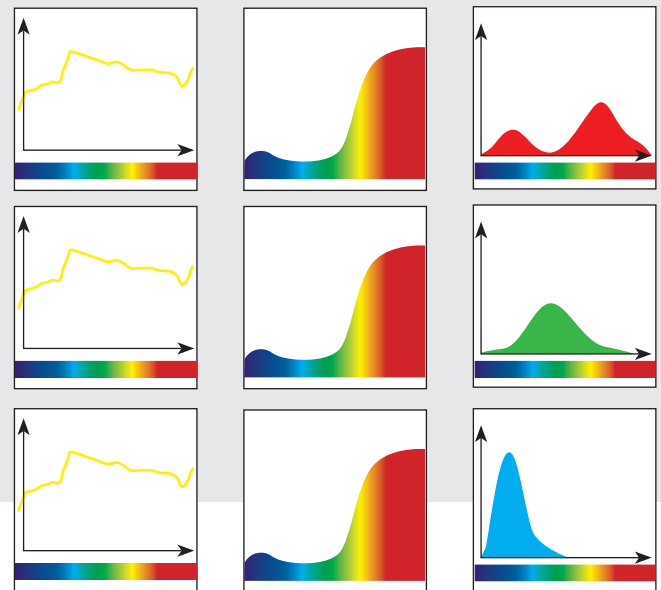


= percepción del color



= descripción colorimétrica

$$X = \sum_{400}^{700}$$



Para realizar una clasificación única del color necesitamos:

1. La distribución de la radiación del iluminante (E)
2. La remisión física dependiente de la longitud de onda / el grado de reflexión del objeto (R)
3. Los estímulos del observador / la función colorimétrica del observador estándar

Para calcular la especificación del estímulo de color de un objeto cromático se iguala la radiación  $S(\lambda)$  al producto  $E(\lambda) \cdot R(\lambda)$  en cada longitud de onda, es decir, la radiación de la fuente de luz  $E(\lambda)$  que ilumina un objeto, se reduce en el porcentaje del grado de reflexión de dicho objeto, en concreto para cada incremento de la longitud de onda ( $\Delta\lambda$ ).

Por tanto, la fórmula matemática para el valor triestímulo X del objeto cromático es:

$$X = \sum_{400}^{700} E(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Siendo

E = la radiación de la fuente de luz (iluminante)

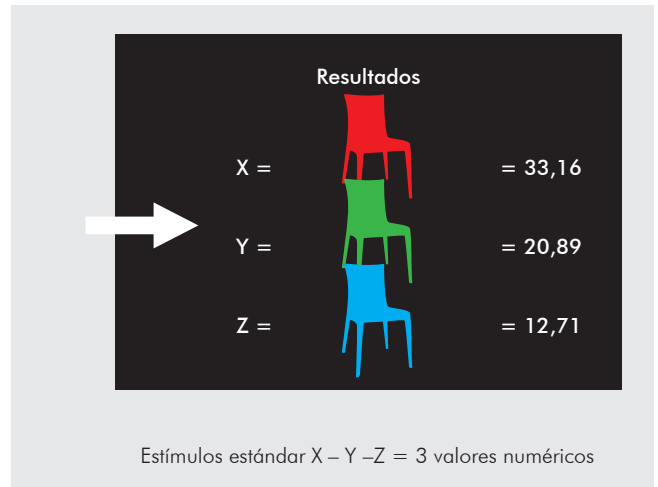
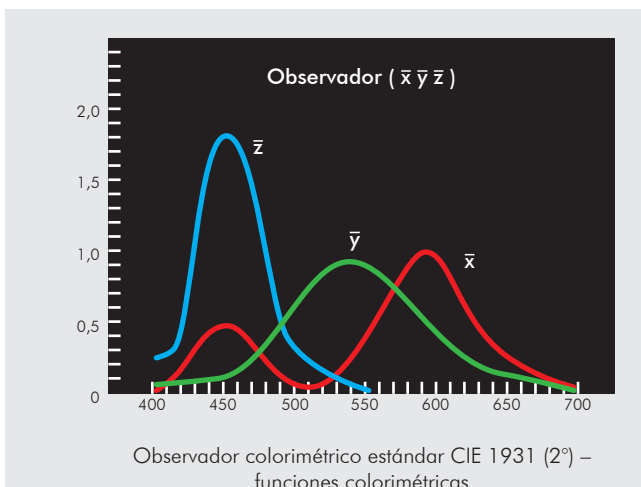
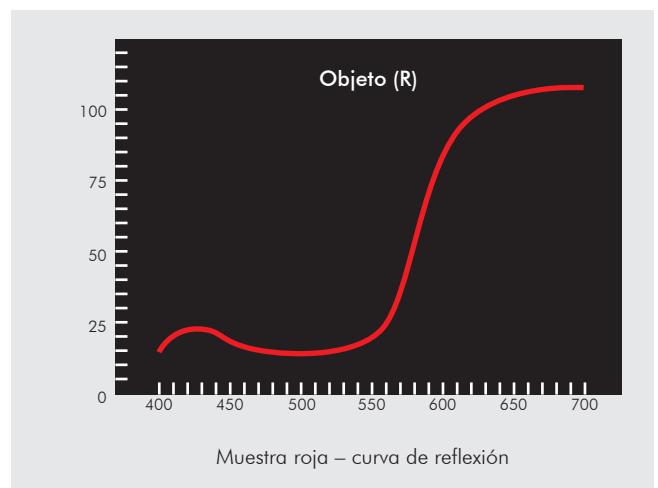
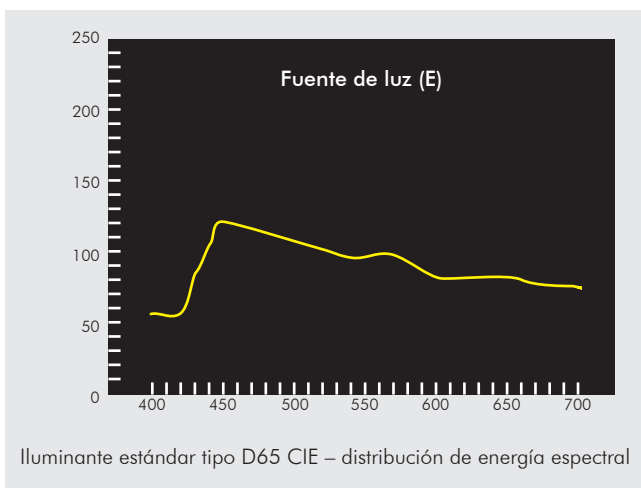
R = el grado de reflexión del objeto

$\bar{x}$  = la función colorimétrica del observador estándar

$\lambda$  = el símbolo para la longitud de onda

Si  $(\lambda)$  se encuentra detrás de otros símbolos, significa que dichos símbolos dependen de la longitud de onda.

Por consiguiente, al calcular Y y Z se procede del mismo modo.



Distribución de Energía Espectral (E) x factores de reflexión (R) x funciones colorimétricas (x, y, z) = 3 valores triestímulo (X, Y, Z)

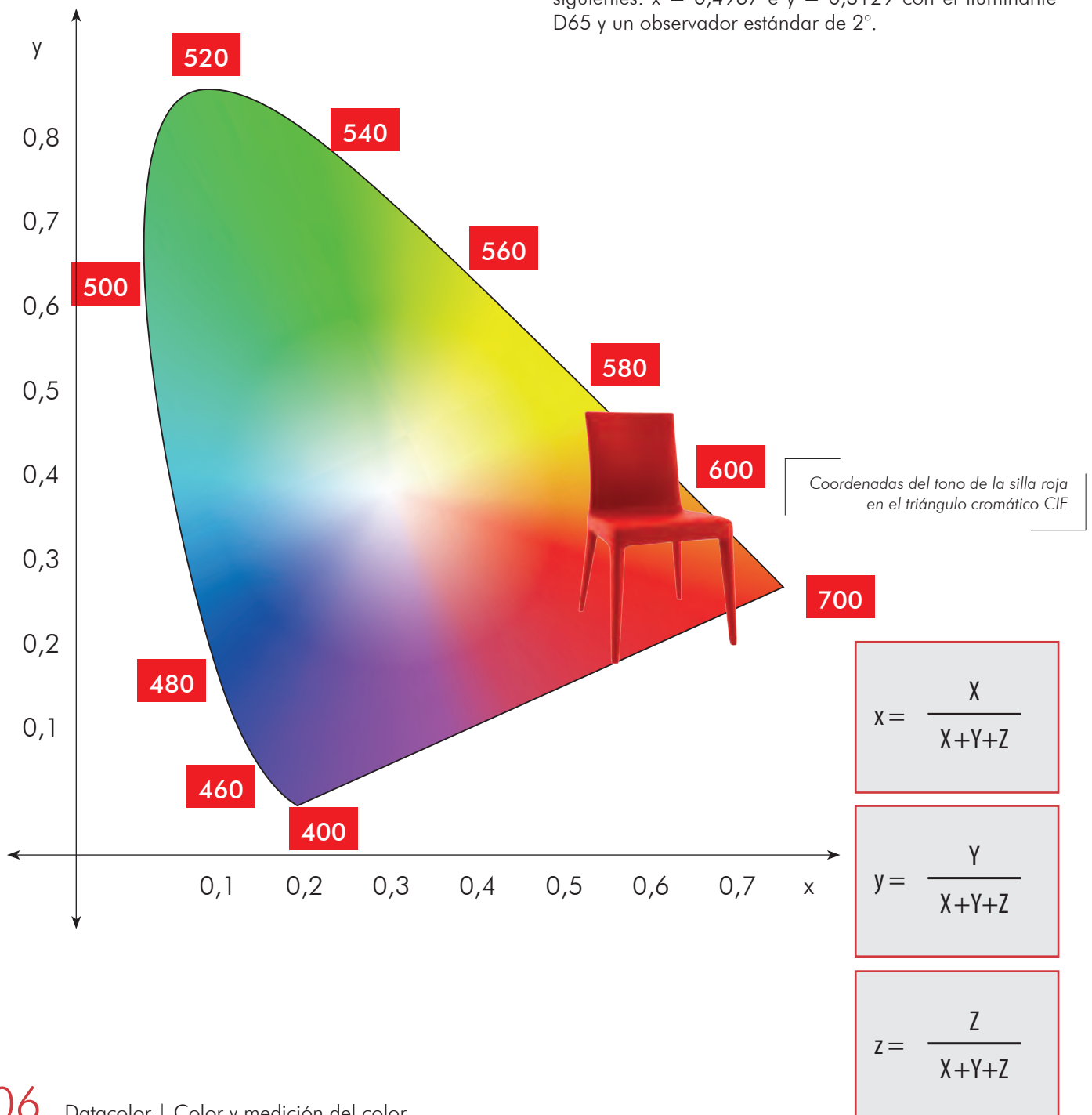
El principio de cálculo de los valores triestímulos XYZ

## El diagrama de cromaticidad según el sistema colorimétrico estándar CIE 31.

Con ayuda de los valores triestímulos XYZ del sistema colorimétrico estándar CIE 1931 se puede determinar el color de forma extremadamente precisa. Sin embargo, la correlación con la apreciación visual suele ser muy difícil. Incluso cuando el valor triestímulo Y se corresponde relativamente bien con la percepción de la luminosidad, los valores X y Z sólo se pueden aproximar con mucha dificultad a los criterios de tono y saturación de la percepción visual del color.

Para poder representar de un modo más claro (por

cromaticidad) el espacio de color tridimensional que el observador percibe se desarrolló el diagrama de cromaticidad estándar bidimensional CIE. Con él se pueden determinar las especificaciones de los estímulos de color separadas de la luminosidad. Para ello, la CIE introdujo las denominadas coordenadas de cromaticidad x, y, z, según las cuales se utilizan x e y para determinar la cromaticidad. La "x minúscula" es la proporción relativa de rojo y la "y minúscula" es la proporción relativa de verde (la z es innecesaria ya que  $z = 1 - x - y$ ). Las coordenadas de cromaticidad del zapato de nuestro ejemplo son las siguientes:  $x = 0,4967$  e  $y = 0,3129$  con el iluminante D65 y un observador estándar de 2°.





Para la representación gráfica, la CIE propuso un sistema de coordenadas con  $x$  como abscisa e  $y$  como ordenada. Las coordenadas de cromaticidad de los colores puros del rango espectral visible describen una curva cóncava en forma de "herradura". Se la denomina 'lugar de los estímulos (de color) espectrales'. En la zona interior de la "herradura", también denominada triángulo cromático, están representados todos los colores posibles (cuando hay luz). Cada punto de color sobre esta área tiene una cromaticidad distinta. Los tonos verdes y azules se encuentran en la zona superior del triángulo cromático, los tonos violeta abajo a la izquierda y los tonos rojos abajo a la derecha. La recta de unión entre el violeta y el rojo se denomina 'límite púrpura' (el púrpura no es un color espectral). El área que se abarca de este modo contiene los tonos de todas las cromaticidades reales.

En el centro del área se encuentra el punto acromático neutro ( $x=0,333$ ,  $y=0,333$ ) de una fuente de luz con una radiación con la misma energía, también denominado 'punto blanco'. El punto blanco se modifica de acuerdo con el iluminante utilizado, porque cada iluminante tiene una composición espectral diferente. En la zona, el iluminante A (luz de bombilla) es mucho más amarillo / naranja que los otros iluminantes. El iluminante D65 (luz diurna) es más blanco y se encuentra cerca de la zona central.

Para determinar y clasificar un color más fácilmente en el diagrama de cromaticidad estándar CIE31, en lugar de las coordenadas de cromaticidad también se pueden definir la longitud de onda dominante y la saturación de un color. Este método permite determinar un color a partir del tono y la saturación, como en el caso de la clasificación visual. En esto radica la ventaja de este método. La longitud de onda dominante es la longitud de onda que se corresponde con la mezcla aditiva del color de aquel color que se está buscando. Describe el tono de un punto de color puro. La saturación es la proporción porcentual del color puro en la mezcla. La mayor saturación es igual a 1 y se corresponde con la del color puro. Una saturación de 0 se corresponde con el color del iluminante (luz blanca). La mayor saturación se encuentra en el lugar de los estímulos espectrales, mientras la menor se encuentra en el punto acromático central.

## Conclusion – notes

En resumen podemos afirmar hasta el momento que el color de un objeto, p. ej. de una muestra roja, se puede determinar de forma inequívoca con ayuda del sistema colorimétrico estándar CIE31 a partir de tres medidas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  y teniendo en cuenta el iluminante estándar y el observador estándar CIE 1931.

El sistema colorimétrico estándar CIE31 es la base científica de la medición del color moderna. En este sistema se basan todos los trabajos e investigaciones para el desarrollo de nuevas fórmulas colorimétricas llevados a cabo desde 1936 hasta la fecha. Y a pesar de que permitió determinar un color de forma extremadamente precisa a partir de tres medidas, nunca ha cesado de ser objeto de numerosos estudios y mejoras. En los próximos capítulos trataremos algunos de ellos.



# Los espacios de color

## Información general

La totalidad de estímulos de color que la vista puede percibir conforma un espacio estructurado. Según su definición, un espacio es una extensión infinita que contiene y circunda todos los objetos.

Los espacios de color ayudan a definir los colores a partir de números, ofreciendo así un criterio objetivo para clasificar los colores. Además, también sirven para representar y determinar las diferencias de color. Esta característica se utiliza para definir la aceptación.

Hoy día existe una gran cantidad de atlas de color y catálogos de colores en los más diversos formatos. La estructura de cada uno de ellos se crea a partir de un enfoque creativo propio y no puede definirse mediante un modelo matemático.

La aparición de la medición del color en el año 1931 permitió describir con precisión la estructura de todos los colores perceptibles y definir los límites para su uso.

## Historia: desarrollo desde 1905 hasta 1976

A principios del siglo XX Albert Henry Munsell desarrolló un sistema de color a partir de una base científica. Munsell definió los colores a partir de las propiedades mensurables tono, luminosidad y saturación, y los clasificó correspondientemente de forma tridimensional. En 1905 publicó *A Color Notation*, obra en la que describía su sistema. En 1915 apareció en el mercado el primer atlas de color que reproducía el espacio de color tridimensional desde diversas perspectivas.

El atlas de color de MUNSELL se orientaba a la percepción del color por parte del observador humano y presentaba:

- Una estructura ópticamente armoniosa (espacio de color homogéneo) y
- Un método para determinar el color recíprocamente según el cual cada color sólo puede ocupar un único espacio.

En comparación, el sistema colorimétrico estándar CIE31 parte de las propiedades físicas de la luz. Con el sistema CIE se persigue estandarizar y normalizar los colores luminosos y sus fuentes, así como los colores no luminosos. En este sistema no se tiene en cuenta la uniformidad perceptual de los colores. MacAdam (1942) consiguió probar esta asimetría del espacio de color CIE31 con sus experimentos sobre la percepción visual de los colores. Bajo unas condiciones de iluminación constantes un observador debía observar 2 colores. Uno de estos colores estaba fijo, y el observador tenía que ajustar el otro para que fuera idéntico al color de prueba. El experimento se realizó con 25 colores de prueba diferentes del diagrama CIE31. Todos los colores que los observadores ajustaron se encontraban en una elipse que transcurría alrededor del color de prueba original, aunque la forma y la dirección de las elipses eran muy distintas según el color.

David L. MacAdam

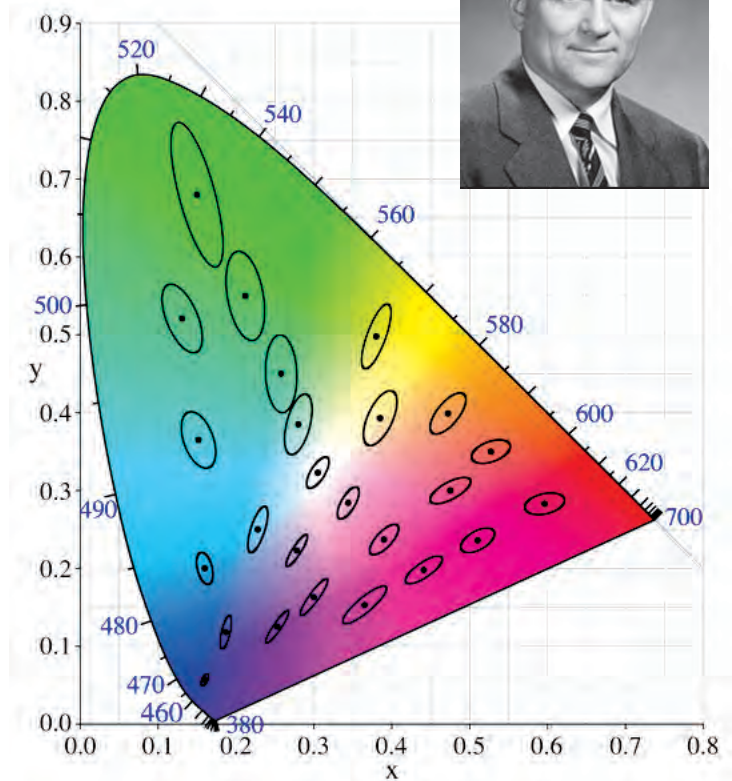


Diagrama de color CIE con elipses de MacAdam

## El espacio de color CIE Lab. Definiciones y propiedades

Esto llevó a la CIE a desarrollar transformaciones matemáticas para el espacio de color CIE31, con el fin de obtener así un espacio de color homogéneo.

Posteriormente, en 1976 la CIE recomendó dos nuevos sistemas, los espacios de color CIE Luv y CIE Lab. Para diferenciarlos de otros sistemas (en especial del sistema Hunter) se adjudicó un \* a todos los parámetros utilizados (p. ej.  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

El sistema CIE Luv se utiliza más bien para mezclas aditivas de color, como p. ej. la evaluación de los colores luminosos de escáneres y monitores. El sistema CIE Lab se limita a la investigación de los colores no luminosos.

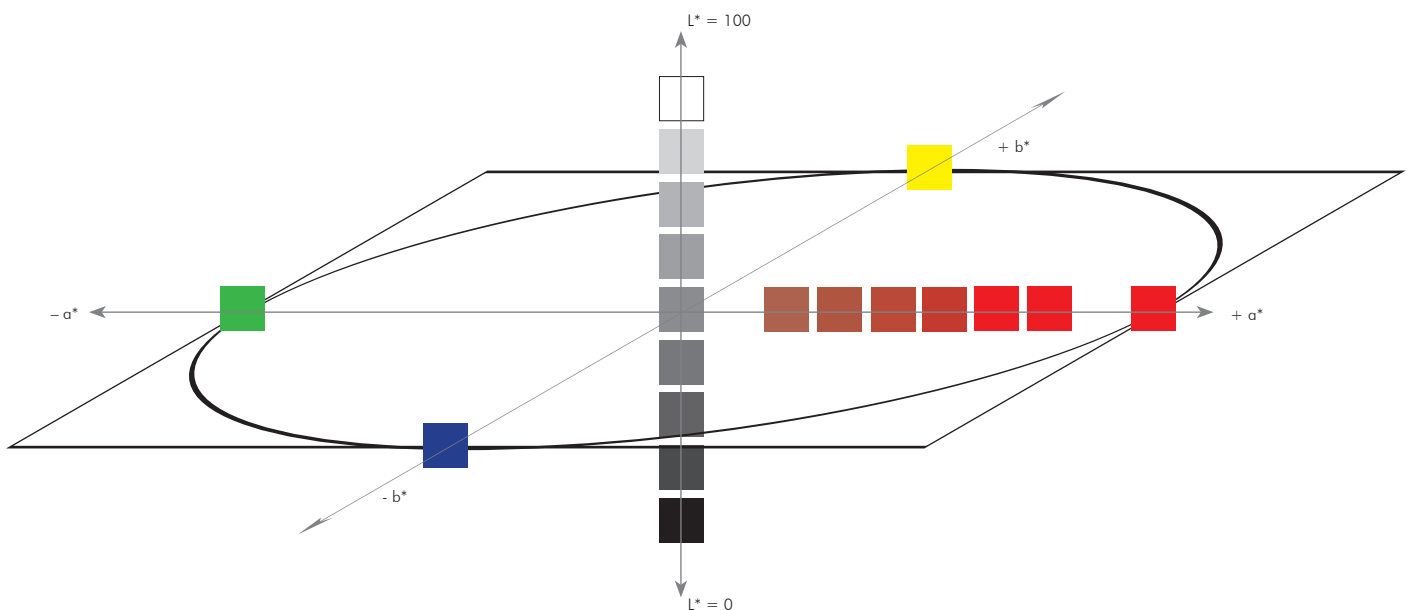
Hasta la fecha, este es el más utilizado en las aplicaciones de la medición del color. Por este motivo, a continuación lo analizaremos con más detalle.

El espacio de color CIE76, también conocido como espacio de color CIE Lab o sistema CIE Lab, se basa en una transformación no lineal del espacio de color X, Y, Z (CIE31). Con el desarrollo del sistema CIE Lab la CIE perseguía dos metas:

- Definir un espacio de color en el que unas distancias geométricas iguales se correspondieran con unas distancias perceptuales iguales y
- Desarrollar un sistema de interpretación mucho más sencillo en el cual uno se pudiera orientar con mayor facilidad.

Por tanto, el espacio de color CIE Lab es de distribución uniforme e independiente de los dispositivos. Todo color perceptible en el espacio de color se define mediante el tono con las coordenadas  $\{L^*, a^*, b^*\}$ . Si aplicamos la teoría de los procesos opuestos, en este caso el verde y el rojo se encuentran uno enfrente del otro sobre el eje  $a^*$ . El eje  $b^*$  corresponde a los colores opuestos azul y amarillo. El eje  $L^*$  se encuentra en perpendicular a este plano y reproduce la luminosidad. El eje  $L^*$  también puede denominarse 'eje gris neutro' porque posee los extremos negro ( $L=0$ ) y blanco ( $L=100$ ) y en él los valores intermedios son los tonos grises.

*El espacio de color CIE Lab: el método de determinación.*



La fórmula para la transformación y cálculo del espacio de color CIE76 (CIELab) tomando como base XYZ (CIE31) es la siguiente:

Valores triestímulo :  $L^* a^* b^*$

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \quad \text{für } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856 \quad a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right]$$

$$L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \quad \text{für } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856 \quad b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

dónde

■ Si  $\frac{X}{X_n} > 0.008856$ ,  $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}}$ , más  $f\left(\frac{X}{X_n}\right) = 7.787 \left(\frac{X}{X_n}\right)$

■ Si  $\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$ ,  $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}}$ , más  $f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = 7.787 \left(\frac{Y}{Y_n}\right)$

■ Si  $\frac{Z}{Z_n} > 0.008856$ ,  $f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}}$ , más  $f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = 7.787 \left(\frac{Z}{Z_n}\right)$

Los valores  $X_n, Y_n, Z_n$  son los valores triestímulo de un blanco absoluto (estímulo de color acromático ideal) de un color no luminoso en el correspondiente iluminante estándar CIE (p. ej. D65 o A). Bajo estas condiciones,  $X_n, Y_n, Z_n$  son valores triestímulo del iluminante estándar, donde  $Y_n$  es igual a 100.

Por ejemplo: para D65/10°:

$X_n = 94.81$   
 $Y_n = 100.00$   
 $Z_n = 107.304$

Para describir las diferencias de color con ayuda de los factores de correlación luminosidad, croma (saturación) y tono, se pueden utilizar los siguientes conjuntos definidos:

■ **Luminosidad CIE76:  $L^*$**

La magnitud  $L^*$  se define mediante la siguiente relación:

$$L^* = 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 \quad \text{für } \frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$L^* = 903.3 \left(\frac{Y}{Y_n}\right) \quad \text{für } \frac{Y}{Y_n} \leq 0.008856$$

■ **Saturación – croma CIE76:  $C^*$**

La magnitud  $C^*$  se define mediante la siguiente relación:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

■ **Ángulo de tono CIE76:  $h$**

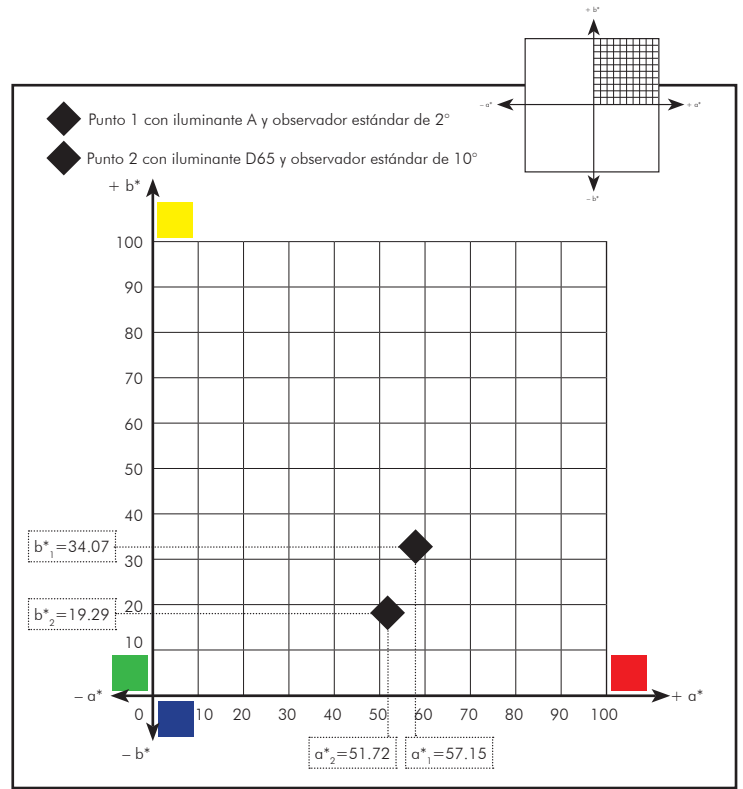
La magnitud  $h$  se define mediante la siguiente relación:

$$h = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Además, el espacio de color CIE Lab posee las propiedades de un espacio euclídeo. Cada uno de sus puntos puede describirse mediante:

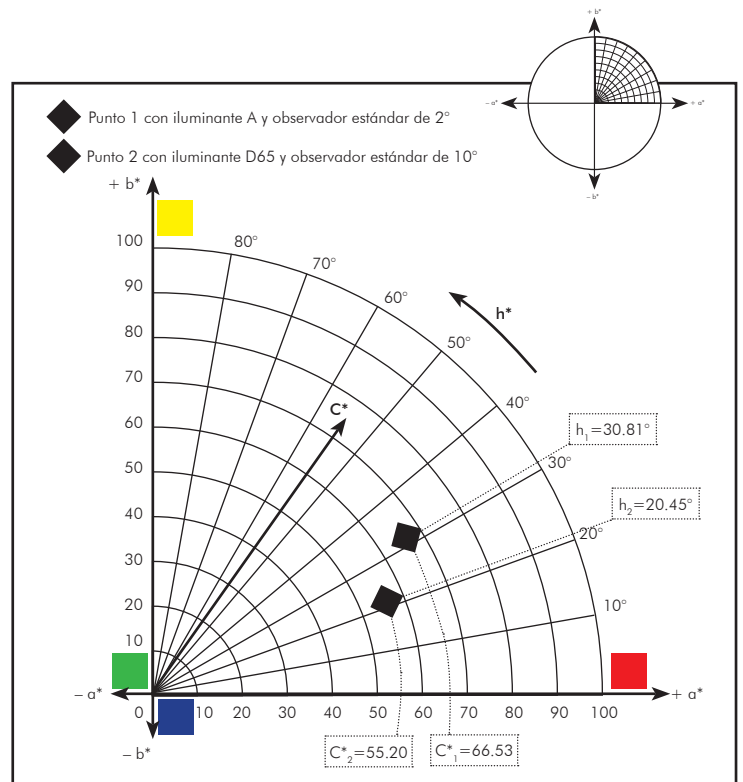
- sus coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  aplicadas perpendicularmente siendo
  - $L^*$  la luminosidad
  - $a^*$  la especificación del estímulo de color rojo-verde
  - $b^*$  la especificación del estímulo de color amarillo-azul

*Situación de los puntos de color en coordenadas  $L^*$   $a^*$   $b^*$  del sistema CIE Lab representadas perpendicularmente*



- O mediante sus coordenadas  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h^*$  aplicadas cilíndricamente, siendo
  - $L^*$  la luminosidad
  - $C^*$  el croma o la saturación
  - $h^*$  el ángulo de tono o el tono.

*Situación de los puntos de color en coordenadas  $L^*$   $C^*$   $h^*$  del sistema CIE Lab representadas cilíndricamente*

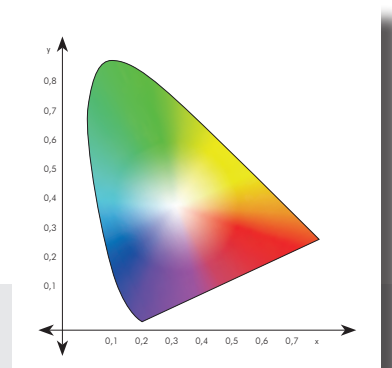
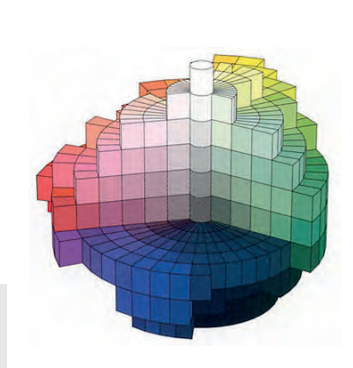
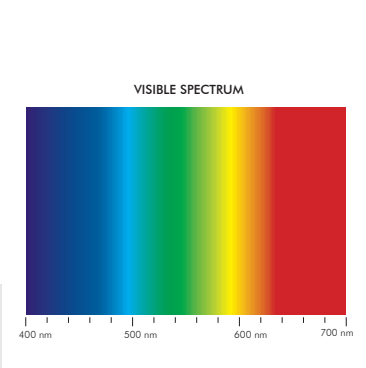


La transformación implica que para el espacio de color CIE Lab no haya diagramas de cromaticidad. En el plano de color definido mediante los valores  $a^*$ ,  $b^*$  o  $C^*$ ,  $h^*$ , los colores ya no pueden adicionarse.

El espacio de color CIE Lab se estructura de forma aproximadamente perceptual (¡no absoluta!); se corresponde estadísticamente con la percepción visual del color por parte del ser humano. Así, no es estrictamente uniforme en el análisis desde el punto de vista de la percepción psicológica de los colores, pero simplifica la interpretación de un punto de color y de las desviaciones colorimétricas.

## Del color a la medición del color

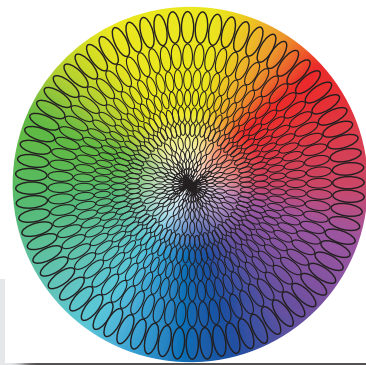
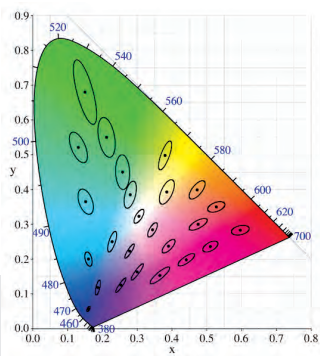
En los capítulos anteriores hemos analizado el desarrollo de la medición del color, desde la evaluación visual hasta la determinación de un color a partir de los sistemas colorimétricos estándar CIE31 y CIELab 1976. En estos casos siempre hemos considerado el color de forma individual o aislada. En los próximos capítulos trataremos la evaluación de las diferencias entre dos o más colores y de la aceptación de los colores.



Antes de la medición del color		
siempre	1905-1915	
idioma	atlas de Munsell	CIE31
"rojo" "fuerte" "claro"	muestra 2,5 R 5/12	X = 33,16 Y = 20,89 Z = 12,71  para D65 / 2°
vocabulario limitado	determinación comparable	primer cálculo
decisión tomada por el hombre		



Del color... a la medición del color  
De la terminología técnica... al espacio de color CIE  
1931... y al espacio de color CIELab 1976



### Con la medición del color

1931	1976	
triángulo cromático	espacio de color CIELab	
$x = 0,4967$ $y = 0,3129$ $L_1$ dominante = 628 nm densidad luminosa = 46,9 % para D65 / 2°	$L^* = 52,15$ $a^* = +51,72$ $b^* = +19,29$ para D65/10°	$L^* = 52,15$ $C^* = 55,20$ $h = 20,45^\circ$ para D65/10°
primera determinación objetiva	determinación mediante coordenadas representadas perpendicularmente	determinación mediante coordenadas representadas cilíndricamente
cálculo colorimétrico		

## Lista de referencias

- Farbe sehen, Corinna Watschke, 01.2009 [[www.planet-wissen.de](http://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](http://www.farbmeterik-gall.de)]
- Farbabstandsformeln, 2012, Fogra Forschungsgesellschaft Druck e.V. [[www.fogra.org](http://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](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](mailto:marketing@datacolor.com) | [www.datacolor.com](http://www.datacolor.com)

### **Texto:**

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

[www.hiller-direct-marketing.de](http://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