

# QZ

Quintessenz Zahntechnik

Separata

## La determinación del color del diente

**Andres Baltzer, Vanik Kaufmann-Jinoian**

Volumen 30 / Julio de 2004

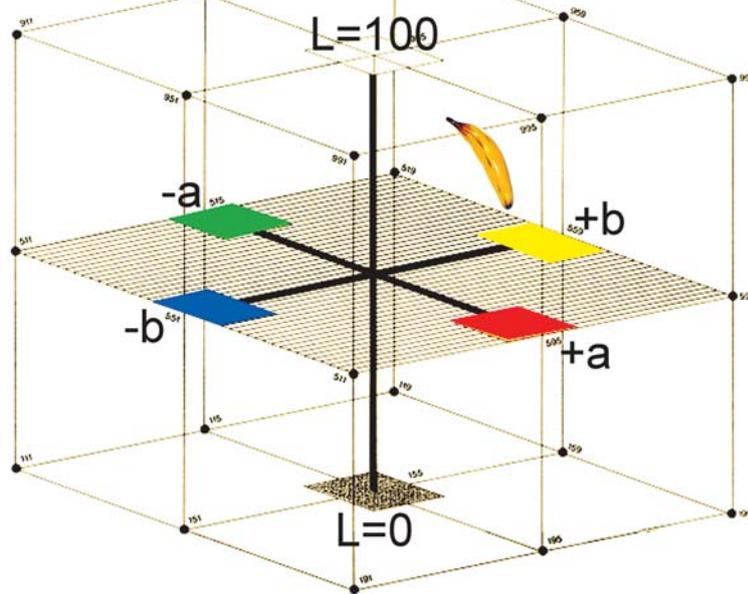
# 7/2004

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

CIE (1976)

Sistema  $L^*a^*b^*$



### Resumen

Con el objetivo de alcanzar una sistematización y una precisión aún mayor al determinar el color dental, se desarrolló el sistema VITA SYSTEM 3 D-MASTER®. Este sistema se basa en la incorporación sistemática de la cromatología moderna. El conocimiento del desarrollo de un espacio cromático en el que se determinan numéricamente las diferencias de color facilita la comprensión del espacio cromático en el que se encuentran todos los colores dentales existentes en la naturaleza. El VITA SYSTEM 3D-MAS-TER® divide este espacio cromático en cinco grupos de luminosidad. Durante el proceso de determinación del color, se adjudica en primer lugar el grupo de luminosidad correspondiente, determinando a continuación, y dentro del mismo grupo, el resto de características cromáticas.

## La determinación del color del diente

Andres Baltzer, Vanik Kaufmann-Jinoian

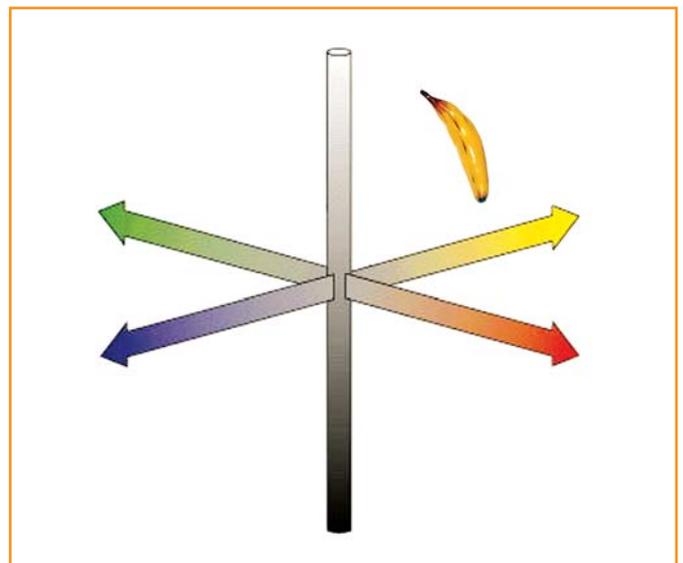
Seguramente no habrá nadie a quien le resulte difícil resolver nuestro pequeño problema gráfico de la figura 1: se ven cuatro flechas de colores saliendo de un palo vertical y un plátano. La construcción puede compararse con un poste indicador. Quedémonos por un momento con la idea del poste. Las flechas salen del centro de éste, que se hace más claro a medida que aumenta su altura, y señalan en las direcciones de diferentes colores. El plátano se encuentra a una altura en la que el poste ya es bastante claro, orientándose en la dirección del amarillo y del rojo. Si un caminante va desde el poste hasta el plátano, llegará a una zona en la que dominan los colores entre rojo claro y amarillo claro.

Fig. 1: Indicador de color: en un poste que se hace más claro a medida que aumenta su altura, hay cuatro flechas de un color cada vez más intenso señalando en las cuatro direcciones cardinales en los colores azul, rojo, amarillo y verde. El plátano se halla entre el rojo y el amarillo, en la zona clara del poste vertical, y simboliza el espacio cromático que abarca todos los colores dentales existentes en la naturaleza.

### Palabras clave

CEREC, CAD/CAM, VITA SYSTEM 3D-MASTER, colores dentales, cromatología

### Introducción



### Los sistemas cromáticos $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$

Fig. 2 (página de al lado)  
El espacio cromático  $L^*a^*b^*$  con el eje de luminosidad vertical L (value) y los ejes horizontales de color a y b. Estos últimos definen el plano del color, en el que la intensidad cromática (chroma) aumenta radialmente hacia fuera a partir de la ausencia de color central. Los colores (hue) se hallan en forma de mezclas pasando del azul al rojo, amarillo y verde en el plano del color en torno al eje central incoloro. En los planos cromáticos más altos los colores aparecen más claros; en los planos más bajos, más oscuros. El plátano marca la posición y la forma del espacio cromático de los dientes naturales.

Quien trabaja día tras día con los colores, como es el caso del protésico dental y del odontólogo, ve en la imagen del poste indicador con el plátano algunas relaciones. En las cuatro direcciones de color y en la luminosidad creciente hacia arriba y decreciente hacia abajo reconoce una variedad forjada en la fantasía del espacio cromático tridimensional llamado sistema  $L^*a^*b^*$  en la colorimetría (Fig. 2).

En este espacio se encuentran todos los colores visibles para el ojo humano. A media altura del eje central vertical, blanco y negro, se divide un plano horizontal de color (gris) en el que se encuentran los colores verde y rojo (eje a) y azul y amarillo (eje b) señalando en las cuatro direcciones principales. No están representadas en la imagen las mezclas de colores, que se encuentran entre los colores principales y completan el plano cromático. En este plano cromático se desarrollan los colores desde el eje blanco y negro central incoloro hacia la periferia, ganando progresivamente en saturación (intensidad). Cuanto más alto esté localizado el plano cromático en el eje blanco y negro vertical, más claros parecen estos colores; cuanto más desciende, más oscuros resultan los colores.

El plátano representa aquella zona del espacio cromático en la que se encuentran los colores dentales naturales. La forma del plátano simboliza las relaciones naturales: los diversos colores dentales se distinguen mayormente por su luminosidad, por lo que el espacio cromático dental se extiende verticalmente en relación con el eje de luminosidad, estirándose de forma similar a un plátano. Más arriba se encuentran los dientes más claros; más abajo, los dientes más oscuros. Los colores dentales más intensos se hallan en la curvatura externa del plátano, más alejada del eje central L incoloro; los dientes con un matiz rojizo se orientan hacia el eje a; los dientes con un matiz amarillento, hacia el eje b.

El interesante origen del sistema cromático  $L^*a^*b^*$  forma parte de la historia cultural europea. Tratando este punto, es grande la tentación de adentrarse en los aspectos físicos, neurofisiológicos y psicológicos de las diversas teorías y sistemas de los colores.

Sin olvidar queda el rechazo rotundo de *Goethe* de los conocimientos físicos presentados por Newton 50 años antes y que ya habían sido aceptados en círculos científicos. "Wer aber das Licht in Farben will spalten / Den muß du für einen Affen halten ...", ["A quien quiere dividir la luz en sus colores, a éste debes considerar un petimetre..."] sentenció el poeta, considerando necesario oponerse en sus versos al visionario físico. Durante 200 años, físicos, fisiólogos y filósofos escribirían como mínimo una vez en su vida un ensayo o un discurso sobre esta polémica incomprensible levantada por *Goethe* contra Isaac Newton. Tan sólo los conocimientos de la investigación moderna acabarían con este tema permanente del discurso científico. 200 años más tarde, *Goethe* probablemente no habría entrado en este debate con la óptica física. Los conocimientos actuales cierran la zanja entre la física por un lado y las percepciones cromáticas por otro. La relación entre las cosas es mucho más estrecha de lo que se podía pensar en la época de *Goethe*.

En las primeras décadas del siglo XX se hizo cada vez más patente el deseo de establecer un método objetivo para determinar el color. Se buscaba un sistema cromático que contara, por un lado, con la capacidad del ojo humano de detectar la coincidencia de colores, y que representara, por otro lado, una construcción matemática con la que fijar la posición del color a determinar en relación con cualquier color primario.

Como la comparación de una muestra de color a determinar con un patrón estándar es siempre un proceso subjetivo, se buscaba un sistema cromático independiente de

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

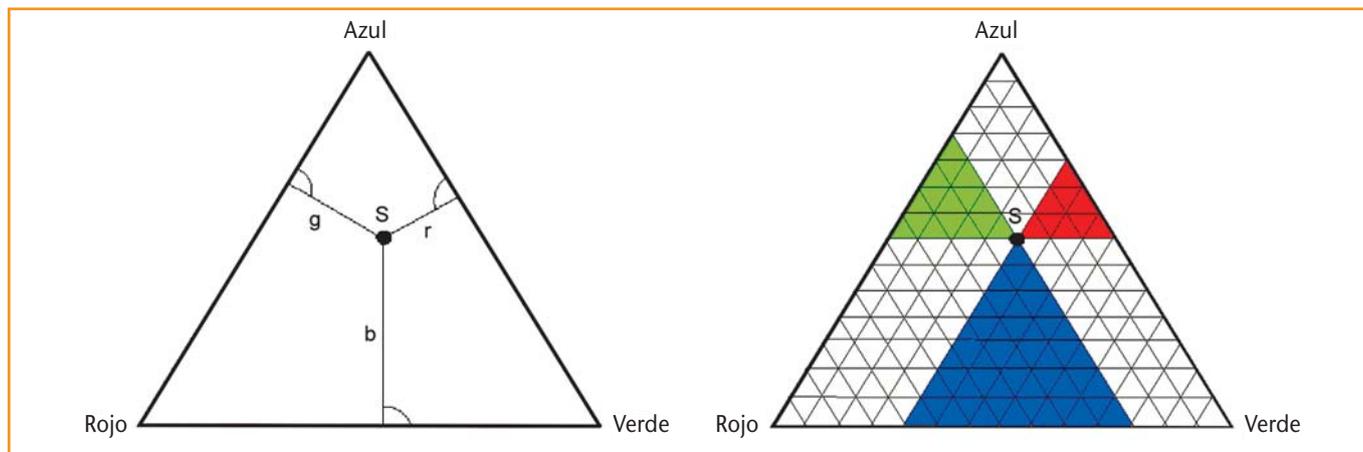


Fig. 3 izquierda: El triángulo RGB (Rojo-Verde-Azul, Red-Green-Blue en inglés) de Maxwell: cada color secundario se encuentra en centro de gravedad de la línea que une los colores a mezclar. Derecha: Representación gráfica de la composición cuantitativa de las proporciones correspondientes de rojo, verde y azul en el color secundario S.

patrones. Además, un patrón se vuelve más claro con el paso del tiempo, lo que le hace perder exactitud. Por tanto, la CIE (Commission Internationale d'Eclairage) recibió el encargo de desarrollar una tabla de colores normalizada, definida matemáticamente y que cumpliera con los deseos de precisión y objetividad.

El desarrollo de una tabla normalizada de estas características en forma de una construcción matemática se basa en el triángulo cromático del físico James C. Maxwell. Este físico escocés presentó en el año 1859 su "Teoría de la percepción del color", teoría que representa el origen de la medición del color (colorimetría). Maxwell demostró con ella que todos los colores son generados mediante la mezcla de los tres colores espectrales: rojo, verde y azul. Él adjudicó los tres colores principales: rojo (R, inglés "red"), verde (G, inglés "green") y azul (B, inglés "blue") a los vértices angulares de un triángulo isósceles y representó de esta manera que cualquier color secundario se halla en el centro de gravedad de la línea que une los colores a mezclar (fig. 3 izquierda). La proporción de cada color principal corresponde al área de su triángulo isósceles parcial, definido a su vez por el punto de localización del color secundario dentro del triángulo principal (punto S en la fig. 3) y el lado correspondiente al color en este mismo triángulo.

Las relaciones pueden representarse de manera todavía más comprensible mediante la reticulación del triángulo principal (fig. 3 derecha): en este triángulo RGB de Maxwell el color secundario S se compone de una porción roja de 9, una porción verde de 16 y una porción azul de 49 triángulos parciales. Si, por ejemplo, el punto S se localiza arriba del todo en el "ángulo azul", resulta como "color secundario" un azul puro, al no quedar ninguna parte para el rojo y el verde.

Las relaciones y distancias geométricas entre los colores en el triángulo RGB de Maxwell tienen un significado exacto y se basa en las siguientes mediciones psicofísicas: empleando fuentes luminosas estandarizadas, los probandos modifican la mezcla de rojo, verde y azul hasta que su percepción del color coincida con una muestra. Con ello intervienen tres factores en la percepción del color:

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

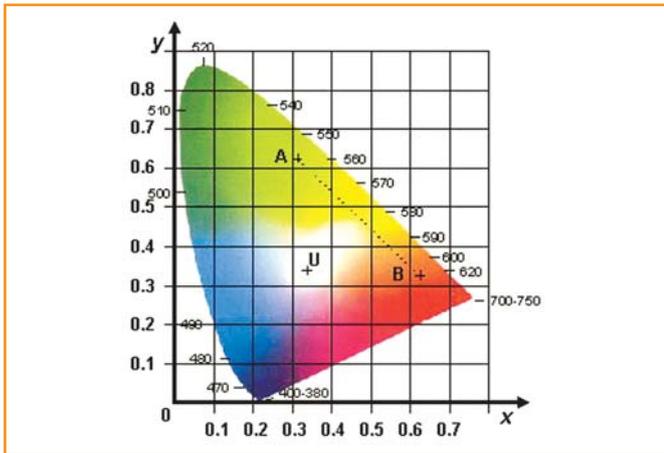


Fig. 4 Tabla de color normalizada (CIE 1931): los colores del espectro están dispuestos a modo de una herradura en torno al punto del blanco absoluto, el llamado punto acromático (U). El grado de saturación del color, es decir el colorido o cromatismo, aumenta hacia la periferia. Todos los puntos dentro de la herradura representan una variedad cromática. Trazando una recta de la variedad cromática A a la variedad B, sólo es posible generar mediante la mezcla aditiva de colores aquellas variedades cromáticas que se encuentran en la misma recta. Así, por ejemplo, no se puede crear una luz amarilla a partir de la mezcla entre las luces verdiazul y roja.

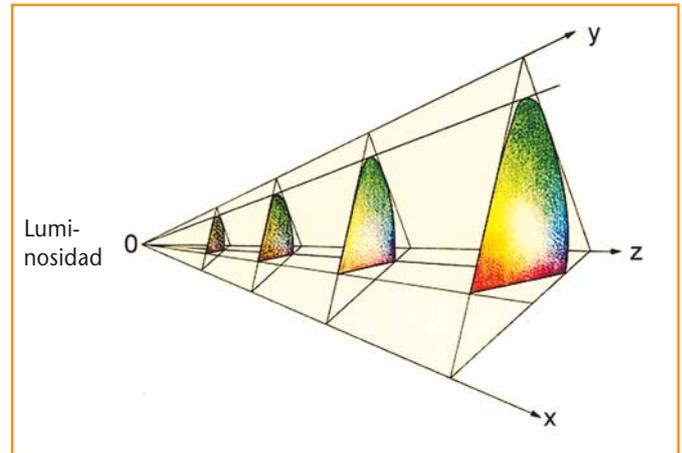


Fig. 5 Tablas de color normalizadas que representan los planos de luminosidad decreciente. Los diagramas muestran la apariencia de los colores cuando hay menos luz. Este espacio cromático se denomina sistema CIE-1931 o, por su forma, "cucurucho de color".

- El observador (definido como una persona con visión normal)<sup>1</sup>
- la fuente luminosa (definida por la temperatura cromática en °Kelvin)<sup>2</sup>
- el objeto (definido por su propia información cromática. Se eliminan todos los reflejos [reflexiones] de fuentes luminosas adicionales [luz deslumbrante])<sup>3</sup>

La mezcla en cuestión es definida por sus tres valores R, G y B, conocidos como "valores tricromáticos" (*valores triestímulo*). Con ello se proporcionan tres variables que caracterizan un color: la tonalidad (en inglés hue), la saturación (en inglés chroma) y la luminosidad o claridad (en inglés value). Al registrar los resultados experimentales en el triángulo, los colores rojo, verde y azul se hallan en los ángulos del triángulo y, en el interior del triángulo, todas las variedades de colores secundarios. En el interior del triángulo estas últimas desembocan en un punto del blanco puro.

Partiendo de esta base, la CIE desarrolló en 1931 el diagrama cromático (tabla normalizada, sistema estándar de valencias). Los antiguos valores tricromáticos RGB de Maxwell fueron formulados matemáticamente y sustituidos por los tres nuevos valores triestímulo X, Y, Z. En el anexo 4 se hace una breve referencia a esta modificación.

En el diagrama cromático resultante, el eje horizontal corresponde a los valores de X, y el eje vertical a los valores de Y (fig. 4). En el eje Z, el diagrama XY es sólo un plano en el espacio cromático, el cual recoge la percepción luminosa. Los planos que se localizan en el eje Z hacia el punto 0 representan colores de luminosidad decreciente. Esto significa que los diagramas correspondientes muestran la apariencia de los colores cuando hay menos luz. En la terminología científica, generalmente más bien sobria, este espacio cromático del sistema CIE-1931 recibe también el nombre de "cucurucho de color" (fig. 5).

<sup>1</sup> Los números volados en el texto hacen referencia al número correspondiente en el anexo, págs. 739 y 740.

Para la aplicación industrial no sólo tiene importancia la medición de los colores. Es fundamental la posibilidad de determinar con exactitud las diferencias entre ellos. La razón es evidente: un cliente que encarga a un fabricante un objeto deseado (por ejemplo un coche) en el color deseado (por ejemplo verde hielo) espera que el objeto encargado presente un color que coincida con un segundo color (ya existente), aceptando, por supuesto, un pequeño margen de tolerancia.

Desgraciadamente, los especialistas en colorimetría no pueden determinar las diferencias entre colores simplemente como distancias en un diagrama. Por ello, los críticos de este sistema siempre han insistido en el inconveniente de que el verde esté sobrerrepresentado, mientras que los tonos rojos, violetas y azules se apiñan en los ángulos.

Desde los años 60 se sugieren en la literatura en torno al tema "diferencias entre colores" una y otra vez nuevas fórmulas prácticas, de mayor o menor difusión, para el cálculo de dichas diferencias. En 1976 apareció bajo la abreviatura CIE-L\*a\*b\* una nueva métrica, recomendada por la CIE, que experimentó una gran utilización seguidamente, en concreto para objetos no luminiscentes tales como textiles, pinturas y objetos de plástico. En el anexo 5 se describe brevemente la transformación matemática. El sistema CIE-L\*a\*b\* parece cubrir las necesidades industriales mencionadas. En la figura 2 ya se ha representado este sistema.

Otra representación del sistema CIE-L\*a\*b\* puede realizarse muy bien con ayuda de los parámetros L\*C\*h\*. Manteniendo la distribución de los colores en el espacio cromático L\*a\*b\*, cambia aquí únicamente el cálculo de la localización del color en el espacio cromático. En el sistema L\*a\*b\* la posición de un color se define con las distancias en las coordenadas L, a y b. En el sistema L\*C\*h\* se define la posición de un color en base a su distancia en la coordenada L (luminosidad, value, altura de la posición del color en relación con el eje L), la dimensión C (intensidad, chroma, distancia del eje L al punto cromático) y el ángulo h (tonalidad, hue, ángulo entre el eje +a y la posición del color). Ambos sistemas, L\*a\*b\* y L\*C\*h\*, se comparan en las figuras 6 y 7.

Para un mismo punto cromático S se han marcado los parámetros L\*a\*b\* a la izquierda y los parámetros L\*C\*h\* a la derecha. De este modo se realiza la transformación matemática entre L\*a\*b\* y L\*C\*h\* según las siguientes fórmulas y la representación gráfica en la figura 8:

Transformación de L\*a\*b\* en L\*C\*h\* (en el cuadrante, +a / +b')<sup>6</sup>

$$L^*C^*h^* \mid L \text{ (value) sigue como } L \mid C \text{ (chroma)} = \sqrt{a^2 + b^2} \mid h \text{ (hue)} = \text{sen}(h) = b/\sqrt{a^2 + b^2}$$

Para determinar el color dental es prioritario evaluar la interacción de las dimensiones luminosidad (L), intensidad (C) y desviación (h) del color. Con fines prácticos es más fácil manejar los valores L\*C\*h\*, ya que hacen referencia directa a las características cromáticas de interés como son la luminosidad (L), el croma (C) y la tonalidad (h). El valor de croma (C) se expresa directamente en la dimensión C y no requiere ser calculado mediante la fórmula arriba expuesta. Asimismo, el valor de tonalidad, es decir, la desviación del rojo (+a) hacia el amarillo (+b), puede expresarse mucho más fácilmente con la dimensión angular h.

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

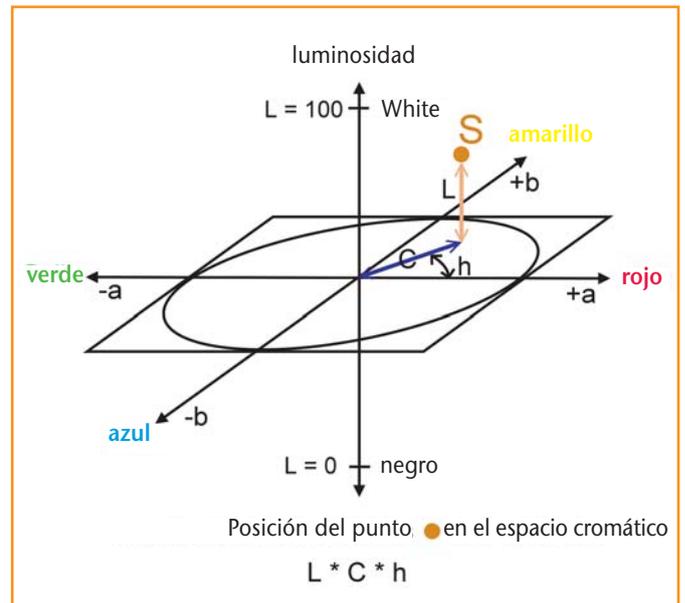
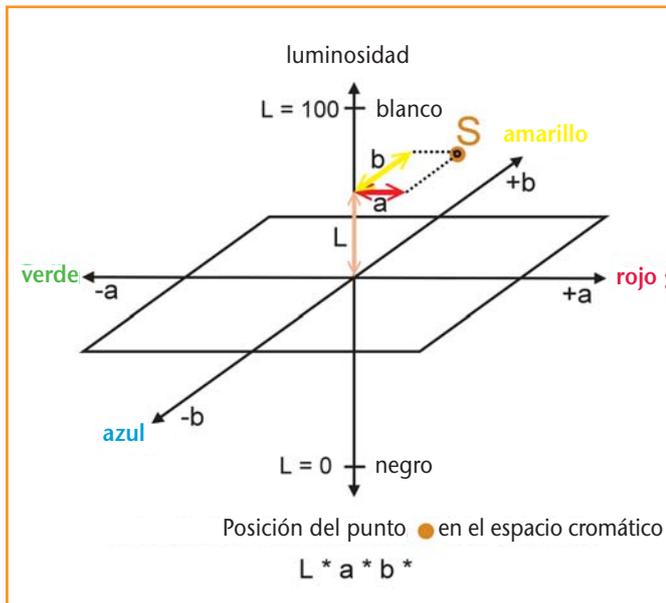


Fig. 6 y 7: El espacio cromático  $L^*a^*b^*$  y el espacio cromático  $L^*C^*h^*$  son idénticos en cuanto a la distribución de los colores. Únicamente la posición de los puntos cromáticos se calcula de forma diferente.

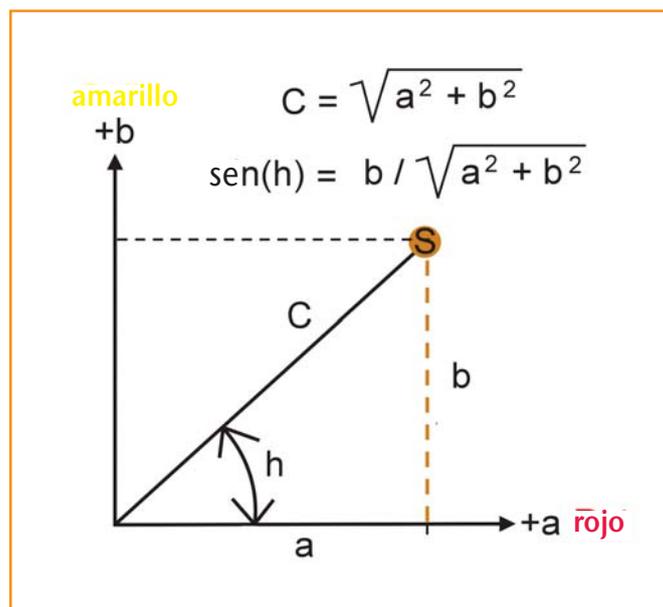


Fig. 8 Posición del punto S (mezcla de rojo y amarillo) en el plano cromático: en el sistema  $L^*a^*b^*$  ésta viene definida a través de a (horizontal) y b (vertical). En el sistema  $L^*C^*h^*$  es determinada por C y el ángulo h.

### La posición del espacio cromático dental dentro de los espacios cromáticos $L^*a^*b^*$ y $L^*C^*h^*$

La zona de los colores naturales dentales ha sido descrita al principio como un espacio cromático en forma de plátano en los sistemas  $L^*a^*b^*$  y  $L^*C^*h^*$ . Este espacio cromático dental está situado entre el rojo claro y el amarillo claro y se extiende de forma un poco alargada y paralelamente al eje de luminosidad. Comparando los valores de los colores (es decir, las indicaciones de la posición en el espacio cromático) del diente más claro existente en la naturaleza con los del diente más oscuro, en el sistema  $L^*a^*b^*$  se obtienen los valores de referencia de 78/1/12 y 62/6/31 (Fig.10). En el sistema  $L^*C^*h^*$  estos valores son de 78/12/86 y 62/33/78 (Fig. 9).

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

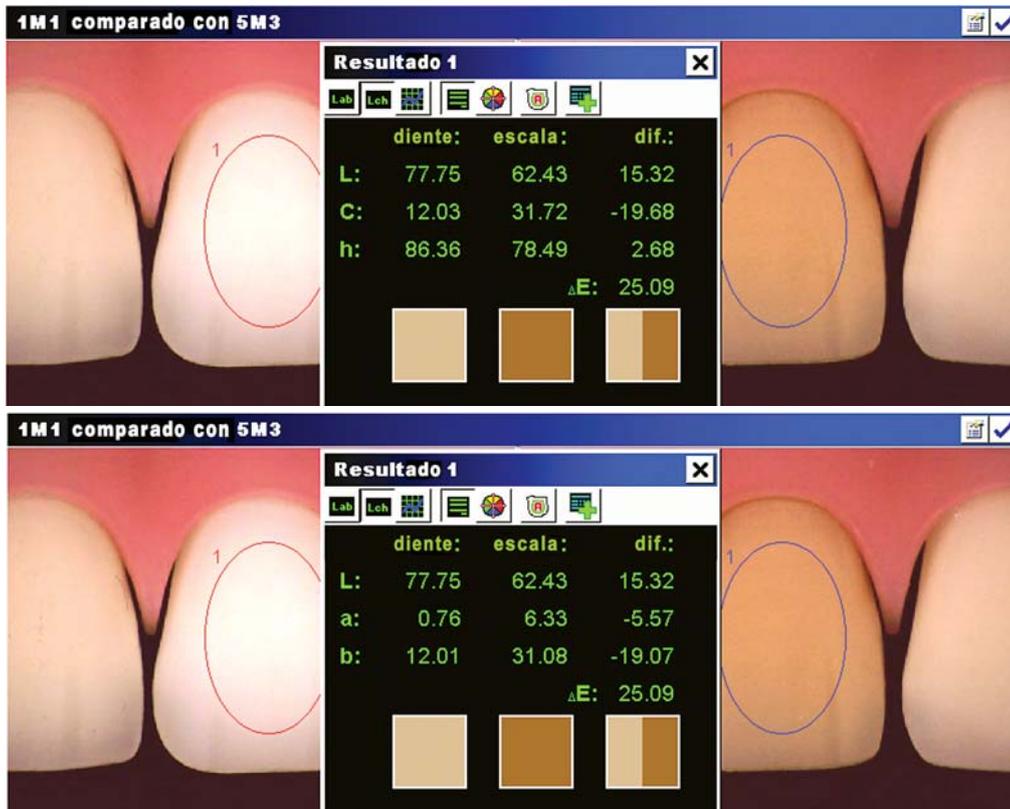


Fig. 9 y 10: Los valores  $L^*C^*h^*$  y  $L^*a^*b^*$  del diente natural más claro en comparación con el diente natural más oscuro. Las diferencias de los valores  $L^*a^*b^*$  ascienden a las magnitudes de  $DL=15.32$ ,  $Da=-5.75$  y  $Db=19.07$ . El parámetro  $\Delta E$  indica la diferencia percibida entre ambas muestras de color y equivale a la distancia entre ambas posiciones cromáticas en el espacio cromático.

Con la transposición de los valores  $L^*C^*h^*$  a una representación gráfica del espacio cromático se visualiza la posición del espacio cromático dental (plátano) (Fig. 11). La punta clara del plátano se halla a una magnitud de luminosidad de  $L=78$  (value), muestra una intensidad reducida de  $C=12$  (chroma) y, con un ángulo de  $h=86$  (hue), se encuentra muy alejada del eje del rojo  $+a$  y casi encima del eje del amarillo  $+b$ . La punta oscura del plátano se sitúa más abajo, a una magnitud de luminosidad de  $L=62$  (value), demuestra con  $C=33$  (chroma) una intensidad tres veces mayor, y se orienta con un ángulo de  $h=78$  (hue) más hacia el eje del rojo  $+a$ . El espacio cromático dental en forma de plátano, por tanto, se ubica en el espacio cromático, tal como está representado en la figura 11, doblemente inclinado y a un nivel de luminosidad alta entre 78 y 62. En relación con la vertical, su eje longitudinal se inclina por su extremo superior hacia el eje de luminosidad y por su extremo inferior hacia el color amarillo. Partiendo de la posición del espacio cromático dental dentro del espacio cromático psicométrico, por tanto, también es posible determinar colorimétricamente lo que cualquier protésico dental y odontólogo saben sobradamente, esto es:

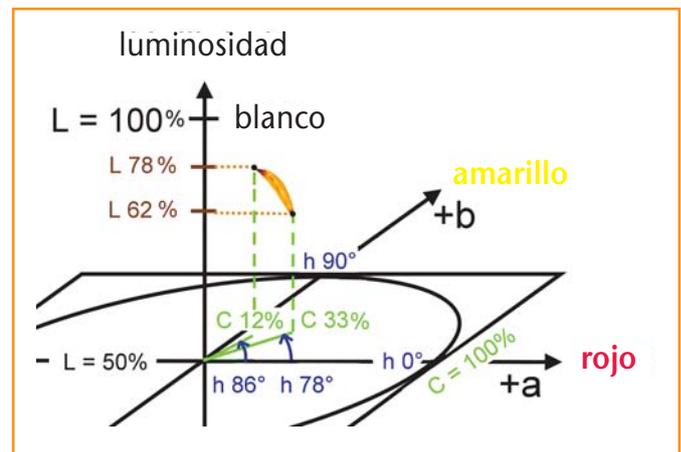


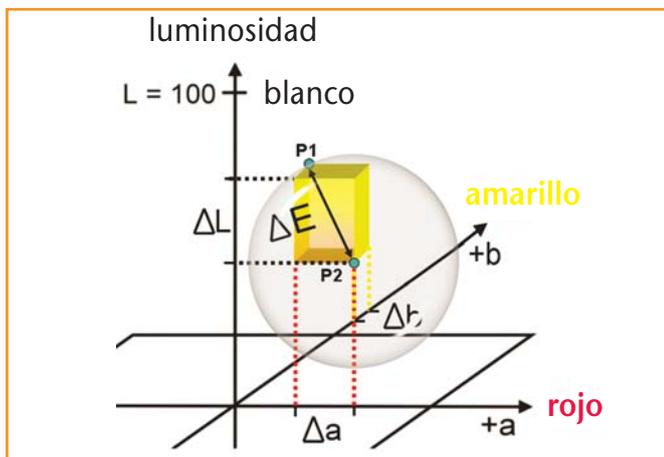
Fig. 11 La posición del espacio cromático dental dentro del espacio cromático  $L^*a^*b^*$ .

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

- Los dientes más claros presentan una intensidad cromática menor y una mayor proporción de amarillo.
- Cuanto más oscuros sean los dientes, mayor es su intensidad cromática y su proporción de rojo.

**El parámetro  $\Delta E$**  La diferencia perceptible entre el color del diente natural más claro y el más oscuro ( $L^*a^*b^*$  78/1/12 frente a  $L^*a^*b^*$  62/6/31) se visualiza como la distancia entre las posiciones de ambos colores en el espacio cromático y se denomina  $\Delta E$ . El signo " $\Delta$ " representa la diferencia y "E" es la abreviatura de "percepción" ("Empfindung" en alemán). El cálculo matemático de  $\Delta E$  se basa en la fórmula de Pitágoras para una diagonal:



$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

En la figura 12 se explica este tipo de cálculo de  $\Delta E$  gráficamente.

De la fórmula matemática de  $\Delta E$  se deriva que  $\Delta E$  indica la magnitud absoluta de la distancia cromática entre el color de referencia y el color de la muestra. No expresa en qué dirección se orienta la desviación del color de la muestra. El parámetro  $\Delta E$  no indica, por ejemplo, si el color de la muestra se distingue del color de referencia por una menor luminosidad y una mayor intensidad cromática, lo cual se representa gráficamente en la figura 12. En torno al color de referencia P2 existen infinitos colores de muestra con la misma desviación  $\Delta E$ . Todos estos colores están situados en la superficie de la esfera que tiene P2 como centro y  $\Delta E$  como radio. Dentro del rango de los colores dentales, en el que los valores de  $\Delta E$  son muy pequeños, este hecho juega un papel importante. Frecuentemente el ojo humano

Fig. 12: La diagonal entre los puntos P2 y P1 corresponde a la distancia cromática y es expresada con  $\Delta E$ .  $\Delta E$  refleja la diferencia percibida por el ojo humano entre los colores localizados en los puntos P1 y P2. Los valores de  $\Delta E$  por debajo de 2 son difícilmente reconocidos por el ojo humano como una diferencia entre colores. La máxima distancia posible en el espacio cromático  $L^*a^*b^*$  asciende a  $\Delta E = 387$ .

percibe bajo una iluminación determinada (lámpara de quirófano junto al sillón del dentista) una coincidencia supuestamente buena entre los colores de dos dientes, a pesar de que uno de los mismos sea más oscuro y por ello de un matiz menos intenso. Al salir de la consulta no es raro que aparezcan la desilusión y la decepción. Quien desea evitar estos casos, recurre a la ayuda de un colorímetro digital, el cual no sólo mide la magnitud aproximada de  $\Delta E$ , sino que también es capaz de registrar las diferencias exactas de los valores de luminosidad, intensidad y tonalidad<sup>7</sup>. En la próxima edición de la revista Quintessenz Zahntechnik se publicará un informe acerca del funcionamiento de estos aparatos y de su aplicación racional para completar la determinación visual del color del diente.

### La determinación del color del diente

El problema de la determinación del color de un diente radica en la localización correcta del diente en el espacio cromático dental en forma de plátano.

Para ello se comparan las piezas de un muestrario de colores dentales (guía de colores) con el diente de referencia en la boca. Esta comparación del color define el color del diente de referencia adjudicándole el código de la guía de colores.

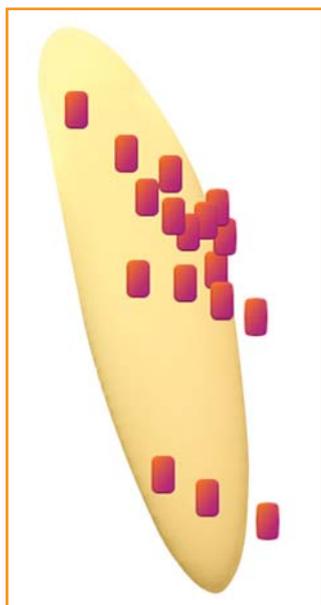


Fig. 13: En las guías de colores tradicionales las diferentes muestras suelen distribuirse de forma irregular por el espacio cromático dental. Como consecuencia, resultan aglomeraciones con distancias cromáticas de poca variación y zonas sin muestras útiles. Algunas muestras se hallan incluso fuera del espacio cromático de los dientes naturales.

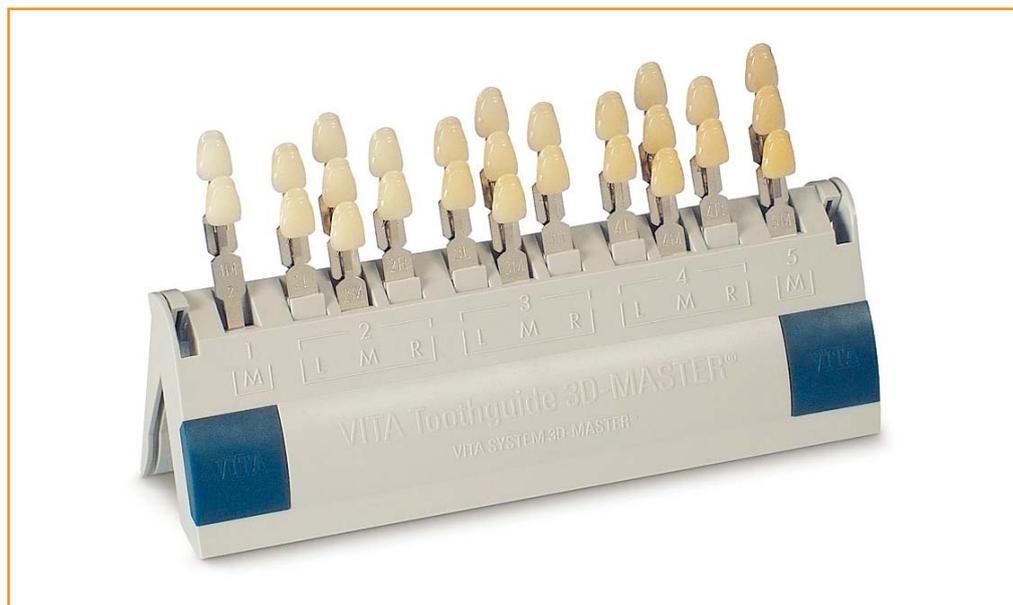


Fig. 14: VITA SYSTEM 3D-MASTER: Esta guía está subdividida en cinco grupos de luminosidad. En cada grupo se dispone de un diente central M2 rodeado de seis dientes para la determinación de las desviaciones de intensidad y tonalidad cromáticas.

El dilema en este tipo de comparación entre los colores reside en el número de muestras de color existentes en la guía. Cuantas más muestras ofrece la guía, más comparaciones hay que realizar, hasta que esta tarea se convierte en imposible porque el ojo humano se cansa rápidamente con esta actividad y no permite la obtención de más datos fiables. Sin embargo, cuantas menos muestras ofrece la guía, mayor influencia cobran las casualidades a la hora de tomar el color, dado que entre pocas muestras existen grandes diferencias (distancias en el espacio cromático). Además, en casi todas las guías las muestras de color están repartidas de forma más bien arbitraria por el espacio cromático, por lo que aparecen tanto aglomeraciones inútiles como distancias cromáticas demasiado acusadas. Muchas guías de color ofrecen además muestras que se encuentran incluso fuera del espacio cromático dental, dificultando innecesariamente la comparación entre colores (Abb. 13).

La guía VITA SYSTEM 3D-MASTER® reduce este tipo de problemas al mínimo. Las muestras de color están repartidas según criterios científicos por el espacio cromático con distancias cromáticas uniformes, lo que mejora decisivamente la precisión si se maneja bien. Aquí es muy útil la comprensión de los espacios cromáticos  $L^*a^*b^*$  y  $L^*C^*h^*$ . La guía VITA SYSTEM 3D-MASTER® ofrece cinco grupos de luminosidad repartidos por el espacio cromático dental a distancias uniformes ( $\Delta L = 4$ ). Los dientes de muestra de los diversos grupos de luminosidad presentan la misma luminosidad (L), distinguiéndose por su intensidad (C) y su diferencia de tonalidad cromática (h) (fig. 14). El procedimiento de la determinación del color del diente deriva de esta disposición en el espacio cromático dental.

La selección del color mediante el VITA SYSTEM 3D-MASTER®

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR



Fig. 15: Para la determinación acertada de la luminosidad de un diente es útil realizar la comparación con los valores medios M2 de los cinco grupos de luminosidad.

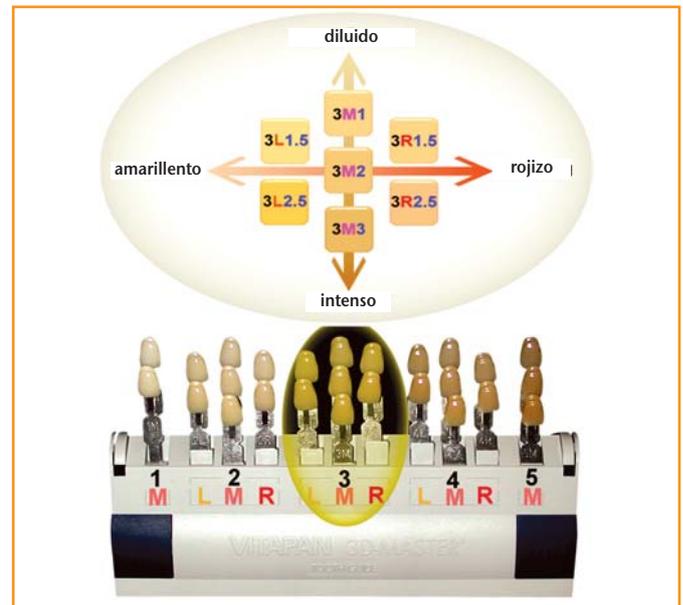


Fig. 16: Estructura del VITA SYSTEM 3D-MASTER®: en primer lugar se realiza la determinación del grupo de luminosidad (del 1 al 5). A continuación se procede a la evaluación de la intensidad cromática (pálido a intenso), y por último se determina la tonalidad (tendencia al amarillo o al rojo).

### La determinación de la luminosidad (L)

En primer lugar se elige el grupo de luminosidad correcto. En cada grupo se encuentra un diente de muestra central M2. Colocando los cinco dientes M2 en el orden de luminosidad decreciente y comparándolos rápidamente uno tras otro con el diente de referencia, puede excluirse casi por completo una determinación incorrecta de la luminosidad. (Por razones que merecen consideración, VITA recomienda realizar la determinación de la luminosidad con ayuda de los dientes M1<sup>8</sup>). La precisión a la hora de determinar la luminosidad puede mejorarse abriendo a modo de abanico las cinco muestras centrales M2 por separado sin los dientes complementarios (Fig. 15) y acercándolas al diente de referencia en la boca situadas una al lado de la otra. La comparación debe comenzar con la muestra del medio: 3M2. La decisión de si el diente de referencia es más claro o más oscuro resulta más fácil que la decisión de si el diente es oscuro o más oscuro todavía. Debe tenerse en cuenta el agotamiento del ojo en poco tiempo, por lo que hay que tomar las decisiones directamente y sin rodeos.

Quien se haya decidido por un grupo de luminosidad hará bien en tapar los grupos que no vengan al caso o retirarlos del soporte de la guía, ya que la experiencia muestra que, al proceder a buscar la intensidad cromática correcta, suelen surgir dudas acerca del grupo de luminosidad. Esto recuerda el típico movimiento de vaivén de toda la guía de colores delante del diente de referencia; la toma de color misma se parece en este caso más bien a la parada de la aguja en la rueda de la fortuna.

### La determinación de la intensidad cromática (C)

Las decisiones subsiguientes deben tomarse, por tanto, dentro del mismo grupo de luminosidad (Fig. 16).

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

El diente de referencia se compara en primer lugar con la muestra central M2 del grupo de luminosidad seleccionado. Hay que decidir si se trata de un color más intenso y saturado o de un color más pálido y diluido. En el primer caso pueden descartarse las tres muestras del semicírculo inferior; en el caso de la segunda situación descrita, se excluyen las muestras del semicírculo superior.

La tercera y última decisión se toma únicamente sobre la base de las cuatro muestras restantes: las tres muestras superiores (valores de intensidad entre 1 y 1,5) o las tres muestras inferiores (valores de intensidad entre 2,5 y 3), así como la muestra central, que sigue estando disponible (valor de intensidad 2). Con la determinación de la tonalidad cromática finaliza la selección del color. Hay que constatar si el diente de referencia tiende más hacia lo amarillento (tonalidad cromática L, a la izquierda) o más hacia lo rojizo (tonalidad cromática R, a la derecha). Posiblemente no exista ninguna desviación de matiz, con lo cual resulta la tonalidad cromática M (centro) (Fig. 17).

*La determinación de la tonalidad cromática (h)*

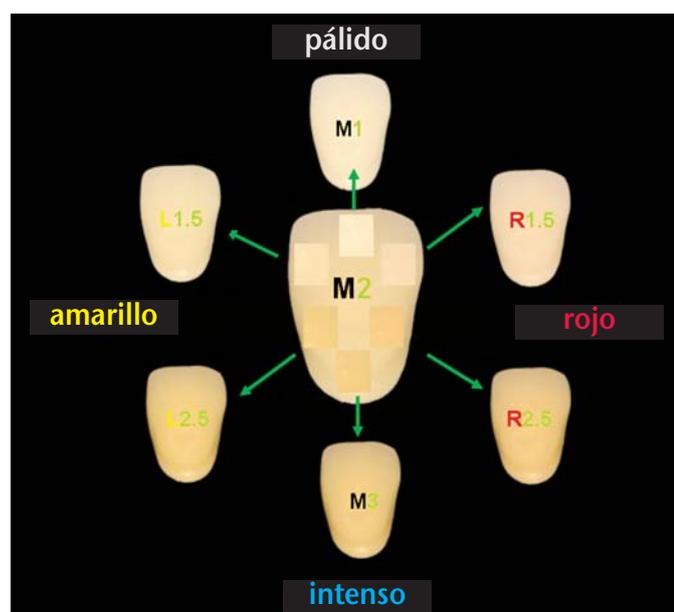


Fig. 17: El hexágono en torno al valor medio M2: en comparación con el valor medio, las tres muestras superiores son más pálidas que las tres muestras inferiores. Las muestras que se hallan a la derecha del valor medio neutro M2 tienden al rojizo, las muestras a la izquierda del valor medio neutro tienden al amarillento.

Evaluación	Selección
<b>1. Determinación de la luminosidad (value):</b> El diente de referencia no es más claro ni más oscuro que la muestra central (3M2) del grupo de luminosidad 3	Grupo de luminosidad 3
<b>2. Determinación de la intensidad (chroma):</b> El diente de referencia es un poco más pálido que la muestra central (3M2) del grupo de luminosidad 3	Intensidad 1 ó 1.5
<b>3. Determinación de la tonalidad (hue):</b> El diente de referencia es algo más rojizo que la muestra central (3M2) del grupo de luminosidad 3	Tonalidad R
<b>Resultado: VITA SYSTEM 3D-MASTER®</b>	<b>3 R 1.5</b>

Esquema 1: Ejemplo de una determinación del color.

El procedimiento de la determinación de un color con el VITA SYSTEM 3D-MASTER® podría desarrollarse según se señala en el esquema 1. No cabe imaginar ningún método de toma de color más exacto y más rápido con la participación del ojo humano. La estructura modular y la correcta selección del color a través de un sistema de exclusión permiten, tras un corto entrenamiento, un manejo seguro y eficiente. En el caso de dientes extremadamente claros o extremadamente oscuros no cabe esperar desviaciones hacia el amarillo o el rojo, por lo que se puede partir de que las determinaciones de color en el marco de los grupos de luminosidad 1 y 5 resultarán en la tonalidad cromática central M.

*Ejemplo*

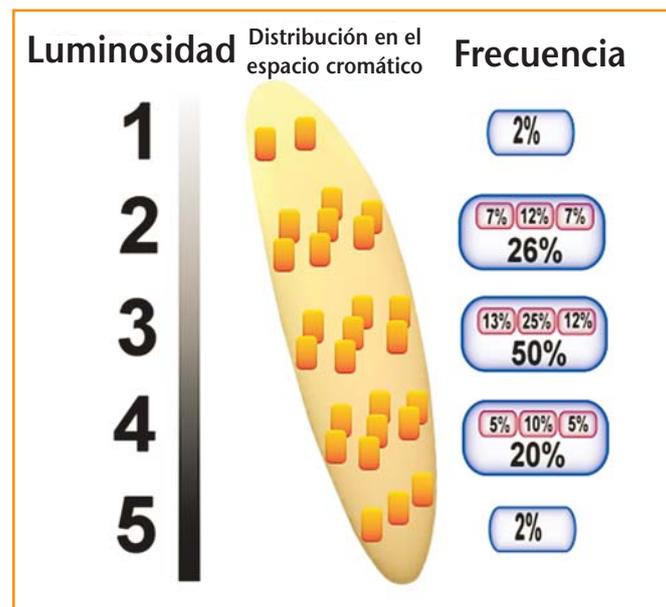
# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

### La distribución de los colores dentales en el espacio cromático dental

Resulta instructivo echar un vistazo a la distribución de las frecuencias de los diferentes colores dentales en el espacio cromático dental. Los planos cromáticos de los grupos de luminosidad límite 1 y 5, en analogía con los extremos cónicos del espacio cromático dental en forma de plátano, son relativamente pequeños. Por tanto, y siguiendo el principio de las distancias cromáticas constantes, no caben ya los seis dientes de muestra en estos planos cromáticos. Además, son extremadamente raros los dientes de estos grupos de luminosidad 1 y 5. Aproximadamente la mitad de todos los dientes naturales humanos se localizan en el centro, es decir, en el grupo de luminosidad 3. Como consecuencia, desde el punto de vista estadístico conviene comenzar la determinación del grupo de luminosidad partiendo del medio, para decidir a continuación si el diente de referencia es más claro o más oscuro, o si está realmente localizado dentro del grupo de luminosidad 3 (Fig.18)<sup>9</sup>.

Fig. 18: Distribución cuantitativa de los colores dentales naturales en el espacio cromático dental. El 50% de todos los dientes que existen en la naturaleza se localizan en el plano cromático del grupo central de luminosidad 3. Al determinar el grupo de luminosidad, por tanto, es recomendable iniciar la comparación de la luminosidad partiendo de este grupo.



### La mezcla de los colores principales 3D-Master

En el ámbito de las prótesis, las reconstrucciones de cerámica sin metal están al alza. En comparación con otras técnicas, están incrementando su presencia rápidamente, al mismo tiempo que aumentan las exigencias estéticas. Se le da una importancia cada vez mayor a las reconstrucciones fieles a la naturaleza, marco en el que las nuevas cerámicas de estructuras y de recubrimiento desempeñan un papel clave. El brillo, la translucidez y la opalescencia influyen, por supuesto, en la percepción durante la determinación del color de un diente. Sin embargo, siempre será decisiva en primer lugar la selección correcta del color básico. Las reconstrucciones antiguas con desviaciones cromáticas entre  $\Delta E$  4 y  $\Delta E$  6 se consideran hoy en día resultados poco logrados. Se piden magnitudes de  $\Delta E$  comprendidas entre 1 y 3, lo que sólo se puede conseguir – atención – con subconstrucciones de cerámica sin metal, requiriendo además como condición imprescindible una correcta determinación del color y una buena colaboración entre el dentista y el protésico dental.

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

<b>1M1</b>	<b>1.5M1</b>	<b>2M1</b>	<b>2.5M1</b>	<b>3M1</b>	<b>3.5M1</b>	<b>4M1</b>	<b>4.5M1</b>	<b>5M1</b>
1M1.5	1.5M1.5	2M1.5	2.5M1.5	3M1.5	3.5M1.5	4M1.5	4.5M1.5	5M1.5
<b>1M2</b>	<b>1.5M2</b>	<b>2M2</b>	<b>2.5M2</b>	<b>3M2</b>	<b>3.5M2</b>	<b>4M2</b>	<b>4.5M2</b>	<b>5M2</b>
	1.5M2.5	2M2.5	2.5M2.5	3M2.5	3.5M2.5	4M2.5	4.5M2.5	5M2.5
		<b>2M3</b>	<b>2.5M3</b>	<b>3M3</b>	<b>3.5M3</b>	<b>4M3</b>	<b>4.5M3</b>	<b>5M3</b>

A partir de los catorce colores principales M se obtienen 23 colores secundarios más exactamente definidos

	<b>2R1.5</b>	<b>2.5R1.5</b>	<b>3R1.5</b>	<b>3.5R1.5</b>	<b>4R1.5</b>	
	2.5R2	2.5R2	3R2	3.5R2	4R2	
	<b>2R2.5</b>	<b>2.5R2.5</b>	<b>3R2.5</b>	<b>3.5R2.5</b>	<b>4R2.5</b>	

√A partir de los seis colores R principales se obtienen nueve colores secundarios más exactamente definidos

	<b>2L1.5</b>	<b>2.5L1.5</b>	<b>3L1.5</b>	<b>3.5L1.5</b>	<b>4L1.5</b>	
	2L2	2.5L2	3L2	3.5L2	4L2	
	<b>2L2.5</b>	<b>2.5L2.5</b>	<b>3L2.5</b>	<b>3.5L2.5</b>	<b>4L2.5</b>	

A partir de los seis colores L principales se obtienen nueve colores secundarios más exactamente definidos

Esquema 2: Las 29 muestras de la guía de colores VITA SYSTEM 3D-MASTER

El sistema VITA SYSTEM 3D-MASTER® ofrece para ello las mejores condiciones previas. La estructura colorimétrica exacta de la guía permite mezclar los colores con un resultado exactamente predecible, lo cual no es posible, por ejemplo, con una mezcla de A2 y C1. Con las 29 muestras de la guía VITA SYSTEM 3D-MASTER® pueden combinarse todos los colores secundarios deseados según las tablas del esquema 2.

Asimismo, pueden imaginarse innumerables colores secundarios adicionales, combinando colores M con colores L y colores R. Aquí se abren posibilidades insospechadas al servicio de una selección correcta del color básico de un diente.

Las desviaciones de los colores básicos se minimizan en seguida y el protésico dental obtiene un mayor margen de actuación para realizar una cuidadosa caracterización del diente mediante transparencias y efectos. Los valores de DE se reducen al mismo tiempo a una magnitud que roza la incapacidad de discernimiento del ojo humano. Puede ser de ayuda la aplicación conjunta de colorímetros digitales, partiendo del supuesto de que éstos registren por completo los datos espectrales, tal como lo realiza el dispositivo "VITA Easyshade", recientemente lanzado al mercado. En la próxima edición de Quintessenz Zahntechnik se publicará un artículo referente a este tema.

Dr. Andres Baltzer, odontólogo  
Gartenweg 12, 4310 Rheinfelden, Suiza  
E-mail: andres@baltzer.ch

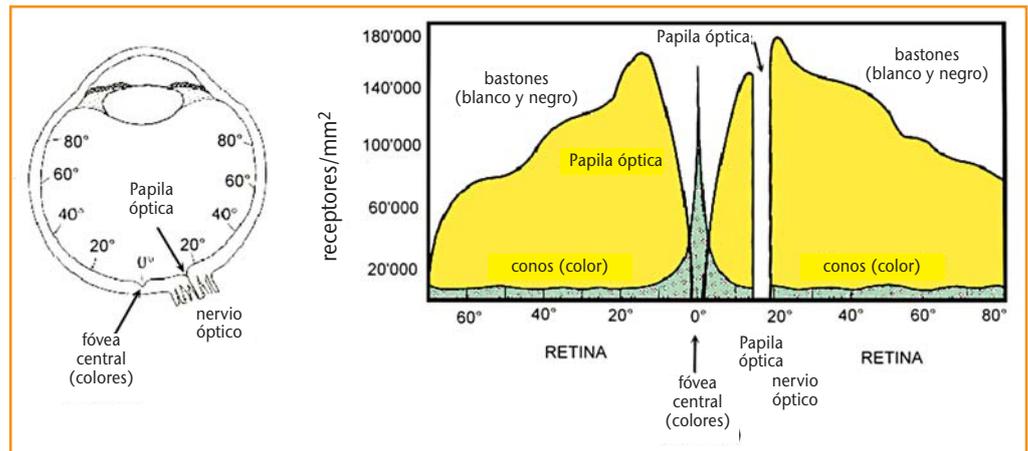
Vanik Kaufmann-Jinoian, protésico dental  
Cera-Tech GmbH, Poststrasse 13, 4410 Liestal, Suiza  
E-mail: vjinoian@aol.com

Dirección de los autores

# PRINCIPIOS BÁSICOS

## DETERMINACIÓN DEL COLOR

**Anexo** <sup>1</sup> Al observador con una capacidad visual normal se le atribuye una percepción de la luz visible que abarca longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 720 nm. Las células receptoras de los colores en el ojo humano se concentran en la zona central de la retina (fóvea central). Al comparar los colores, es importante la extensión del área en torno a la fóvea central (campo visual). Los campos visuales más grandes resultan en percepciones de color diferentes a las de los campos visuales más pequeños. La definición del campo visual del observador se lleva a cabo mediante la determinación del ángulo que abarca el campo visual (Fig. 19).



La percepción del color en la fóvea centralis: células fotosensitivas, pero no sensitivas al color son situadas fuera de la fóvea centralis y distribuidas sobre la retina entera. En 1931, el CIE definió al observador estándar con un ángulo de vista de 2° (observador de 2°). En 1964, el ángulo de vista fue extendido a 10° (observador de 10°).

<sup>2</sup> Según una ley física, la luz que emite un cuerpo negro está relacionada con su temperatura. La brasa, por ejemplo, cambia de color a medida que se calienta. El color, por tanto, puede expresarse también como temperatura cromática en °Kelvin.

Fuente luminosa, tipo de luz	Descripción	Temperatura cromática (°Kelvin)
A	Lámpara de wolframio	2'856
B	Luz solar al mediodía	4'870
	Sol naciente	1'800
D65	Luz normalizada del espectrofotómetro VITA Easyshade o MTH SpectroShade (promedio de la luz natural)	6'500

<sup>3</sup> Cualquier objeto se da a conocer al ojo humano con su propia información cromática. Esta información puede sufrir falsificaciones si actúa sobre el objeto una fuente luminosa adicional reflectante. Durante cualquier comparación de colores hay que evitar, por tanto, este tipo de "luz deslumbrante". También influyen en la percepción cromática, por supuesto, el brillo, la translucidez y la opalescencia de un diente. Sin embargo, hay que determinar siempre en primer lugar el color básico correcto. En segundo lugar deben considerarse otros factores que influyen en el color.

<sup>4</sup> En el sistema CIE-1931 los antiguos valores tricromáticos RGB de Maxwell son transformados matemáticamente en los tres nuevos valores *triestímulo*, esto es X, Y y Z. Unos valores X, Y y Z idénticos dan como resultado el blanco. Mediante cálculos adicionales, estas variables (cromaticidad) se transforman en x, y y z, dividiendo cada variable entre la suma total de todas, esto es:  $x = X/(X+Y+Z)$ , etc. Lo importante de esta transformación es el hecho de que la suma de todas las coordenadas de cromaticidad es igual a 1 ( $x+y+z = 1$ ). Con ello sólo dos de las nuevas magnitudes son independientes; pueden representarse en un diagrama bidimensional (véase Fig. 4).

<sup>5</sup> Para llegar al sistema CIE-  $L^*a^*b^*$ , las tres coordenadas colorimétricas  $x, y, z$  (parámetros cromáticos) de la tabla de color normalizada de la CIE son transformadas en tres magnitudes nuevas, las cuales se denominan  $L, a$  y  $b$ .  $X$  e  $Y$  se convierten de una manera bastante compleja en  $a$ , a partir de  $Y$  y  $Z$  se halla de modo similar  $b$ , mientras que sólo  $Y$  interviene en el cálculo de  $L$ . El parámetro  $L$  (lightness, luminosidad) representa a su vez algo así como la "claridad psicométrica" (o "suavidad"), es decir, está definido a través de una función apropiada para una magnitud psicofísica (un parámetro cromático) que se elige de tal manera que los intervalos escalares iguales reproduzcan lo más exactamente posible las diferencias iguales entre los colores emparentados por su "lightness". Los valores de  $L$  están comprendidos entre 0 para el negro y 100 para el blanco.

<sup>6</sup> El ángulo  $h$  está localizado entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$  para los colores entre amarillo y verde. El ángulo  $h$  se halla entre  $90^\circ$  y  $180^\circ$  para los colores entre verde y azul. El ángulo  $h$  se encuentra entre  $180^\circ$  y  $270^\circ$  para los colores entre azul y rojo. El ángulo  $h$  está entre  $270^\circ$  y  $360^\circ$  para los colores entre verde y rojo. La fórmula matemática aquí indicada para el cálculo del ángulo  $h$  se basa en la trigonometría de un triángulo con un ángulo de  $90^\circ$ . Para colores y mezclas más allá del lado rojo ( $+a$ ) y del lado amarillo ( $+b$ ) ya no se da el caso de un triángulo rectángulo, por lo que hay que aplicar una fórmula matemática más compleja para calcular el ángulo  $h$ .

<sup>7</sup> El modo de cálculo descrito para  $\Delta E$  ponderará los factores de luminosidad, intensidad y tono de tal manera que no se prestan demasiado bien para medir la magnitud de la diferencia percibida entre colores. Aplicando diversas modificaciones en el cálculo, pueden conseguirse mejoras en la medida del parámetro  $\Delta E$  original.  $\Delta E_{CMC}$ ,  $\Delta E_{94}$ ,  $\Delta E_{2000}$ ,  $\Delta E_{LC}$ ,  $\Delta E_{MHT}$  etc. representan, de hecho, correcciones adicionales de la irregularidad que muestran las diferencias entre colores en el espacio cromático  $L^*a^*b^*$ . Especialmente en la aplicación en el sector dental, la elección indicada para calcular  $\Delta E$  no es muy afortunada. La ponderación de la luminosidad debería ser más acusada, al tener ésta el mayor peso en la percepción de la coincidencia entre colores dentales. En una reconstrucción del diente provista de la luminosidad correcta, las posibles deficiencias adicionales en el color tienen menor importancia.

<sup>8</sup> El método de determinación aquí recomendado del grupo de luminosidad mediante los dientes M2 no corresponde a las instrucciones de la casa VITA. En el sistema VITA SYSTEM 3D-MASTER® está prevista la determinación de la luminosidad mediante los dientes M1. Esto parece lógico porque los dientes M1 se encuentran en la parte superior de la guía cromática y pueden aplicarse sin ser desmontados. La determinación de la luminosidad mediante los dientes M2 es una modificación más complicada pero, según nuestra experiencia, más prometedora.

<sup>9</sup> Desde hace unos años, el blanqueamiento químico de los dientes gana en popularidad, ya sea como muestra de la eterna búsqueda de la fuente de la juventud o como variante cultural del lema "citius, altius, fortius" ("más rápido, más alto, más lejos"). En tanto que estas desviaciones de luminosidad se producen en el espacio cromático dental natural, puede comprenderse esta moda hasta cierto punto. El blanqueamiento debe ser cuestionado cuando la luminosidad ha de sobrepasar el grupo de luminosidad 1, o se persigue conseguir incluso el innatural grupo 0. Sin embargo, uno suele ser prácticamente impotente ante las tendencias de la moda y los deseos extravagantes. El VITA SYSTEM 3D-MASTER® ya ha reaccionado a estas tendencias y ha completado la guía cromática con un grupo de luminosidad 0. En Estados Unidos, este paso a la innaturalidad es muy popular. Habrá que esperar a ver si este fenómeno conlleva una desviación de la distribución estadística de los colores dentales dentro del espacio cromático dental.