

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA
CÁTEDRA DE OPERATORIA DENTAL



“Evaluación Espectrofotométrica de las Resinas Compuestas” (Estudio Comparativo con Guía Vitapan 3-D Master)

Trabajo de Investigación
Requisito para optar al
Título de Cirujano-Dentista

Alumnos:

Wilfredo Gonzáles Arriagada
Felipe Vidal Briones

Docente guía:

Dr. Rodrigo Rubio Aguilar

Docente colaborador:

Prof. Víctor Vargas
Facultad de Ciencias
Universidad de Chile

Valparaíso
2005

A mis Padres que me entregaron todo su esfuerzo y confiaron en mí. A mis hermanos que me acompañaron todo estos años. A mi abuelita que acogió con cariño todo este tiempo. Gracias por apoyarme y amarme siempre

Wilfredo

A Dios. A mi familia completa, en especial a mis padres que me brindaron la posibilidad de alcanzar mis sueños. A mis hermanos, con los que siempre cuento. A mis abuelos, por su cariño. A María José por su inmensa comprensión y compañía.

Felipe

AGRADECIMIENTOS

A nuestros familiares y amigos, por su afecto y comprensión.

Al Doctor Rodrigo Rubio Aguilar, quien ha sido un gran maestro y un amigo, comprometiéndose generosamente con nosotros durante toda la realización de esta tesis.

La ejecución de este estudio no hubiera sido posible sin el valioso aporte y enseñanza del Profesor Víctor Vargas Cortés. También nos gustaría agradecer el apoyo brindado por su equipo de trabajo: Patricio Jara Aguilar, junto con la Universidad de Chile que nos facilitó su Laboratorio de Luminiscencia.

Al Dr. Alfredo Cueto, por su desinteresada colaboración con nosotros.

Al Dr. Miguel Muñoz, por haber compartido su conocimiento con nosotros.

A la Dra. Andrea Poblete, por su valiosa cooperación.

A Rodrigo Vidal, por compartir su talento y su tiempo con gran esfuerzo y dedicación.

Quisiéramos agradecer especialmente a todas las compañías que colaboraron gratuitamente con sus productos, haciendo posible el desarrollo de este estudio.

ÍNDICE

CONTENIDOS	PÁGINAS
Introducción.	1
Marco Teórico.	2
1. <i>Historia del Color.</i>	2
2. <i>Luz y Color</i>	4
2.1 La luz	5
2.2 Comportamientos ópticos de la luz	5
2.2.1 Reflexión	5
2.2.2 Refracción	6
2.2.3 Absorción y transmisión	7
2.2.4 Difracción	8
2.2.5 Dispersión	8
2.2.6 Opalescencia	9
2.3 El Color	10
2.3.1 Tridimensionalidad del color	10
2.3.2 Metamerismo	11
2.3.3 Luminiscencia	11
2.3.4 Constancia del color	11
3. <i>Características de la Visión Humana</i>	11
3.1 El ojo	12
3.2 Características de la visión	14
3.3 Curva de sensibilidad del ojo	15
3.4 Fenómenos y anomalías de la visión	16
4. <i>Métodos de medición del color</i>	16
4.1 Sistemas de color	17
4.1.1 Sistema Munsell	17
4.1.2 Sistema CIE-1931	18
4.1.3 Sistema CIE Lab	19
4.2 Fuentes de iluminación estándar (CIE)	19
4.3 Método visual	20

4.4 Método instrumental	21
4.4.1 Espectrofotómetros	21
4.4.2 Colorímetros	22
5. <i>Color y propiedades ópticas de los dientes</i>	23
5.1 Propiedades ópticas del esmalte	23
5.2 Propiedades ópticas de la dentina	24
5.3 Espacio de color dentario	25
5.4 Consideraciones generales	26
6. <i>Características y propiedades ópticas de las resinas compuestas</i>	27
6.1 Composición	27
6.1.1 Matriz resinosa	27
6.1.2 Agentes iniciadores	27
6.1.3 Relleno inorgánico	28
6.1.4 Agente de enlace	28
6.2 Clasificación del las resinas compuestas	29
6.3 Resinas compuestas y colorimetría	30
7. <i>Selección del color dentario y guías de tonos dentales</i>	31
7.1 Factores que afectan la selección dentaria	32
7.1.1 Factores relacionados con el objeto	32
7.1.2 Factores relacionados con el entorno	33
7.1.3 Factores relacionados con el observador	34
7.2 Guías de tono	35
7.2.1 Consideraciones generales en selección de tonos y guías de color	36
7.2.2 Guía de tonos Vita Classical	38
7.2.3 Guía de tonos Vitapan 3-D Master	39
7.2.4 Estudios comparativos con guías Vita	40
Hipótesis y Objetivos.	42
Materiales y Métodos.	43

Resultados.	48
1. <i>Análisis comparativo de las curvas espectrofotométricas de los composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master</i>	49
2. <i>Análisis comparativo entre las curvas espectrofotométricas de los composites con la misma designación de tono</i>	51
2.1 A1	51
2.2 B1	53
2.3 C1	55
2.4 D2	57
3. <i>Análisis de los promedios de tono de los composites versus promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master</i>	59
3.1 Promedio A1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3.D Master	59
3.2 Promedio B1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3.D Master	60
3.3 Promedio C1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3.D Master	61
3.4 Promedio D2 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3.D Master	62
4. <i>Comparación de rangos totales de las curvas espectrofotométricas de los dientes, composites y guía Vitapan 3-D Master</i>	64
Discusión.	67
Conclusiones.	71
Sugerencias.	72
Resumen.	73
Bibliografía.	74
Anexos.	
Anexo I. Tabla resumen de análisis de t student t entre cada composite y cada etiqueta de la guía Vitapan 3-D Master	
Anexo II. Análisis comparativo de las curvas espectrofotométricas completas (100%) de los composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master	
Anexo III Fotografía de las muestras de todos los composites utilizados.	

INTRODUCCIÓN

La odontología en los últimos años ha tenido un gran avance en las restauraciones estéticas, tomando especial importancia el mejoramiento de las características ópticas de los materiales.

Los intentos por estandarizar las resinas compuestas han sido infructuosos hasta el día de hoy, debido a una gran cantidad de variables difíciles de controlar. Las guías de color comerciales aún son incapaces de abarcar en forma completa el espacio del color de los dientes naturales, pero aún son utilizadas como estándar en la selección del color.

Por su parte, los composites han incrementado su complejidad, calidad de fabricación y denominación, creando colores específico para cada tejido dentario, tanto para esmalte (translúcidos) como para dentina (opacos), Incluso algunas marcas comerciales de composites proporcionan guías propias para la selección del color.

La mayor complejidad de composites y de las guías de selección del color, hacen que sea necesaria una estandarización que facilite y mejore los resultados estéticos del odontólogo.

La guía Vitapan 3-D Master apareció hace pocos años en el mercado, y la literatura la indica como la mejor guía comercial disponible. Sin embargo, los estudios hechos con esta guía son pocos, es por ello que la utilizamos como patrón estándar en este estudio.

El color es una propiedad física compleja de los objetos, que se caracteriza por su tridimensionalidad (valor, matiz y croma); siendo cada una de sus dimensiones importantes de identificar al momento de seleccionar el material restaurador para un diente. Lo anterior, sin dejar de lado propiedades ópticas de suma importancia en los dientes y materiales como la fluorescencia y la translucidez.

Es necesario como odontólogos mantenernos actualizados en relación a los materiales restauradores, no solo guiándonos por el marketing, sino que por una odontología basada en la evidencia a través de estudios e investigaciones.

Así, el presente estudio busca contribuir al conocimiento en esta materia, para que cada día avancemos hacia un resultado más estético y natural de nuestras restauraciones.

MARCO TEÓRICO

La visión es un sentido que nos permite observar lo que ocurre a nuestro alrededor, todo ello dotado de una gran gama de colores, aquellos que el ojo humano puede percibir. La clara percepción de los colores ha sido un tema que inquieta al ser humano desde el inicio de la civilización y en esta búsqueda los análisis científicos y sistemas de color se convierten en un símbolo del conocimiento.

Los colores que vemos dependen de la luz que entra a nuestros ojos desde el mundo exterior. Sin embargo, lo que nosotros percibimos como rojo o verde no se originaría sin nuestro cerebro.

Con el paso del tiempo ha nacido la necesidad de estandarización de los colores; ya que, estar seguros de que el amarillo que una persona ve, sea el mismo que el que ve otra persona es prácticamente imposible, entonces se recurre a la tecnología en busca de estandarizar la percepción del color.

1. HISTORIA DEL COLOR

El hombre antiguo comprendió que la abundancia de colores era tan rica que era imposible ponerle nombre a todos, al menos, sin un orden sistemático. Es entonces natural que el hombre a lo largo de la historia invente sistemas de colores. **Aristóteles** se cuestionó además de los colores, sus contrastes, ya que un color no era el mismo a la luz del día como a la luz de una vela, ni con un fondo negro o blanco.

Mayores avances sobre el tema se logran en el siglo XIII, cuando **Robert Grosseteste** ubica los colores entre la luz clara, de la cuál descendían los colores, fenómeno conocido como **remisión** y la luz oscura, de la cuál ascendían los colores, fenómeno conocido como **intensión**. Indica que los colores no sólo se definen de acuerdo a su matiz y saturación, explicando aun más estos términos, sino que también dependen de su blancura (valor). Además clasificó los colores en **acromáticos** (negro, gris y blanco) y **cromáticos**.

En 1435, **León Batista Alberti** propone un sistema del cual nacerá, siglos más tarde, la llamada "**rueda del color**". **Leonardo Da Vinci**, en el siglo XVI, se basa en la siguiente secuencia: blanco, amarillo, verde, azul, rojo y negro; similar a la secuencia psicológica de los colores. Da Vinci fue el primero en diferenciar los colores entre **primarios y secundarios**.

En 1611 **Aron Forsius**, indica que todos los colores tienen su origen entre el negro y el blanco, formando una rueda. Consideraba el rojo, amarillo, verde, azul y el gris dentro de los colores primarios; introduciendo la idea del **valor**, agregando gris a los cuatro colores primarios, desde el brillo hasta la oscuridad, a lo largo del eje central de la esfera.

La física del color — previo a Newton — ganará mucho con **Robert Hooke**, quien dijo que un **movimiento de onda** estaba involucrado en el fenómeno de la luz, y creía que esta onda era una superficie perpendicular al rayo que produce la luz blanca y que la inclinación de esta superficie genera el color.

En el siglo XVIII, aparece el círculo de color de **Isaac Newton**, que comprendía siete colores espectrales al pasar la luz por un prisma, formando el **espectro del color**, que tiene la siguiente secuencia: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, azul marino, violeta, y en el centro de la rueda lo asignó al blanco, con el fin de simbolizar que la mezcla de todos los colores resulta en luz blanca. Para Newton los colores no son modificaciones de la luz blanca sino componentes originales de ella. En el círculo de colores de Newton hay colores que poseen mayor área en el círculo que otros, según lo expresado en el prisma. El buscó la explicación en que la luz estaba compuesta por **corpúsculos** (partículas), que son reflejadas por el prisma según su tamaño. La mayor era la roja y la más pequeña era la azul. La respuesta aceptada actualmente, apunta a un incremento en la **longitud de onda** desde el azul al rojo, pero ello era ilusorio para la época. Sólo en el siglo XIX puede hacerse mediciones de las longitudes de onda involucradas.

En 1809, **Thomas Young** presentó su teoría, conocida como **teoría tricromática de la visión**, basada en el rojo, verde y azul, que decía que el ojo genera todos los colores por la combinación de tres longitudes de onda. Esta teoría fue confirmada brillantemente en la década de 1960 cuando se probó la existencia de tres diferentes tipos de células de colores, llamadas **conos**, en la retina humana.

En 1821, el físico **J. von Fraunhofer** usó un diamante para rayar líneas paralelas y verticales finas y mínimamente espaciadas sobre una superficie de vidrio, y luego estudió el paso de luz a través de ésta, lo que llamó "placa de difracción". A fines de 1835, **F. M. Schwers** tomó mediciones exactas del espectro visible con la ayuda de la placa de difracción, y mostró que la luz roja tiene una mayor longitud de onda que la luz azul. Entonces, el **nanómetro** se convierte en la unidad estándar de medición de la longitud de onda del espectro visible.

James Clerck Maxwell presentó la "Teoría de la Visión del Color", la cual es vista como el origen de la colorimetría (medición cuantitativa del color). Su nombre está relacionado con ecuaciones que son capaces de explicar como la luz se propaga y hasta cierto punto la existencia de ondas electromagnéticas.

Hermann von Helmholtz presentó su diagrama del color en 1860, en el cual introduce las tres variables del color que son usadas hasta el día de hoy: **matiz, saturación y valor**. Fue también quien asumió que debe haber tres receptores en el ojo, cada uno señalando un matiz definido, azul, verde y rojo

Wilhelm Wundt, en el siglo XIX investigó la relación entre el fenómeno medible del mundo físico y la imagen experimentada, lo que llamó **percepción**. En lugar de buscar una asociación entre estímulo y reacción, él fue más allá, considerando una interrelación entre ellos. A través de la mezcla de dos longitudes de onda, las cuales permanecen separables físicamente, se crea un tercer color, el cual desde un punto de vista psicológico no es separable. A fines del siglo XIX, **Ewald Hering** indicó al azul, amarillo, rojo y verde, como la secuencia psicológica de los colores, ubicándolos en el "sistema natural de sensación de los colores" (**Teoría Opuesta**).

Hermann Ebbinghaus, publicó, en 1893, que la percepción de los colores sólo puede llevarse a cabo con la ayuda de un proceso mental complejo. Años más tarde, **Albert Einstein** sería el primero en hablar de la dualidad de la luz, ya que las propiedades de la luz tienen que ser concebidas como una onda y como partículas, llamadas **fotones**. Los colores sólo se forman después que la luz interactúa con la materia y, de esta manera, los fotones activan la retina para transmitir un color específico al cerebro.

Albert Henry Munsell desarrolló uno de los sistemas de color más utilizados. Sus parámetros son matiz, valor (el índice del brillo) y croma (las graduaciones de saturación). El sistema tridimensional resultante es conocido como “**árbol de color**”.

Los sistemas de color familiarizados con la odontología son pocos, siendo éstos más utilizados en investigación. La **Comisión Internationale d’Eclairage**, en 1931 publicó su sistema conocido como “**CIE – 1931 System**” con el deseo de crear un método objetivo de determinación de los colores, estableciendo un observador estándar y fuentes de iluminación estándar.

Es en estos años cuando la **colorimetría** nace como una ciencia en la cual los colores son caracterizados por números y se hacen medibles. Para ser más exactos, se logra medir el estímulo del color. El estímulo del color es entendido como la radiación que entra en el ojo y es absorbida por él. Usando los tres parámetros se puede especificar el color geoméricamente en tres dimensiones, definiendo lo que se llama **espacio del color**.

Para el color en la industria no sólo la medición del color es importante, sino también la determinación de las diferencias de color. En 1976, la **Comisión Internationale d’Eclairage**, publica el **sistema CIE L*a*b***, transformando las coordenadas X, Y, Z originales en tres nuevos valores de referencia L, a y b. El objetivo de esta transformación es un espacio de color que ayude a la clasificación numérica de las diferencias de color.

Como hemos visto se crean sistemas de colores con el objetivo de tener un acceso más directo al mundo de los colores, para entender las mixturas, la diversidad, ilustrar sus dimensiones, entender las sensaciones que ellos inducen o clasificar sus diferencias. A pesar de todos los avances tecnológicos y científicos acerca de la visión y los colores, dentro del campo de la Odontología Estética queda mucho por hacer para lograr un trabajo cada vez más cercano a lo natural.

2. LUZ Y COLOR

Para poder comprender de mejor forma qué es el color, es fundamental referirnos a conceptos más generales que lo incorporan como parte del conocimiento. La Física, es la ciencia que nos acerca de mejor forma todo el conocimiento sobre la luz y sus propiedades, para posteriormente estudiar el color con mejores bases.

2.1. LA LUZ

La **luz** es una clase de energía y se propaga de acuerdo a las leyes de la física. Esta energía se extiende en forma de **ondas** caracterizadas por dos parámetros: la longitud y la amplitud. Es la forma de energía electromagnética visible para el ojo humano.

Una **onda electromagnética** es una perturbación del campo magnético y eléctrico en el espacio. La radiación electromagnética existe en un rango extraordinariamente amplio de frecuencias, que se conoce como **espectro electromagnético**, el cual es un intervalo de ondas electromagnéticas que incluye ondas de radio, infrarroja, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. La **luz visible** se refiere a las ondas electromagnéticas que el ojo humano puede detectar, y que se comprenden entre 450 nm y 650 nm. (Fig. 1)

La luz tiene una naturaleza dual, considerando un modelo corpuscular o un modelo ondulatorio. En el primer caso podemos considerar que la luz está compuesta por pequeñas partículas denominadas **fotones** (efecto fotoeléctrico de Einstein, 1905). Los fotones son paquetes de energía electromagnética concentrada sin masa. En el segundo caso, la luz al igual que cualquier otra onda, puede ser caracterizada en términos de su **longitud de onda** (distancia sucesiva entre dos ondas), **frecuencia** (número de ondas por espacio de tiempo) y **amplitud** (diferencia entre los picos máximos y mínimos).

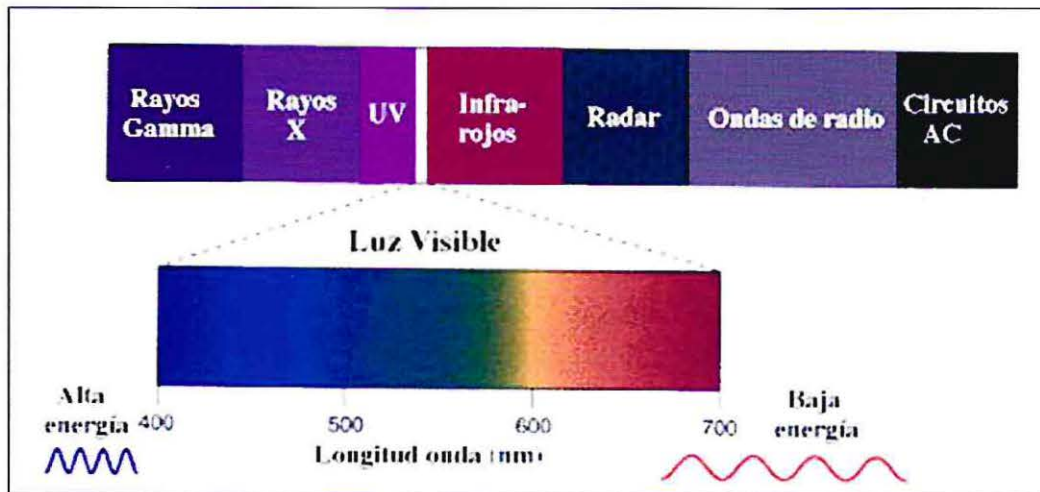


Figura 1. Espectro electromagnético y espectro de luz visible.

2.2. COMPORTAMIENTOS ÓPTICOS DE LA LUZ

2.2.1. Reflexión

Cuando los rayos de luz llegan a un cuerpo, y ellos rebotan, esto recibe el nombre de reflexión. La reflexión de la luz a partir de una superficie lisa recibe el nombre de **reflexión especular**. (Fig. 2) Si la superficie es rugosa, refleja los rayos en varias direcciones, lo que recibe el nombre de **reflexión difusa**.

El rayo que llega al cuerpo se denomina rayo incidente, mientras que el rayo que sale se denomina rayo reflejado. El rayo incidente y el rayo reflejado forman el mismo ángulo con una línea perpendicular a la superficie, denominada normal.

La reflexión de la luz verifica las dos leyes siguientes:

- a) el rayo incidente, la normal y el rayo reflejado están en el mismo plano.
- b) el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Una superficie suave y lisa como la de un composite bien pulido muestra ambas reflexiones, difusa y regular, las proporciones relativas dependen del ángulo de luz incidente. Pero una superficie rugosa, como la de un diente con placa bacteriana, muestra sólo reflexión difusa, no tiene una superficie brillante.

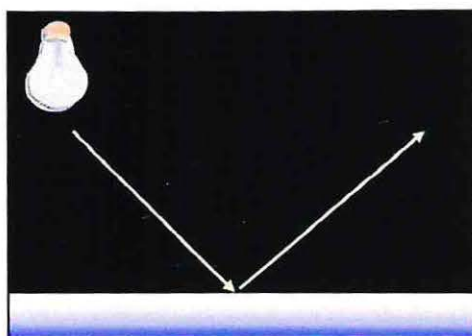


Figura 2

2.2.2. Refracción

Se denomina refracción cuando un rayo de luz pasa través de un medio transparente de distinta densidad, cambia su velocidad y dirección. (Fig.3) El rayo que incide sobre la superficie de separación de los dos medios se denomina rayo incidente, mientras que el rayo que ha experimentado cambio se denomina rayo refractado.

La refracción cumple las dos leyes siguientes:

- a) el rayo incidente, el rayo refractado y la normal están en un mismo plano, llamado plano de incidencia.
- b) El cociente entre los senos de los ángulos de incidencia y refracción es constante, y se llama índice de refracción.

El índice de refracción es una propiedad característica de la materia y se utiliza para la identificación de los materiales. Una de las principales aplicaciones de la refracción es el control del índice de refracción de la matriz y la fase dispersa en materiales como el composite y las porcelanas dentales, que deben tener la misma translucidez que el tejido dental. Cuando los índices de refracción coinciden totalmente, el sólido es transparente, mientras que si existen diferencias importantes, el material presenta un aspecto opaco. (Craig, 1998)

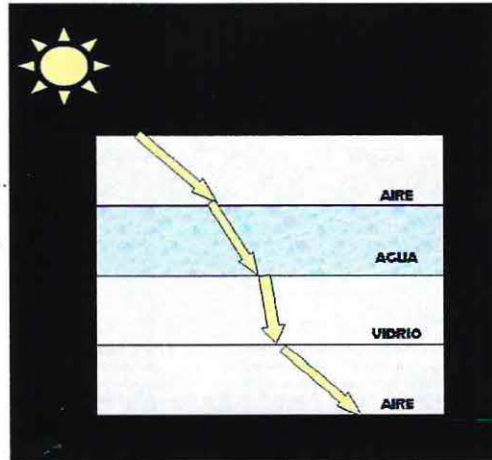


Figura 3

2.2.3. Absorción y Transmisión

Los rayos de un haz de luz al llegar a un cuerpo pueden ser reflejados, transmitidos o absorbidos. La absorción es la pérdida de la intensidad de una radiación al atravesar un cuerpo, la cual es transformada en calor. La transmisión se define como la propiedad de un objeto de dejar pasar la luz total o parcialmente a través de él. (Fig. 4)

Según las características de transmisión y absorción los cuerpos pueden ser:

a) Transparentes: son aquellos cuerpos que permiten el paso de la luz a través de ellos en línea recta, con muy poca distorsión, permitiendo ver los objetos que se encuentran detrás de él. Hay dos tipos: **acromáticos**, cuando permite el paso de la luz sin variar su color y **cromáticos**, cuando permite el paso de una determinada longitud de onda y absorbe el resto (botella de vino).

b) Translúcidos: son aquellos cuerpos que permiten el paso de la luz a través de ellos, desordenando sus rayos en todas direcciones. Según su selección a las longitudes de onda pueden ser también cromáticos o acromáticos.

La mayoría de los tejidos del organismo son parcialmente translúcidos, en especial el esmalte de los dientes y los tejidos blandos que sustentan y rodean dichos dientes. En odontología se utilizan algunos materiales translúcidos como la porcelana y el composite. (Craig, 1998).

c) Opacos: son aquellos cuerpos que no transmiten la luz que les llega, la cual es reflejada y/o absorbida. Los objetos opacos según su selectividad a la absorción o reflexión de la luz incidente pueden ser considerados como (Castro, 1999):

- Blancos: cuando reflejan, con absorción nula, todas las radiaciones del espectro visible recibidas.
- Negros: absorben todas las radiaciones recibidas, sin transmitir ni reflejar ninguna.
- Grises: reflejan y/o absorben parcialmente.

- **Coloreados:** reflejan de forma diferente las radiaciones en función de su longitud de onda; son reflejadas las longitudes de onda de su propio color y absorbidas todas las demás.

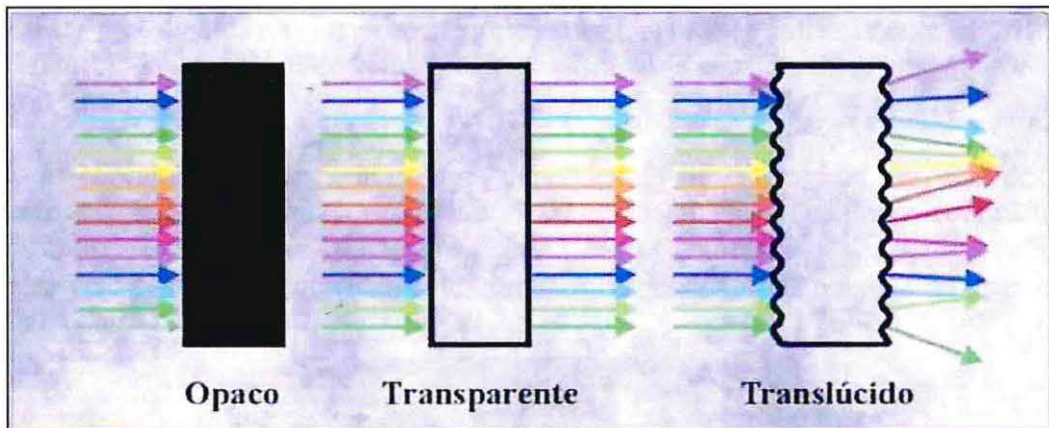


Figura 4

2.2.4. Difracción

Es la capacidad de las ondas para cambiar la dirección alrededor de obstáculos en su trayectoria. Debido a la naturaleza ondulatoria en el movimiento de los haces luminosos, la trayectoria rectilínea de estos tiende a cambiar cuando se encuentran muy cerca de un borde opaco. La difracción es una característica de todas las ondas. (Fig. 5)

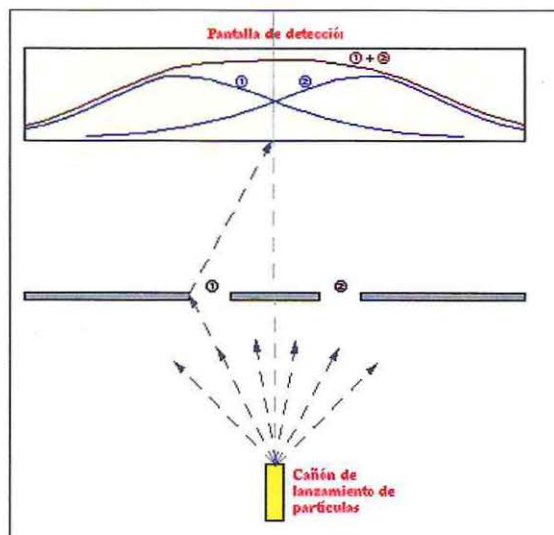


Figura 5

2.2.5. Dispersión

Es la propiedad mediante la cual el índice de refracción de un cuerpo varía según la longitud de onda del haz transmitido. (Fig.6) Se conoce como fenómeno de dispersión cuando las diferentes longitudes de onda se refractan a otras longitudes de onda. La

formación del espectro a través de un prisma corresponde a un fenómeno de dispersión de la luz blanca.

Los materiales estéticos utilizados en odontología (como la porcelana y el composite) y el diente, son materiales turbios o que dispersan intensamente la luz. En un material turbio la intensidad de la luz incidente disminuye considerablemente al atravesar la muestra. (Craig, 1998).

El coeficiente de dispersión varía dependiendo de la longitud de onda de la luz incidente y de la naturaleza del estrato colorante; los composites que tienen coeficientes de dispersión más elevados son más opacos (Craig, 1998). Cuanto mayor sea la dispersión, más opaco se verá el material; inversamente, a menor dispersión, más translúcido aparecerá el material. (Touati, 2000).

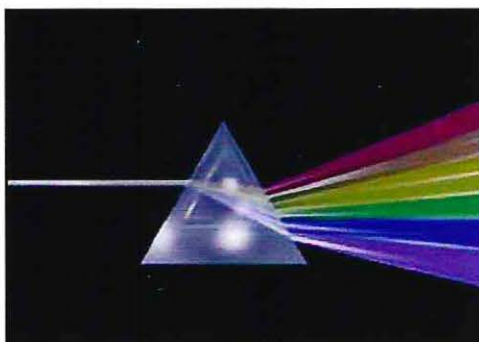


Figura 6

2.2.6. Opalescencia

Cuando la onda de luz se desplaza dentro de un material y encuentra un obstáculo menor que su longitud de onda, ella se refleja y se dispersa en todas las direcciones. Las longitudes de ondas cortas (azul) divergen mucho más que las longitudes largas (rojas). Si la fuente de luz está situada por detrás o por encima del observador, los colores amarillentos y rojizos serán particularmente visibles. (Fig. 6 y 7) Este fenómeno se hace más fuerte cuando aumenta la diferencia en la refracción entre la matriz y las partículas que se encuentran alrededor de ella. (Craig, 1998)



Figura 6

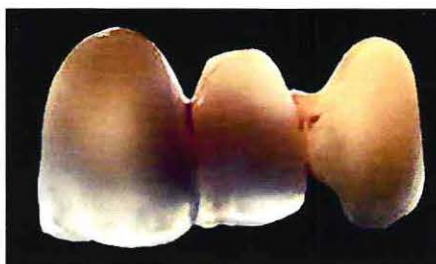


Figura 7

2.3. EL COLOR

El color es un fenómeno combinado; físico, sensorial y psicológico producido por una compleja interacción entre la luz, la forma del objeto, las células sensibles de la retina y la subjetividad del individuo.

2.3.1. Tridimensionalidad del color

El matiz, el valor y el croma son para el color tan descriptivos como lo son la longitud, el ancho y la altura para describir la forma; explicando así el concepto tridimensional del color. Estas tres características le proporcionan al color su cualidad tridimensional.

- **Matiz** (*Tono o tinte; inglés hue*): es el nombre del color o sensación por la cual un individuo percibe por el ojo las distintas longitudes de onda de una energía radiante. En las palabras de Munsell, "es esa calidad por la cual distinguimos a una familia de color de otra, como el rojo del amarillo, el verde del azul o del púrpura."

Los colores primarios corresponden al rojo, azul y verde. Si mezclamos los primarios obtenemos los colores secundarios, amarillo, azul cian y magenta. Si haces de colores primarios y secundarios son parcialmente mezclados entre sí, con variables de croma y valor podemos obtener prácticamente toda la gama de matices o tintes.

- **Valor** (*inglés value*): es el grado de *luminosidad* de un color. Propiedad acromática que se describe como la cantidad de gris que un determinado matiz tenga. Según Munsell "es esa calidad por la cual distinguimos un color claro de un color oscuro."

La reflectancia lumínica permite clasificar a los objetos como acromáticos que van del negro al blanco. El blanco tiene la máxima reflectancia lumínica y el negro nula. El color que refleja más la luz es el blanco, más bien, por definición es el color que refleja totalmente la luz, por lo tanto también el más luminoso.

- **Croma** (*inglés chroma*): es la *intensidad* del tinte o *saturación* del color. Según Munsell "es esa calidad por la cual distinguimos un color fuerte de uno débil." La pureza de excitación o saturación de un color indica el grado de diferenciación entre un color y otro.

2.3.2. Metamerismo

Se define como el cambio en la percepción de dos objetos bajo distintas fuentes de luz. Cuando dos objetos tienen el mismo color bajo una fuente lumínica, pero no bajo otras, forman un par metamérico. Cuando dos objetos tienen el mismo color bajo todas las fuentes lumínicas, forman un par isomérico.

Uno de los problemas de la selección del color en odontología se relaciona con el metamerismo espectral y se refiere al fenómeno de una selección aparentemente exacta del color que luego aparece como inexacta cuando se cambian las condiciones bajo las cuales

la selección original fue obtenida. Es el caso que ocurre cuando objetos coloreados que no tienen los mismos componentes espectrales como el diente y la porcelana, no se ven semejantes bajo diferentes condiciones de luz.

2.3.3. Luminiscencia

Se define como todos los fenómenos luminosos no causados solamente por el aumento de temperatura. Hoy en día, se entiende como el proceso por el cual el material genera radiación no térmica, y por esto ocurre a temperaturas más bajas que la requerida por la combustión. Se refiere a sustancias que dan un cierto tipo de luz cuando reciben los rayos ultravioleta invisibles. Se pueden dividir en dos grupos:

- a) **Sustancias fosforescentes**, que continúan emitiendo luz visible después de haber recibido los rayos ultravioleta.
- b) **Sustancias fluorescentes**, que sólo emiten luz visible mientras reciben los rayos ultravioleta.

Cuando ciertos materiales absorben varios tipos de energía, una parte de la energía se emite como luz. Este proceso tiene dos pasos:

- a) La energía incidente hace que los electrones de los átomos del material absorbente se exciten y salten de las órbitas internas de los átomos a las órbitas exteriores.
- b) Cuando los electrones “caen” de nuevo a su estado original, emiten un fotón de luz. El intervalo entre los dos pasos puede ser corto (menos que 0,0001 segundos) o largo (muchas horas).

Si el intervalo es corto, el proceso se llama **fluorescencia**; si el intervalo es largo, el proceso se llama **fosforescencia**. En ambos casos, la luz producida es casi siempre de menos energía, es decir, de longitud de onda más larga, que la luz excitante. Debe recordarse que los dientes, y en particular el esmalte, son sustancias fluorescentes (Touati, 2000)

2.3.4. Constancia del color

La luz reflejada de un objeto depende tanto de la iluminación del incidente como de la reflexión superficial del objeto. No obstante, el aspecto del color del objeto es a menudo absolutamente estable a través de cambios en la iluminación, fenómeno llamado **constancia de color**.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA VISIÓN HUMANA

La visión es el sentido por el cual percibimos las formas y colores del mundo exterior, y el órgano que cumple esta función es el ojo. (Fig. 8) Pero la visión no es un proceso simple sino que es una sensación compleja, que se lleva a cabo en el cerebro. La luz desde los objetos entra en el ojo y actúa sobre los receptores (bastones y conos) en la

retina. Impulsos desde ésta pasan por el centro óptico del cerebro, donde se interpreta la imagen.

3.1. El ojo

Los ojos convierten la energía luminosa del espectro visible en potenciales de acción en el nervio óptico, mediante una reacción fotoquímica. La energía se convierte en impulsos nerviosos y viaja a través del nervio óptico hasta el lóbulo occipital de la corteza cerebral. Las imágenes de los objetos en el ambiente se concentran sobre la retina y los rayos luminosos que inciden sobre ella generan potenciales en los bastones y los conos.

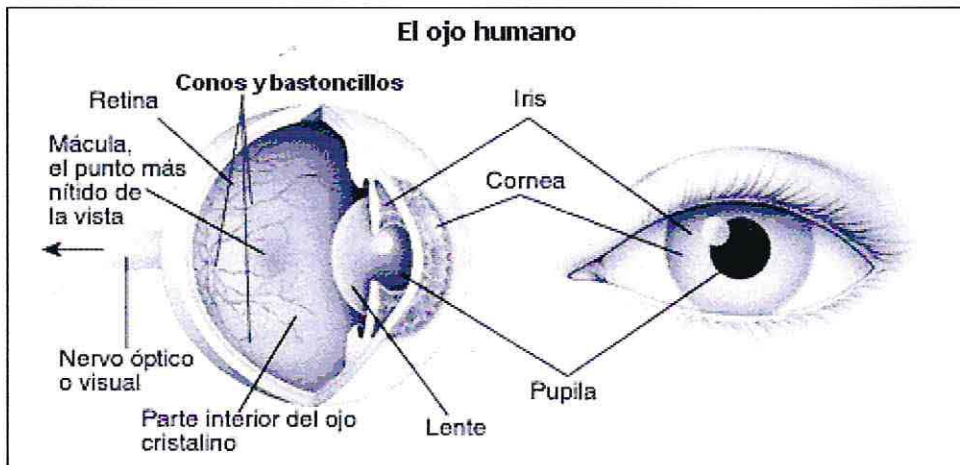


Figura 8

Los **bastones** se concentran en zonas alejadas de la fovea. La cantidad de bastones se sitúa alrededor de 100 millones y no son sensibles al color. Los bastones son mucho más sensibles que los conos a la intensidad luminosa, por lo que aportan a la visión aspectos como interpretar el *valor* y las diferencias de *brillo*. Son extraordinariamente sensibles a la luz de intensidad muy baja y colaboran a la visión escotópica (visión nocturna), pero no es capaz de definir los detalles y los límites de los objetos, ni de determinar su color.

Los **conos** que se concentran en una región cerca del centro de la retina llamada fovea, son los responsables de la visión del color y de la definición espacial. Son poco sensibles a la intensidad de la luz y proporcionan la visión fotópica (visión a altos niveles). Los conos interpretan el *tono* y el *croma*.

A principios del siglo XIX, se sabía que había tres tipos de conos sensibles a los colores. Se plantearon dos teorías al respecto: la Teoría Tricromática que interpreta que cada cono tiene sensibilidades espectrales correspondientes a R (rojo), G (verde), B (azul); y la Teoría Opuesta de Hering que dice que el cono tiene sensibilidades correspondientes a los colores opuestos, W/Bk (blanco/negro), R/G (rojo/verde), e Y/B (amarillo/azul).

La teoría Young-Helmholtz de la visión de color en el humano postula la existencia de tres tipos de conos, conteniendo cada uno de ellos un fotopigmento diferente y una sensibilidad máxima a uno de los tres colores primarios, por lo que, la sensación de

cualquier color en particular estaría determinada por la frecuencia relativa de los potenciales que provienen de cada uno de estos tres sistemas de conos.

Estos tres tipos de conos, son sensibles a los colores rojo (ondas largas), verde (ondas medias) y azul (ondas cortas), respectivamente. Entendemos por ondas cortas las ondas electromagnéticas que parten de 400 nanómetros, por ondas medias las que se sitúan alrededor de 550 nanómetros y por ondas largas las que poseen más de 600 nanómetros.

Se describen cuatro comportamientos básicos del ojo, basados en el funcionamiento individual de los conos (Fig. 9):

- Cuando ningún cono es excitado por luz exterior, la sensación del perceptor es el negro.
- Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda larga (R) la sensación visual es la del color rojo.
- Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda media (V) la sensación visual es la del color verde.
- Cuando se excita en su totalidad el campo de receptores de onda corta (A) la sensación visual es la del color azul.

Los conos también son excitables por conjuntos de ondas electromagnéticas de diferente longitud, tenemos también otros cuatro comportamientos:

- Cuando los conos sensibles a las ondas largas y medias (R y V) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al amarillo.
- Cuando los conos sensibles a las ondas largas y cortas (R y A) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al magenta.
- Cuando los conos sensibles a las ondas medias y cortas (V y A) se excitan a la vez, la sensación visual corresponde al cian.
- Cuando los tres tipos de conos se excitan a la vez, (R, V y A) la sensación corresponde al blanco.



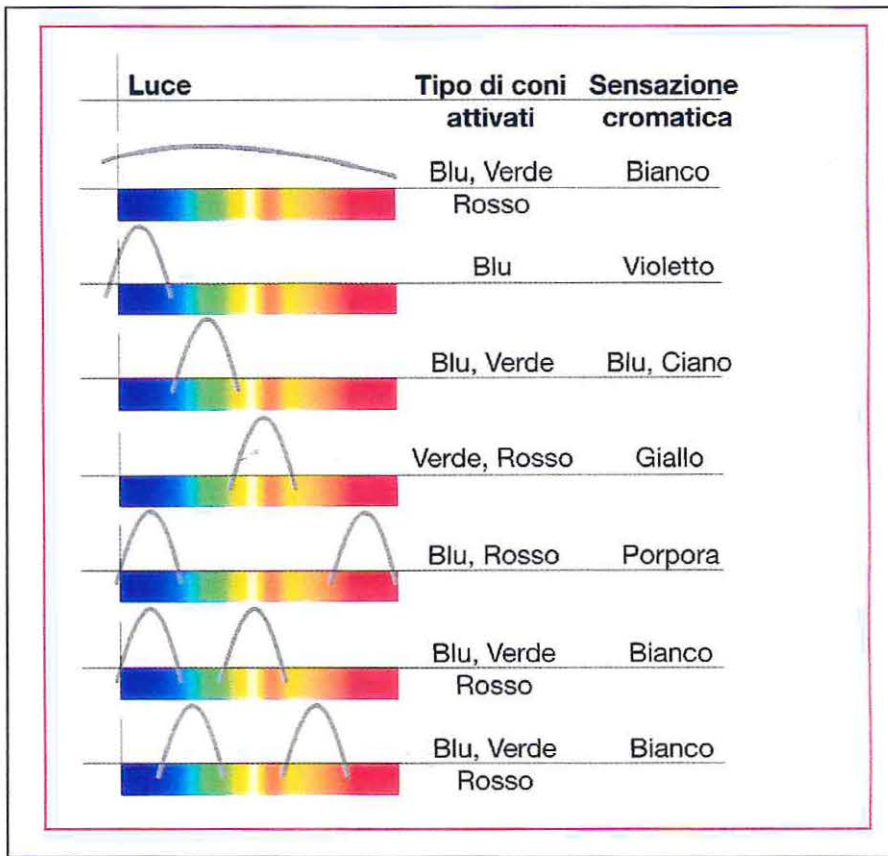


Figura 9

Respecto a la tridimensionalidad del color podemos decir que el matiz depende de los conos estimulados, el croma de la cantidad y grado de estimulación y el valor de la estimulación de los bastones.

3.2. Características de la visión

Debido a que el proceso de identificación de colores depende del cerebro y del sistema ocular de cada persona en concreto, podemos medir con toda exactitud la longitud de onda de un color determinado, pero el concepto del color producido por ella es totalmente subjetivo. Aunque la sensibilidad a la luz varía de una persona a otra, en el espectro de frecuencias visibles tenemos una gran capacidad de discriminación (en este rango podemos distinguir unos 10 millones de colores distintos). El ojo humano es más sensible a la luz verde/amarilla que a rojos y azules (la sensibilidad al amarillo es de orden de seis veces mayor que al azul). Sin embargo, el ojo humano tiene más capacidad para distinguir matices en los colores azules que en los amarillos. En realidad el ojo tiene una mayor sensibilidad cromática para los colores extremos del espectro (especialmente rojos, azules y morados), de forma que tiene más capacidad para distinguir diferencias de color en estos que en los centrales, sin embargo estos últimos (verdes y amarillos) tienen valores máximos de saturación, es decir, son percibidos como más brillante y luminosos.

Existen más células especializadas en trabajar con las longitudes de onda correspondientes al rojo que a ningún otro color. Aparte de esta distinta sensibilidad para

los diferentes colores, la resolución monocromática del ojo es mucho mayor que la cromática. Dicho en otras palabras, podemos distinguir mucho mejor diferencias de tono en la escala de grises que entre escalas de color.

La luminosidad aparente de un objeto que tenga el 50% de otro, no se percibe como la mitad de luminoso. De hecho basta una reducción del 18% de la luminosidad entre dos objetos para que la luminosidad de uno parezca la mitad del otro. El ojo no codifica la luminancia sino el contraste, y explica que una fotografía vista en condiciones de mucha y poca luz, parezca igual, a pesar de la diferencia de luz que refleja en cada caso.

El primer paso de la percepción del color es por medio de tres receptores de la retina, tal como lo dijeron Young y Helmholtz. El segundo paso, es algo más complicado, los conos retinales fotosensibles no transmiten directamente al cerebro, ya que cada cono no puede tener una neurona hacia el cerebro. Hay numerosas células retinales involucradas, no sólo conos, y su información se interconecta previamente antes de pasar a una fibra nerviosa. Una célula nerviosa transmitirá una señal donde un área específica en el ojo se excite por un estímulo específico. Esta área es un pequeño círculo, llamado **campo receptivo de la célula nerviosa**, y el estímulo existe cuando la luz está presente en su centro, pero no en su borde o al reverso.

3.3. Curva de sensibilidad del ojo

El espectro visible para el ojo humano es aquel que va desde los 380nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación.

La sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, suponiendo a todas las radiaciones luminosas de igual energía, se representa mediante una curva denominada "*curva de sensibilidad del ojo*" ó "*curva $V\lambda$* " (Fig. 10).

El ojo tiene su mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm que corresponde al color verde y la mínima a los colores rojo y violeta. Esta situación es la que se presenta a la luz del día ó con buena iluminación y se denomina "*visión fotópica*" (actúan ambos sensores de la retina: los *conos*, fundamentalmente sensibles al color y los *bastoncillos*, sensibles a la luz). En el crepúsculo y la noche, ("*visión escotópica*") se produce el denominado Efecto Purkinje, que consiste en el desplazamiento de la curva $V\lambda$ hacia las longitudes de onda más bajas, quedando la sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507 nm. Esto significa que, aunque no hay visión de color (no trabajan los conos) el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía en el extremo azul del espectro y casi ciego al rojo; es decir, durante el Efecto Purkinje, dos haces de luz de igual intensidad, uno azul y otro rojo, el azul se verá mucho más brillante que el rojo. Es de suma importancia el tener en cuenta estos efectos cuando se trabaje con bajas iluminancias.

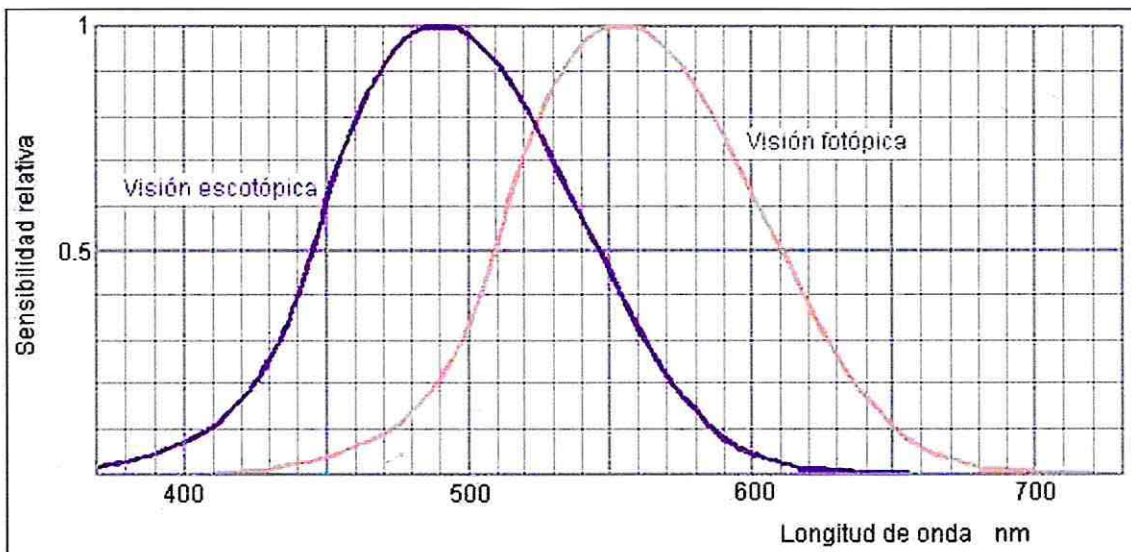


Figura 10

3.4. Fenómenos y anomalías de la visión

- Adaptación y sensibilidad del color: la elección del matiz es muy delicada debido a la rápida adaptación o menor sensibilidad de los conos para ver diferencias en mayor tiempo de observación. Esto se explica en la menor cantidad de conos presentes en la retina que los bastones. Al mismo tiempo ganamos sensibilidad al color complementario. Una observación prolongada nos llevaría a una disminución de la percepción de detalles.
- Resalte del contraste: al poner colores complementarios yuxtapuestos, se intensifican, por ejemplo azul y amarillo.
- Visión anómala del color: podemos encontrar anomalías en las cuales hay una insensibilidad completa al tinte, hasta otras más comunes que serían las tricromáticas, en las cuales un individuo percibe tres tintes, pero no se emparejan a los normales, tales como daltonismo o discromatopsia.

4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL COLOR

Desde hace varios siglos se intenta estandarizar la selección del color y cambiar parámetros subjetivos como la visión humana por parámetros objetivos, naciendo como ciencia la **colorimetría**, que estudia precisamente la medición del color y sus métodos. Con este objetivo se han creado a lo largo de la historia variados sistemas de color basados en mediciones y fórmulas matemáticas, además de instrumentos con los cuales obtener estas mediciones, tales como colorímetros, espectrofotómetros, fotodetectores, entre otros. Además, se debe tener en cuenta que la distribución de tonos de los dientes naturales es diversa y difiere dependiendo de los métodos de medición.

La percepción del color es un fenómeno psicofísico y la medición del color debe ser definida de modo que los resultados se correlacionen exactamente con la sensación visual del color de un observador humano normal. La colorimetría es, entonces, la ciencia y tecnología usada para cuantificar y describir físicamente la percepción humana del color.

Nuestra percepción de color es aceptada como subjetiva, y los problemas en su medida pueden ser esperados. En un esfuerzo para traducir los hechos físicos y psicológicos del color, la colorimetría ha establecido un método internacional psicofísico de especificación del color que incluye un **observador estándar** y **fuentes de iluminación estandarizadas**.

Las características ideales de un método de medición en odontología son:

- a) basado en las propiedades ópticas del diente.
- b) reproducible, sensitivo y simple de usar.
- c) Debe ser posible realizar las mediciones en boca.

La determinación del color en odontología se puede dividir en 2 categorías: **visual e instrumental**. La determinación visual del color por la comparación del diente de un paciente con un estándar de color es el método aplicado con más frecuencia en la odontología clínica. Sin embargo, la determinación visual de la selección del tono se ha encontrado no fiable y contradictoria, siendo es un problema continuo en odontología. Desde su introducción a la odontología, los espectrofotómetros y los colorímetros se han utilizado sobre todo en la investigación y no en la práctica clínica. El análisis del color instrumental ofrece una ventaja potencial sobre la determinación visual del color porque las lecturas instrumentales son objetivas, se pueden cuantificar, y se obtienen más rápidamente.

4.1. Sistemas de Color

4.1.1 Sistema Munsell

De todos los sistemas de color disponibles, el sistema de Munsell posee reconocimiento mundial, consistencia, flexibilidad y simplicidad, convirtiéndose en la opción para utilizarlo en odontología; además intenta alcanzar igual espacio visual (de percepción) entre las muestras. El árbol de color es una representación de la organización tridimensional de los colores dentro del sistema Munsell.

El sistema de orden del color de Munsell (Fig. 11) fue diseñado para satisfacer los requisitos del espacio de color ideal. Cada color se considera el centro de una esfera rodeada por las selecciones más cercanas siguientes del color de la tonalidad, valor, y/o croma. El hecho que el ideal no se ha alcanzado totalmente (y quizás es imposible alcanzar) no le quita valor al sistema.

El Sistema Munsell compara el color de un objeto con un arreglo ordenado y estandarizado de placas coloreadas. Este sistema describe el color en un sistema tridimensional de coordenadas que representan el matiz, el valor y el croma. El matiz es representado por 10 colores diferentes. Cada color esta ubicado en un plano horizontal circular de la coordenada axial. El croma es la intensidad o saturación y esta representado

como los rayos de una rueda en donde el color más saturado se encuentra en la periferia. Por último el valor se refiere a la luminosidad u oscuridad del color y esta representado por nueve ruedas en el eje axial, ubicándose el blanco arriba y negro abajo.



Figura 11

Munsell explicó su sistema para señalar colores con estas palabras: "la notación usada en este sistema pone la tonalidad o tinte (expresada por una inicial) en la izquierda; Valor (expresado por un número) sobre y a la derecha del símbolo de la tonalidad; y croma, también expresado por un número, debajo y a la derecha de la línea de inclinación." El formato total en uso común es H V/C (T V/I en español). Para referir una tonalidad en el sistema de Munsell, las iniciales que se utilizan son: R para el rojo, YR para amarillo-rojo, Y para el amarillo, y así sucesivamente.

El valor de un color se determina por la cantidad de gris. El negro en la escala de valor se asigna un valor cero y el blanco un valor 10. Un número infinito de gradaciones del gris es posible, pues vamos de negro al blanco, pero solamente se utilizan en el sistema de Munsell nueve pasos (grises) del valor. El blanco puro (10) y el negro puro (0) son inalcanzables. Se utilizan los números fraccionarios cuando una evaluación más fina es necesaria.

4.1.2. Sistema CIE-1931

En 1931, CIE (Comisión Internationale d'Eclairage) transformó la elección de un color RGB por un nuevo set de primarios, XYZ, para eliminar valores negativos. Es simplemente una transformación lineal desde las funciones de RGB. El color estaba definido por los valores integrados de las tres coordenadas denominados valores triestímulos. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

4.1.3. Sistema CIE Lab

Para afinar la especificación de los colores y las diferencias de color, CIE recomendó espacios de color tridimensionales – CIELAB y CIELUV en 1976. La diferencia de color en el CIELAB es calculada como la distancia Euclidean (ΔE) entre los puntos en el espacio tridimensional. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

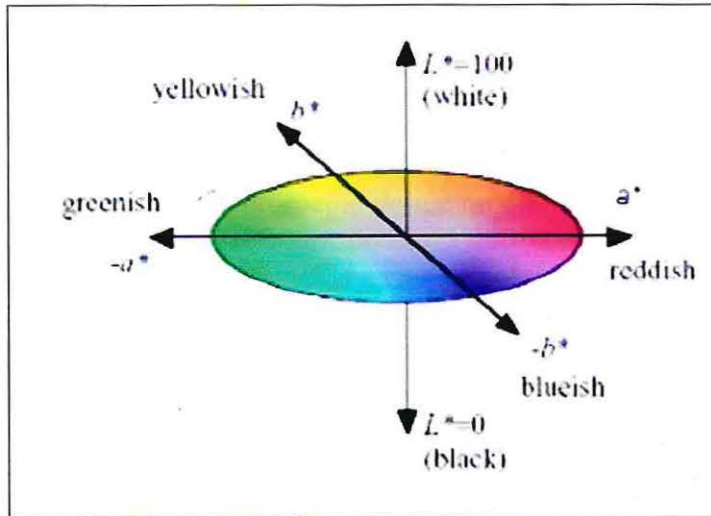


Figura 12

De los sistemas de color, el más utilizado para medición del color e investigación dental es el CIE $L^*a^*b^*$. (Fig. 12) El sistema CIE es el estándar internacional para la medición del color, el cual incorpora un observador y una fuente de iluminación. En el concepto de CIE-1931, todos los colores pueden ser comparados mezclando cantidades relativas de los 3 colores primarios: Rojo (X), verde (Y), y azul (Z). Los valores de X, Y, Z, pueden ser convertidos matemáticamente y expresados en el espacio de color CIE Lab. Cada color puede ser representado por un único punto en el espacio, determinado por la cantidad de coordenadas relacionadas a los ejes usados en el sistema de CIELab.

Los valores en las coordenadas L, representan la luminosidad del objeto, en un rango de 0 (negro) a 100 (blanco). Los valores en a^* , representan los extremos rojo o verde identificados con valores positivos o negativos respectivamente y los valores de la coordenada b^* , representa los colores amarillo o azul.

4.2. Fuentes de iluminación estándar (CIE)

Hay tres fuentes principales de luz natural: el sol, la luna y el fuego; y tres fuentes artificiales: luz incandescente, tubos fluorescentes y flash fotográfico. Cada una de estas fuentes de luz se define por su espectro de luz o su **temperatura de color correlacionada (CCT)**, la cual se mide en grados kelvin (K). La escala Kelvin empieza en 0° K, que corresponde a una temperatura de -273° C. La luz natural típicamente está entre los 5000° K y los 5.500° K.

Los colores cambian dependiendo del espectro de iluminación, por ejemplo, la luz fluorescente tiende a acentuar el rango azul del sistema de colores, por cuanto la luz incandescente acentúa el rango amarillo-rojo. Entonces surgió una necesidad de especificar la iluminación para algún color específico. Para este propósito, los iluminantes colorimétricos están estandarizados por CIE e ISO. El iluminante A estándar CIE (representativo de los filamentos de tungsteno de iluminación con una temperatura de color de 2856 K) y el iluminante D65 estándar CIE (representativo del promedio de la luz del día con una CCT de 6500K) son las dos iluminantes estándar primarias. Se recomienda que cualquiera de estas iluminantes sea usada en todas las aplicaciones. Otras fases de iluminantes de luz de día son ampliamente usadas en áreas específicas de aplicación, y CIE también define D50, D55 y D75. Aunque no es recomendado para su uso, el iluminante B intentaba representar la luz directa del sol con una CCT de alrededor de 4900K, y iluminante C para representar el promedio de luz de día con una CCT de alrededor de 6800 K y para ser realizada con una fuente de tungsteno combinada con un filtro de líquido prescrito. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

Una fuente es una luz física real, algo que puede ser encendido para iluminar otra cosa. Sin embargo, un iluminante es una luz que se define por una distribución de su energía espectral, pero puede que no exista realmente. El **índice de rendimiento de color (CRI)**, es un método por el cual son descritas las fuentes. Es una escala de 1 a 100, en la cual, se compara la apariencia del color bajo una fuente con la apariencia de este mismo color, pero bajo un **iluminante estándar**, como el D65. El valor CRI de 100 significa que la fuente es idéntica al iluminante estándar.

4.3. Método visual

El método visual es el método más aplicado y consiste en la comparación visual con colores estándar. El diente y el estándar son mirados simultáneamente bajo las mismas condiciones de luz. La evaluación del color por la comparación visual es un método subjetivo. Las guías comercialmente manufacturadas de tonos se utilizan comúnmente como el estándar de color por el cual el color del diente se selecciona. Sin embargo, las guías de tonos no representan la gama entera de tonos de los dientes naturales y los tonos disponibles no se distribuyen sistemáticamente.

Este método presenta desventajas como:

- a) el rango de tonos es inadecuado y no están sistemáticamente distribuidos;
- b) método multifactorial, lo que causa diferencias y falta de consistencia entre dentistas;
- c) diferentes observadores interpretan los efectos ópticos del diente de diferente manera; y
- d) no es posible cuantificar matemáticamente, como el sistema CIE.

El método visual ha demostrado ser no fiable debido a las inconsistencias en la opinión del color entre observadores. La determinación visual del color es dependiente en las respuestas fisiológicas y psicológicas del observador al estímulo de energía radiante. Las inconsistencias pueden resultar de factores tales como fatiga, envejecimiento, las emociones, las condiciones de la iluminación, exposición anterior del ojo, posición del

objeto y del iluminador, y metamerismo. Además, estos factores tienen diversos efectos interpretativos en cada observador. A pesar de estas limitaciones, el ojo humano puede detectar diferencias muy pequeñas en color; sin embargo, la capacidad de comunicar éstas diferencias de colores en términos de la magnitud y la naturaleza es limitada.

Okubo et al, en 1998, bajo condiciones controladas, usando una guía de tonos de porcelana, obtuvo un promedio de selecciones correctas del 48% entre los observadores, demostrando la falta de consistencia. Yap et al. en 1997 observó que la percepción del color varía de un individuo a otro, y algunos no son capaces de duplicar su selección en 2 momentos distintos. Debido a esta falta de consistencia en la selección del color natural del diente entre los odontólogos, se requiere mayor entrenamiento para dentistas y laboratoristas en la percepción y discriminación del color. (Hasegawa et al, 2000)

Ruyter, Nilner and Moller (1987) mostró que bajo condiciones clínicas el ojo humano puede percibir valores de ΔE de 3.3 o mayores entre dos colores. Otro estudio reportó un promedio de 3,7 unidades de ΔE en una selección en la cavidad bucal. (Johnston y Kao, 1989) Sin embargo, bajo condiciones controladas, el ojo humano puede percibir cambios de color entre ΔE 1 y 2. (Kuehni y Marcus, 1979; Seghi et al, 1989)

4.4. Método Instrumental

Las mediciones instrumentales pueden cuantificar color y permitir que la comunicación sea más uniforme y precisa. El desarrollo de colorímetros y de espectrofotómetros automatizados más avanzados ha aumentado su uso en la investigación dental.

En la medición instrumental, existe incertidumbre y ésta debe ser determinada. Los efectos contribuyentes a la incertidumbre incluyen error de longitud de onda, detector no alineado, luz externa, ancho de banda, condiciones geométricas para iluminación y visión y ruido de medición. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

Los espectrofotómetros y los colorímetros se han utilizado (la mayoría con modificación) para procurar superar problemas con la selección visual en odontología. Los espectrofotómetros miden la reflectancia de la luz en intervalos de longitud de onda sobre el espectro visible, y los colorímetros proveen especificaciones directas de coordenadas de color sin manipulación matemática. Esto se obtiene por una muestra de luz reflejada desde un objeto a través de tres filtros de color que estimulan la respuesta de los receptores de color como en el ojo.

Las características no uniformes del color de los dientes que denotan lo complejo de la estructura del diente desafían incluso los mejores instrumentos.

4.4.1. Espectrofotómetros

Las mediciones espectrofotométricas del color pueden diferir dependiendo de la iluminación, modos de medición y el tipo de fuente de luz.

Los espectrofotómetros operan usando dos diferentes modos de medición, modo componente especular incluido (SCI) y modo excluido (SCE), y las coordenadas de color resultantes pueden depender del modo. El componente especular es la luz reflejada a la superficie en la que el ángulo de reflexión iguala al ángulo de incidencia. El componente difuso resulta desde la luz penetrando la superficie, pasando por reflexiones y re-emergencias a la superficie.

Para la espectrofotometría de reflexión, se utilizan dos geometrías básicas, es decir, iluminación y observación difusas en 0° o, la iluminación en 45° y la observación en 0° (Judd y Wyszecki, 1975). Puesto que el acceso a la cavidad bucal es limitado, sólo la geometría $45^\circ/0^\circ$ es un método conveniente para el uso clínico.

Paul et al. (2002) reportó una diferencia altamente significativa entre determinación humana vs espectrofotométrica del tono. Sin embargo, se debe realizar una prueba clínica adicional para revelar si los espectrofotómetros se pueden utilizar como herramientas de determinación del color con el potencial de apoyar o quizás sustituir el ojo humano durante la fabricación de restauraciones directas e indirectas. (Paul et al. 2002)

4.4.2. Colorímetros

Para las mediciones de pequeñas diferencias de color, son usados los colorímetros triestímulos por sus beneficios de alta velocidad y bajo costo. La incertidumbre de los colorímetros triestímulos es limitada, sin embargo, se debe a la conexión mal hecha de la iluminación de los iluminantes CIE y de la respuesta espectral de los detectores de funciones de selección de color CIE. (National Institute of Standards and Technology, 2000)

La geometría es una de las más importantes condiciones para especificar en colorimetría de reflexión. Para la colorimetría, CIE recomienda el uso de una de las cuatro geometrías estándar— $45^\circ/\text{normal}$ ($45/0$), $\text{normal}/45^\circ$ ($0/45$), $\text{difuso}/\text{normal}$ ($d/0$), y $\text{normal}/\text{difuso}$ ($0/d$). (National Institute of Standards and Technology, 2000)

Los colorímetros fotoeléctricos de triestímulos tienen el potencial de quitar algunas de las variables encontradas cuando el método visual se utiliza exclusivamente y ha sido demostrado para proporcionar medidas exactas y repetibles en algunas muestras de la porcelana; sin embargo, no son a prueba de errores. Se ha indicado que muchos factores contribuyen al error, o "ruido," en los valores finales.

Aunque los colorímetros han demostrado utilidad en la investigación y consistencia en seleccionar objetos opacos e incluso algunos objetos translúcidos simples, no se han realizado bien con objetos más complejos, de varias capas y translúcidos. La causa de esta inexactitud se puede atribuir muy probablemente a una combinación de factores, incluyendo la inhabilidad del instrumento de leer objetos translúcidos complejos, la variabilidad inherente en las guías de tonos de los fabricantes, la fórmula de la diferencia del color para trabajar bajo estas condiciones, el software, y la dificultad en controlar todas las variables.

En odontología, los resultados de un dispositivo colorimétrico pueden ser alterados porque la luz emitida del dispositivo se puede dispersar, absorber, transmitir, reflejar, e incluso desplazar en una dirección oblicua como resultado de las características ópticas translúcidas de los dientes y de la cerámica dental. También se ha reportado que los colorímetros están diseñados para las superficies planas, más que para las superficies curvas encontradas en los dientes. Muchas variables se pueden controlar parcialmente con el uso de un dispositivo de fijación que permita que la máquina lea la misma área general de un diente.

5. COLOR Y PROPIEDADES ÓPTICAS DE LOS DIENTES

El comportamiento óptico del diente depende de las características de los tejidos que lo conforman y del color propio de éstos, de acuerdo a un balance entre matiz, croma y color. En cuanto al color observado, diremos que el matiz y croma se concentran preferentemente en la dentina y que el esmalte será responsable del valor.

5.1. Propiedades ópticas del esmalte

La luz que llega al esmalte será reflejada en una parte, y en otra parte será transmitida a la dentina. Si el esmalte tiene una superficie perfectamente lisa, la reflexión será especular acromática; si la superficie es irregular la reflexión será difusa y el diente se verá con menos brillo. La superficie del esmalte se caracteriza por tener pequeñas irregularidades, dando una reflexión de la luz en todas direcciones, lo que conocemos reflexión difusa.

El esmalte se considera como un cuerpo translúcido, dispersando la luz que lo atraviesa. En algunos casos tiene algo de color amarillo, con un croma muy bajo y un poco de gris, causando en este caso una reflexión cromática, por lo que se verá el diente menos brillante y más amarillo.

La translucidez va a depender de la cantidad de sustancia orgánica que tenga un tejido, ya que esta sustancia orgánica actuarían como partículas opacas. Cuanto mayor es la cantidad de sustancia orgánica, menos translúcido es el medio, y cuanto más translúcido menor es su valor.

Cuando la luz penetra el esmalte se difractará y dispersará en su interior. Si algo de color tiene podrá actuar como filtro absorbiendo determinadas longitudes de onda. La dispersión de la luz en su interior producirá un efecto de vidrio esmerilado iluminado llegando a la dentina los rayos que pasan el esmalte como un abanico. El efecto de dispersión será producido por los prismas del esmalte.

El fenómeno de opalescencia en dientes naturales, depende del tamaño de los cristales de hidroxapatita que es menor que la longitud de onda de la luz incidente. La capacidad del esmalte de reflejar preferentemente las ondas azules y permitir la transmisión de las ondas naranjas de la luz visible le otorga sus propiedades opalescentes. Cuando las

masas de composite son suficientemente translúcidas también exhiben efectos de opalescencia, los cuales son esenciales para reproducir las reflexiones azules típicas del tercio incisal. Este efecto es predominante en pacientes jóvenes. (Dietschi, 2001)

En el esmalte, el grado de dispersión y de absorción de luz permiten la penetración profunda de fotones incidentes en orden de 1 mm. Los fotones que atraviesan la capa de esmalte entregan la apariencia translúcida. Otros fotones incidentes son dispersados hacia atrás, provocando el volumen de reflexión. Otros sufren un desplazamiento lateral en el esmalte y emergen a cierta distancia desde el lugar de incidencia. El desplazamiento lateral de la dispersión de la luz en volumen reflejado de fotones nunca será el mismo, ya que al medir color genera severas pérdidas en el margen, por lo que la cantidad de luz reflejada se reduce. (Van der Burgt, 1990)

Aunque el esmalte es acromático, influye débilmente en el color del diente otorgando una dominancia azul, el esmalte mismo no modifica el tinte del diente pudiendo sólo, a través de fenómenos de reflexión y de transmisión de la luz, modificar el croma y el valor. (Cattaruzza, 2002).

5.2. Propiedades ópticas de la dentina

La luz difusa y algo filtrada en el esmalte incide en la dentina y en el límite amelodentinario, esta luz recibida, por una parte, se reflejará hacia el exterior en forma dispersa dada la irregularidad propia de la dentina, y por otra se absorberá. Por lo tanto la luz reflejada será cromática del color, valor y croma que la dentina tenga.

La luz reflejada por la dentina, volverá a atravesar el esmalte, siendo nuevamente dispersada por éste, antes de salir al exterior y estimular al ojo de un observador.

La fluorescencia es un fenómeno que depende principalmente de la dentina. Cuando los rayos ultravioletas inciden en los dientes se emite una luz fluorescente blanca azulada producto de la excitación de fotosensibilidad de la dentina. La percepción cromática de fluorescencia es fuertemente influenciada por la luz solar. (Dietschi, 1996) La energía que el diente absorbe se convierte en longitudes de onda mayores que van desde 400-500 nm (blanco azulado).

Un estudio midió el color de incisivos superiores extraídos, obteniendo los siguientes valores CIELab; $L = 70 \pm 4$, $a = -0.22 \pm 1.4$, y $b = 18 \pm 3$. Después de eliminar el esmalte se volvió a medir el color de la dentina remanente. Se observó un alto nivel de correlación entre las mediciones de color del diente entero y el núcleo de la dentina. De dichas mediciones, los autores concluyeron que el color del diente queda determinado por el color de la dentina. (ten Bosch & Copos, 1995)

Como conclusión del comportamiento óptico de un diente podemos señalar que la sensación de imagen de color se debe en primer término a la composición de la luz que incide sobre un diente; en segundo lugar, como el esmalte absorbe, refleja y transmite esa luz; en tercer término, a como la dentina absorbe y refleja la luz recibida desde el esmalte.

Y finalmente, a la luz emergente que es la combinación de las luces reflejadas por esmalte y dentina. (Fig. 13)

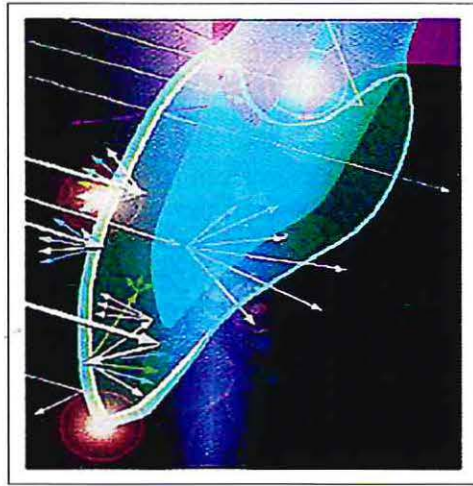


Figura 13

5.3. Espacio de color dentario

Sproull (2001) determinó el siguiente rango del espacio de color de los dientes según las coordenadas del sistema de Munsell; tonalidad de 7,5 YR a 2,7 Y, un rango de valor de 5,8/a 8,5 /, y de/1,5 a/5,6 de rango de croma. Hayashi, de un estudio de la gama del color de 81 dientes naturales, usando el sistema de la orden del color de Munsell, estableció un radio de acción de la tonalidad de 8,75 YR a 3,75 Y, una rango de valor de 6/a 8/, y de/1 a/5 de rango de croma. Clark, en un estudio sobre de 6.000 dientes, estableció visualmente un rango de acción de la tonalidad de 6 YR a 9,3 Y, un rango de valor de 4/ a 8/, y de/0 a /7 de rango de croma. (Fig. 14)

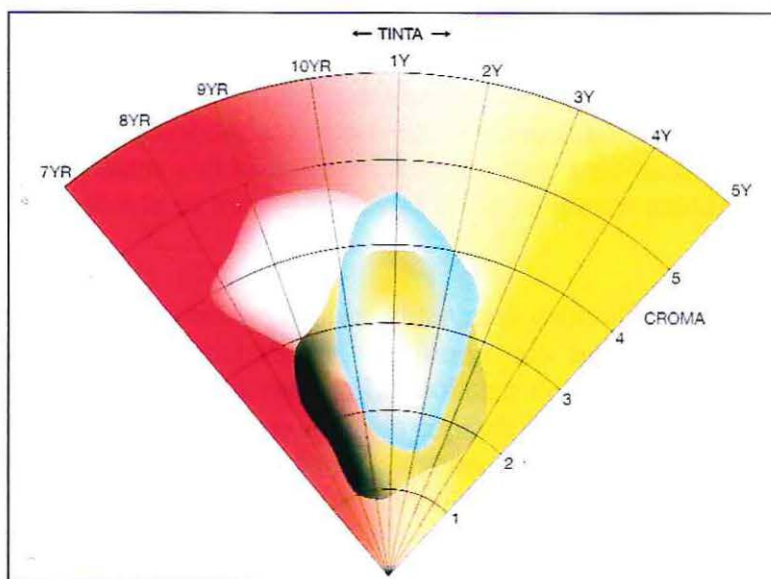


Figura 14

5.4. Consideraciones generales

El color de los dientes cambia con la edad. Se ha encontrado una correlación negativa entre la edad y CIE L* con una correlación positiva entre edad y CIE b*. (Lee et al. 2001) Se puede especular que el diente natural se oscurece después de los 35 años por la formación de dentina secundaria. El enrojecimiento indicado con a* aumenta con la edad sólo en incisal; pudiéndose deber al desgaste oclusal con los años. Goodkind reporta que los dientes naturales con los años se oscurecen y enrojecen. (Hasegawa et al, 2000)

El parámetro b* en cervical se vuelve más amarillo con la edad, pudiendo deberse a la exposición radicular por la recesión gingival. (Hasegawa et al, 2000)

Clark encontró que, cómo los colores del diente con la edad se oscurecen (más bajo en valor), se debilitan en saturación (croma). En un diente antiguo podemos percibir la disminución de su valor y el aumento de tonos grisáceos, producto de la pérdida de sustancia orgánica en el tiempo y el consecuente aumento de translucidez de ambos tejidos por la misma causa.

La transparencia en incisal disminuye con la edad por desgaste y por la formación de dentina secundaria más oscura. El aumento de brillo hacia el centro desde incisal y disminución hacia cervical se puede deber a la influencia del fondo negro en la zona superior. En cervical y centro cervical se ve influenciado por la dentina más oscura y la raíz. (Hasegawa et al, 2000)

En un diente joven la estructura dentinaria interna está inalterada y los lóbulos de desarrollo están intactos. La dentina está completamente cubierta por el esmalte, incluyendo el borde incisal. El esmalte presenta generalmente un efecto opalescente claro hacia este borde y la dentina posee un color claro uniforme, esto sumado a una superficie texturizada aumenta la fuerza de reflexión y refuerza la impresión de opacidad relativa. (Dietschi, 1998)

En una persona adulta los lóbulos de desarrollo pueden estar expuestos en el área incisal aunque la estructura dentinaria interna esté globalmente inalterada. También la dentina es de color más oscuro y el esmalte presenta un tono más neutro. Por esta misma condición el efecto opalescente es más neutral y el brillo es menor debido al desgaste del esmalte. (Dietschi, 1998)

En las personas de avanzada edad, los diferentes estímulos físicos producen un cambio en la estructura externa del diente. Se forma una mayor cantidad de dentina terciaria lo que provoca mayor decoloración. Los lóbulos de desarrollo desaparecen y la dentina aparece como un muro, bajo una delgada capa de esmalte que muestra un grosor disminuido y una mayor translucidez, más una textura superficial casi inexistente. Todo esto hace que el diente sea más gris y menos translúcido que un diente joven. (Dietschi, 1998)

Un diente claro tiene un valor elevado; un diente oscuro tiene un valor reducido. El uso del valor en odontología restauradora no significa añadir gris, sino más bien manipular los colores para aumentar o reducir la cantidad de gris. (Cattaruzza, 2002)

En la dentición permanente de las personas jóvenes, el tono suele ser muy parecido en toda la boca. Con el paso de los años, suelen producirse variaciones de tono debido a la pigmentación intrínseca y extrínseca producida por los materiales de restauración, los alimentos, las bebidas, el tabaco y otros factores.

En cada diente el color es más intenso en el cuello dental y disminuye en dirección al tercio incisal, esto es por la disminución del espesor de la dentina, ya que la dentina es la principal responsable del color del diente, y por aumentar el espesor del esmalte que, a través del fenómeno de reflexión de la luz, reduce la intensidad cromática de la dentina (Cattaruzza, 2002).

La diferencia de color entre un diente extraído y otro vital se debería a la diferencia de la pulpa y la hidratación, además de las diferencias de tamaño, edad y regímenes de dieta. Es difícil acertar la edad del diente y la razón de la extracción. (Analoui et al, 2004)

6. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES ÓPTICAS DE LAS RESINAS COMPUESTAS

6.1. Composición

Las resinas compuestas poseen 4 componentes básicos (Chain y Baratieri, 2001):

6.1.1. Matriz resinosa

La matriz de las resinas compuestas la mayoría de las veces está constituida de monómeros que son diacrilatos alifáticos o aromáticos, siendo el Bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato) y el UDMA (uretano dimetil metacrilato) los más frecuentemente utilizados. Además de estos componentes, la matriz resinosa posee monómeros diluyentes, necesarios para disminuir la viscosidad de los monómeros (Bis-GMA y UDMA) que poseen alto peso molecular. Los monómeros diluyentes frecuentemente utilizados son dimetacrilatos, tales como el TEGDMA (trietileno glicol dimetacrilato), el cual posibilita la incorporación de alto contenido de carga además de facilitar un material final con mejores características de manipulación.

6.1.2. Agentes iniciadores

En los sistemas de activación fotopolimerizables, una luz visible con extensión de onda que varía de 420 a 450 nm excita las canforoquinonas u otra diquetona (que son los agentes iniciadores), ocasionando una interacción reactiva con una amina terciaria no aromática. El resultado inmediato de un sistema iniciador es la formación de un radical libre, que es un compuesto muy reactivo por presentar un electrón sin par. Cuando este radical libre encuentra un monómero resinoso con conexiones dobles de carbono ($C=C$),

forma un par con uno de los electrones de la conexión doble, dejando los demás miembros del par libre igualmente reactivo. En las resinas compuestas químicamente polimerizadas (autopolimerizables), el peróxido de benzoilo (iniciador) reacciona con la amina terciaria aromática para formar los radicales libres.

6.1.3. Relleno inorgánico

Las partículas de carga ofrecen estabilidad dimensional a la inestable matriz resinosa, con la finalidad de mejorar sus propiedades. Cuando estas partículas son mezcladas a la matriz, el primer efecto es la reducción de la contracción de polimerización, simplemente por el hecho de disminuir la cantidad de resina presente en un cierto volumen. Otras mejoras observadas son la menor absorción de agua y un menor coeficiente de expansión térmico, además de un aumento en las resistencias de tracción, compresión, abrasión y un mayor módulo de elasticidad (mayor rigidez). Las partículas de carga normalmente utilizadas son partículas de cuarzo o vidrio, obtenidas de diversos tamaños a través de un proceso de molienda, siendo el cuarzo dos veces más duro y menos susceptible a la erosión que el vidrio, además de proporcionar mejor adición con los agentes de enlace. Otras partículas de carga también son utilizadas como las diminutas partículas de *silica*, con aproximadamente 0,05 μm en tamaño (micropartículas), obtenidas a través de procesos pirolíticos (sílica pirogénica) y de precipitación (sílica coloidal).

El relleno del composite modifica el comportamiento de la resina en su enfrentamiento a la luz. Los rellenos opacos absorben la luz o la reflejan reduciendo la translucidez del composite. Los rellenos vidriosos consienten una mejor transmisión de la luz, aumentando la translucidez del composite, sin embargo, dado la irregularidad de la forma del relleno, también se producen fenómenos de reflexión de la luz, generalmente irregulares (difusión). (Cattaruzza, 2002)

Las proporciones cuantitativas del relleno hacen al composite un material más o menos translúcido, o más o menos opalescente. Por definición, ya que un material de composite no puede tener un porcentaje de relleno igual a cero, o igual a cien, no existen composites totalmente transparentes o totalmente opacos. Por lo tanto, en relación a los variados tipos cuantitativos y cualitativos de rellenos entre los composites comúnmente producidos, distinguimos dos categorías de materiales, una que se pone en una faz de transparencia-translucidez, con composites más o menos translúcidos (composites con menos relleno), y una segunda de opalescencia-opacidad, que identifica composites más o menos opalescentes (composites con más relleno). (Cattaruzza, 2002)

6.1.4. Agente de enlace

El agente de enlace es el material responsable de la unión de las partículas de carga a la matriz resinosa, hecho importante dado que mejora las propiedades físicas y mecánicas, una vez que ofrece una transferencia de tensiones de la fase que se deforma más fácilmente (matriz) para la fase más rígida (carga). Además de esto, el agente de enlace ofrece una estabilidad hidrolítica, ya que previene la penetración de agua en la interfase resina/carga. Los agentes de enlace son frecuentemente denominados *silanos*. Los silanos por ser moléculas bipolares, también poseen grupos metacrilatos, los cuales forman conexiones

covalentes con la resina en el proceso de polimerización, ofreciendo una adecuada interfase resina/carga.

6.2. Clasificación de las resinas compuestas

Hay varias formas de clasificar las resinas compuestas, siendo la más común según el tipo de carga utilizada (Chain y Baratieri, 2001):

- Resinas de macropartículas: El tamaño de las partículas varía entre 15 a 100 micrómetros (μm). Actualmente están en desuso y ya no se encuentran en el mercado.
- Resinas de micropartículas: Tienen un tamaño de alrededor de $0,04 \mu\text{m}$.
- Resinas híbridas: Estas resinas poseen tanto micro como macropartículas de carga, con características de ambas. Las resinas híbridas se subdividen según el tamaño de sus partículas en:
 - Híbridas pesadas: contienen 80% de carga en peso
 - Híbridas de pequeñas partículas: Sus “macro” partículas poseen un promedio de tamaño que varía entre 1 y $5 \mu\text{m}$. Los composites híbridos de pequeñas partículas contienen cantidades de micropartículas que varían entre 10 y 15%.
 - Híbridas de minipartículas: Los agentes de carga son menores de $1 \mu\text{m}$ ($0,6 - 0,8 \mu\text{m}$), siendo las mayores partículas de $2 \mu\text{m}$ de tamaño máximo.

Otra forma de clasificar las resinas compuestas está basada en la composición del relleno (Dietschi & Spreafico, 1998), que en primer lugar las clasifica en:

- Monomodal: Cuando sólo tiene un tipo de relleno. Se dividen en:
 - Macrorrelleno
 - Pequeña partícula esferoïdal
 - Microrrelleno homogéneo
 - Microrrelleno no homogéneo
- Bimodal: Cuando tienen más de un tipo de relleno: Se dividen en:
 - Híbrido
 - Híbrido fino

Cabe mencionar en este punto que actualmente las resinas compuestas también se dividen en composites de esmalte y dentina. Además, se menciona que la nueva tecnología utilizada en la fabricación de materiales dentales desarrolla la nanotecnología, hablándose de resinas compuestas de nanorrelleno.

6.3. Resinas compuestas y Colorimetría

Según un estudio realizado por Lee et al. (2001) no existe correspondencia de color entre los composite comercialmente disponibles y la guía de tonos Vita Classical. Los tonos de las resinas compuestas con la misma designación del tono difirieron, dependiendo de la marca y el tono del material. La variación entre los productos de la misma designación de tono fue manifestada principalmente en la luminosidad (L^*) y amarillez (b^*). Las variaciones entre composites de la misma designación de tono fueron perceptibles para muchos observadores bajo condiciones ideales de visión. (Lee et al. 2001)

En otro estudio Lee et al. comparó el color de las guías de tonos de los fabricantes con el color de las resinas compuestas actuales del mismo grosor. También determinó si las guías de tonos de los fabricantes tienen coordenadas de color que eran similares a la guía Vita Lumin, concluyendo que ninguna de las etiquetas de los fabricantes evaluada tenía todos los valores CIE L^* , a^* , b^* idénticos a las etiquetas Vita respectivas. (Lee et al. 2002)

En un estudio realizado para comparar atributos y exactitud de guías de color basados en muestrarios Vita, los resultados demuestran que ningún producto tiene valores iguales a la guía Vita en valores CIELab, y generalmente son más oscuros (Yap, 1998) Yap reportó que las diferencias de matiz y croma no son dependientes del material, sin embargo sí lo son del tono del composite.

El espesor del composite ejerce un rol fundamental en la determinación del límite entre translucidez y opalescencia. Cuanto mayor es el espesor, mayor es el grado de absorción y/o reflexión de la luz, por lo tanto, composites muy opalescentes pueden parecer translúcidos si están en espesores delgados, así como, composites translúcidos tendrán características de opalescencia en espesores relativamente mayores.

Los composites de dentina son más opalescentes porque tienen más carga (más relleno), y los composites esmalte son más translúcidos, por tener menor carga (menos relleno).

Los composites translúcidos poseen un valor menor y un croma menor que los composites opacos. Para los composites translúcidos, aumentando el espesor, se reduce levemente el valor y aumenta el croma. Para los composites opacos, aumentando el espesor, aumenta el valor y aumenta el croma.

El pulido del composite, en cuanto a su capacidad de influenciar el comportamiento de superficie del composite, en relación a la luz, modifica la percepción cromática de la restauración. El pulido del composite disminuye el valor de la restauración, proporcionalmente al grado del pulido, a mayor pulido aumenta la transmisión de la luz a través del composite.

El composite presenta en estado no polimerizado un valor alto y un croma relativamente intenso; una vez polimerizado, el valor baja y el croma disminuye, es decir el composite se torna más gris y pierde color.

Yap et al. evaluó varias restauraciones de resinas compuestas, de las cuales todas sufrieron cambios de coloración durante la polimerización. Los cambios de polimerización en los parámetros de color fueron dependientes de tono y no del material. Los cambios en el parámetro L* o luminosidad durante la polimerización fue significativa para todo material y combinaciones de tonos; y tuvieron la mayor influencia sobre los cambios de color de polimerización. El cambio de color fue perceptible por el ojo humano para la mayoría de los tonos de los materiales, por lo que en la práctica clínica, el diente desecado para confirmar tonos de restauraciones estéticas antes de procedimientos restaurativos, polimerizando el material sin adhesión o adyacente a un diente no seco, es aconsejable. Seghi, Gritz and Kim (1990) evaluaron el color post polimerización inmediatamente después de 10 minutos. Se percibió una disminución en el croma amarillo. Como medida compensatoria, ellos sugieren una elección inicial del color más amarilla o más cromática al deseado finalmente. (Yap et al., 1999)

Los composites cambian de color después de polimerizar. Esta característica cromática de cambio ocurre en la región azul-verde del espacio del color, resultando en una percepción disminuida del croma amarillo, y es posible una disminución de valor también. (Yap et al, 1997)

Los cambios internos de color del material se deben a cambios químicos de los componentes de foto polimerización o por foto-oxidación. (Buchalla et al, 2002)

La interfase en la matriz juega un mayor rol en la absorción de agua, principalmente en los composites de micro relleno. La presencia de agua durante un estudio puede afectar las propiedades ópticas del composite con micro relleno más que de los híbridos. (Buchalla et al, 2002) Cuando la superficie de un composite está mojada, el valor disminuye, así mismo el croma.

La mejor solución sería hacer una guía de color con los propios materiales disponibles en la consulta. (Yap et al, 1995)

7. SELECCIÓN DEL COLOR DENTARIO Y GUÍAS DE TONOS DENTALES

La selección del color dentario es un procedimiento que tiene vital importancia al momento de realizar una restauración con resinas compuestas. Las guías de tonos dentales han sido una gran ayuda para facilitar este procedimiento, pero aún sin lograr un resultado óptimo, es decir, que el tono que elija un dentista para un diente, sea el mismo que se elija para ese mismo diente en todas partes del mundo. Es por ello que las escuelas dentales deben incluir en su malla curricular un curso comprensivo del color. (Sproull, 2001)

Para obtener un color dental óptimo hay tres participantes involucrados: fabricante (guías de tonos adecuadas y materiales dentales relacionados), dentista (adecuada elección del tono y transferencia de la información), y técnico dental (adecuada reproducción del color). El rango de colores dentales cubre una parte excepcionalmente pequeña de los

colores que un percibe, y el rango de color de las guías dentales es aún más angosto. Las condiciones apropiadas de la elección del tono no son provistas en muchas consultas dentales, y a veces los dentistas no usan un adecuado método de elección del color.

La elección del color es rutinariamente hecha usando un método visual. Sin embargo, la medición instrumental del color con un espectrofotómetro puede dar información útil, la cual puede ayudar a la elección visual del color. (Yap et al, 1999; Lee et al. 2002)

La determinación visual del color por la comparación del diente de un paciente con un estándar de color (es decir, guía de tonos disponible en el comercio) es el método más comúnmente aplicado en odontología clínica para la comunicación del color durante la fabricación de las restauraciones indirectas (Van der Burgt et al. 1990). La determinación del color del diente por medios visuales se considera altamente subjetiva debido a las múltiples variables que juegan un rol en la visión humana. (Wyszecki y Stiles, 1982; Hunter y Harold, 1987; Berns, 2000). A pesar de estas limitaciones, el ojo humano es muy eficiente en la detección incluso de diferencias pequeñas de color entre dos objetos. De acuerdo con los parámetros de CIE-Lab en 1971 (Comisión Internationale de l'Eclairage, L = luminosidad, a = croma a lo largo del eje rojo-verde, b = croma a lo largo del eje amarillo-azul), los datos obtenidos de la colorimetría automatizada o espectrofotometría permiten una comparación matemática (Seghi et al., 1989), sin embargo, aún la colección de datos automatizados puede tener errores (Seghi, 1990).

7.1. Factores que afectan la selección dentaria

Existen 3 factores que hacen que la selección del color en odontología sea un procedimiento subjetivo:

7.1.1. Factores relacionados con el objeto

Las propiedades de color de los dientes no son uniformes, ya que están influenciadas por la compleja estructura de capas del diente y sutiles cambios de color de cervical a incisal, desafiando incluso a los mejores instrumentos (Okubo et al., 1998).

La fluidez de la saliva varía según el ritmo circadiano, lo que puede afectar el grado de hidratación del diente. La saliva puede cambiar el índice de reflexión. Además, la placa bacteriana posee un color propio que interfiere con la superficie glaseada. Por otra parte, los dientes vitales han demostrado poseer gran cantidad de croma rojo más que los no vitales. Esto ha sido atribuido a la influencia de la encía y la pulpa, por la translucidez del tejido dentario, los cuales también varían por cambios fisiológicos en los pacientes (Douglas, 1997; Tung et al., 2002)

Las muestras utilizadas en las pruebas extraorales usualmente son monocromáticas, con una translucidez uniforme, sin textura, y son vistas bajo condiciones de iluminación ideales, sin embargo, el diente es policromático con una translucidez no uniforme, con textura, y es visto bajo condiciones de iluminación ambiental intraorales. Además, están

enmarcados por los dientes adyacentes, los cuales también presentan variados grados de translucidez y policromatismo.

7.1.2. Factores relacionados con el entorno

Existen varios factores relacionados con el entorno que pueden afectar la selección del tono, entre estos: fuente de iluminación, color de las paredes, cantidad de luz solar, ropa del paciente y maquillaje, ángulo de visión del diente y tejidos circundantes.

Como hemos visto, la luz está compuesta de diferentes longitudes de onda dependientes de la fuente que la emite, afectando altamente la selección del color y provocando variación en los resultados. Las fuentes de luz en la clínica y en el laboratorio, y la cantidad de luz solar a diferentes horas del día pueden causar variaciones en la selección dentaria. La luz fluorescente tiende a acentuar la luz de rango azul del espectro de color, mientras que la luz incandescente acentúa el rango amarillo-rojo. Este problema de metamerismo puede ser evitado por la selección de un tono y la confirmación bajo diferentes condiciones de luz.

Es importante el índice de rendimiento del color que puede variar dependiendo de la fuente de iluminación. Además es importante valorar la hora del día en que se tome el color. La iluminación directa sobre el objeto, el metamerismo y el color de la encía circundante son factores a considerar (Okubo et al., 1998; Tung et al., 2002)

Para los dentistas y técnicos de laboratorio la iluminación de la habitación es esencial, por ello es importante tener en cuenta que hay dos fuentes de luz a considerar, la luz natural y la iluminación de color corregida. La luz natural de un día soleado cuando aún no se encuentra el sol en lo más alto (10 - 14 hrs.) presenta las condiciones y temperatura del color de 5500 K, considerado como óptimo para la percepción del color. En el caso de la luz de color corregida, ésta es ofrecida por varios proveedores, pero la mayoría de los profesionales desconoce las características para su mayor utilización. En consecuencia los parámetros ideales de iluminación son:

- Temperatura de color de 5500 K
- Intensidad 1600 Lux a 2100 Lux
- + 90 índice de color producido (Color rendering index (CRI))

CRI es una escala de 1 a 100. El número expresa la diferencia en el color de un objeto bajo una iluminación específica, comparado a su color bajo una fuente de iluminación de referencia. Cuanto más próximo sea el número de CRI a 100, más real será el color producido.

Estudios previos han demostrado que el color de fondo afecta la discriminación y la apariencia de estímulos de color. Rosenholtz (2001) ha sugerido que esas asimetrías de la búsqueda del color resultan de la relación entre los estímulos y el fondo. Aquí probamos la hipótesis de que el color de fondo debe tener un efecto en las asimetrías en la búsqueda visual basada del color, utilizando las búsquedas para estímulos de color en diferentes fondos coloreados. El modelo asume que el color de fondo puede también actuar como

"distractor." Porque el estímulo cuanto menos saturado es más similar al fondo neutral que el estímulo saturado. (Rosenholtz et al. 2004)

Otros reportes han demostrado que el color de fondo afecta la discriminación y el aspecto de los estímulos del color. Los umbrales cromáticos de la discriminación son más pequeños para los estímulos que son aproximadamente acromáticos cuando el fondo es oscuro o acromático, pero en fondos cromáticos los umbrales más pequeños de la discriminación ocurren para cromaticidades del estímulo que son similares a la cromaticidad del fondo. Las asimetrías son a menudo mucho más grandes cuando los estímulos son presentados contra un fondo luminoso que cuando son presentados contra un fondo oscuro. (Nagy y Cone, 1996).

Este fenómeno puede ser mejorado si las paredes están pintadas azul pálido (complementarias al amarillo) o si se observa una tarjeta azul-gris pálida entre la observación de colores. (Yap et al, 1997)

7.1.3. Factores relacionados con el observador

El observador es otro factor importante en la selección del color. Como hemos visto, en el cerebro se hace una interpretación de lo captado por el ojo. Sin embargo, diferentes personas harán diferentes interpretaciones del mismo estímulo y la selección dependerá también de un tema subjetivo. Esto explica las grandes desviaciones estándar en la selección del tono por el ojo humano.

La selección visual del color ha demostrado ser no confiable como el resultado de inconsistencias en la percepción de color entre observadores (Okubo et al., 1998; Hammad, 2003). Las inconsistencias pueden ser el resultado de factores incontrolados como fatiga, edad, emociones, condiciones de iluminación y exposición visual previa. Además estos factores tienen efectos interpretativos diferentes en cada observador (Van der Burgt, 1990) Es complicado determinar el área específica a la cual se dirige la mirada del observador cuando realiza la selección del color (Barret et al., 2002)

Se han realizado numerosos estudios comparando la diferencia en la selección del color entre el ojo humano e instrumentos de medición colorimétricos. La mayoría de estos estudios utilizan como referencia el sistema CIE $L^*a^*b^*$. Yap et al. (1999) concluyó que la diferencia es tono dependiente, lo que quiere decir que las variaciones de los resultados son diferentes en el caso de un tono A o B.

Se ha comparado también la selección del color entre dentistas; entre estos estudios, el más clásico es el de Culpepper (1970), quien encontró desacuerdos entre dentistas en la selección del color del mismo diente, incluso que algunos individuos no pueden duplicar su selección de tonos en días diferentes. Algunos de los errores en selección del color mencionado por Culpepper se deben atribuir a las variables humanas siempre presentes, pero otros errores, como él precisó, se deben atribuir a la insuficiencia de guías disponibles. Sin embargo, aún si existiese una guía ideal de tonos no se eliminarían todos los problemas. (Sproull, 2001)

Yap et al. (1999) dijo que, idealmente, un clínico debe tener un espectrofotómetro o colorímetro conectado a un computador para la elección del tono de la restauración. Sin embargo, en diversos estudios se ha determinado que la tecnología alcanzada en estos instrumentos no tiene grandes ventajas respecto al ojo humano.

También influyen la selección del color el entrenamiento en la educación del color, las diferencias de la percepción del color entre dentistas y la experiencia. Diferentes personas van a interpretar el mismo estímulo proporcionado de distinta forma, es por esto, que el proceso de selección de color es considerado una evaluación subjetiva (Sim y cols, 2001).

7.2. Guías de tonos

Las guías de tonos dentales han sido usadas por muchos años para identificar y comunicar color. Sin embargo, el rango de tonos en las guías no es consistente con los dientes naturales. Las guías de tonos dentales contienen una selección limitada de colores comparada con lo encontrado en los dientes humanos. (Paravina et al. 2001) Así se introduce un error en la selección de tonos, ya que muchos colores dentales deben ser definidos por aproximación al tono más cercano de la guía. Además, las guías de tonos convencionales no incluyen los tonos translúcidos.

Una guía aceptable de tonos del diente, basada en el volumen de espacio del color de los dientes naturales, debe (1) abrazar las coordenadas establecidas por los dientes naturales, (2) que se arregle lógicamente, y (3) que tenga suficientes puntos de referencia para llenar el volumen total. Una guía de tonos basada en el sistema de la orden del color de Munsell podía satisfacer estos requisitos. (Sproull, 2001)

Las guías de tonos disponibles en el comercio varían mucho debido a los parámetros difíciles de controlar durante la fabricación; ninguna de las guías dentales de tonos es idéntica. A pesar de esta carencia de estandarización actual, tales guías de tonos siguen siendo el único "estándar" sobre el cual se basa la determinación del color en odontología.

Existen factores de las guías de tonos que pueden afectar la verdadera elección del color, estos son: (1) que las guías de tonos no son hechas para la elección de un diente natural, y (2) que las guías de tonos no se correlacionan con otras guías. Adicionalmente, las mediciones del color de las guías de tonos son variables por varias razones: las etiquetas no tienen un color uniforme, así las mediciones son sensibles al lugar de medición dentro de la etiqueta; las guías de tonos varían entre lotes; la iluminación estándar varía; y hay inherentes dificultades con las mediciones instrumentales de los materiales dentales.

En un estudio comparativo de guías de tonos se concluyó que: (1) las guías disponibles no se extienden a través del volumen de espacio de color requerido; (2) se carece de un arreglo o una relación ordenada o sistemática entre las etiquetas generalmente; (3) habrá confusión o duplicación de colores en ciertas áreas del espacio y de los vacíos de color en otras regiones. (Sproull, 2002)

Miller utilizó un espectrofotómetro para trazar las etiquetas de tonos de diversas guías de tonos en el espacio de color según valores de la tonalidad y del croma. Una revisión del trazado de Miller de la guía de tonos de Vita por valores de la tonalidad y del croma muestra que las etiquetas de la guía de tonos no están distribuidas sistemáticamente. Muchas de las etiquetas de la guía de tonos no solamente están cerca de otra, sino que se traslapan realmente. La proximidad de estas etiquetas de tonos en el espacio de color podría explicar errores en selección por ambos observadores y colorímetros humanos.

Una guía que no satisface los requisitos primeros de un arreglo adecuado y lógico en espacio de color genera ciertos problemas básicos: (1) demora demasiado decidir por donde comenzar; (2) es imposible comprobar rápidamente o lógicamente el tono elegido para saber si hay exactitud; (3) el volumen de espacio de color ocupado por los materiales que se seleccionarán puede ser imposible alcanzar con la guía. (Sproull, 2001)

Lee et al. (2001) comparó el color de resinas compuestas con guías de tonos dentales. En su estudio encontró que no había un orden lógico en la distribución del color de las guías de tonos evaluadas.

7.2.1. Consideraciones generales en selección de tonos y guías de color

Black en 1908 publica su trabajo en operatoria dental. Fue la primera referencia en la literatura que le dio importancia al valor en el proceso de selección. Black señalaba que el mejor resultado estético era obtenido cuando el propio color y translucidez eran encontrados, señalando que la translucidez tenía la mayor importancia que el color exacto. El sugirió que la translucidez fuera determinada primero que el croma (saturación), y éste debía ser determinado después del color.

Varias guías de color existieron, pero fueron diseñadas para que el dentista usara una etiqueta para los tres determinantes (valor, croma y matiz). (Fig. 15) En 1930, Clark publicó series de la ciencia del color, y en una de ellas, comentó que el brillo era el atributo más importante en el estudio del color dentario, refiriéndose al valor. Él incorporó la importancia del valor en el diseño de su guía, llamada "Indicador del color dentario", que contenía 60 etiquetas y solo un color (matiz amarillo). Funcionaba muy bien con el énfasis en el valor y croma, pero contenía demasiadas etiquetas lo que confundía a los odontólogos; de hecho nunca fue publicitada. Clark creyó que el valor (designado "brillantez" en aquella época) era la dimensión más importante a controlar. El croma ("saturación" en sus escrituras) era considerado como la dimensión más importante siguiente. Las diferencias de la tonalidad en su experiencia eran tan poco importantes que él utilizó raramente otra, entonces las tonalidades amarillas y su indicador del color del diente contuvo solamente esta tonalidad. (Sproull, 2002)



Una guía simplificada (Vita Lumin Vacuum Shade Guide) apareció en 1960, y fue bien recibida por los odontólogos. Esta guía cambió su nombre a Vitapan Classical Shade Guide en febrero de 1998, para diferenciarla de la nueva Vitapan 3-D Master.

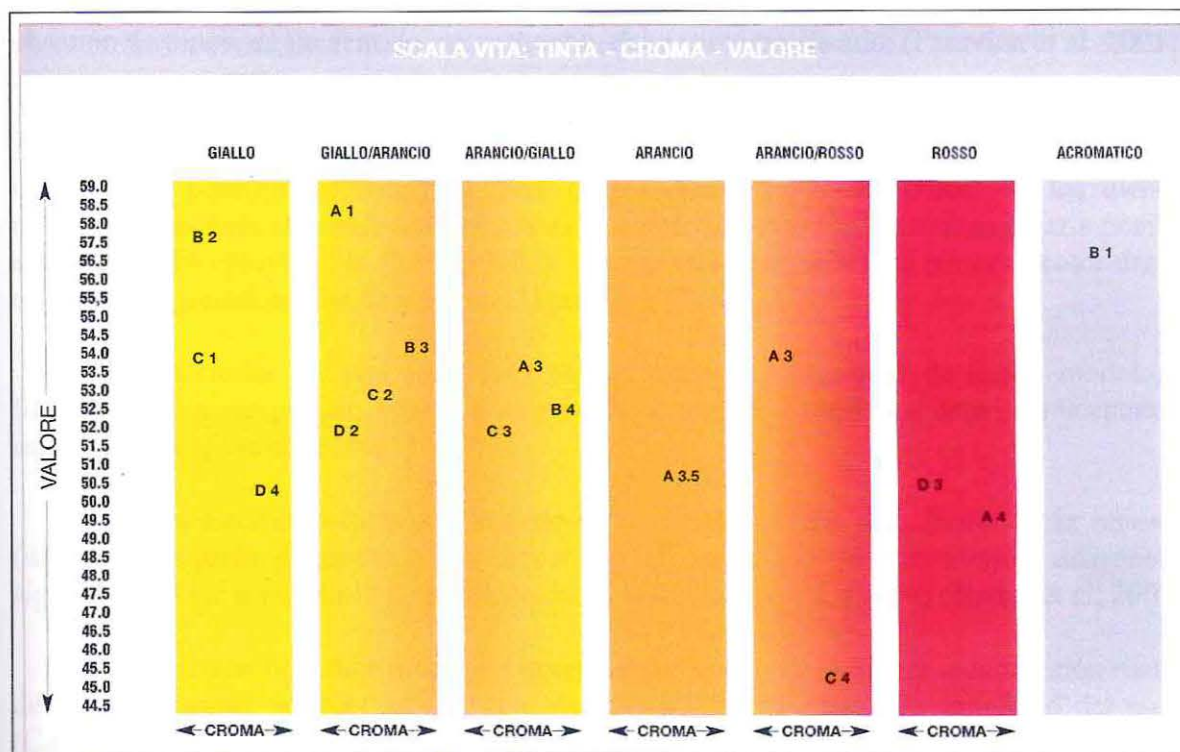


Figura 15

En 1970, Sproull publica la serie de 3 partes del color, donde sugiere que los dentistas debían entender el valor, croma y matiz, de manera de resolver la selección del color. (Marcucci, 2003)

En, 1991 Hall señala que es posible minimizar las dificultades de selección de color cuantificando las determinantes de valor, croma y matiz. Este artículo fue la base para el diseño de Vitapan 3-D Master, que sale al mercado en Febrero de 1998. Él trabajó con Vita para diseñar una guía que tuviera las determinantes en una secuencia lógica: valor, croma y matiz.

Observaciones personales confirman que las diferencias de valor son las más fácilmente evidentes tanto para pacientes como para dentistas (si ellas son familiares con las dimensiones de color o no). En el Sistema Munsell mismo, una unidad de valor es aproximadamente equivalente con dos unidades de croma o tres unidades de matiz. (Sproull, 2002)

Contrario a las dimensiones de forma, donde uno puede percibir longitud, ancho y profundidad, el ojo humano no puede percibir claridad, saturación, o matiz separadamente. En vista de este hecho, es difícil entender o justificar la actitud en que el procedimiento de la elección de tonos debe ser ejecutado, "dimensión por dimensión". De hecho, este método

de elección de tonos puede confundir al observador y puede tener un efecto opuesto al esperado. Lo que es posible y lo que realmente ocurre en la percepción del color es que uno obtiene una impresión general del color del objeto observado. Esto incluye las tres dimensiones del color y, lo que es más importante su interacción. Por lo tanto, el método de elección de tonos, en un sentido más estrecho, debe ser simplificado. (Paravina et al, 2001)

Debe ser desarrollada una guía de tonos que se componga de los materiales apropiados y se arregle según el sistema de Munsell. Debe tener suficiente volumen y detalle para permitir un recorrido libre dentro del "espacio del color" de los dientes naturales. Una guía así construida eliminaría los defectos de guías existentes y haría posible el acercamiento previsto, la flexibilidad, y la cobertura necesaria para poner el color dental que se seleccionará en una base lógica. (Sproull, 2002)

Instrucciones escritas correcta y específicamente, diagramas de tonos, modelo, y fotografías clínicas pueden ayudar a comunicar y producir resultados consistentes aceptables estéticamente. (Lee et al. 2001)

En un estudio destinado a evaluar el efecto del diseño o la forma de la muestra (discos o etiqueta dentaria) en la selección del color, no se encontraron diferencias significativas en la exactitud de la selección de color entre los 2 diseños (Barret et al, 2002)

La elección del color no es una operación de acostumbamiento o confección casual de un muestrario, es más, es un acto de utilización de la tridimensionalidad del color (Cattaruzza, 2002).

7.2.2. Guía de tonos VITA Classical

La guía de tonos Vitapan Classical (Fig. 16) está dividida en grupos de acuerdo al matiz y dentro de los grupos de acuerdo a la saturación. El rango de tonos Vita Classical está dividido en cuatro series designadas por letras A, B, C y D. Estos tonos tienen café, amarillo, gris y rojo, respectivamente. Las etiquetas de tonos de un grupo específico tiene un matiz similar y cada grupo de matiz incluye varias etiquetas de saturación incrementada y valor disminuido designado en orden numérico (A1, A2, A3...).

Las instrucciones del Vita Classical explican el orden de acuerdo al matiz y al croma. También explican como ordenar la guía de acuerdo al valor. Lamentablemente este aspecto no es usado por muchos dentistas. Los clínicos poseen 16 opciones, con variabilidad de matiz y croma, pero sin método para elegir el valor. Esta guía podría determinar un total de 256 combinaciones de valor, croma y matiz. Otro problema es que las etiquetas no están dispersas a través de las tres dimensiones del color en el espacio.

Se ha demostrado que las etiquetas de Vita Classical no son distribuidas sistemáticamente en el espacio relevante de color para el diente humano y que aun hay traslajo. (Paul et al. 2002) Sin embargo, hasta la fecha, sigue siendo la guía más comúnmente usada, legitimizando su uso como referencia para estudios.



Figura 16

7.2.3. Guía de tonos Vitapan 3-D Master

Las etiquetas de tonos Vitapan 3-D Master son arregladas tridimensionalmente. Ellas están divididas en grupos de acuerdo a valor y dentro de los grupos están arreglados de acuerdo a saturación (verticalmente) y matiz (horizontalmente). Sistema Vita tiene sus etiquetas caracterizadas en una degradación de colores en zonas cervical, medio e incisal (C-M-I). Al momento de compararla con la Vita Classical, la Vitapan 3-D Master presenta un mejor orden lógico de los colores y un adecuado arreglo de las dimensiones del color, lo que hace más fácil la selección del color. (Paravina et al. 2001; Yap et al, 1998) (Fig. 17)

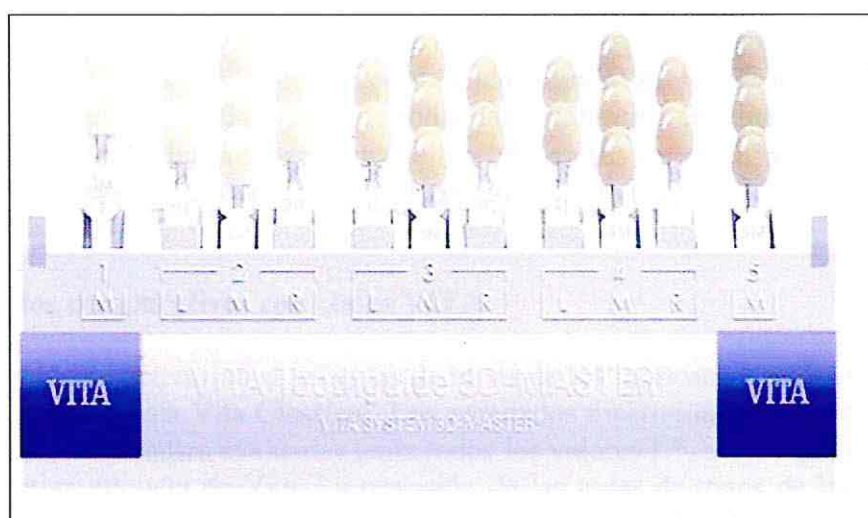


Figura 17

En contraste con la guía de tonos Vita Classical, las etiquetas de tonos Vitapan 3-D Master son arregladas en concordancia con principios de organización aplicados. (Fig. 18) Un adecuado orden de la dimensión del color (luminosidad, saturación, matiz) ha sido aplicado por primera vez en una guía de tonos comercial. Sin embargo, este orden de la dimensión del color, primero fue sugerido por Clark, casi 70 años atrás. Hayashi y Sproull fueron de la misma opinión sobre la importancia de las dimensiones del color para la

elección del tono en odontología. Hall propuso un concepto prácticamente idéntico al único aplicado en la guía de tonos Vitapan 3-D Master. Milicevic y Paravina examinaron las guías de tonos dentales comerciales y matemáticamente probaron que la influencia de la diferencia de luminosidad sobre una diferencia total de color es lo más significativo, seguido por la influencia de diferencias de saturación y matiz. (Paravina et al. 2001)

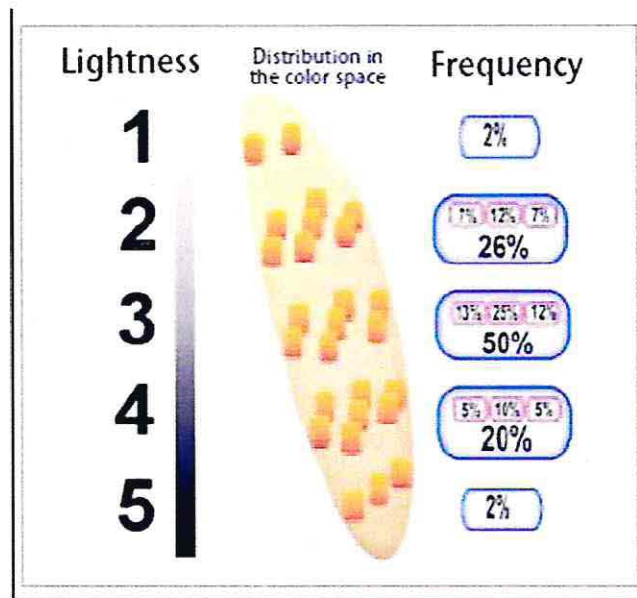


Figura 18

La luminosidad es una categoría objetiva donde denota una dimensión del color específica. Además el arreglo tridimensional usado por la guía de tonos Vitapan 3-D Master (dimensión por dimensión), debe ser establecido usando diferencia total de color (ΔE^*), desde entonces representa una suma de todas las diferencias de dimensiones de color. El valor correspondiente del ordenamiento de los fabricantes de acuerdo a ΔE^* para Vitapan 3-D Master demuestra fuertemente el mejoramiento comparado con la Vita Classical. (Paravina et al. 2001)

7.2.4 Estudios comparativos con Guías VITA

También se determinó si las guías de tonos de los fabricantes tenían coordenadas de color similares a la guía Vita Classical. Los resultados mostraron que ninguna de las guías de tonos de los fabricantes evaluadas tenía todos los valores L^* , a^* , b^* que fue identificado en su respectiva etiqueta de Vita. La precisión de las guías de tonos de los fabricantes no fue consistentemente producto dependiente, pero fue tono dependiente. (Lee et al. 2001)

En los parámetros de a^* y transparencia se han observado diferencias entre el diente natural y la guía Vita, las cuales aumentan cerca de la raíz. Comparado con Vita, el diente natural posee un incremento de rojo y menos translucidez cerca de la raíz. El L^* de Vita cubre bien al diente natural.

El estudio de Schwabacher tomó tres guías de color (una de ellas Vita), no logrando un similar resultado en a^* con respecto al diente natural, y la guía de porcelana era

demasiado amarilla para el diente del paciente. La guía Vita en comparación con el diente natural presenta menos brillo, pero 16 matices de Vita cubren bien esta cualidad. La diferencia de rojo y translucidez entre Vita y el diente natural tiende a aumentar cerca de la raíz. (Hasegawa, 2000)

El espacio cromático de dientes extraídos ha sido reportado como mayor que el de las guías de tonos. Con respecto a las coberturas de color, los resultados fueron: Vita Lumin Shade Guide (16 etiquetas): 37.45%; Trubyte Bioform Color Order (24 etiquetas): 30.96%; Vitapan 3-D master Shade System (26 etiquetas): 56.05%. Vitapan 3-D Master demostró el menor ΔE . A menor ΔE , el número de etiquetas es mayor, lo que significaría que aumentaría la complejidad y el tiempo clínico de selección. (Analoui et al, 2004)

Lee et al. (2002) encontró diferencias de color significativas al comparar resinas compuestas con las guías de colores de tonos. La guía Vita no debería ser usada en vez de la de los fabricantes, ya que se obtendrían restauraciones más oscuras y amarillas (Yap, 1998)

O'Brien et al, reordenó 24 etiquetas de la guía de tonos Bioform, desde la más luminosa a la más oscura, usando el método visual. El coeficiente de correlación (r) entre el ranking visual y valor Munsell (luminosidad) fue 0.90, el cual confirmó la actitud que la luminosidad (valor) es la dimensión del color más importante, en lo que a dientes concierne. (Paravina et al. 2001)

Dos guías se han propuesto que se acercan a los requisitos de una guía ideal basada en el sistema de Munsell. Una fue propuesta y desarrollada por E. Bruce Clark en los años 30; la otra ha sido propuesta recientemente por Toshio Hayashi. Ambas necesitan modificaciones, pero deben ser estudiadas de cerca, y sus conceptos se deben poner en forma aplicable. (Sproull, 2002)

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La curva espectrofotométrica de las diferentes resinas compuestas se encuentra dentro del rango de la curva espectrofotométrica de la guía Vitapan 3-D Master.

Objetivos Generales

- I. El primer objetivo de este estudio es determinar si la curva espectrofotométrica de las diferentes resinas compuestas se encuentra dentro del rango de la curva espectrofotométrica de la guía Vitapan 3-D Master.
- II. El segundo objetivo del presente estudio es determinar la diferencia de curva espectrofotométrica de las resinas compuestas con respecto a la guía Vitapan 3-D Master analizando en detalle la designación de tono.

Objetivos Específicos

- a) Medir mediante un espectrofotómetro la curva espectrofotométrica de las resinas compuestas, guía Vitapan 3-D Master y los dientes utilizados como muestras. listo
- b) Comparar las diferencias de las curvas entre las resinas compuestas y la guía de tonos Vitapan 3-D Master.
- c) Proponer una pauta de correspondencia entre las diferentes resinas compuestas y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master.
- d) Comparar las diferencias de las curvas de las resinas compuestas de la misma designación de tono entre ellas.
- e) Identificar la correspondencia entre tonos promedio de la guía Vitapan 3-D Master y los tonos promedio de los composite.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se confeccionaron 168 muestras de 28 composites (6 discos de cada resina compuesta) de diferentes marcas, seleccionando tonalidades representativas de las distintas marcas.

Cada muestra fue hecha con un dispositivo diseñado según especificaciones de la ADA. (Fig. 19) Las muestras tenían 8 mm de diámetro y 1 mm de espesor. Se colocaba la resina compuesta con una espátula de composite dentro del orificio del dispositivo (Fig. 20), luego se presionaba con un portaobjetos de microscopía óptica, logrando una superficie lo más lisa y pulida posible. Cada muestra fue polimerizada durante 40 segundos (Fig. 21) a través del vidrio con una lámpara de fotocurado Astralis 3 (Ivoclar Vivadent). (Fig. 22)



Figura 19



Figura 20

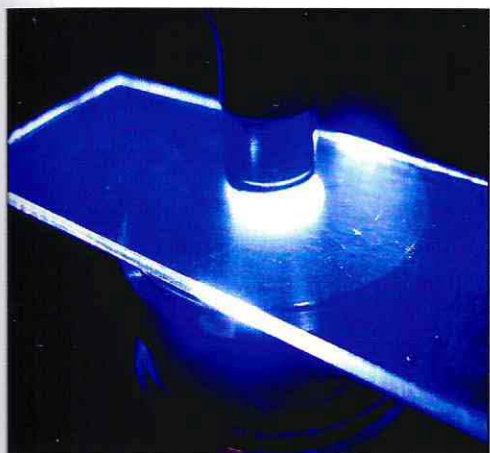


Figura 21



Figura 22

MARCA COMERCIAL	TONO	ABREVIACIÓN	FABRICANTE
ICE	A1	IA1	SDI Dental
ICE	A2	IA2	SDI Dental
ICE	B1	IB1	SDI Dental
ICE	C1	IC1	SDI Dental
ICE	D2	ID2	SDI Dental
Esthet-X	A1	EA1	Dentsply
Esthet-X	B1	EB1	Dentsply
Esthet-X	C1	EC1	Dentsply
Esthet-X	D2	ED2	Dentsply
Vit-l-escence	A1	VA1	Ultradent
Vit-l-escence	B1	VB1	Ultradent
Vit-l-escence	C1	VC1	Ultradent
Point 4	A1	PA1	Kerr
Point 4	B1	PB1	Kerr
Point 4	C1	PC1	Kerr
Point 4	D2	PD2	Kerr
Miris	NT	MNT	Coltene-Whaledent
Miris	NR	MNR	Coltene-Whaledent
Miris	WR	MWR	Coltene-Whaledent
Miris	S1	MS1	Coltene-Whaledent
Miris	S7	MS7	Coltene-Whaledent
4 Seasons	A1 E	4SA1E	Ivoclar-Vivadent
4 Seasons	B1 D	4SB1D	Ivoclar-Vivadent
4 Seasons	C1 E	4SC1E	Ivoclar-Vivadent
4 Seasons	D2 D	4AD2D	Ivoclar-Vivadent
4 Seasons	A1 D	4SA1D	Ivoclar-Vivadent
Filtek Supreme	A2	FA2	3M ESPE
Filtek Supreme	B3	FB3	3M ESPE

Tabla I. Composites que se evaluaron en el estudio.

Para la parte instrumental del estudio se utilizó un espectrofluorímetro modelo PC1 (ISS) del Departamento de Óptica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile (Fig. 23), cuyo encargado es el profesor Víctor Vargas, Magíster en Ciencias y académico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

Este equipo obtiene como resultado una curva espectral en función de la longitud de onda de cada muestra. Las condiciones de medición del equipo fueron las siguientes:

- Tipo de espectro: Emisión
- Excitación: 0
- Emisión: de 350 nm. a 750 nm.
- Incremento: cada 2 nm.

La fuente de luz está dentro del mismo instrumento. El haz de luz proviene de una lámpara de arco de Xenón a alta presión. El monocromador ajustará la luz a la longitud de onda deseada, y con ranuras calibradas se escogerá el tamaño del haz de luz incidente, dirigiéndolo de una mejor forma hacia la muestra.

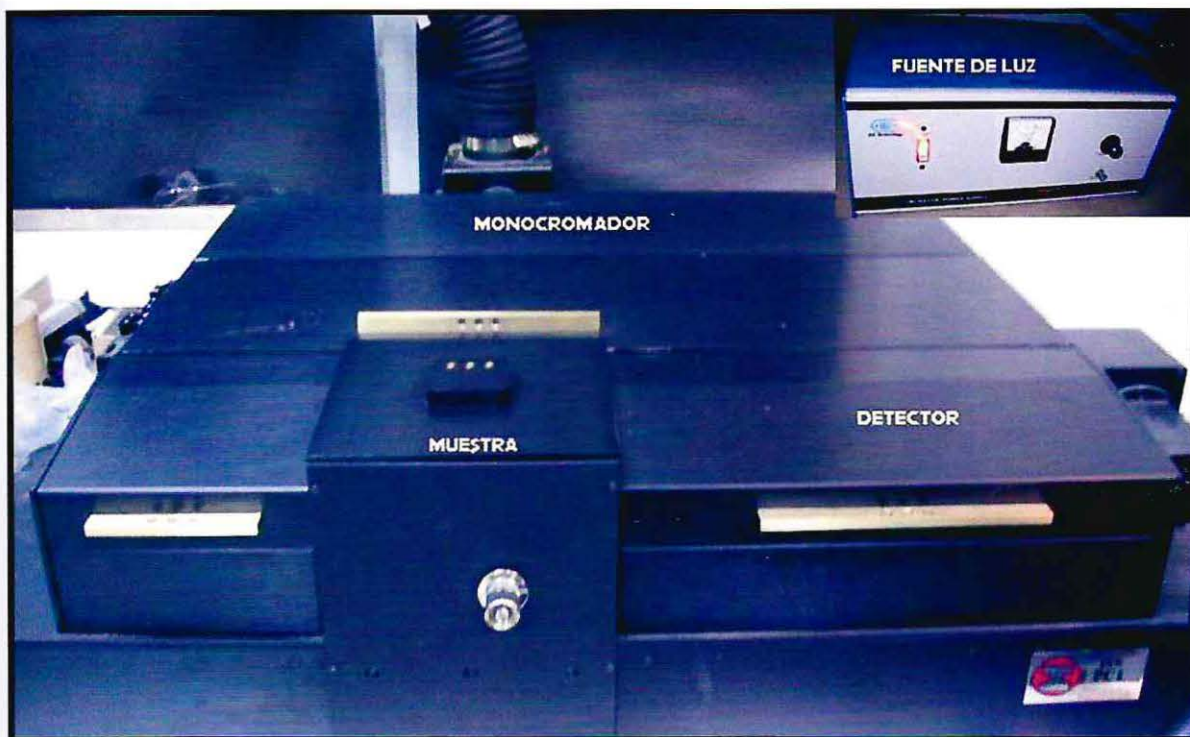


Figura 23

La muestra se ubica en un portamuestra confeccionado en acrílico negro opaco, dejando en un lugar específico un orificio circular de 8 mm de diámetro y fondo transparente para ubicar la muestra.

El portamuestra es colocado en una ranura, ubicada dentro del equipo para que reciba el haz de luz, y fijado con un tornillo. Luego se ajusta la angulación de la muestra con respecto a la luz incidente, la cual quedó determinada en 45° . (Fig. 24)

Ubicada la muestra y ajustada la angulación se cierra la tapa herméticamente, no permitiendo el paso de luz, lo que puede afectar en la lectura del instrumento. Para calibrar el tamaño del haz de luz se ponen ranuras de 0.25 en la salida de la luz y 0.50 en el compartimiento de entrada de la luz del instrumento.

En el computador se ajusta la longitud de onda de excitación a 0 nm que corresponde a luz blanca y el rango de longitud de onda de emisión que queremos observar que va de 350 a 750 nm.

Se probaba antes de cada medición la fiabilidad del instrumento midiendo una misma muestra de referencia cada día que se iba a medir.

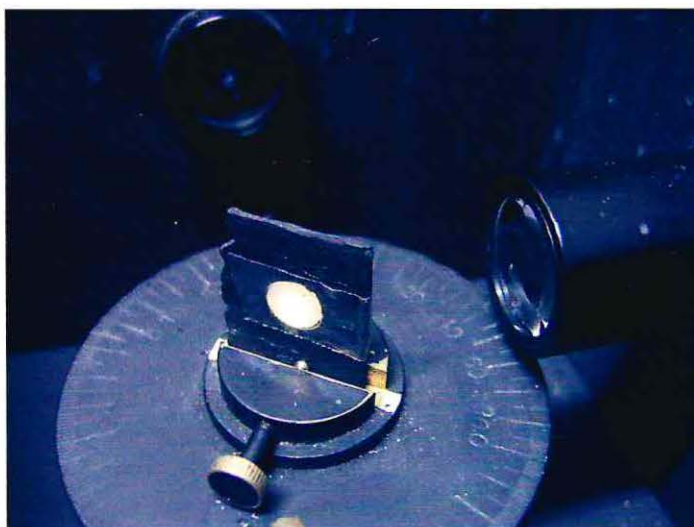


Figura 24

Luego de preparar estos parámetros se comienza la medición de la curva de longitud de onda de cada composite, quedando registrada en el computador como un gráfico, donde el eje X corresponde a la longitud de onda en nm y el eje Y a la intensidad relativa.

Se midió las etiquetas de la guía de colores Vitapan 3-D Master (3 veces cada una), 20 dientes naturales (una medición por vestibular y otra por lingual) y cada disco de composite. Las etiquetas se posicionaron con un dispositivo adaptado de modo que al colocarlas en la ranura recibieran perfectamente el haz de luz del equipo en su tercio medio.

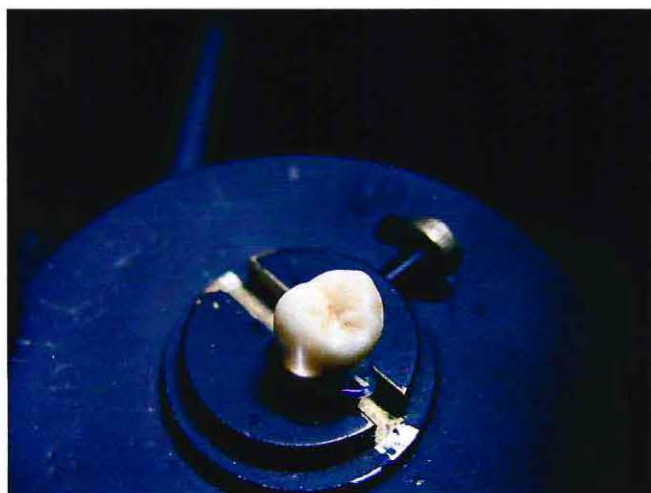


Figura 25

Los dientes corresponden a terceros molares extraídos recientemente; siendo conservados en suero salino después de la exodoncia y congelados hasta el día de la medición. Cada diente fue cortado en su raíz con un disco de carborundum y colocado con silicona en un portaobjetos, de manera que la luz llegara al tercio medio de la corona. (Fig. 25)

El equipo traspasa los datos a un computador a través del software PC1 ISS versión 2.1 c; para quedar almacenados en carpetas como archivos. Estos archivos son importados por el programa Microcal Origin 6.0, para luego ser analizados en el programa Microsoft Excel 2000.

El instrumento entregó como resultado de las mediciones una curva espectrofotométrica de reflexión en función de la longitud de onda. Se obtuvo una curva espectrofotométrica diferente para cada etiqueta de la guía de tonos Vitapan 3-D Master, para cada muestra de composite y para cada diente.

El procesamiento de los datos obtenidos fue el siguiente:

1. Obtención de los datos utilizando el Espectrofluorímetro.
2. Normalización de los datos obtenidos.
3. Promedio de datos previamente normalizados.
4. Aplicación del test estadístico *t* student.
5. Corrección de los datos obtenidos mediante la curva del ojo.
6. La curva promedio obtenida, luego fue comparada con las demás curvas para obtener los resultados que se detallarán a continuación.

Con el software Origin se realizó el test *t* student y los gráficos. Con el Excel se normalizaron los datos, se corrigieron según la curva del ojo, se promediaron, se tabularon y se realizó un análisis cualitativo y cuantitativo basado en la comparación de las diferencias de áreas de las curvas.

Se obtuvieron los siguientes resultados productos del estudio de los datos:

- Diferencia total de áreas.
- Diferencias de áreas de una curva bajo la otra (subdimensionamiento) y diferencias de áreas de una curva sobre la otra (sobredimensionamiento).
- Ranking según subdimensionamiento, sobredimensionamiento y la diferencia total de áreas.
- Análisis de datos .48 se refieren a los mismos análisis anteriores con los datos comprendidos entre la intensidad relativa de 0.48 y 1. Corresponde a un análisis de la mitad superior de las intensidades, donde se manifiestan las mayores diferencias entre los materiales.
- Comparación entre composites de la misma designación de tonos con datos no corregidos por la curva del ojo, debido a que la curva del ojo en este caso agrupaba más aún los datos entre ellos, haciendo más difícil obtener conclusiones.
- Comparación de los promedios de cada designación de tono (A1, B1, C1 y D2) para las distintas marcas con respecto a los promedios de cada grupo de la guía Vitapan 3-D Master (1, 2, 3, 4 y 5), utilizando datos no corregidos por la curva del ojo.
- Comparación del espectro total de los composites medidos, la guía Vitapan 3-D Master y los dientes basados en los puntos máximos de cada curva.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- 1) Análisis comparativo de las curvas espectrofotométricas de los composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master.
- 2) Análisis comparativo entre las curvas espectrofotométricas de los composites con la misma designación de tono.
- 3) Análisis comparativo entre las curvas espectrofotométricas de los promedios por tono de los composites medidos (A1, B1, C1 y D2) con los promedios por grupo de las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master (1, 2 3, 4 y 5).
- 4) Comparación de rangos totales de las curvas espectrofotométricas de los dientes, composites y guía Vitapan 3-D Master.

Tono A1	Tono B1	Tono C1	Tono D2
Ice A1	Ice B1	Ice C1	Ice D2
Esthet-X A1	Esthet-X B1	Esthet-X C1	Esthet-X D2
Vit-l-escence A1	Vit-l-escence B1	Vit-l-escence C1	Point 4 D2
Point 4 A1	Point 4 B1	Point 4 C1	4 Seasons D2 D
4 Seasons A1 E	4 Seasons B1 D	4 Seasons C1 E	
4 Seasons A1 D			

Tabla II. Clasificación de tonos utilizados por marca

GRUPO 1	GRUPO 2		GRUPO3			GRUPO 4			GRUPO 5	
1M1	2L1.5	2M1	2R1.5	3L1.5	3M1	3R1.5	4L1.5	4M1	4R1.5	5M1
1M2	2L2.5	2M2	2R2.5	3L2.5	3M2	3R2.5	4L2.5	4M2	4R2.5	5M2
		2M3			3M3			4M3		5M3

Tabla III. Grupos de la guía Vitapan 3-D Master

1. Análisis comparativo de las curvas espectrofotométricas de los composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master.

Los presentes resultados fueron analizados considerando 2 bases de datos:

- con las curvas espectrofotométricas completas (100%), es decir, se consideraron los datos de la curva entre los valores 0 y 1 de intensidad relativa.
- la mitad superior de las curvas espectrofotométricas (52%), es decir, se consideraron los datos de la curva entre los valores 0.48 y 1 de intensidad relativa

Este análisis está compuesto por un estudio cuantitativo, consistente en el cálculo de las diferencias porcentuales de área existentes entre el composite y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master. Adicionalmente se presenta un análisis cualitativo, en el cual aparece solamente la etiqueta rankeada en primer lugar; es decir, la que más se asemeja al composite mencionado según las mediciones realizadas. (Las tablas completas para cada uno de los 28 composites se encuentran en los anexos)

COMPOSITE	VITA 3D MASTER 100%	DIFERENCIA DE AREAS 100%	VITA 3D MASTER 52%	DIFERENCIA DE AREAS 52%
ICE A1	4L1.5	4%	4L1.5	4%
ESTHET X A1	3L2.5	3%	4L1.5	3%
POINT 4 A1	1M2	2%	1M2	2%
VIT-L-ESCENCE A1	3L2.5	3%	3L2.5	3%
4 SEASONS A1E	3M1	3%	3M1	2%
4 SEASONS A1D	3M2	3%	3M2	2%
ICE B1	4L1.5	3%	3L2.5	3%
ESTHET X B1	1M1	3%	1M1	3%
POINT 4 B1	1M2	3%	1M2	2%
VIT-L-ESCENCE B1	3M2	2%	3M2	2%
4 SEASONS B1D	3M2	2%	3M2	2%
ICE C1	3M1	3%	2M2	2%
ESTHET X C1	4R2.5	4%	2R2.5	3%
POINT 4 C1	1M1	2%	1M1	2%
VIT-L-ESCENCE C1	1M1	3%	2M2	3%
4 SEASONS C1E	3M2	2%	3M2	2%
ICE D2	4L1.5	4%	4L1.5	3%

ESTHET X D2	4R2.5	6%	4R2.5	5%
POINT 4 D2	2M2	2%	2M2	1%
4 SEASONS D2D	4R2.5	3%	3L2.5	3%
ICE A2	1M1	5%	1M1	4%
FILTEK A2	3M2	4%	3M2	3%
FILTEK B3	4L1.5	4%	4L1.5	3%
MIRIS NT	1M1	7%	1M1	5%
MIRIS NR	1M1	6%	1M1	4%
MIRIS WR	2M3	3%	2M3	2%
MIRIS S1	3L2.5	2%	3L2.5	2%
MIRIS S7	4R2.5	7%	4R2.5	2%

Tabla IV. Tabla de análisis comparativo entre composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master rankeadas en primer lugar.

Tono A1: Para estos composites sólo ESTHET X A1 con VIT-L-ESCENCE A1 se correspondieron con la misma etiqueta en la comparación del 100% de las curvas.

En la comparación del 52%, ICE A1 y ESTHET X A1 equipararon la misma etiqueta.

Sólo ESTHET X A1 equiparó etiquetas distintas entre la comparación del 100% y 52% de las curvas.

Tono B1: Para estos composites sólo VIT-L-ESCENCE B1 con 4 SEASONS B1D se correspondieron con la misma etiqueta en la comparación del 100% y 52% de las curvas.

Sólo ICE B1 equiparó etiquetas distintas entre la comparación del 100% y 52% de las curvas.

Tono C1: Para estos composites sólo POINT4 C1 con VIT-L-ESCENCE C1 se correspondieron con la misma etiqueta en la comparación del 100% de las curvas.

En la comparación del 52% de las curvas, ICE C1 y VIT-L-ESCENCE C1 equipararon la misma etiqueta.

Los composites ICE C1, ESTHET X C1 y VIT-L-ESCENCE C1 equipararon etiquetas distintas entre la comparación del 100% y 52% de las curvas.

Tono D2: Para estos composites sólo ESTHET X D2 con 4 SEASONS D2D se correspondieron con la misma etiqueta en la comparación del 100% de las curvas.

Sólo 4 SEASONS D2D equiparó etiquetas distintas entre la comparación del 100% y 52% de las curvas.

Finalmente, dentro de los composites con tonos distintos a los mencionados anteriormente, en la marca Miris, los tonos NT y NR equipararon la misma etiqueta en la comparación del 100% y 52% de las curvas.

2. Análisis comparativo entre las curvas espectrofotométricas de los composites con la misma designación de tono.

Debido a su designación de tonos exclusiva, no se incluyó en este análisis las muestras de Miris. Las muestras de Filtek Supreme y Ice A2 tampoco se incluyeron ya que no se correspondían con los tonos aquí comparados.

2.1 A1

Para el tono A1 se obtuvo el siguiente gráfico entre los diversos composite:

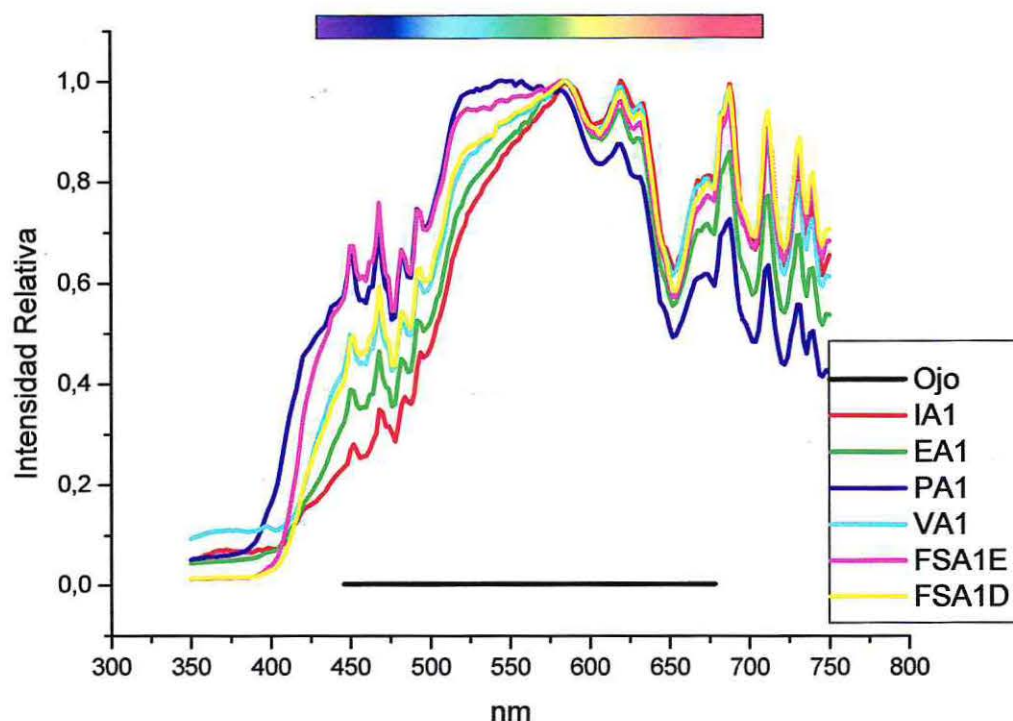


Gráfico I. Curvas espectrofotométricas de los composites con tono A1

Incluye además el espectro del color visible en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas de todos los materiales poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango azul verde, destacándose el Ice A1 con la menor intensidad en este rango.

El 4 Seasons A1E es el que presenta la mayor intensidad en el azul.

En el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

En el rango amarillo rojo el composite Point 4 A1, toma la menor intensidad.

Longitud de Onda	ICE A1	ESTHET X A1	POINT 4 A1	VIT-L-ESCENCE A1	4 SEASONS A1E	4 SEASONS A1D
350	0.050	0.044	0.051	0.093	0.013	0.013
374	0.069	0.0495	0.060	0.110	0.015	0.015
398	0.075	0.066	0.149	0.118	0.035	0.028
422	0.155	0.169	0.461	0.211	0.362	0.215
446	0.235	0.323	0.573	0.424	0.569	0.404
470	0.343	0.414	0.634	0.501	0.675	0.533
494	0.462	0.520	0.738	0.599	0.740	0.629
518	0.686	0.744	0.954	0.812	0.926	0.833
542	0.824	0.859	0.997	0.904	0.957	0.908
566	0.919	0.937	0.982	0.950	0.975	0.956
590	0.986	0.974	0.945	0.985	0.980	0.982
614	0.951	0.910	0.850	0.943	0.923	0.939
638	0.865	0.777	0.708	0.837	0.812	0.833
662	0.713	0.641	0.564	0.728	0.675	0.693
686	0.950	0.842	0.717	0.967	0.926	0.959
710	0.849	0.762	0.623	0.879	0.877	0.911
734	0.777	0.608	0.482	0.693	0.752	0.779

Tabla V. Resumen de mediciones de curva espectrofotométricas del tono A1

A1	POINT 4	ICE	ESTHETX	4SEA.E	4 SEA.D	VITALS.
POINT 4		✓	✓			
ICE	✓			✓		
ESTHET X	✓			✓		
4 SEASONS E		✓	✓			
4 SEASONS D						
VIT-L-ESCENCE						

Tabla VI. Resultados t student independiente - nivel de significancia 0,05 tono A1

✓ = Corresponde a los composites que tienen diferencias significativas.

De este análisis de t student, podemos mencionar que los composites VIT-L-ESCENCE A1 y 4 SEASONS A1D no tienen diferencias significativas con ningún otro.

2.2. B1

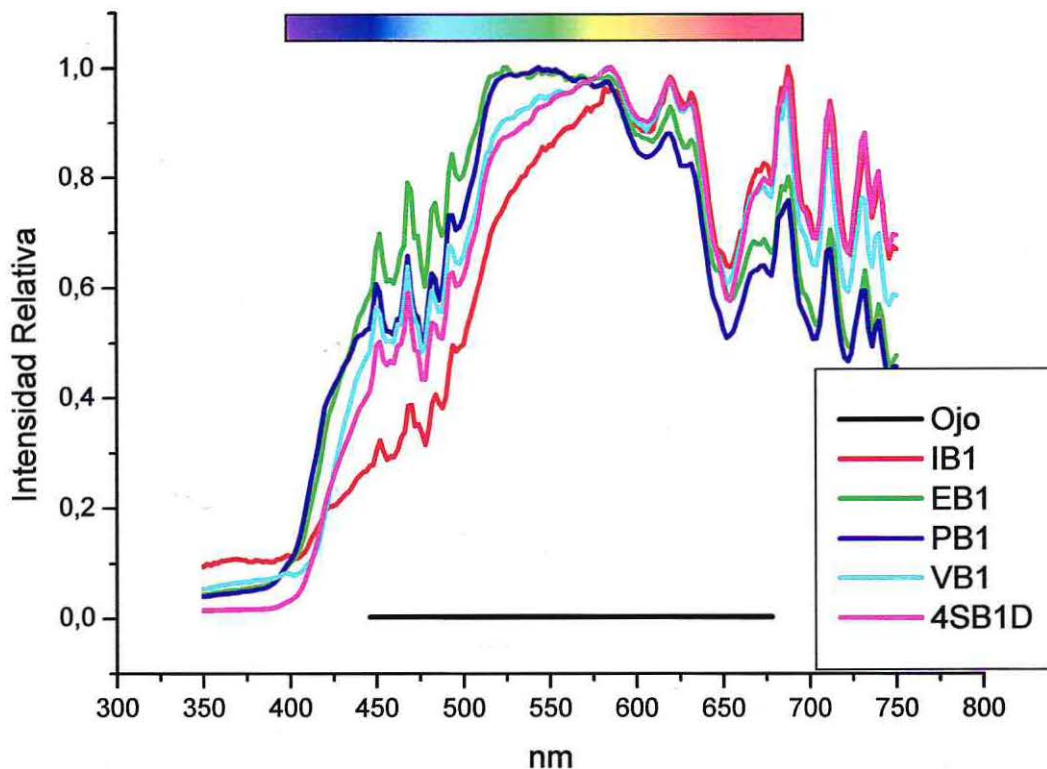


Gráfico 2. Curvas espectrofotométricas de los composites con tono B1.

Incluye además el espectro del color visible en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas de todos los materiales poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango azul verde, destacándose el Ice B1 con la menor intensidad en este rango.

En el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

En el rango verde rojo el composite Point 4 B1, toma la menor intensidad.

Longitud de Onda	ICE B1	ESTHET X B1	POINT 4 B1	VIT-L-ESCENCE B1	4 SEASONS B1D
350	0,094	0,043	0,040	0,052	0,013
374	0,105	0,053	0,049	0,066	0,016
398	0,115	0,094	0,098	0,082	0,030
422	0,203	0,366	0,399	0,219	0,229
446	0,276	0,585	0,526	0,483	0,411
470	0,387	0,774	0,587	0,570	0,532
494	0,494	0,842	0,730	0,667	0,626
518	0,711	0,984	0,964	0,874	0,845
542	0,829	0,989	0,995	0,942	0,918
566	0,898	0,979	0,975	0,963	0,964
590	0,958	0,965	0,937	0,980	0,982
614	0,927	0,883	0,855	0,931	0,936
638	0,860	0,778	0,716	0,821	0,830
662	0,704	0,631	0,581	0,709	0,692
686	0,957	0,775	0,747	0,929	0,956
710	0,872	0,653	0,663	0,842	0,904
734	0,800	0,583	0,521	0,663	0,776

Tabla VII. Resumen de mediciones de curva espectrofotométricas del tono B1.

B1	POINT 4	ICE	ESTHETX	4SEA.D	VITALS.
POINT 4		✓			
ICE	✓		✓		✓
ESTHET X		✓			
4SEASONS D					
VIT-L-ESCENCE		✓			

Tabla VIII. Resultados t student independiente con nivel de significancia 0,05 tono B1

✓ = Corresponde a los composites que tienen diferencias significativas.

Luego de este análisis podemos mencionar que el composite 4SEASONS B1D no tiene diferencias significativas con ningún otro. El ICE B1 tiene diferencias significativas con todos los composite a excepción del 4SEASONS B1D.

2.3. C1

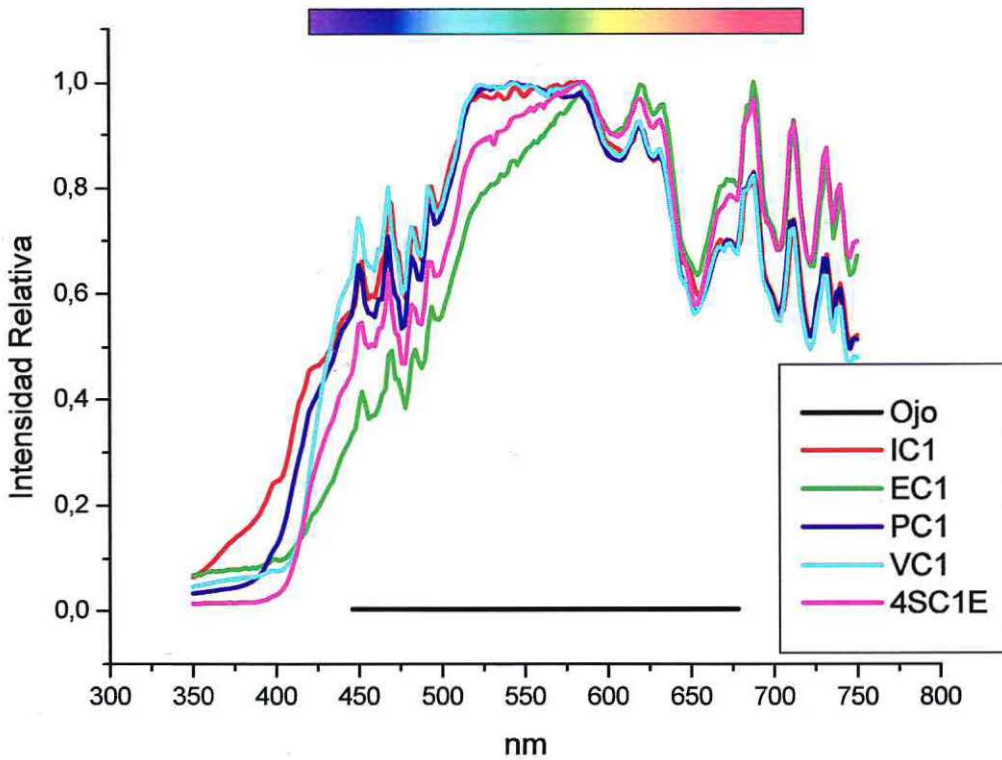


Gráfico 3. Curvas espectrofotométricas de los composites con tono C1.

Incluye además el espectro del color visible en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas de todos los materiales poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango azul verde, destacándose el Esthet-X C1 con la menor intensidad en este rango.

En el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

Longitud de Onda	ICE C1	ESTHET X C1	POINT 4 C1	VIT-L-ESCENCE C1	4 SEASONS C1E
350	0,064	0,068	0,033	0,045	0,013
374	0,133	0,078	0,043	0,060	0,015
398	0,239	0,098	0,113	0,076	0,027
422	0,458	0,181	0,389	0,298	0,250
446	0,565	0,333	0,559	0,631	0,450
470	0,766	0,491	0,632	0,712	0,571
494	0,800	0,573	0,762	0,786	0,657
518	0,964	0,751	0,968	0,974	0,864
542	0,980	0,848	1	0,996	0,926
566	0,988	0,917	0,978	0,984	0,966
590	0,978	0,974	0,944	0,967	0,982
614	0,881	0,935	0,883	0,889	0,932
638	0,772	0,878	0,756	0,759	0,824
662	0,651	0,720	0,637	0,642	0,688
686	0,803	0,953	0,816	0,811	0,943
710	0,689	0,857	0,732	0,715	0,897
734	0,617	0,794	0,579	0,550	0,767

Tabla IX. Resumen de mediciones de curva espectrofotométricas del tono C1

C1	POINT 4	ICE	ESTHETX	4 SEAE	VITALS.
POINT 4			✓		
ICE			✓		
ESTHET X	✓	✓			✓
4 SEASONS E					
VIT-L-ESCENCE			✓		

Tabla X. Resultados t student independiente con nivel de significancia 0,05 tono C1

✓ = Corresponde a los composites que tienen diferencias significativas.

Luego de este análisis podemos mencionar que el composite 4 SEASONS C1E no tiene diferencias significativas con ningún otro. El ESTHET X C1 tiene diferencias significativas con todos los composite a excepción del 4 SEASONS C1E.

2.4. D2

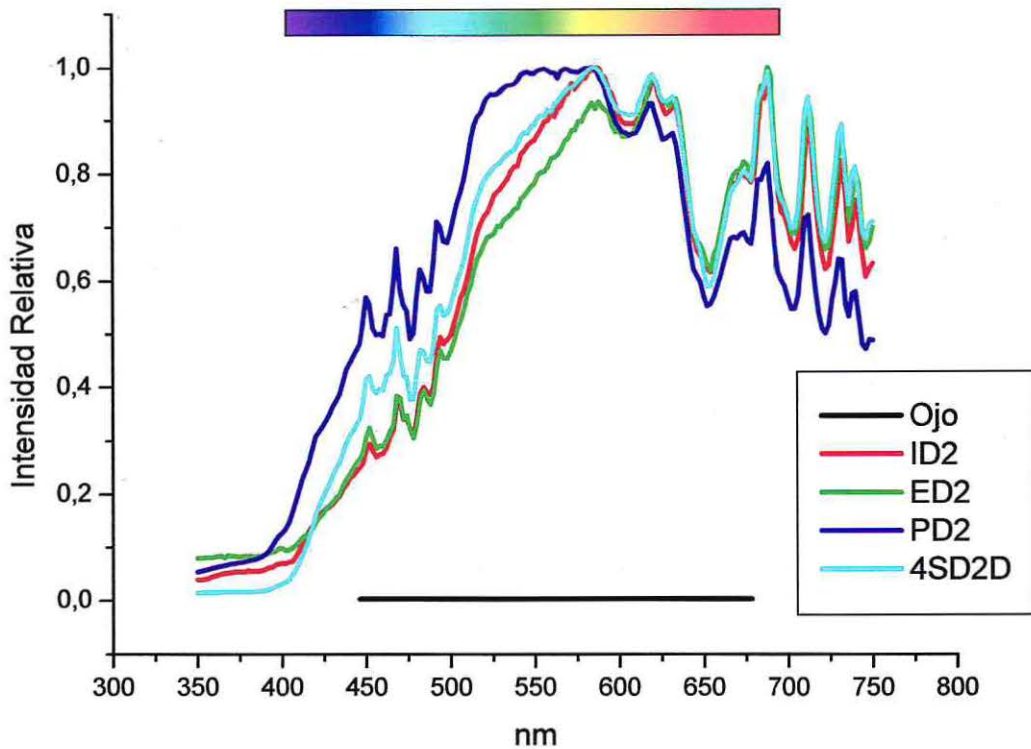


Gráfico 4. Curvas espectrofotométricas de los composites con tono D2.

Incluye además el espectro del color visible en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas de todos los materiales poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango azul verde, destacándose el Point 4 D2 con la mayor intensidad en este rango.

En el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

En el rango amarillo rojo el composite Point 4 A1, toma la menor intensidad.

Longitud de Onda	ICE D2	ESTHET X D2	POINT 4 D2	4 SEASONS D2D
350	0,039	0,078	0,053	0,014
374	0,053	0,081	0,070	0,016
398	0,068	0,097	0,120	0,028
422	0,162	0,156	0,316	0,178
446	0,248	0,265	0,479	0,340
470	0,371	0,378	0,583	0,459
494	0,493	0,468	0,701	0,552
518	0,706	0,651	0,913	0,771
542	0,835	0,753	0,985	0,869
566	0,928	0,845	0,992	0,946
590	0,984	0,924	0,972	0,985
614	0,915	0,918	0,901	0,946
638	0,843	0,865	0,758	0,841
662	0,698	0,722	0,633	0,699
686	0,939	0,966	0,805	0,965
710	0,829	0,864	0,715	0,915
734	0,760	0,812	0,551	0,786

Tabla XI. Resumen de mediciones de curva espectrofotométricas del tono D2.

D2	ICE	ESTHET X	4 SEASONS D	POINT 4
ICE				✓
ESTHET X				✓
4 SEASONS D				
POINT 4	✓	✓		

Tabla XII: Resultados t student independiente con nivel de significancia 0,05 tono D2

✓ = Corresponde a los composites que tienen diferencias significativas.

Luego de este análisis podemos mencionar que el composite 4 SEASONS D2D no tiene diferencias significativas con ningún otro. El composite POINT 4 D2 tiene diferencias significativas con todos los composite a excepción del 4 SEASONS D2D.

Considerando los 4 tonos, se observa que el composite 4 SEASONS generalmente no tiene diferencias significativas con los otros composites.

3. Análisis de los promedios de tonos de los composites versus promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master.

3.1. Promedio A1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3-D Master

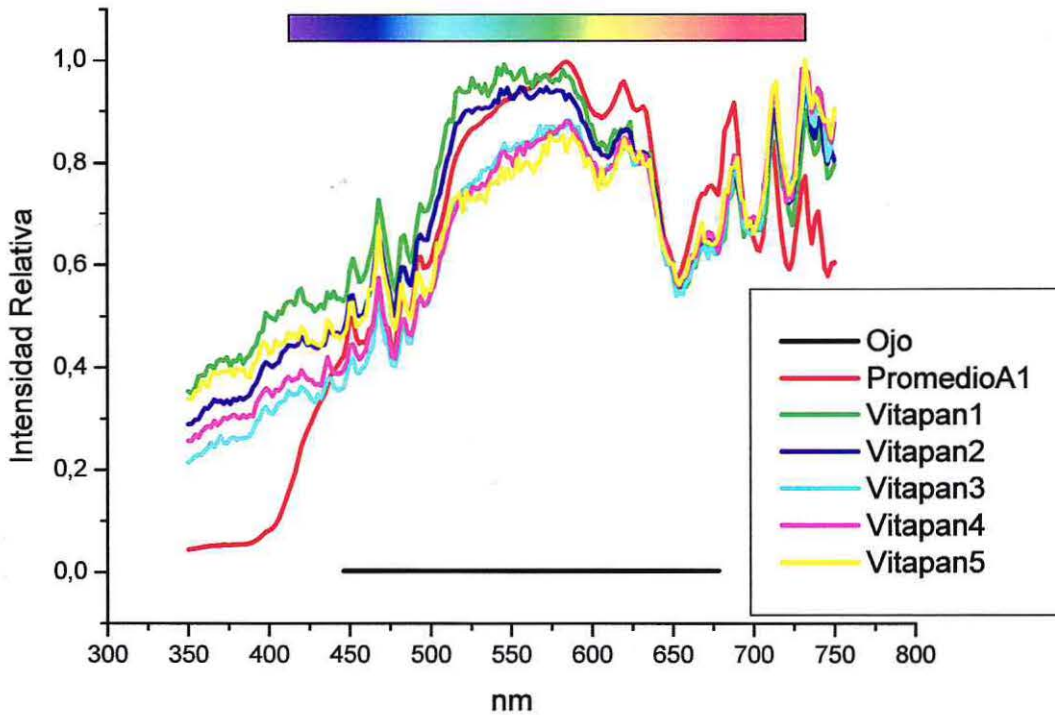


Gráfico 5. Curva espectrofotométrica del tono A1 de los composites comparado con los promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master.

Incluye además el espectro del color en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas promedio poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango verde, específicamente en la zona de las mesetas de las curvas.

En el rango azul y en el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja-rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

3.2. Promedio B1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3-D Master

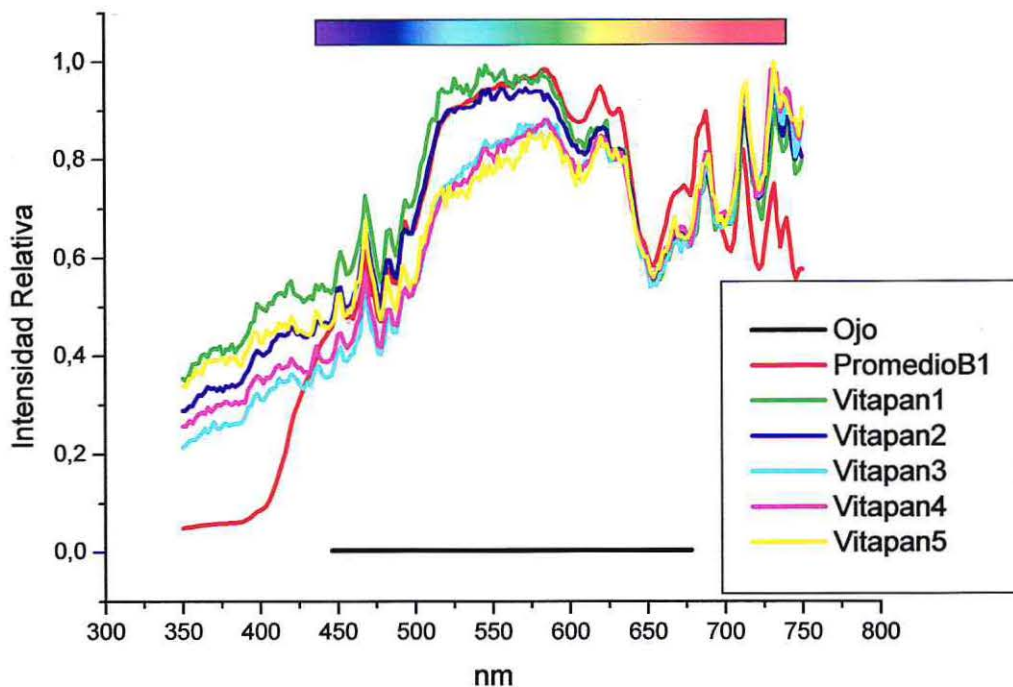


Gráfico 6. Curva espectrofotométrica del tono B1 de los composites comparado con los promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master. Incluye además el espectro del color en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas promedio poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango verde, específicamente en la zona de las mesetas de las curvas.

En el rango azul y en el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

3.3. Promedio C1 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3-D Master

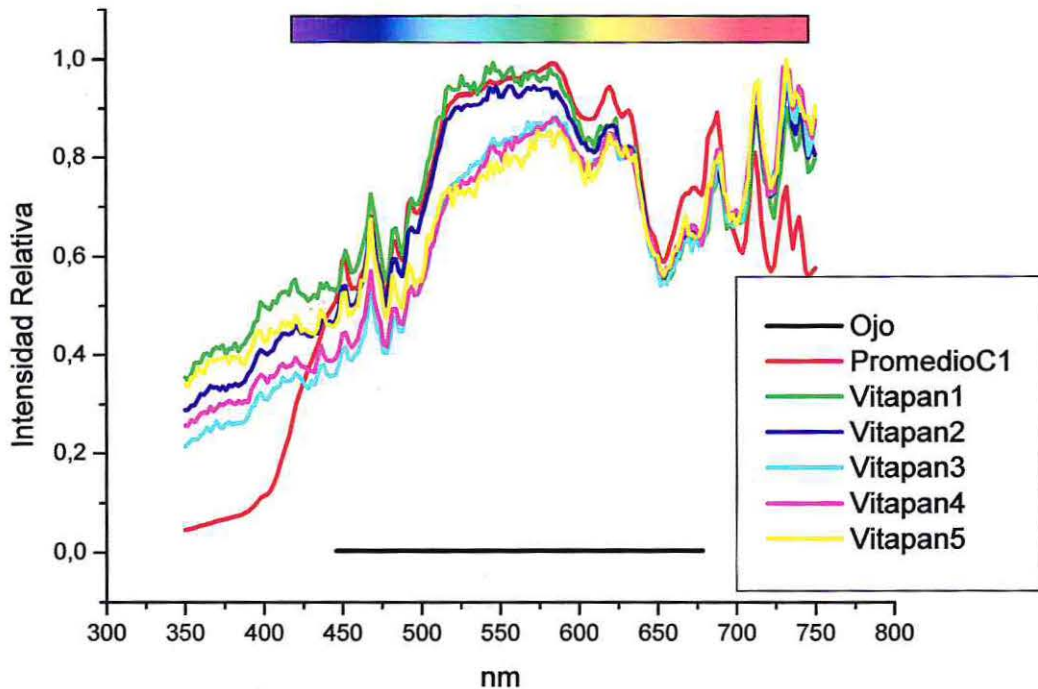


Gráfico 7. Curva espectrofotométrica del tono C1 de los composites comparado con los promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master. Incluye además el espectro del color en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas promedio poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango verde, específicamente en la zona de las mesetas de las curvas.

En el rango azul y en el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.



3.4. Promedio D2 comparado con promedios por grupo de la guía Vitapan 3-D Master

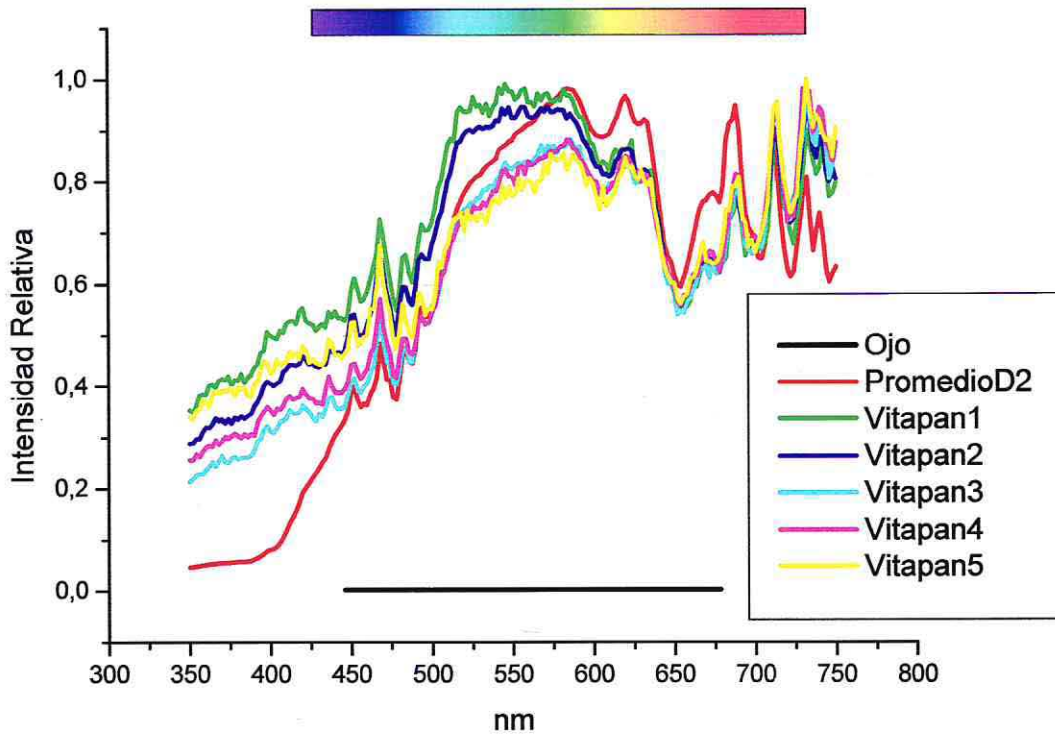


Gráfico 8. Curva espectrofotométrica del tono D2 de los composites comparado con los promedios de los grupos de la guía Vitapan 3-D Master. Incluye además el espectro del color en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas promedio poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango verde, específicamente en la zona de las mesetas de las curvas.

En el rango azul y en el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango naranja rojo se vuelven a observar diferencias mayores entre las curvas.

Luego de realizar un análisis porcentual de las diferencias de áreas entre las curvas se obtuvo lo siguiente:

	A1	B1	C1	D2
GRUPO 1	20%	18%	16%	23%
GRUPO 2	16%	14%	14%	19%
GRUPO 3	16%	17%	19%	15%
GRUPO 4	17%	18%	19%	16%
GRUPO 5	20%	21%	21%	21%

Tabla XIII. Resumen de las diferencias porcentuales de área entre las curvas promedio de los composites y la guía Vitapan 3-D Master.

El tono A1 encuentra su mayor similitud entre los grupos 2 y 3 de la guía de tonos Vitapan 3-D Master. Los tonos B1 y C1 encuentran su mayor similitud en el grupo 2 de la guía Vitapan 3D Master. El tono D2 encuentra su mayor similitud en el grupo 3 de la guía de tonos Vitapan 3-D Master.

Tomando en cuenta que los tonos del composite 4 Seasons no presentan diferencia significativa con la mayoría de los otros composites, en el siguiente análisis los presentaremos como color estándar de cada tono, para compáralos con los promedios por grupo de la guía de tonos Vitapan 3-D Master.

	A1D	B1D	C1E	D2D
GRUPO 1	21%	21%	19%	24%
GRUPO 2	17%	16%	15%	20%
GRUPO 3	17%	17%	18%	16%
GRUPO 4	18%	18%	19%	17%
GRUPO 5	21%	21%	21%	22%

Tablas XIV. Resumen de las diferencias porcentuales de área entre las curvas promedio de los composites de la marca 4 seasons y la guía Vitapan 3-D Master.

	A1D	B1D	C1E	D2D
GRUPO 1	3	2	1	4
GRUPO 2	3	2	1	4
GRUPO 3	2	3	4	1
GRUPO 4	2	3	4	1
GRUPO 5	2	3	1	4

Tabla XV. Secuencia de tonos de composites 4 seasons para cada grupo de la guía Vitapan 3-D Master.

Luego de este análisis podemos concluir la siguiente secuencia de tonos para los composites incluidos en el estudio: **C1-A1-D2**

Esta secuencia también se mantuvo con los promedios de todos los composites con igual designación de tono. El tono B1 a pesar que ocupa un lugar en esta secuencia, es un tono acromático, por lo que no se considera dentro esta secuencia final.

4. Comparación de rangos totales de las curvas espectrofotométricas de los dientes, composites y guía Vitapan 3-D Master.

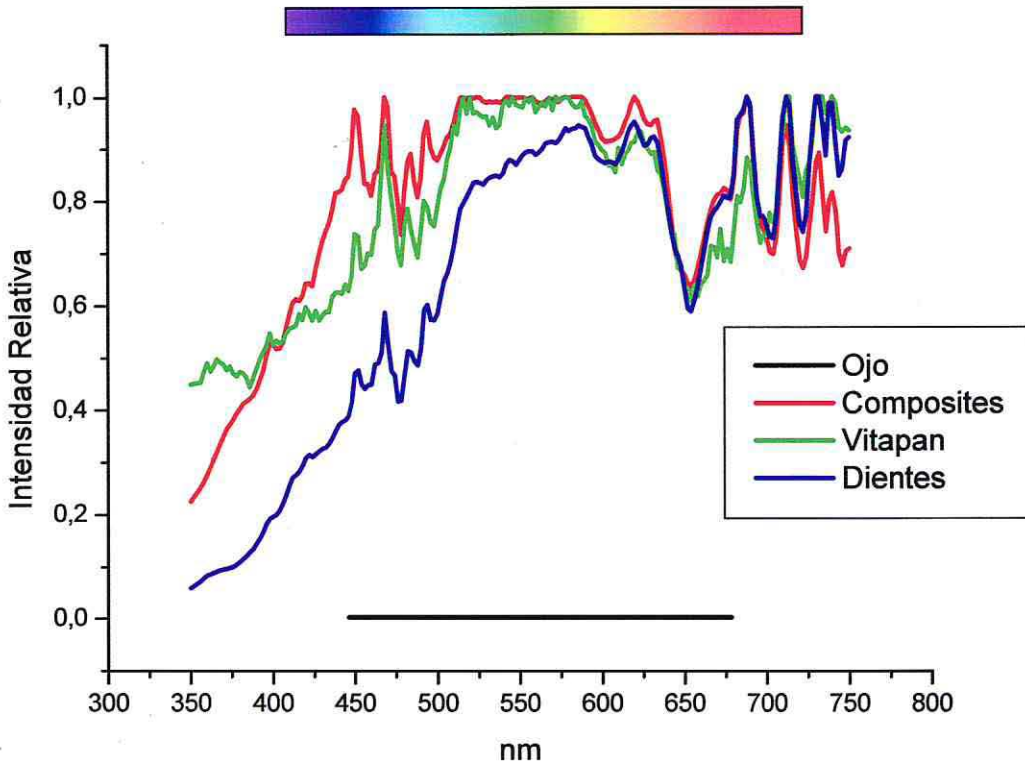


Gráfico 9. Curvas espectrofotométricas de los rangos totales de los composites, guía de tonos Vitapan 3-D Master y dientes.

Incluye además el espectro del color en la parte superior y una recta negra que indica el rango de visión del ojo humano en la parte inferior.

Las curvas promedio poseen una forma de curva similar.

Las mayores diferencias se observan en el rango azul verde.

En el rango amarillo, es donde más se asemejan las curvas entre ellas.

En el rango azul verde se puede observar que las diferencias entre la curva de los dientes y las otras dos curvas es considerable, producto de su baja intensidad relativa en frecuencias bajas y a que adicionalmente presenta menor pendiente, por lo que alcanza su máximo en longitudes de onda mayores. En este sector existen algunas diferencias entre las curvas de la guía Vitapan 3-D Master y los composites, ya que existe una diferencia entre las intensidades relativas de ambas.

LONGITUD DE ONDA	COMPOSITES	VITA 3-D MASTER	DIENTES
350	0,225	0,449	0,059
374	0,373	0,483	0,098
398	0,527	0,547	0,192
422	0,642	0,585	0,313
446	0,847	0,627	0,389
470	0,982	0,863	0,527
494	0,952	0,789	0,602
518	0,996	0,968	0,809
542	1	0,994	0,871
566	0,992	0,981	0,909
590	0,994	0,963	0,938
614	0,951	0,889	0,911
638	0,878	0,822	0,827
662	0,728	0,647	0,703
686	0,967	0,823	0,974
710	0,915	0,930	0,959
734	0,812	1	0,949

Tabla XV. Muestra los valores de las curvas espectrofotométricas, de los rangos totales en forma resumida.

Resultados análisis t student.

- t-Test independiente entre composites y la guía Vitapan 3-D Master (nivel de significancia: 0,05)

	Promedio	Varianza	N
Composites	0,79449	0,04247	201
Guía Vitapan 3-D	0,77817	0,03129	201

Tabla XVI

$$t = -0,85189$$

$$p = 0,39479$$

Los datos no son significativamente diferentes

- t-Test independiente entre composites y dientes (nivel de significancia: 0,05)

	Promedio	Varianza	N
Composites	0,79449	0,04247	201
Dientes	0,64446	0,08584	201

Tabla XVII

$$t = -5,9379$$

$$p = 6,27178E-9$$

Los datos son significativamente diferentes

- t-Test independiente entre la guía Vitapan 3-D Master y los dientes (nivel de significancia: 0,05)

	Promedio	Varianza	N
Dientes	0,64446	0,08584	201
Guía Vitapan 3-D	0,77817	0,03129	201

Tabla XVIII

$$t = -5,53888$$

$$p = 5,52613E-8$$

Los datos son significativamente diferentes

Se analizaron estadísticamente estas curvas mediante la aplicación de un test t student. Se pudo observar que la diferencia al comparar la curva de los dientes con la guía Vitapan 3-D Master es significativa y se presenta principalmente entre los 350 y 590 nm, lo que también ocurre al comparar las curvas de los dientes y los composite.

No existe diferencia significativa al comparar la curva Vitapan 3-D Master con la de los composites.

DISCUSIÓN

El presente estudio realizó una medición instrumental espectrofotométrica de muestras de composites, dientes y la guía Vitapan 3-D Master. Muchos autores han reportado que la estandarización de los composites actualmente disponible es deficiente, o que simplemente no sigue ningún patrón lógico que ayude al profesional a obtener mejores resultados de selección de color en la práctica clínica (Paul et al. 2002, Okubo et al. 1998, Paravina et al. 2001, Analoui et al. 2004)

La **medición instrumental** es una herramienta que ha sido utilizada durante muchos años en el estudio del color en odontología, sin embargo, no se han reportado resultados clínicos que hayan superado a la valoración visual. Seghi (1990) señaló que la obtención de datos instrumentales a pesar de eliminar el aspecto subjetivo de la selección del color, puede tener errores, lo que afecta la reproducibilidad en estudios de este tipo. (Paul et al. 2002, Okubo et al. 1998)

La evidencia científica respecto del uso clínico de la medición instrumental, aún no es concluyente. (Paul et al. 2002, Yap et al. 1999, Lee et al. 2002)

En la medición del color existe una interacción de una gran cantidad de factores muy difíciles de manejar, dependientes del observador, del objeto y del entorno. Pese a lo anterior, la medición instrumental es un método aceptado en la comparación de los parámetros del color; justificando la importancia de diversas investigaciones en esta dirección (Okubo et al. 1998, National Institute of Standards and Technology, 2000)

Debido a las diferencias entre personas en la percepción del color, la evaluación visual del tono de los dientes humanos carece de la estandarización necesaria, sin embargo puede mejorarse mediante el uso de un espectrofotómetro. Paul et al. reportó que la evaluación espectrofotométrica el color del diente es comparable con la percepción visual humana, ya que los resultados sugieren que el análisis espectrofotométrico de los tonos es más exacto y reproducible en comparación a la percepción visual humana (83% espectrofotométrico versus 26% humano) (Paul et al. 2002)

En el estudio realizado por Analoui et al., se analizó a través de CIELab con un espectro radiómetro el espacio cromático de 150 dientes extraídos con respecto a 3 guías comerciales: Vita Classical Shade Guide, Trubyte Bioform Color Order y Vitapan 3-D Master. Los resultados indicaron que la cobertura de color fue de un 37.45% para la Vita Classical Guide, de un 30.96% Trubyte Bioform Color Order y de un 56.05% para la guía Vitapan 3-D Master. De esto se puede concluir la guía Vitapan 3-D Master mejoró considerablemente con respecto a sus predecesoras en la cobertura del espacio de color, por lo que los nuevos estudios deben basarse en ella como patrón de comparación para la selección de color. (Analoui et al 2004) Otros autores no encontraron un orden lógico en la distribución del color de las guías de tonos. (Lee et al, 2001; Sproull, 2001)

En nuestro estudio, la mayor diferencia observada entre las curvas espectrofotométricas totales de los composites y de la guía Vitapan 3-D Master se encuentra en la región azul del espectro. Esto se puede deber a que los dientes utilizados

(terceros molares) presentan tonos más anaranjados y rojizos, a diferencia de los dientes anteriores no incluidos en este estudio que presentan tonos más azulados. (Dietschi 2001, Cataruzza 2002)

El rango de colores dentales cubre una parte excepcionalmente pequeña de los colores del espectro visible, siendo el rango de color de las guías dentales aún más angosto, haciendo más difícil la selección más exacta del color. (Paravina et al, 2001)

La variabilidad de resultados en distintos estudios con medición instrumental se puede deber a múltiples motivos que mencionaremos en la presente discusión. Por ejemplo, los resultados del presente estudio son distintos a los obtenidos por Analoui et al., lo que se podría deber a que el espectrofotómetro utilizado mide curvas de reflexión y no parámetros CIE Lab, al tipo de dientes medidos, a las zonas medidas y al tamaño de la muestra. (Analoui et al, 2004)

Los colorímetros y espectrofotómetros, e incluso cámaras de vídeo a color se pueden utilizar para el análisis foto-óptico del color. Sin embargo, la entrega de la información requiere ser similar o idéntica al ojo humano para el motivo de la comparabilidad. (Paul et al. 2002)

Al momento de querer traspasar los resultados físicos de un instrumento a la realidad que puede ver el ojo humano, podemos señalar que se generan diferencias debido a la distinta sensibilidad que presenta el ojo y el espectrofotómetro a diferentes longitudes de onda. De esto podría inferirse que el espectrofotómetro entrega datos que posiblemente no tengan mayor relevancia clínica, a no ser que estos datos sean factorizados por la curva de sensibilidad del ojo humano y se comparen con estudios clínicos.

No deja de ser importante mencionar que el posicionador de la muestra, tanto en su ubicación como color propio, y el color de fondo detrás de la muestra, cambiarán las lecturas del aparato de medición, pudiéndose comparar directamente los resultados solamente con los datos tomados en las mismas condiciones (Okubo et al 1998, Rosenholtz 2001, Rosenholtz et al 2004). En nuestro estudio, el problema del color de fondo lo manejamos colocando la muestra con un cinta adhesiva transparente en el porta muestra, de manera que no afectara las mediciones. Las mediciones del espectrofotómetro se realizan al interior de un compartimiento de color negro sellado con su tapa, lo que impide que luces exteriores alteren los resultados.

En estudios con medición instrumental, el grado de dispersión y absorción de luz por el esmalte, producen desplazamientos oblicuos, con rayos de luz emergiendo a distancias imprevisibles del lugar de incidencia. Al usar un instrumento con una abertura pequeña para la iluminación y la entrada de la luz, la cantidad de esta luz reflejada está reducida lo que causa una lectura inadecuada y por consiguiente errores de medición. Los instrumentos con una ventana pequeña de medición, pueden ser inexactos debido a los efectos de la "pérdida del margen". (Bolt et al. 1994; Johnston et al.1996)

También es importante mencionar, que cuando se realizan estudios in Vitro con dientes, se producen cambios y diferencias de color entre un diente extraído y otro vital.

Esto se debería a las diferencias en la pulpa y la hidratación; además de las discrepancias de tamaño, edad y regímenes de dieta. (Analoui et al, 2004)

La comparación de planicies en zonas irregulares y curvadas puede afectar la exactitud de las mediciones, como lo que ocurre en dientes o en etiquetas de una guía comercial (Yap, 1998, Picossi, 1987) Esto puede generar diferencias al comparar el presente estudio con otros del mismo tipo.

El problema de la falta de uniformidad del color del diente afecta no sólo los resultados de un colorímetro u espectrofotómetro, sino también desafia al ojo humano en cuanto a que porción del diente debe enfocarse. (Okubo et al, 1998)

Al momento de agrupar los composites por tono, hay estudios que reportan diferencias entre ellos, dependiendo de la marca y el tono del material. Esta variación entre los productos de la misma designación de tono se manifiesta principalmente en la luminosidad (L^*) y cantidad de amarillo (b^*). Los valores de ΔE^* entre composites de la misma designación de tono están en el rango de 2.1 a 7.6 y fue perceptible para muchos observadores bajo condiciones ideales de visión en el estudio (Lee et al, 2001). Esto se corresponde con los resultados obtenidos en el presente estudio donde encontramos diferencias significativas entre algunos composites con la misma designación de tono.

La guía Vita Classical permitió que las empresas fabricantes de composite denominaran los tonos al igual que las etiquetas de esta guía. Estudios posteriores realizados con colorímetros, demostraron que las etiquetas de esta guía no tenían una secuencia lógica de color, proponiendo correctamente un nuevo orden y secuencia de cada una de estas etiquetas en el espacio de color. Es así como se puede observar que en el espectro de la luz, los colores avanzan de izquierda a derecha al ir aumentando la longitud de onda de cada color. De esta forma, vamos desde el amarillo hacia el rojo, encontrando que el tono C1 se encuentra en el rango del espectro amarillo, los tonos A1 y D2 en el rango del amarillo naranja. Entonces, la secuencia C1-A1-D2 que obtuvimos del análisis, conserva un orden lógico (del amarillo al rojo) al compararla con la secuencia C1-D2-A1 presentada por Cattaruzza (2002) en su libro y que fue realizada con un colorímetro en valores CIE Lab. La diferencia en el orden entre D2 y A1 entre nuestra secuencia y la de Cattaruzza, se puede adjudicar a errores muestrales, ya que son muy cercanas las curvas espectrofotométricas de A1 y D2 de los composites 4 Seasons, y de varios otros composites de este estudio.

En la **medición clínica del color**, es necesario tener en cuenta una serie de factores que podrían conducir a errores. Entre estos encontramos:

- El ojo humano ha demostrado ser muy bueno en discernir diferencias leves del color, pero tiene una dificultad mayor para adecuar el color de los objetos. (Okubo et al, 1998)
- Las etiquetas de la Guía Vita están hechas de porcelana de alta fusión y no tienen un color uniforme, siendo sensible el lugar de medición dentro de ella, por lo tanto el observador debe entrenarse para centrarse en el tercio medio del diente de la guía de

tonos porque la gama del color cambia, a saber, de gingival a incisal.(Yap et al, 1997; Okubo et al 1998) En este trabajo se midió el tercio medio de la etiqueta, tratando que el haz de luz incidiera justo en el centro de este tercio a través del posicionador.

- Las guías de tonos varían entre lotes debido a los parámetros difíciles de controlar durante la fabricación; así tenemos que ninguna de las guías dentales de tonos es idéntica a otra, lo que siempre va a alterar la reproducibilidad de los estudios. (Paul et al, 2002)
- Las condiciones apropiadas de la selección del tono no son provistas en muchas consultas dentales, y a veces los dentistas no usan un adecuado método de selección del color. (Yap et al, 1999) Por lo tanto, se hace necesario buscar un método de medición de color instrumental.

Algunos productores de composites mencionan que sus colores se basan en el cuerpo del muestrario Vita. Yap et al. demuestra que no están bien sustentados los colores de los fabricantes con el cuerpo de la guía Vita, por lo que se sugiere que una buena solución sería hacer una guía de color con el actual material.(Yap et al, 1995). En otro estudio indica que la guía Vita no debe ser usada para seleccionar clínicamente la toma de color en vez de las guías propias de los productos, ya que se obtendrían restauraciones más oscuras y amarillas (Yap, 1998)

La diferencia de color entre Vita y los composites puede ser explicado por el hecho que ocurre un cambio de color después de polimerizar. Esta característica cromática de cambio ocurre en la región azul-verde del espacio del color, resultando en una percepción disminuida del croma amarillo, y en una posible disminución de valor. (Yap et al.1995, Yap et al. 1997, Yap et al. 1999)

Con todo lo mencionado anteriormente, no sorprende que los estudios reporten una amplia gama de variaciones al comparar los resultados obtenidos con el ojo humano a los resultados obtenidos por un colorímetro u espectrofotómetro.

La gran cantidad de variables presentes en cada método de medición, nos hacen difícil obtener óptimos resultados de medición del color. Por esta razón deben seguir realizándose investigaciones que ayuden a una mejor selección de color y a una estandarización de los materiales restauradores estéticos.

CONCLUSIONES

En este estudio hemos observado que las curvas espectrofotométricas de la Guía Vitapan 3-D Master y de los composites tienen formas similares y en estrecha relación. En el rango de los tonos azules y verdes, entre los 400 nm. y 550 nm., es donde más se manifiestan las diferencias entre las curvas analizadas. Así podemos concluir que el rango total de los composites estudiados se encuentran dentro de la curva de rango total de la guía Vitapan 3-D Master, lo que es avalado por una diferencia no significativa entre ambas, concluyendo de esta manera que la hipótesis es aprobada.

Los dientes analizados en este estudio, se encuentran ubicados en el espectro visible dentro del rango amarillo rojo, obteniendo diferencias significativas con la guía Vitapan 3-D Master.

Obtuvimos una correspondencia matemática entre cada composite y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master, que debería ser confrontada con un estudio clínico de estos resultados.

En el análisis de comparación de composites de las distintas marcas con un mismo tono, obtuvimos que existen diferencias significativas entre ellos, lo que demuestra la falta de estandarización de la fabricación de composites con una misma designación de tono.

La marca de composites 4 Seasons, generalmente no tiene diferencias significativas con los otros composites en el análisis por tono. Por lo tanto, se puede considerar como una marca de referencia o promedio en cada tono. Lo anterior tendría relevancia clínica, ya que al reemplazar un composite cualquiera por una del mismo tono 4 Seasons, no se deberían alterar los resultados estéticos. Esto se debe confrontar con estudios clínicos e instrumentales que consideren una mayor cantidad de muestras por marca.

Después de analizar los promedios de tonos y grupos de la guía Vitapan 3-D Master, obtenemos que el promedio del tono A1 encuentra mayor semejanza con los promedios de los grupo 2 y 3 de la guía; el promedio del tono B1 encuentra mayor semejanza con el promedio del grupo 2 de la guía; el promedio del tono C1 encuentra mayor semejanza con el promedio del grupo 2 de la guía y finalmente el promedio del tono D2 encuentra mayor semejanza con el promedio del grupo 3 de la guía.

Colorimetría y espectrofotometría son ciencias que se pueden complementar y comparar en ciertos aspectos. Esto queda en evidencia, al comprobar que los tonos de los composites en estudio siguen el orden lógico del espectro de la luz visible, es decir, avanzan desde el color amarillo hacia el rojo, lo que también sucede en estudios con colorímetros.

Podemos concluir que es posible estandarizar los composites disponibles en el mercado, basándose con la guía Vitapan 3-D Master. Idealmente se deben medir las tres dimensiones del color con un instrumento adecuado para ello, que entregue resultados en CIE Lab para discriminar mejor las diferencias; realizando después la comparación clínica de los resultados.

SUGERENCIAS

El estudio de la selección del color en odontología involucra una gama de factores, alguno de los cuales fueron incluidos dentro de este trabajo. La presente investigación puede servir como referencia para la realización de estudios posteriores. Es de suma importancia que las investigaciones realizadas en este tema, sigan una metodología que permita interpretar los resultados, para compararlos posteriormente.

Dentro de las limitaciones de nuestro estudio, encontramos dificultades para obtener dientes anteriores que nos entregarían un rango más amplio de los colores dentarios.

Son pocos los estudios hallados en la literatura que utilizan la guía Vitapan 3-D Master como referencia. Sugerimos que para posteriores estudios de color, se siga usando esta guía como patrón de selección de color.

La evaluación de los composites disponibles en el mercado basado en la guía Vitapan 3-D Master requiere del desarrollo de un mayor número de estudios tanto clínicos como instrumentales para obtener resultados concluyentes.

La dificultad para conseguir composites donados a la investigación por las empresas, disminuyen las posibilidades de obtener resultados más representativos. Muchos de los tonos de composite ofrecidos en catálogos de las empresas, no se encuentran disponibles en el mercado nacional.

Se sugiere que para estudios posteriores que comparen el color, puedan obtenerse resultados en el sistema de color CIE Lab, el cual nos entrega en forma más clara la diferencia de color entre una y otra muestra estudiada.

No encontramos en la literatura estudios similares que discriminen las diferencias de color entre las muestras basadas en la diferencia de áreas.

Los resultados obtenidos en este estudio no se pueden aplicar confiablemente en la práctica, sin que se realice una contraparte clínica que los valide.



RESUMEN

La odontología restauradora en los últimos años ha tenido un gran avance en los materiales estéticos, poniendo énfasis en el mejoramiento en sus propiedades ópticas. Los dientes están formados por diferentes estructuras con propiedades ópticas individuales que hacen difícil la selección del color. No existe en la actualidad una estandarización de las resinas compuestas adecuada ni una guía de tonos ideal que hagan el procedimiento de la selección del color más fácil y confiable para el profesional. El objetivo de este estudio es comparar las curvas espectrofotométricas de diversos tonos las resinas compuestas con las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master. Para la medición se utilizó un espectrofluorímetro, bajo condiciones estandarizadas. Los datos fueron analizados con el software Origin 6.0 y Excel 2000. Se analizó los rangos los composites individualmente, según designación de tonos (A1, B1, C1 y D2), por promedio de tonos versus grupos de la guía y en sus rangos totales. Los resultados fueron analizados con el test t student y en base a su diferencia de áreas. Las mayores diferencias se encontraron en el rango azul-verde, y las mayores similitudes en el rango amarillo. Los composites escogidos se correspondieron con los grupos 2 y 3 de la guía Vitapan 3-D Master. Se concluyó que existe diferencia entre los composites con la misma designación de tonos, siendo el 4 Seasons el que tiene el comportamiento más similar a los otros composites del estudio. Podemos concluir que es posible estandarizar las resinas compuestas disponibles en el mercado, basándose en la guía Vitapan 3-D Master. Se sugiere que posteriores estudios obtengan resultados en CIE Lab y se realice después una comparación clínica de los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Analoui, M., Papkosta, E., Cochran, M. y B. Matis (2004) "Designing visually optimal shade guide"; *J Prosthet Dent*; 92(4):371-76.
- Baratieri, L. y Chain, M. (2001) "Restauraciones estéticas con resinas compuestas en dientes posteriores" Ed. Artes Médicas, Sao Paulo. pp. 12-20.
- Berns, RF (2000). *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*. 3rd ed. New York: Wiley, pp. 75-104.
- Billmeyer, F.W. (1987) "Survey of Color Order Systems", *Color Research and Application*, 12:173-86.
- Buchalla, W., Actin T., Hilgers, RD y Hellwig, E.; (2002) "The effect of water storage and light exposure on the color and translucency of a hybrid and a microfilled composite"; *J Prosth Dent*; 87(3):264-270.
- CRA Foundation Newsletter (2005); 19(5):1-3
- Castroverde, M. (1999) "Propagación de la Luz" [En línea] http://members.tripod.com/~Mauve_Ciel/propagacion.html [Accesado el día 23 de agosto de 2004]
- Cattaruzza, M. (2002) *Il Colore. En: Odontoiatria Conservativa Restauri Adesivi Diretti Fondamenti sul Colore e sue Applicazioni*. Italia: Promoden; p.112-189.
- Craig, G. (1998) *Propiedades ópticas, térmicas y eléctricas*. En: *Materiales de Odontología Restauradora*. España: Madrid: Harcourt - Brace; p.30-38.
- Culpepper, WD. (1970) "A comparative study of shade-matching procedures". *J Prosthet Dent*; 24:166-74.
- Delahunt, MB. y D H. Brainard; (2004) "Does human color constancy incorporate the statistical regularity of natural daylight?"; *Journal of Vision*, 4, 57-81.
- Dietschi, D. y Dietschi, JM. (1996) "Current developments in composite materials and techniques". *Pract Periodont. Aesthet Dent*; 8(7): 603-613.
- Dietschi D. (1998) "Adhesive dentistry: what's new beyond aesthetics" *Pract Periodontics Aesthet Dent*. 10(3):274, 276.
- Dietschi, D. y R. Spreafico; (1998) "Restauraciones adhesivas no metálicas: Conceptos actuales para el tratamiento estético de los dientes posteriores"; Editorial Masson SA, Barcelona. 1ra Edición.
- Dietschi, D. (2001). "Layering concepts in anterior composite restorations" *J. Adhes. Dent.*; 3:71-80.
- Douglas, RD. (1997) "Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth" *J Prosthet Dent*. 77(5):464-70.
- Finsterbusch, P. y D. Cvitanic (2004) "Evaluación de la translucidez de las resinas compuestas", Tesis, Universidad de Valparaíso.
- Gartell, JD, Echo Productions. "Colour order systems in art and science" [En línea]. <http://www.colorsystm.com/> [Accesado el día 23 de agosto de 2004]
- Halliday, D. y R. Resnick, (1968) "Física para estudiantes de ciencias e ingeniería"; Editorial Continental, México DF, 2da edición. Capítulos 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47.
- Hammad, I. (2003) "Intrarater repeatability of shade selections with two shade guides" *J Prosthet Dent*; 89:50-3.

- Hasegawa, A., Ikeda, I. y S. Kawaguchi; (2000) "Color and translucency of in vivo natural central incisors"; *J Prosthet Dent*; 83(4):418-23.
- Hesselgren, S. (1984) "Why Colour Order Systems?", *Color Research and Application*, 9:220 – 226.
- Hewitt, PG. (1998) "Física conceptual"; Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, México DF. 1ra edición. Capítulos 27, 28, 29, 30 y 31.
- Huiriqueo, C. (2003) "Evaluación espectro fotocolorimétrica de coronas Procera All-Ceram. Estudio In Vitro", Tesis, Universidad de Valparaíso.
- Hunter, RS., y RW. Harold. (1987). "The Measurement of Appearance". New York: John Wiley & Sons.
- Irwin, G. y P. Younger, (1972) "Física"; Editorial Publicaciones Cultural SA, México DF. 1ra edición. Capítulos 18, 19, 20, 21 y 22.
- Johnston, WM. y Kao, EC. (1989) "Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry". *J Dent Res*; 68:819-22.
- Judd, DB, Wyszecki, G (1975). "Color in business, science and industry". 3rd ed. New York: Wiley.
- Kuehni, RG. y Marcus, RT. (1979) An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl*; 4:83-91.
- Lee, YK., Lim, BS., Kim, CW. y JM. Powers; (2001) "Comparison of Color of Resin Composites of White and Translucent Shades with Two Shade Guides"; *J Esthet Restor Dent* 13:179-186.
- Lee, YK.; Yoon, TH.; Lim, BS.; Kim, CW. y JM. Powers (2002) "Effects of colour measuring mode and light source on the colour shade guides"; *Journal of Oral Reahabilitation*, 29; 1099-1107.
- Maiztegui, A. y J. Sabato, (1972) "Introducción a la física"; Editorial Kapelusz, Buenos Aires, 7ma edición, Capítulos I, II y III.
- Marcucci, B. (2003) "A shade selection technique"; *J Prosthet Dent*; 89(5):518-21.
- Muñoz, M. y E. Ortiz, (2003) "Medición de ropiedades ópticas de las resinas compuestas"; Tesis, Universidad de Valparaíso.
- Nagy, A. y Cone SM. (1996) "Asymmetries in simple feature searches for color" *Vision Res.*, 36(18):2837-47.
- National Institute of Standards and Technology, (2000) Optical Technology Division, Yoshi Ohno, "CIE Fundamentals for Color Measurements", IS&T NIP16 Conference, Vancouver, Canada, Oct. 16-20. (Final manuscript)
- Nemcsics, A. (1987) "The Color Space of the Coloroid Color Order System", *Color Research and Application*, 12:135-146.
- Okubo, S., Kanawati, A., Richards, M. y S. Childressd, (1998) "Evaluation of visual and instrument shade matching", *J Prosthet Dent*; 80:642-48.
- Paravina, R., Powers, J. y Fay, RM.; (2001) "Dental Color Standards: Shade Tab Arrangement"; *J Esthet Restor Dent* 13:254-263.
- Parkhurst, C. y RL. Feller, (1982) "Who Invented the Color Wheel?", *Color Research and Application*, 7:217-230.
- Paul, S., Peter, A., Pietrobon, N. y CHF. Hämmerle, (2002) "Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth", *J Dent Res* 81(8):578-82.

- Poblete, A. y Rubio R. (2003) "Evaluación del efecto de fluorescencia en resinas compuestas"; Tesis; Universidad de Valparaíso.
- Rosenholtz, R., Nagy, AL. y NR. Bell (2004) "The effect of background color on asymmetries in color search", *Journal of Vision*, 4, 224-240.
- Ruyter, IE., Nilner, K. y B. Moller (1987) "Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers" *Dent Mater* ;3(5):246-51.
- Seghi RR. (1990) "Effects of instrument-measuring geometry on colorimetric assessments of dental porcelains". *J Dent Res*; 69:1180.
- Seghi, RR, Gritz, MD, Kim, J. (1990) "Colorimetric changes in composites resulting from visible-light-initiated polymerization" *Dent Mater*. 6(2):133-7.
- Seghi, RR., Johnston, WM. y WJ. O'Brien (1989) "Performance assessment of colorimetric devices on dental porcelains". *J Dent Res*;68:1755-9.
- Sim, CP., Teo, J. y Yap, A. (2001) "Color perception among diferent dental personnel" *J Oper Dent*; 26: 435-439.
- Sproull, RC. (2001a) "Color matching in dentistry. Part I. The three-dimensional nature of color"; *J. Prosthet. Dent*. 86(5):453-7.
- Sproull, RC. (2001b) "Color matching in dentistry. Part II. Practical applications of the organization of color", *J. Prosthet. Dent*. 86(5):458-64.
- Ten Bosch JJ. y Coops, JC. (1995) "Toth color and reflectance as related to light scatering and enamel hardness" *J Dent Res* 74: 374-80.
- Tung, FF., Goldstein, GR., Jang, S. y E. Hittelman, (2002) "The repeatability of an intraoral dental colorimeter"; *J Prosthet Dent*; 88(6):585-90.
- Uchida, H., Vaidyanathan, J., Viswanadhan, T. y TK. Vaidyanathan (1998) "Color stability of dental composites as a function of shade"; *J Prosthet Dent*; 79(4):372-77
- Van Der Burgt TP., Ten Bosch JJ., Borsboom, PCF. y WJPM. Kortsmmit (1990) "A comparision of new and convencional methods for cuantification of tooth color"; *J Prosthet Dent*; 63(2):155-162.
- Wyszecki, G. y Stiles, WS. (1982). "Color science concepts and methods, quantitative data and formulae". 2nd ed. New York: Wiley, pp. 83-116.
- Yap, A., Bhole S. y TBC. Keson; (1995) "Shade match of tooth-colored restorative materials based on a commercial shade guide"; *Quintessence Int*; 26(10):697-702.
- Yap, A., Keson, TBC. y S. Bhole; (1997) "Comparison of aesthetic properties of tooth-colored restorative materials"; *Op Dent*; 22:167-172.
- Yap, A. (1998) "Color attributes and accuracy of Vita-based manufacturers' shade guides"; *Op Dent* 1998; 23: 266-71.
- Yap, CS. y V. Loganathan; (1999a) "Polymerization Color Changes of Esthetic Restoratives"; *Op Dent*; 24, 306-311.
- Yap, CS., Loh, W. y J. Teo. (1999b) "Human-eye versus computerized color matching; *Op Dent*; 24, 358-363.

Anexo I

	IA1	IA2	IB1	IC1	ID2	EAI	EB1	EC1	ED2	VA1	VBI	VCI	PA1	PBI	PC1	PD2	MNT	MNR	MWR	MS1	MS7	4SAIE	4SB1D	4SC1E	4AD2D	4SAID	FA2	FB3
1M1		✓		✓			✓					✓			✓		✓	✓				✓						
1M2				✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2L1,5		✓		✓			✓				✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2L2,5		✓		✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2M1		✓		✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2M2				✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2M3	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
2R1,5		✓		✓			✓				✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
2R2,5				✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
3L1,5		✓		✓			✓				✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
3L2,5	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
3M1		✓		✓			✓				✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
3M2	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
3M3	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
3R1,5				✓			✓				✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
3R2,5	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4L1,5	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4L2,5				✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	
4M1	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4M2	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4M3	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4R1,5			✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
4R2,5	✓		✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
5M1																												
5M2			✓				✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
5M3	✓				✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla resumen de análisis de t student t entre cada composite y cada etiqueta de la guía Vitapan 3-D Master.
Se indican con un visto bueno las etiquetas que no tuvieron diferencias significativas según el análisis de t student.

Anexo II

Las tablas que adjuntamos a continuación, corresponden al análisis de las curvas espectrofotométricas completas (100%) de los composites y las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master. La etiqueta que se presenta en primer lugar para cada composite, corresponde a la que más se asemeja a él dentro de las estudiadas. Sólo se encuentran rankeadas las etiquetas de la guía Vitapan 3-D Master que no tenían diferencias significativas para cada composite según la t student (Resultado N°1)

ICE A1

	Ranking	Dif. Total de áreas
4L1.5	1	4%
4R2.5	2	5%
3L2.5	3	5%
5M3	4	6%
3M3	5	7%
4M1	6	7%
3R2.5	7	7%
3M2	8	8%
4M3	9	9%
4M2	10	9%
2M3	11	18%

ICE A2

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	4%
2L1.5	2	5%
3M1	3	5%
2R1.5	5	5%
2M1	4	6%
2L2.5	6	7%
5M1	7	8%
3L1.5	8	9%

ICE B1

	Ranking	Dif. Total de áreas
4L1.5	1	3%
3L2.5	2	4%
4R2.5	3	4%
4M1	4	5%
3R2.5	5	6%
3M3	6	7%
3M2	7	7%
4M2	8	8%
5M2	9	8%
4M3	10	9%
2M3	11	17%

ICE C1

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M1	1	3%
2M2	2	3%
1M1	3	3%
2R1.5	4	3%
1M2	6	4%
2M1	5	4%
2L1.5	7	4%
4L2.5	8	4%
2L2.5	9	5%
2R2.5	10	6%
3L1.5	11	6%
5M2	12	7%
3R1.5	13	7%
4R1.5	14	8%

ICE D2

	Ranking	Dif. Total de áreas
4L1.5	1	3%
4R2.5	2	4%
3L2.5	3	4%
3M3	5	5%
5M3	4	5%
4M1	6	6%
3R2.5	7	6%
3M2	8	7%
4M3	9	8%
4M2	10	8%
2M3	11	17%

ESTHET X A1

	Ranking	Dif. Total de áreas
4L1.5	1	3%
3L2.5	2	3%
4R2.5	3	3%
5M3	4	4%
4M1	5	4%
3M3	7	5%
3R2.5	6	5%
4M2	8	6%
4M3	9	7%
2M3	10	15%

ESTHET X B1

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	3%
1M2	3	3%
2M2	2	3%
3M1	4	3%
2L1.5	5	4%
2R1.5	6	4%
2M1	7	4%
4L2.5	8	5%
3M2	9	5%
2L2.5	10	5%
2R2.5	11	6%
5M2	13	7%
3L1.5	12	7%
3R1.5	14	8%
4R1.5	15	9%

ESTHET X C1

EST C1	Ranking	Dif. Total de áreas
4R2.5	1	3%
3L2.5	2	4%
4L1.5	4	4%
5M3	3	4%
4M1	5	5%
3R2.5	6	6%
3M2	7	6%
2R2.5	10	7%
4M2	8	7%
5M2	9	7%
3M3	11	8%
2M2	12	8%
4M3	13	9%
1M2	14	10%
2M3	15	16%

ESTHET X D2

	Ranking	Dif. Total de áreas
4R2.5	1	6%
5M3	2	6%
3M3	3	8%
4M1	4	8%
3R2.5	5	8%
4M3	6	10%
4M2	7	10%

POINT 4 A1

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M2	1	2%
2M1	2	4%
4L2.5	3	5%
3M2	5	5%
2R2.5	4	6%
2L2.5	6	6%
2M3	7	7%
4M1	8	7%
5M2	9	8%
3R1.5	10	8%
3L2.5	11	9%
5M3	13	9%
4R1.5	12	9%
3M3	14	10%
4L1.5	15	10%

POINT 4 B1

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M2	1	2%
2M2	2	4%
2M1	3	4%
2R2.5	4	5%
4L2.5	6	6%
4M2	5	6%
3M2	7	6%
2M3	8	6%
3R2.5	9	7%
4M1	10	7%
5M2	11	8%
3R1.5	12	8%
3L2.5	13	9%
4R1.5	14	9%
5M3	15	9%
3M3	16	10%
4L1.5	17	10%

POINT 4 C1

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	2%
1M2	2	3%
2L1.5	3	3%
3M1	4	3%
2M2	5	3%
2R1.5	6	3%
2M1	7	4%
4L2.5	8	5%
3M2	10	5%
2R2.5	11	5%
2L2.5	9	5%
4M1	13	7%
2M3	12	6%
3L1.5	14	7%
5M2	15	7%
3R1.5	16	8%
3L2.5	17	8%
4R1.5	18	9%
4L1.5	19	9%

POINT 4 D2

	Ranking	Dif. Total de áreas
2M2	1	2%
2M1	2	2%
1M2	3	2%
3M2	4	3%
4L2.5	5	3%
2L2.5	6	3%
4M2	7	3%
2R2.5	8	4%
3R2.5	9	5%
4M1	10	5%
3R1.5	11	5%
5M2	12	6%
3L2.5	13	6%
4R1.5	14	7%
5M3	15	7%
3M3	16	8%
4L1.5	17	7%
2M3	18	8%

VIT-L-ESCENCE A1

	Ranking	Dif. Total de áreas
3L2.5	1	3%
4M1	2	3%
3M2	3	3%
3R2.5	5	4%
5M3	4	4%
4L1.5	6	4%
3R1.5	7	4%
4R1.5	8	5%
4L2.5	9	5%
4M2	10	5%
2M2	11	5%
2R2.5	12	6%
5M2	13	6%
1M2	14	7%
3M3	15	8%
4M3	16	8%
2M3	17	14%

VIT-L-ESCENCE C1

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	3%
2M2	2	3%
3M1	3	3%
1M2	4	4%
2R1.5	5	4%
2L1.5	6	4%
2M1	7	4%
4L2.5	8	5%
3M2	9	5%
2L2.5	10	5%
2R2.5	11	6%
3L1.5	12	6%
5M2	13	7%
3R1.5	14	7%
4R1.5	15	8%

VIT-L-ESCENCE B1

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M2	1	2%
2M2	2	3%
2M1	3	3%
4M1	4	3%
4M2	5	3%
4L2.5	6	3%
3R2.5	7	4%
3L2.5	8	4%
2L2.5	9	4%
5M3	10	5%
3R1.5	11	5%
1M2	12	5%
4R1.5	13	5%
5M2	15	5%
4L1.5	14	5%
2R2.5	16	6%
3M3	17	8%
2M3	18	11%

MIRIS NT

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	7%
2L1.5	2	7%
1M2	3	8%
3M1	4	9%
2M2	6	9%
2R1.5	5	9%
2M1	7	9%
2R2.5	8	11%
4L2.5	10	11%
3M2	11	11%
2L2.5	9	11%
5M2	12	13%
3L1.5	13	13%
3R1.5	14	14%
4R1.5	15	15%
4L1.5	16	15%

MIRIS WR

	Ranking	Dif. Total de áreas
2M3	1	3%
1M2	2	10%
2M2	3	12%
2M1	4	12%
2R2.5	5	14%
4M2	6	13%
4L2.5	8	14%
3M2	9	14%
2L2.5	7	14%
5M2	10	15%
4M1	11	16%
3R1.5	12	17%
5M3	15	17%
4R1.5	16	17%
3M3	14	18%
3L2.5	13	17%
4L1.5	17	18%

MIRIS NR

	Ranking	Dif. Total de áreas
1M1	1	5%
2L1.5	2	6%
1M2	3	6%
3M1	4	7%
2M2	5	7%
2R1.5	6	7%
2M1	7	7%
4L2.5	10	9%
2R2.5	9	9%
2L2.5	8	9%
3M2	11	9%
5M2	13	11%
3L1.5	12	10%
3R1.5	14	11%
4R1.5	15	12%

MIRIS S1

	Ranking	Dif. Total de áreas
3L2.5	1	2%
4L1.5	2	3%
4R2.5	3	3%
4M1	4	3%
3M2	5	4%
3R2.5	6	4%
5M3	7	4%
3M3	8	5%
4M2	9	5%
2M2	10	5%
5M2	11	6%
4M3	12	7%
2M3	13	14%

MIRIS S7

	Ranking	Dif. Total de áreas
4R2.5	1	6%
3M3	2	7%
4M3	3	9%
3R2.5	4	9%
4M2	5	10%

4 SEASONS A1 ESMALTE

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M1	1	3%
2M2	2	3%
3M2	3	3%
2R1.5	4	3%
4L2.5	5	4%
2M1	6	4%
3L1.5	7	4%
1M1	9	4%
1M2	8	4%
2L1.5	11	5%
2L2.5	10	5%
5M2	13	6%
3R1.5	12	5%
2R2.5	14	6%
4R1.5	15	6%

4 SEASONS B1 DENTINA

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M2	1	2%
4M1	2	3%
3L2.5	3	3%
3R2.5	4	3%
4L2.5	5	4%
2M2	6	4%
5M3	7	4%
4M2	8	4%
3R1.5	9	4%
4R1.5	10	4%
4L1.5	11	4%
2R2.5	12	5%
5M2	13	5%
1M2	14	6%
3M3	15	7%
4M3	16	7%
2M3	17	13%

4 SEASONS A1 DENTINA

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M2	1	3%
4M1	2	3%
3L2.5	3	4%
3R2.5	4	4%
5M3	5	4%
4L2.5	6	4%
2M2	7	4%
4M2	8	4%
3R1.5	10	5%
4L1.5	9	5%
4R1.5	11	5%
2R2.5	13	6%
5M2	12	6%
1M2	14	6%
3M3	15	8%
4M3	16	8%
2M3	17	13%

4 SEASONS C1 ESMALTE

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M2	1	2%
2M2	2	3%
4M1	3	3%
2M1	5	4%
4L2.5	4	4%
3R2.5	7	4%
4M2	6	4%
3L2.5	8	4%
5M3	9	4%
2L2.5	10	4%
3R1.5	11	5%
4R1.5	12	5%
4L1.5	13	5%
1M2	14	5%
5M2	15	5%
2R2.5	16	6%
3M3	17	7%
2M3	18	12%

4 SEASONS D2 DENTINA

	Ranking	Dif. Total de áreas
4R2.5	1	3%
3L2.5	2	3%
4L1.5	3	3%
5M3	4	4%
4M1	5	4%
3R2.5	6	5%
3M2	7	5%
3M3	8	6%
2R2.5	10	6%
4M2	9	6%
5M2	11	7%
2M2	12	7%
4M3	13	8%
1M2	14	9%
2M3	15	16%

FILTEK SUPREME A2

	Ranking	Dif. Total de áreas
3M2	1	4%
3M1	2	4%
2M2	3	4%
2R1.5	4	5%
4L2.5	5	5%
2M1	6	5%
1M2	7	5%
2L1.5	9	6%
2L2.5	8	6%
5M2	10	6%
3R1.5	11	7%
4R1.5	12	7%
2R2.5	13	7%
4L1.5	14	7%
2M3	15	10%

FILTEK SUPREME B3

	Ranking	Dif. Total de áreas
4L1.5	1	3%
3L2.5	2	4%
4R2.5	3	4%
3M3	4	5%
4M1	6	6%
5M3	5	5%
3R2.5	7	6%
4M3	8	8%
4M2	9	8%
2M3	10	17%

Anexo III

Fotografía de las muestras de todos los composites utilizados

