



Evaluación Instrumental in vitro del color en restauraciones de resina compuesta mixtas de esmalte- dentina , medidas con espectrofotómetro.

Alumnos:

Nicolás Jesús Antonio Benavente

Barbara Scarlett Godoy Álvarez

Pablo Nicolas Villalobos Castro

Docente Guía:

Dr. Jaime Sarmiento Cornejo

Valparaíso- Chile

2019

DEDICATORIAS

Dedico esta Tesis a mi madre, Tania Álvarez y a mi abuelita, Eunice Rojas quienes confiaron siempre en mí, me aconsejaron y guiaron por el camino correcto. Son unas mujeres inteligentes, luchadoras y perseverantes, las admiro mucho y son mi ejemplo a seguir en este duro camino que es la vida. Las quiero mucho.

Y en especial a mi padre, Ricardo Godoy Sáez, porque este logro no hubiera sido posible sin tu apoyo, tus consejos de aliento y tu excelente manera de motivarme para afrontar los obstáculos de la vida. Y aunque Dios te llevo antes de presenciar este logro de verme convertida en profesional, yo sé que me acompañas en el corazón, ahora y en esta nueva etapa que recién comienza. Un gran abrazo al cielo, a ti papito, te adoro, gracias por tanto.

Barbara

Dedico este trabajo a mi madre y abuelita, sin ellas este proceso jamás hubiera sido completado, gracias por el apoyo, confianza y cariño. Espero retribuirles todo lo que han hecho por mí. Las amo.

Dedico especialmente a mis amigos cercanos; Raimundo, Mattias, Diego, Mariajosé, Daniela, Javiera, Sofía, Aitziber, Gianina, Ignacia, Catalina, Francisca. Gracias por estar ahí en todo el proceso universitario. Por las risas, las conversaciones y las discusiones. Gracias por sus enseñanzas y consejos, aprendí de cada uno muchas cosas. Llegaron en el momento más adecuado.

Dedico a mi mejor amigo, hermano, compañero y futuro colega, Nicolás. Gracias por estar desde el día uno hasta el último.

Pablo

Dedico este trabajo a mis padres Jesús y Dionne, a mi hermana María paz, por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso, haciendo todo esto posible, les estaré siempre agradecido. A mis amigos de la vida, Franz, Marcelo, Seba, Ale, por siempre estar ahí al igual que a mis amigos viñamarinos mencionados por mi amigo Pablo, a quien también dedico este trabajo y agradezco por el constante compañerismo y amistad desde el primer año de universidad hasta el día de hoy por fin terminando esta etapa, que como siempre dijimos la terminaríamos juntos.

Nicolás

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos principalmente al Dr. Jaime Sarmiento por ser nuestro docente guía durante el proceso de elaboración de este trabajo.

También a Raimundo Sarmiento por ser nuestro profesor informante y guiarnos reiteradamente.

INDICE

INTRODUCCIÓN	Pág.5
MARCO TEÓRICO	Pág.6-39
1) Color.....	Pág.6-26
1.1) Generalidades del Color	Pág.6-7
1.1.1) Dimensiones del Color	Pág.7-10
1.1.2) Percepción del Color	Pág.10-15
1.2) Sistemas de Color.....	Pág.16-21
1.2.1) Sistema Munsell	Pág.16-17
1.2.2) Sistema de color CIELAB	Pág.17-18
1.2.3) Sistema Ciel*C*h*	Pág.18-19
1.3) Determinación de Color Dentario.....	Pág.20-26
1.3.1) Selección Visual de Color.....	Pág.21-24
A) Visión Humana.....	Pág.21-22
B) Guías de Color	Pág.22-24
1.3.2) Selección Instrumental de color.....	Pág.24-26
2) Histología Dental	Pág.26-30
2.1) Esmalte	Pág.26-27
2.1.1) Propiedades físicas del esmalte.....	Pág.27-28
2.2) Dentina.....	Pág.28-29
2.2.1) Propiedades físicas de la dentina.....	Pág.29-30
3) Resina Compuesta	Pág.30-39
3.1) Generalidades de las resinas compuesta	Pág.30-33
3.2) Clasificación de las resinas compuestas.....	Pág.33-34
3.3) Propiedades de las resinas compuestas.....	Pág.34-37
3.4) Propiedades ópticas de las resinas compuestas.....	Pág.37-39
MATERIALES Y MÉTODOS.....	Pág.40-47
1) Pregunta de investigación.....	Pág.40
2) Hipótesis	Pág.40
3) Objetivo general.....	Pág.40
4) Objetivos específicos	Pág.40
5) Diseño de estudio	Pág.40-41
6) Universo.....	Pág.41
7) Tamaño muestral	Pág.41
8) Confección de las muestras.....	Pág.41-43
9) Materiales utilizados para el estudio	Pág.44
10)Criterios de inclusión y exclusión.....	Pág.44
11)Obtención y recolección de datos.....	Pág.44-45
12)Mediciones.....	Pág.45-46
13)Variables.....	Pág.47
14)Análisis Estadístico	Pág.47

RESULTADOS	Pág.48-56
DISCUSIÓN	Pág.57-60
CONCLUSIONES	Pág.61
RESUMEN	Pág.62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA	Pág.63-76
ANEXOS	Pág.77-80

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la odontología restauradora tiene una alta demanda por parte de los pacientes, quienes exigen recuperar no sólo la función masticatoria, sino la estética dental, siendo uno de los puntos de mayor desafío la selección del color y su reproducción, lo que ha llevado a la industria a elevar continuamente el nivel con respecto a los detalles estéticos. La determinación de color puede llevarse a cabo mediante método visual o instrumental. La selección visual es considerada una medición subjetiva del color, caracterizada por una alta variabilidad intra-inter examinador., debido a dificultades como la iluminación, además de factores referentes al operador como: fatiga de la visión, edad, experiencia y deficiencia visual del observador. Actualmente, el avance de la tecnología ha permitido aumentar la objetividad en la selección de color a través de instrumentos, uno de ellos es el espectrofotómetro, que ha sido usado en diversos estudios debido a su exactitud, sensibilidad y reproducibilidad en la selección del color. Los espectrofotómetros se han convertido en herramientas útiles y relevantes para la determinación, la comunicación, la reproducción y la verificación del color por lo que podría ser preferida por sobre la determinación visual. Por otra parte, las técnicas restauradoras directas de alta estética conllevan una dificultad adicional por el proceso de superposición de dos biomateriales de iguales características, pero con un distinto comportamiento óptico, por lo que estos dispositivos pueden ser muy útiles en la determinación del color resultante. Las resinas compuestas de uso dental no sólo están diseñadas para soportar la carga masticatoria en dientes posteriores, sino también para asemejar la estructura dental y reproducir restauraciones estéticamente bellas en dientes anteriores. Los materiales que asemejan dentina tienden a generar principalmente efecto de opacidad, otorgando el tinte y la saturación en una restauración, mientras que los que simulan esmalte tienden a generar un proceso de complementación, al superponerlos, aportando o no efectos ópticos sobre la dentina subyacente. La técnica estratificada representa un nuevo nivel de dificultad a la hora de restaurar dientes de manera ideal, existiendo combinaciones y gamas de colores que son prácticamente indiferenciables al ojo humano no entrenado, por lo que el método instrumental del color se ha hecho más frecuente. Los espectrofotómetros son instrumentos de medición de color, que pretenden solucionar dicho problema y su utilización parece ayudar en la selección objetiva del color dentario para restauraciones que requieren mayor precisión, más su implementación ha condicionado diferentes respuestas por parte de los profesionales, surgiendo estudios que aprueban su uso, y otros, que los rechazan. La realidad de la industria odontológica es que no existe una estandarización de los procesos de fabricación y codificación en resinas compuestas.

MARCO TEÓRICO

1.-Color

1.1 Generalidades del color

El color es una sensación psicofísica en que el sistema visual humano responde a la luz reflejada desde un objeto. Nuestro campo visual interpreta las radiaciones electromagnéticas que el entorno emite o refleja, cuya longitud de onda está comprendida entre los 380 y 770 nanómetros. ¹

El conjunto de los colores que forman la luz blanca es el espectro solar visible: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul y violeta. El campo de la Óptica abarca además las radiaciones infrarrojas (longitud de onda superiores) y las ultravioletas (longitud de onda inferiores) que no son percibidas por el ojo humano. El color depende de la longitud de onda. Una radiación luminosa de frecuencia determinada se denomina luz monocromática (de un solo color) y son los denominados colores puros (simples); la superposición de radiaciones visibles de distinta longitud de onda constituye un color no puro (compuesto).¹

De la serie de colores que componen el espectro visible se pueden diferenciar tres colores primarios y otros, secundarios o complementarios, obtenidos de los primeros. Estos colores primarios constituyen el denominado sistema RGB y son: el rojo, verde y azul. Los colores secundarios se obtienen sumando los primarios, de forma que el amarillo, por ejemplo, es la suma de verde y rojo. Los tres colores primarios juntos dan el color blanco, mientras que la mezcla de los secundarios produce el color negro. ²

El concepto tridimensional explica la percepción multifactorial e individual del color que involucra a un emisor (el objeto que se observa), a un modificador (la luz natural o artificial que incide sobre el objeto que se observa) y a un receptor (todo el sistema visual del individuo que observa dicho objeto). Cada color tiene una onda electromagnética específica que permite diferenciarlo de los demás a través de sus propiedades o dimensiones. ⁴

Nuestro ojo nos permite percibir ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda y energía. Estas señales físicas son recibidas en la retina por receptores en forma de bastón y de cono. Los bastones son responsables exclusivamente de la visualización en blanco y negro mientras que los conos son los encargados de la percepción del color. ³

Cuando observamos un objeto iluminado por una luz blanca, el color que vemos corresponde a aquellas longitudes de onda que dicho objeto no ha absorbido, y que por lo tanto se han reflejado en su superficie hacia el

exterior; este fenómeno, remarca la gran importancia que tiene la calidad de la luz incidente en la percepción del color de un objeto dado.⁴

1.1.1 Dimensiones del color

Antes de realizar un análisis detallado del color de una pieza dentaria, hay que tener en cuenta algunas nociones fundamentales sobre los componentes del color, el conocimiento de los fenómenos ópticos que se dan en los dientes naturales y el estudio de las estructuras internas de los dientes considerando las propiedades y estructura del esmalte y de la dentina⁵. El color tiene tres atributos principales, que fueron determinados por Albert H. Munsell. En el año 1905 el originó el “sistema de color de Munsell”.⁸ El creó un método de descripción de color, que es ampliamente utilizado en toda la industria del color.⁹ Así, el color es el conjunto del tinte, del valor y de la intensidad. De los tres componentes, el valor (también llamado luminosidad o brillo) es el más influyente, seguido del croma (también llamada saturación o intensidad) y por último el tono o matiz.⁶

- **Tono, Tinte o Matiz**

Es el estado puro del color, sin el blanco o negro agregados. Se trata de una variable cualitativa que nos permite distinguir una familia de colores de otra, el rojo, el verde del azul y los colores púrpuras. La percepción del matiz está influenciada por factores ambientales.

Se escoge con las guías de colores. Hay diferentes guías, que distribuyen los matices con diferentes nombres. En la guía vita, tienen cuatro, A , B , C , D.² Las Guías la Vitapan® Classical (VC-Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany), la Chromascop® (CHRIvoclar Vivadent, Amherst, New York, USA) y la Vita 3D-Master® (V3DM-Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Germany), son consideradas las escalas cromáticas más populares.⁷



Figura 1: El matiz es la característica que distingue una familia de color de otra.²⁹



Figura 2: Clasificación según el matiz en la guía Vita Classical.

- **Croma, Saturación o Intensidad**

El croma o saturación, es la dimensión del color que representa el grado de pureza de un determinado matiz en particular, es decir, la cantidad de pigmento de un determinado matiz. Es una variable cuantitativa.¹⁰

En la guía Vita, se observan diferentes niveles de saturación para el mismo matiz codificado por números. Dentro del matiz A de la guía vita, tenemos 5 niveles de croma, siendo el A1 el menos saturado de marrón y el A4 el más saturado. En Chromascop, el croma se define por valores numéricos crecientes de 10 (menos saturación) a 40 (más saturación). Viene dictada por la dentina y está influenciada por la translucidez y espesor del esmalte. En los dientes, las intensidades más elevadas están en la región cervical, mientras que las más bajas están en la región incisal.²



Figura 3: El croma determina la cantidad de pigmento de un determinado color.



Figura 4: Clasificación según croma en la guía Vita Classical.

- **Valor, Brillo o Luminosidad**

El valor, brillo o luminosidad es una propiedad acromática que indica la cantidad de gris presente en el diente, basado en la escala que empieza por blanco (valor elevado) y termina en negro (valor bajo). Puede considerarse tal vez como el atributo más importante del color. El ojo humano está mucho más desarrollado para percibir el valor que el matiz o croma. Dentro de la retina hay alrededor de 100 millones de bastones que son los responsables de la percepción de la cantidad de luz y unos 7 millones de conos que son los responsables de la percepción del matiz y del croma. Una restauración odontológica con matiz e intensidad correctos, pero con un bajo valor, hará que el diente luzca más apagado, por el contrario, si el valor es alto, lucirá notoriamente, más blanco y plano³. El valor se ve afectado sobre todo por la calidad y transparencia del esmalte.¹¹

El valor está íntimamente correlacionado con la textura superficial. Generalmente, el tercio medio es el más brillante. Seguido por el tercio cervical. El tercio incisal tiene con frecuencia el valor más bajo, hecho que se explica por la mayor transparencia y absorción de la luz que existe en esta zona.¹²



Figura 5: El valor es la dispersión que va desde al blanco hasta el negro. Es la propiedad que distingue colores claros de oscuros.

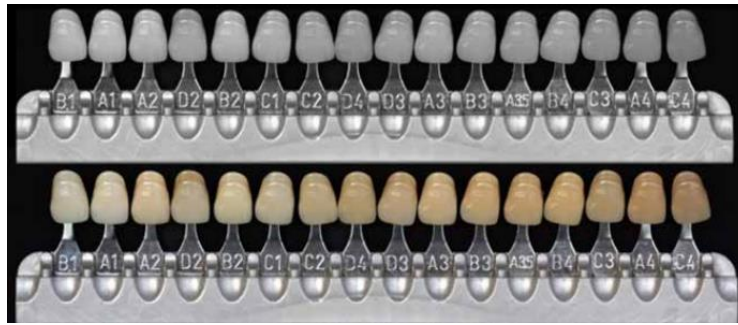


Figura 6: Escala Vita Clásica ordenada según valor. En donde B1 es el que posee mayor valor y C4 el menor.

1.1.2 Percepción del color

La percepción del color del diente es un fenómeno complejo y puede ser influenciado por una serie de factores, incluyendo el tipo de luz incidente, el reflejo y la absorción de la luz por el diente, el estado de adaptación del observador y el contexto en que se ve el diente.⁵

Para percibir el color se necesitan 3 factores: el objeto, el ojo humano y la luz. Son necesarios los 3 factores ya que si falta uno de ellos no se podrá percibir el color.¹³ A su vez cada uno de ellos presenta una serie de propiedades: el objeto, que en nuestro caso es el diente, muestra las propiedades del color. También se consideran propiedades del objeto factores del ambiente, es decir, el color de los labios del paciente, el maquillaje, el color de ropa, etc. El segundo factor, la luz: consideramos una fuente de luz a toda radiación electromagnética cuya longitud de onda varía o esté comprendida entre los 380 nm y los 780 nm. Y por último, el ojo humano y el cerebro del observador afectan a la percepción global del color. El observador está afectado por el subjetivismo, el cansancio visual y puede presentar deficiencias visuales que alteran la percepción del color dental.¹⁴

- **Propiedades ópticas de la luz y el diente**

Cuando un haz de luz incide en el diente, este haz puede interactuar de diferentes formas: puede ser reflejado, dispersado dentro del diente y a continuación reflejado por una capa subyacente como lo es la dentina, o puede ser transmitido de forma difusa a través del diente en dependencia de sus propiedades de translucidez y opacidad, puede ser absorbido en su interior transformando la energía lumínica en otro tipo de energía o re irradiado con un estado de energía menor ¹⁵

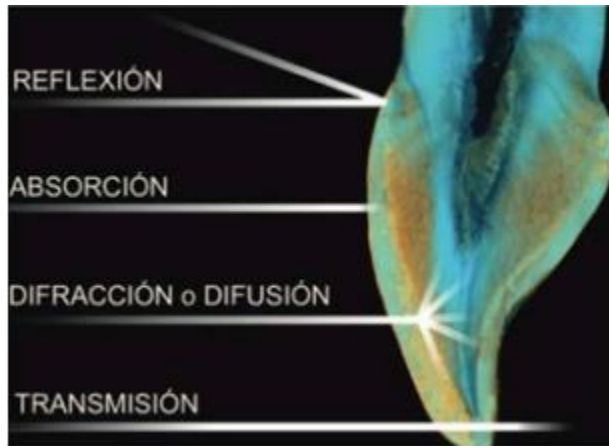


Figura 7: Interacción de la luz con la estructura dentaria

- Reflexión

Cuando la luz incide sobre la superficie pulida y terminada (ángulo de incidencia), una parte del haz luminoso cambia de dirección y sale reflejado hacia el medio original. El ángulo con que sale reflejada la luz es el ángulo de reflexión. Este fenómeno es lo que se denomina reflexión especular y, en ella, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión y la luz sale reflejada en una única dirección. Pero si esta superficie presenta irregularidades, como en el caso de la textura de un diente, el ángulo de reflexión no será único y la luz saldrá reflejada en múltiples direcciones. Este fenómeno se denomina reflexión difusa. El color de la luz reflejada será el mismo que el de la luz incidente, independientemente del color del medio que ha producido la reflexión.¹⁶

- Refracción

El fenómeno de la refracción se produce por el cambio de dirección de los rayos luminosos que pasan de un medio a otro a diferentes velocidades. Si un haz de luz se dispersa en una superficie translúcida, parte del rayo es reflejado y otra parte es refractado. Específicamente, la luz que penetra el cuerpo translucido va a cambiar de dirección.¹⁷

- Absorción

Los cuerpos que reciben la luz ya sean oscuros, claros o incluso transparentes, impiden que una parte de los rayos lumínicos regresen al medio del que proceden. Este principio es el que ocasiona el fenómeno de la visión a color. Así según la inclinación de los haces de luz pueden llegar a reflejar en alguna capa y salir sin llegar a la

dentina, y otros vuelven a reflejarse en la superficie interna del esmalte volviéndose hacia la dentina.⁶

- Transmisión

Transmisión de luz es otra propiedad de la luz y es considerada como doble refracción. Cuando se mira un cristal, es posible ver luz. Primero se produce una refracción inicial cuando pasa del aire al vidrio, después sigue su camino a través del vidrio y vuelve a refractarse cuando llega al aire. En este proceso si el rayo de luz no es desviado de su trayectoria, se dice que la transmisión de luz es regular como en un vidrio transparente. Si la dirección del rayo de luz es en todas direcciones, se dice que ocurre transmisión difusa, es una propiedad típica del vidrio translúcido. Si una dirección predomina sobre otra, se dice que hay transmisión mixta como en vidrio orgánico y cristales con superficies rugosas.¹⁷

El efecto de la difracción nos da una imagen de la dentina mayor de lo que es en forma de sombra que se conoce como penumbra. En otras palabras, la manera en que percibimos los mamelones y otros efectos atrapados en el esmalte bajo distintas condiciones lumínicas son la anatomía de una ilusión⁶

- Fenómenos ópticos del diente

El color dental tiene una complejidad enorme, no es una simple mezcla de los 3 elementos del color (matiz, valor y croma). Tenemos por otro lado otros factores o los llamados fenómenos ópticos que también influyen en el color dental. Estos fenómenos por un lado le dan belleza natural al diente, pero por otro lado dificultan la selección del color y su restauración.¹⁸

- Opacidad y translucidez

Los fenómenos de absorción y reflexión de la luz actúan a expensas de la translucidez y opacidad del objeto en cuestión. Para Munsell la translucidez es la cuarta dimensión del color y la define como una zona intermedia entre los cuerpos transparentes que permiten el completo paso de la luz, y los opacos que bloquean el paso de la luz.¹⁹

La translucidez es una propiedad del material que permite el paso de luz, pero la dispersa tanto que algún objeto no puede ser visto a través de éste. Las guías de colores solo proporcionan una translucidez estándar generalmente inferior a la de los dientes naturales, por lo tanto, estas no pueden dar la información correcta sobre la

translucidez de un diente que depende mayoritariamente del esmalte.¹⁸

Cuando un material no permite el paso de luz se considera opaco, sólo absorbe o refleja luz, pero no tienen la habilidad de transmitirla. Esta propiedad se llama opacidad total.²⁰

En la odontología, la dentina presenta translucidez cromática con una saturación que aumenta con el tiempo. El esmalte, sin embargo, presenta translucidez cromática y acromática. Aun cuando la mayoría de las veces el esmalte tiene poco color, con el tiempo se va volviendo más acromático. De acuerdo a muchos expertos en el tema, el esmalte tiende a tener aspecto blanco amarillento o blanco grisáceo¹⁷

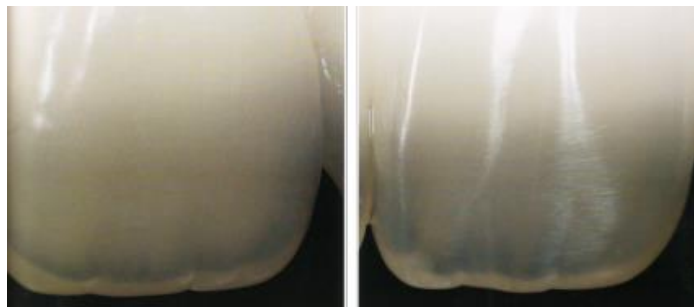


Figura 8: La translucidez se puede apreciar perfectamente en los bordes incisales.²⁹

- Fluorescencia

La fluorescencia es un fenómeno óptico que se produce por la absorción de luz por parte de un objeto y la posterior emisión espontánea de una luz de longitud de onda mayor que la absorbida²². Es el fenómeno por el que algunas sustancias, al ser iluminadas con luz ultravioleta, absorben energía y emiten, prácticamente al momento, otro haz lumínico con una longitud de onda mayor.

En los dientes el aspecto natural depende en parte de la fluorescencia, y las sustancias responsables de ella, son los componentes minerales de la hidroxiapatita y la matriz orgánica. Este fenómeno disminuye conforme aumenta la edad, y su distribución dentro de un mismo diente es desigual. La fluorescencia de los dientes naturales se manifiesta en forma de una coloración que va de blanco-azulado a blanco amarillento.¹⁶

Esta propiedad hace que el diente se vea más blanco y brillante mientras se encuentra expuesto a la luz del día y en una restauración tiende a dar un efecto iridiscente brillante, además, añade vitalidad de

la restauración y minimiza el efecto metamérico entre diente y restauración²¹.

Cuando los rayos UV inciden sobre la estructura dentaria se puede observar que la intensidad de fluorescencia en dentina es mucho mayor que la producida en esmalte, siendo en dentina de un azul intenso y en esmalte de un azul más blanquecino. Esto se debe a que la dentina posee mayor cantidad de material orgánico que el esmalte. La radiación UV, interactúa entonces, con el colágeno el cual contiene aminoácidos que emiten fluorescencia como el triptófano e hidroxipiridinio, los cuales tienen un peak de emisión de fluorescencia de 350 y 400 nm respectivamente.²³

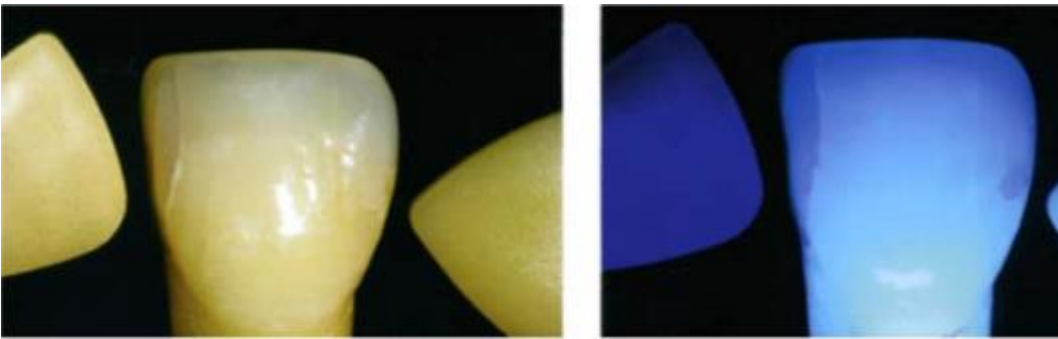


Figura 9: Se observa la fluorescencia de un diente natural.

- Opalescencia

Se define como el fenómeno de refracción, difusión e interferencia luminosa simultáneas en una suspensión, emitiendo coloraciones brillantes y vivas, variables según la incidencia de la luz. Cuando la luz se refleja por un objeto aparece de un color diferente al que resulta cuando la luz se transmite a través de él. En los dientes naturales, este fenómeno va a depender de la cantidad de esmalte sin dentina, de la dentina y el diseño de sus mamelones, de la translucidez, pues cuanto más translúcido sea el esmalte, más perceptible es la opalescencia y por último también va a depender de la inclinación de la cresta incisal en relación al ángulo de reflexión. Los dientes tienen distintos grados de opalescencia, según la distribución de los cristales de hidroxiapatita del esmalte.²

Cuando la luz incide de frente hacia el esmalte se producen tonos azules, en cambio, cuando la luz proviene de atrás, es decir de lingual a vestibular, da tonalidades naranjas. Esta característica es lo que, en ocasiones, produce tonos azulados muy leves en zonas, como, bordes incisales, y en ángulos mesiales y distales. El operador cuando

observa esto debe colocarse en varias posiciones para poder determinar si el color que está viendo viene de adentro del diente o si es efecto óptico. ²⁴

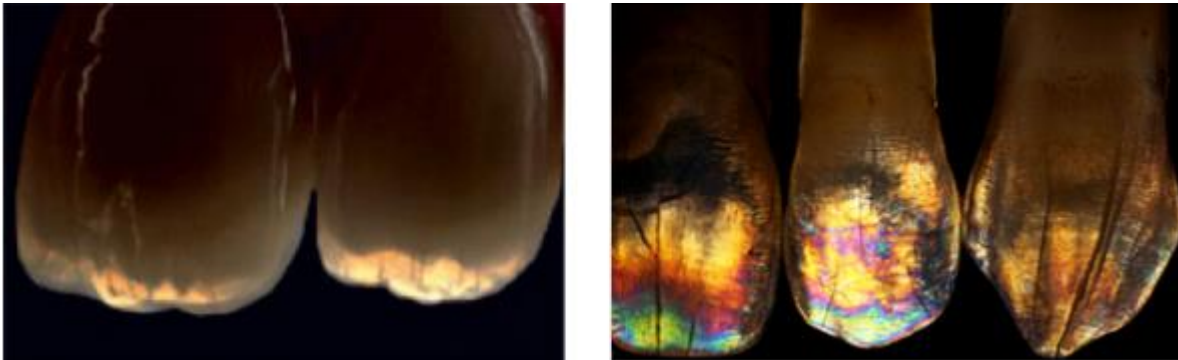


Figura 10: Se observa el comportamiento opalescente del diente bajo luz transmitida. ²⁹

- Metamerismo

Es un fenómeno psicofísico que produce un cambio en el aspecto del color². Ocurre cuando dos colores que parecen idénticos bajo una condición de iluminación determinada tienen diferentes reflejos en el espectro denominándoseles metameros. Metamerismo es el fenómeno que tiene que ver con la distinta capacidad de reflexión, refracción, transmisión y absorción de la luz que presenta algunas estructuras una vez iluminadas.¹⁶ Se produce cuando tenemos dos muestras de color que, al verlas bajo un iluminante, tienen el mismo aspecto visual pero cuando cambiamos la luz, la igualdad entre las muestras se rompe, pudiéndose apreciar diferencias entre ellas. Esto sucede muchas veces en odontología restauradora cuando se seleccionan colores bajo una fuente de iluminación determinada. Lo aparentemente correcto se transforma en incorrecto cuando cambia la fuente de luz. El color de la luz emitida por diferentes tipos de fuentes con la misma temperatura y color suelen ser metaméricos, pero es distinguible por observación del índice de rendimiento de color. Por lo tanto, para llevar a cabo una buena elección del color, es necesario observar los objetos bajo mínimo dos sistemas de iluminación diferentes y evitar interpretar colores con bajos niveles de iluminación.²

1.2 Sistemas de color

1.2.1 Sistema de Munsell

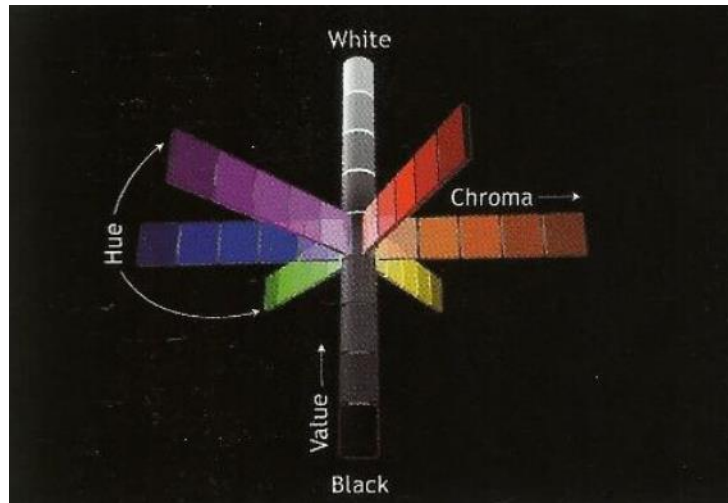
Para poder representar el color han nacido diversos sistemas que tratan de ordenar el espacio cromático de forma bidimensional o tridimensional.

A principios del siglo XX se manifestó la necesidad de establecer un método objetivo para clasificar el color. Se buscaba un sistema cromático que contaría, con la capacidad del ojo humano de detectar las diferencias de color, y que se pudiera representar en una construcción matemática, en la cual, se pudiera fijar la posición del color a determinar en relación a cualquier color primario.³⁰

El sistema más utilizado fue creado en 1905 por Albert Munsell, quien define los tres componentes del color, denominados dimensiones del color, como tono, valor, y croma^{31,32}. Los ordeno de una forma tridimensional donde en su eje principal es donde se representa el color blanco en el extremo superior, hasta el color negro en su extremo inferior. En el eje horizontal se encuentran los matices y la distancia a lo largo del eje representa el croma³³. (figura 1)

Las tres dimensiones del espacio que describe Munsell son el Hue (H), el Chroma (C) y el Value (V), y están escrito en forma H V/ C, lo cual se conoce como la Notación de Munsell. En este sistema se define Hue como el color propiamente tal, es decir, son los colores que se pueden encontrar en estado puro en el espectro, definió 5 Hue principales: Rojo, amarillo, verde, azul, púrpura y los ubicó en intervalos equidistantes conformando el círculo cromático. El Chroma es definido como la saturación de un determinado Hue, entre menor sea el chroma, menor es la pureza del color. El valor es la claridad u oscuridad de un color, desde el negro (valor 0) en la parte inferior hasta el blanco (valor 10) en la parte superior, los grises se encuentran a lo largo del eje vertical entre el blanco y negro^{34,35}.

Munsell concibió las relaciones como un árbol cuyo tronco representa el valor, las ramificaciones en varios ángulos los matices y la distancia a lo largo del eje de cada ramificación, el croma³⁶.



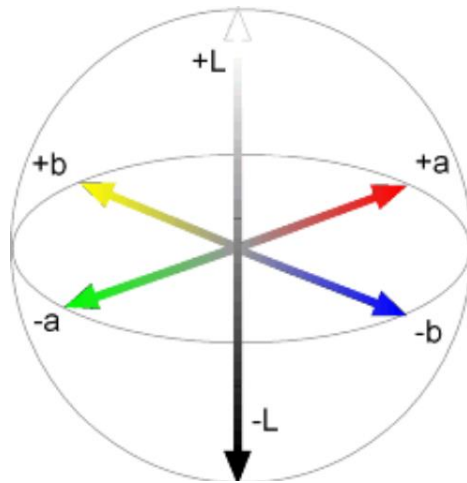
Los tres ejes de Munsell: tono valor y croma ³⁷.

Vitapan Classical de la Vita Zahnfabrik (Bad Sackingen, Germany) es la guía decolores para uso odontológico de mayor uso a nivel mundial hace más de 50 años. En 1998 Vita Zahnfabrik, basándose en el sistema de colores de Munsell, introduce al mercado una nueva guía derivada de la anterior, la Vita 3D Master, en la cual se considera la dimensión Value del color ³⁸. Estudios avalan que la Guía de color Vita 3D Master presenta mayor coincidencia en la selección del color que la Vitapan Classical ^{39, 40}.

1.2.2 Sistema de color CIELAB

En 1931, la Commission Internationale de l'Éclairage, desarrolló un sistema para especificar los estímulos cromáticos basándose en valores triestímulos de tres colores primarios imaginarios, el sistema CIE estándar. Posteriormente en 1976 se elaboró otro sistema de color conocido como CIE L*a*b* (Fig. 2). El espacio de color CIE L*a*b* es usado comúnmente en estudios perceptuales y para la evaluación del color dental porque cubre visualmente de manera uniforme el espacio de color (41). En este espacio se encuentran descritos todos los colores visibles para el ojo humano, utilizando 3 coordenadas ^{42,43}. El valor de L* es una medida de la luminosidad de un objeto y se cuantifica en una escala en donde el negro tiene un valor L* de cero y el blanco un valor L* de 100. El valor de a* es una medida de enrojecimiento (a* positivo) o enverdeamiento (a* negativo). El valor de b* es una medida del amarillo (b* positivo) o de azul (b* negativo). Las coordenadas a* b* se aproximan a cero con los colores neutros (blanco, gris) y aumentan de magnitud con los colores más saturados. ^{43,44}

Figura 2: Representación tridimensional del espacio de color del sistema de Color CIE $L^*a^*b^*$



Revista Dental de Chile 2013; 104⁴⁵

1.2.3 Sistema CIE L^*C^*h

El espacio CIE LCh emplea coordenadas polares para calcular el color. La L^* define la claridad, C especifica el croma y la h° denota el ángulo en una medición polar (es el ángulo del matiz). El valor de color C^* es la distancia desde el eje de luminosidad (L^*) y comienza a 0 en el centro. El ángulo de matiz comienza en el eje $+a^*$ y es expresado en grados (ej. 0° es $+a^*$, o rojo, y 90° es $+b$, o amarillo).⁴⁶

La zona de los colores naturales dentales ha sido descrita al principio como un espacio cromático en forma de plátano en el sistema $L^*a^*b^*$ (Figura 3). Este espacio cromático dental está situado entre el rojo y el amarillo claros. Los diversos colores dentales se distinguen mayormente por su luminosidad, por lo que el espacio cromático dental se extiende verticalmente en relación con el eje de luminosidad, estirándose de forma similar a un plátano. Más arriba se encuentran los dientes más claros, más abajo los dientes más oscuros. Los colores dentales más intensos se encuentran en la curvatura externa del plátano, más alejados del eje central L incoloro; los dientes con un matiz rojizo se encuentran hacia el eje a ; los dientes con un matiz amarillento, hacia el eje b .⁴⁷

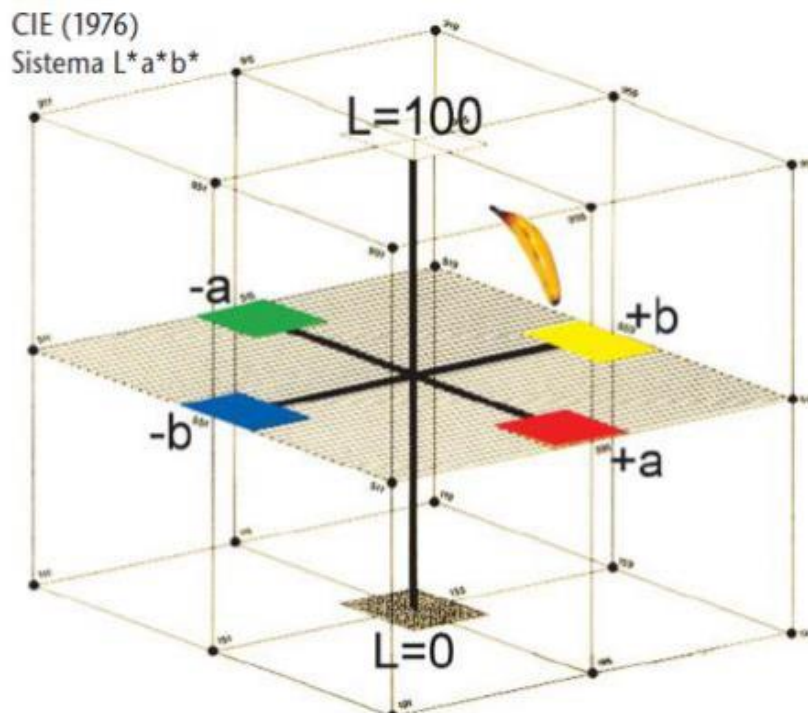


Figura 3: Posición del espacio cromático dental dentro del espacio cromático $L^*a^*b^*$
47

Valores Delta E y su relevancia clínica

La diferencia de color o delta E (ΔE) define la diferencia (visual y/o medible) entre el color obtenido con respecto al color de referencia y se indica como la distancia entre las coordenadas del color obtenido y las coordenadas del color de referencia.
48

Cuando se utilizan instrumentos para capturar el color de relevancia clínica, es importante definir los parámetros de diferencia de color. Los dos parámetros incluyen la magnitud de diferencia de color (ΔE) que es perceptible y la que es aceptable por los observadores humanos.
49

En el espacio de color CIELAB, la diferencia de color entre dos objetos con colores $C1 = (L1^*, a1^*, b1^*)$ y $C2 = (L2^*, a2^*, b2^*)$ se define a través del Error Promedio (ΔE), la cual combina matemáticamente las diferencias en L^* , a^* , y b^* de dos materiales.
41

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

Donde Δ representa la diferencia y E es un derivado de la palabra alemana "empfindung" que significa sensación. Por lo que E literalmente significa "diferencia en la sensación".⁵⁰

Interpretando esta ecuación, vemos que un valor positivo de ΔL^* significa que el segundo color es más luminoso que el primero, y un valor negativo de éste significa que es más oscuro que el primero. Un valor positivo de Δa^* significa que la muestra es demasiado roja, o que la muestra es demasiado verde si Δa^* da un valor negativo. Un valor positivo de Δb^* significa que la muestra es demasiado amarilla, o demasiado azul si Δb^* es negativo.⁴⁸

La perceptibilidad y la aceptabilidad de los umbrales visuales se cuantifican sólo combinando los métodos de medida de color visual e instrumental. (51) La magnitud de la diferencia de color perceptible y/o aceptable por observadores humanos aún no está bien definida, ni ha sido medido de manera ideal en la investigación del color dental.⁴⁹

A. Perceptibilidad: Se refiere a la detección de la diferencia de color entre un diente y el color de una restauración adyacente. (49) Cuando la diferencia de color entre dos objetos puede ser observado por el 50% de los observadores (el otro 50% no nota la diferencia), estamos hablando de un umbral de perceptibilidad de 50:50%.⁵²

En odontología existe coincidencia de color cuando la diferencia de color está en o por debajo del umbral de perceptibilidad.⁵²

Las diferencias de color perceptibles están en un rango que va de un ΔE de 1⁵³ y 2⁵⁴ en estudios in vitro y de 3,7 en un estudio in vivo.⁵⁵

B. Aceptabilidad: Se refiere a la aceptación del color de la restauración. (49) Cuando la diferencia de color es considerada aceptable para el 50% de observadores (el otro 50% debería considerarlo inaceptable), esto corresponde a un umbral de aceptabilidad de 50:50%.⁵¹

Valores ΔE	Interpretación
ΔE menor que 1	La diferencia de color no será percibida por el ojo humano
ΔE entre 1 y 2.	La diferencia de color será percibida por un observador experimentado
ΔE entre 2 y 3	Diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, pero gusta, es aceptable
ΔE entre 3 y 4	Diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, pero no perjudica al trabajo.
ΔE entre 4 y 5	Diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, al límite de la aceptación
ΔE superior a 5	Diferencia evidente entre color de referencia y color obtenido, inaceptables.

Tabla I: Se muestran los valores ΔE y su interpretación. ⁵⁶

1.3 Determinación del color dentario

Se pueden utilizar dos métodos para determinar el color en una restauración: Visual e instrumental. ⁵⁷

1.3.1 Selección visual del color:

A. Visión Humana

Los requisitos principales para la determinación del color incluyen tres elementos variables: El objeto, una fuente de luz y un observador. ⁵⁸

El objeto: El color es una propiedad física de la luz que es modificada por el objeto y la apariencia total del material, dependerá de la capacidad del objeto para modificar el color de la luz incidente. El color aparece porque el material absorbe la luz visible radiante, con la excepción de la longitud de onda reflejada a los ojos del espectador. Un medio transparente permitirá que la luz visible pase a través de él casi sin alteraciones. Los objetos translúcidos dispersan, transmiten y absorben porciones de longitudes de onda de luz visible, mientras que los materiales opacos no transmiten, pero reflejan y absorben varias longitudes de onda de luz visible. ⁵⁸

Fuente de luz: La percepción del color depende de la calidad de la luz que ilumina el objeto. La fuente de luz ideal es la luz natural, que ocurre alrededor del mediodía para una comparación precisa de los colores. La hora del día, mes y condiciones climáticas afectan el color de la luz solar ⁵⁸. Como esto no

siempre es posible porque no todas las clínicas tienen acceso a esta luz natural ideal, y porque en ciertas horas del día, o en ciertas estaciones del año la luz del día es insuficiente, debemos utilizar fuentes de luz artificial⁵⁹. La industria ha estado tratando de resolver este problema mediante el uso de fuentes de luz normalizadas, con una temperatura de color, que nos ayudaría a tener condiciones de observación constantes en cualquier momento del día.⁶⁰

El observador: La luz visible penetra en el ojo a través del área transparente de la córnea y se enfoca por el lente cristalino en la retina. La retina está compuesta por dos tipos de células fotosensibles especializadas y es el sistema receptor para la visión ⁵⁸. Estas células receptoras especializadas se denominan bastones y conos. Contienen pigmentos fotosensibles. Entre los bastones y los conos hay una relación de 19 a 1. Estos bastones están distribuidos en toda la retina y reaccionan frente a bajas intensidades de luz. Estos sensores registran sólo luminosidad. En relación a los conos, tenemos tres tipos, sensibles al rojo, al verde o al azul. La distribución de los conos está limitada a la fóvea central, que es una pequeña área en el centro de la retina donde no existen bastones. Inmediatamente alrededor de la fóvea existe un área mixta de ambos tipos de sensores. Esta área mixta, que es única para cada individuo, es la responsable de las diferencias en la discriminación de color entre observadores que poseen una visión normal.⁶¹

B. Guías de color

Clark introdujo una guía de colores personalizada en 1931 basada en la evaluación visual de dientes humanos, registrada en el tono, el valor y el croma de Munsell. ⁵⁸

El método más popular para la combinación de colores es el método visual que utiliza tablillas de colores en forma de dientes. En todo el mundo, VITA classic (VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemania) es la guía de colores más utilizada en odontología. La práctica y el laboratorio. La organización de las diferentes tablillas de colores se basó empíricamente mientras las guías de colores VITA 3D-Master basadas en evidencia, Bleachguide y Linearguide, todas fabricadas por VITA, cubre la gama de colores de los dientes humanos de manera más adecuada y, por lo tanto, aumenta la probabilidad de éxito. La falta de estandarización en la producción conduce a hallazgos equívocos sobre la consistencia del color entre las guías de colores, incluso por el mismo fabricante.

Además, la identificación visual del color depende de muchos factores subjetivos: como la percepción del color del observador, las condiciones de iluminación, translucidez, estructura de la superficie y propiedades ópticas del material. A pesar de estas interacciones, el ojo humano tiene la capacidad de detectar diferencias de color muy pequeñas mediante comparación.⁶²

VITA CLÁSICA O VITA LUMEN:

Vita classical viene ordenadas en tonalidades agrupadas en A, B, C, D. Las dimensiones relativas a luminosidad y saturación se anotan de 1 a 4 en la guía Vita.⁵⁹

En la familia de colores de VITA classical los colores se agrupan del modo siguiente:

A1-A4(rojizo-marrónáceo), B1-B4(rojizo-amarillento) C1-C4(grisáceo), D2 - D4 (rojizo-gris)⁶³

Actualmente existe la tendencia de ordenar las guías de color en base a la luminosidad de los colores y no la tonalidad, dado que nuestro ojo es más sensible a cambios de claridad. Hay quien recomienda reorganizar las guías de color en función de la claridad, en vez de la tonalidad, así la guía Vita Classic quedaría ordenada de la siguiente manera: B1, A1, A2, D2, B2, C1, C2, D4, D3, A3, B3, A3,5, B4, C3, A4, C4.⁵⁹

Vitapan 3D Master (Vita Zahnfabrik)

La guía de colores Vita 3D Master presenta una distribución colorimétrica sistemática de 26 pestañas que se encuentran dentro del espacio de color del diente⁵⁷. El color subjetivo debe seleccionarse en el siguiente orden: primero valor, luego croma y finalmente matiz.

Establece grupos por su luminosidad, decreciendo del 1 al 5, que divide en subgrupos según la saturación cromática creciente de 1 a 3, y a continuación se determina si dentro de estos grupos, se mantiene en el tono de color medio M, o deriva hacia el amarillo "L" o al rojo "R"⁵⁹. Su ventaja principal es la distribución homogénea y equidistante entre los colores en el espacio de dientes cromáticos y la cantidad de colores, que incluyen la diversidad de dientes naturales.

Chromascop (Ivoclar vivadent, Shaan Liechtenstein)

La guía de colores Chromascop es la guía utilizada por Ivoclar Vivadent en sus sistemas cerámicos. Presenta 20 muestras divididas en 5 grupos de

matices, según la siguiente numeración 100(blanco), 200(amarillo), 300(marrón claro), 400(gris) y 500(marrón oscuro). Cada grupo posee 4 muestras. Ordenadas en croma creciente, con el número 10 correspondiendo al más bajo y el 40 al más elevado. Se utiliza de forma similar a la Vita Clásica, eligiendo primero el matiz y luego el nivel del croma.⁶⁴

1.3.2 Selección Instrumental del color:

Actualmente el avance de la tecnología ha permitido aumentar la objetividad en la selección del color, a través de instrumentos, uno de ellos es el espectrofotómetro que ha sido usado en diversos estudios debido a su exactitud, sensibilidad y reproducibilidad en la selección del color (64)(65). La evaluación del instrumento se caracteriza por uso de aparatos específicos que se observan y registran el color de una forma matemática proporcionando confiabilidad al método. Puede ser realizada por medio de uso de espectrofotómetro, colorímetro e imágenes digitalizadas en computador⁶⁶. En comparación con la medición subjetiva de un observador humano, considerada una técnica convencional de selección del color, encontraron que los espectrofotómetros ofrecen un aumento del 33% en la precisión y una coincidencia objetiva del color en un 93.3% de los casos. ⁶⁷

1.3.2.1 Instrumentos colorímetros y espectrofotómetros

Colorímetros:

Los colorímetros realizan la evaluación de color a través de la longitud de onda reflejada, registrando los resultados en tres ejes cromáticos (triestímulos X, Y, Z)⁶⁷. Estos instrumentos son más fáciles de usar y menos costosos que los espectrofotómetros. Sin embargo, pueden ser menos precisos que los espectrofotómetros, poseen una menor duración de los filtros y los puede afectar el metamerismo de los objetos ^{68,69,70}.

Espectrofotómetros:

Son instrumentos que se encuentran entre los más precisos y útiles para la determinación del color ^{71,72}. Estos estiman el color mediante la medición de la cantidad y de composición espectral de la luz reflejada en la superficie dentaria. Por lo general los resultados son expresados en la escala CIE L*a*b ^{73,74}

El dispositivo contiene una fuente de radiación óptica, un medio de dispersión de luz, un sistema de medición óptico, un detector y un sistema para convertir la luz obtenida en una señal que pueda ser analizada.⁷¹

- Cristaleye:

El CrystalEye utiliza dispositivos emisores de luz como fuente de iluminación, con geometría 45/0. Las secciones de medición de color consisten en un espectrofotómetro con un monitor de pantalla de cristal líquido, una base para la calibración y transmisión de datos a la computadora y una tapa de contacto. Antes de la medición del color, el ojo cristalino se calibró utilizando una tapa de referencia instalado en el borde de la base. Como resultado, se puede obtener la información de color estándar necesaria para la medición.⁷⁴

-Vita EasyShade Compact:

Dispositivo inalámbrico pequeño, portátil y de un menor costo. Para las mediciones puede estar en contacto con la superficie dentaria. La calibración es con un bloque de cerámica estándar. La fuente de luz es de origen LED. Presenta distintos modos de medición: Un diente, el modo de zonas del diente (cervical, medio, incisal), modo para la verificación de color de una restauración y el modo muestra de color (modo entrenamiento)

-Vita EasyShade V:

El espectrofotómetro Vita Easyshade V es un aparato para la medición del color que mide la reflexión espectral de la luz y la convierte en valores cromáticos (valores de triestímulo) o en un valor numérico internacionalmente reconocido, mediante tres coordenadas (triestímulo) del color en el espacio cromático, CIE L*a*b y CIE L*C*H, definida por la Comisión Internacional de Iluminación, o CIE (Commission Internationale d'Éclairage). Garantiza una determinación exacta del color dental en los sistemas cromáticos mundialmente consolidados Vita clásica A1-D4, Vita system3D-Master.⁷¹

-Shade X:

Dispositivo inalámbrico, compacto de medición es de 3 mm de diámetro y es compatible con la mayoría de las guías de colores; Posee dos bases de datos para la coincidencia de color de la dentina (más opaca) y las regiones incisales de los dientes (más translúcidos)⁷⁴

-Spectroshade micro:

Espectrofotómetro de imagen. Combina uso de cámaras digitales y LED, tiene un computador interno con un software de análisis. El sistema de guía de posición dental que se muestra en la pantalla del LCD es usado durante la toma de color. Los datos e imágenes y espectro pueden ser guardado en la memoria interna y transferida a un computador.

-Shadescan:

Este sistema genera una representación digitalizada del diente incluyendo un mapa de color de tono, valor, croma y patrones de translucidez. De la imagen del diente de la paciente tomada con una videocámara computarizada de color digital, el software genera una imagen mejorada del diente y un mapa de color con la opción de tener distintos grados de resolución y un mapa de la translucidez, tono, valor y croma, los cuales son usados por el dentista o laboratorista para describir el color del diente.⁷⁴

2.-Histología Dental

El diente está constituido por tres tejidos, el esmalte, la dentina y la pulpa, y su color natural depende del grosor, composición y estructura de estos tejidos que, en definitiva, son los responsables de su complejidad desde el punto de vista óptico. Estos tres parámetros evolucionan considerablemente a lo largo de la vida, influyendo en el color del diente. Cada uno de estos tejidos presenta propiedades ópticas distintas.¹⁵

2.1 Esmalte

El esmalte o sustancia adamantina es una matriz extracelular altamente mineralizada y de escaso metabolismo, que se forma por síntesis y secreción de unas células llamadas ameloblastos, que desaparecen cuando el diente hace su erupción en la cavidad bucal. Por este motivo biológicamente no puede repararse o autorregenerarse como ocurre en los otros tejidos dentarios de naturaleza colágena.

Es el tejido más duro y mineralizado del organismo. Está constituido por un 95% de minerales y un 5% de agua y materia orgánica. El alto contenido mineral y la naturaleza y disposición de los prismas que lo constituyen, hacen que el esmalte sea duro, brillante, translúcido, prácticamente acromático y radio-denso.²⁶

Está constituido fundamentalmente por cristales de hidroxiapatita. Estos cristales son más grandes que los de otros tejidos mineralizados del organismo; se organizan formando los prismas o varillas del esmalte, que representan la unidad estructural

básica del esmalte. Los prismas son estructuras alargadas, sinuosas y con un trayecto definido. La longitud y la dirección de los prismas varían en las distintas zonas del diente, debido a que se trata de un registro de la trayectoria seguida por los ameloblastos secretores durante la amelogénesis.²⁵

2.1.1 Propiedades físicas del Esmalte

- **Dureza:** Es un tejido duro (el más duro y mineralizado del cuerpo humano), acelular (por lo tanto, no es capaz de sentir estímulos térmicos, químicos o mecánicos). Su dureza y estructura lo tornan quebradizo, lo cual se advierte sobre todo cuando el esmalte pierde su base dentinaria sana su dureza es por su elevado contenido de sales minerales y su organización cristalina.²⁵
- **Permeabilidad:** Se ha visto por medio de marcadores radiactivos, que el esmalte puede actuar en cierto sentido como una membrana semipermeable, lo cual permite el paso total o parcial de ciertas moléculas.²⁵
- **Apariencia óptica:** Depende de su composición, estructura, grosor y textura superficial, parámetros que varían de una zona dentaria a otra y que evolucionan a lo largo de la vida. En un diente joven, el esmalte tiene menos contenido mineral y es muy grueso, creando el efecto óptico de una leve translucidez y alta luminosidad; en el diente anciano, el esmalte es más rico en minerales y más delgado por el desgaste natural, lo que se traduce en una mayor translucidez (incluso transparencia), que permitirá que, a su través, se haga patente el color de la dentina.²⁶
- **Color:** El esmalte es transparente. El color de nuestros dientes está dado por la dentina, se trasluce a través del esmalte y está determinado genéticamente. Debido a que es una estructura cristalina, el esmalte es un tejido birrefringente. El color varía entre un blanco amarillento y blanco grisáceo. Los dientes blancos amarillentos poseen un esmalte delgado y en los dientes grisáceos el grosor del esmalte es mayor. Esta transparencia se debe a las variaciones del grado de calcificación y homogeneidad del esmalte.²⁵
- **Translucidez:** Es básicamente translúcido por su composición, pero su translucidez no es uniforme, sino que muestra un gradiente de opacidad, de manera que la mitad más externa es más translúcida que la interna al ser los prismas del esmalte más densos en esta región.²⁶

- **Radiopacidad:** Muy alta en el esmalte, que es la estructura más radiopaca del organismo humano por su alto grado de mineralización.²⁷

2.2 Dentina

La dentina, llamada también sustancia ebúrnea o marfil, es el eje estructural del diente y constituye el tejido mineralizado que conforma el mayor volumen de la pieza dentaria. La porción coronaria de la dentina está recubierta a manera de casquete por el esmalte, mientras que la región radicular está tapizada por el cemento. Interiormente, la dentina delimita una cavidad denominada cámara pulpar, que contiene la pulpa dental, único tejido blando del diente.²⁵

La formación de la dentina se inicia por un grupo de células especializadas denominadas odontoblastos, las cuales se diferencian de la papila dental alrededor de la octava o novena semana de la vida fetal.²⁸

En la estructura de la dentina se pueden distinguir dos componentes básicos: la matriz mineralizada y los túbulos dentinarios que la atraviesan en todo su espesor y que alojan a los procesos odontoblásticos; dichos túbulos miden desde 1 μ m de diámetro a nivel de la unión de la dentina con el esmalte y hasta 3 μ m a nivel de su superficie radicular. Los procesos odontoblásticos son largas prolongaciones citoplasmáticas de las células especializadas llamadas odontoblastos, cuyos cuerpos se ubican en la región más periférica de la pulpa. Estas células producen la matriz colágena de la dentina y participan en el proceso de calcificación de la misma, siendo, por tanto, responsables de la formación y del mantenimiento de la dentina.²⁷

Tipos de Dentina

-Dentina Primaria: Es la dentina que se forma primero, representa la mayor parte de ésta y delimita la cámara pulpar de los dientes ya formados. Desde el punto de vista funcional se considera dentina primaria la que se deposita desde que comienza las primeras etapas de la dentinogénesis hasta que el diente entra en oclusión, es decir, cuando se pone en contacto con su antagonista.

Cuando el volumen de la pulpa disminuye como consecuencia de la formación de la dentina primaria los odontoblastos modifican su distribución y se organizan en varios estratos en la zona coronaria.²⁷

-Dentina Secundaria: Es la dentina que se forma después que se ha completado la formación de la raíz del diente. Esta dentina se deposita más lentamente que la primaria, pero su producción continúa durante toda la vida del diente. También se ha denominado dentina adventicia, regular o fisiológica.²⁶

En cuanto a la distribución de los túbulos en esta dentina, es ligeramente menos regular que la dentina primaria. El límite entre ambas se manifiesta por un cambio en la dirección de los túbulos dentinarios. La dentina secundaria se forma por dentro de la circumpulpar en toda la periferia de la cámara pulpar, alcanzando mayor espesor en el piso, techo y paredes, especialmente en el piso, mientras que es más delgada en los cuernos y en los ángulos diedros que los unen. La formación de esta dentina determina una progresiva disminución de la cámara pulpar, la cual es marcada en los dientes uniradiculares cuya cámara pulpar carece de techo y piso y en las raíces de los multiradiculares. La disminución del volumen de la pulpa como resultado de la formación de dentina secundaria trae como consecuencia la disminución del número de odontoblastos. ²⁷

-Dentina Terciaria: También llamada dentina reparativa, reaccional, irregular o patológica, se forma más internamente, deformando la cámara, pero en los sitios donde existe un estímulo localizado. Es decir, que esta dentina es producida por odontoblastos que se encuentran directamente implicados con los estímulos nocivos tales como: caries o los procedimientos operatorios, de manera que sea posible aislar la pulpa de la zona afectada. ²⁶

La cantidad y calidad de la dentina terciaria que se relaciona con la duración e intensidad del estímulo; cuanto más sean esos factores, más rápida e irregular será la aposición de dentina reparativa; si por el contrario el estímulo es menos activo, esta se deposita lentamente, siendo su patrón tubular más regular.

Si bien la dentina terciaria ofrece una protección pulpar de acuerdo con su espesor, la pulpa subyacente a la dentina terciaria puede inflamarse y su normalización dependerá de la intensidad y la duración del irritante, la extensión del tejido pulpar dañado y el estado previo de la pulpa. ²⁷

2.2.1 Propiedades físicas de la Dentina

Color: La dentina presenta un color blanco amarillento, pero puede variar de un individuo a otro y, también, a lo largo de la vida. Como el esmalte es translúcido, por su alto grado de mineralización, el color del diente lo aporta generalmente, la dentina. El color de la dentina puede depender de:

- Grado de mineralización, porque los dientes primarios presentan un tono blanco azulado por el menor grado de mineralización

- Vitalidad pulpar, porque los dientes desvitalizados (por endodoncia) presentan un color grisáceo; por la edad, porque la dentina se vuelve progresivamente más amarillenta con la edad
- Los pigmentos, que pueden tener un origen endógeno o exógeno. Los pigmentos endógenos provienen, por ejemplo, de la degradación de la hemoglobina en los casos de hemorragias pulpares por traumatismos, postratamiento, o bien de fracturas dentarias, en cuyo caso, la corona del elemento experimenta un ennegrecimiento. La acción medicamentosa también ocasiona tonos grisáceos. Los pigmentos exógenos pueden provenir de obturaciones metálicas
- Translucidez, porque la dentina es menos translúcida que el esmalte, debido a su menor grado de mineralización, pero en las regiones apicales, donde el espesor de la dentina es mínimo, puede verse por transparencia el conducto radicular. ²⁵

Dureza: La dureza de la dentina está determinada por su grado de mineralización. Es mucho menor que la del esmalte y algo mayor que la del hueso y el cemento. ²⁵

Radiopacidad: Por su baja radiopacidad, la dentina aparece en las placas sensiblemente más oscuras que el esmalte. ²⁷

Elasticidad: La elasticidad propia de la dentina tiene gran importancia funcional, ya que permite compensar la rigidez del esmalte, amortiguando los impactos masticatorios. La elasticidad dentinaria varía en función del porcentaje de sustancia orgánica y al agua que contiene. ²⁵

Permeabilidad: La dentina tiene más permeabilidad que el esmalte debido a la presencia de los túbulos dentinarios, que permiten el paso a distintos elementos o solutos (colorantes, medicamentos, microorganismos, etc.) que la atraviesan con relativa facilidad. La permeabilidad dentinaria es una de las propiedades de mayor importancia en la práctica clínica por el sistema de adhesión de los biomateriales. ²⁵

3.-Resinas Compuestas

3.1 Generalidades

En la actualidad hay una gran variedad de resinas compuestas para hacer restauraciones directas⁷⁵. Las resinas compuestas se modifican para obtener color, translucidez y opacidad, para de esa forma imitar el color de los dientes naturales,

haciendo de ellas el material más estético de restauración directa. Inicialmente, las resinas compuestas se indicaban sólo para la restauración estética del sector anterior. Posteriormente y gracias a los avances de los materiales, la indicación se extendió también al sector posterior. Entre los avances de las resinas compuestas, se reconocen mejoras en sus propiedades tales como la resistencia al desgaste, manipulación y estética.⁷⁶

Las resinas compuestas son materiales que están formados por 3 diferentes elementos, por una matriz orgánica, que puede ser BIS-GMA o UDMA, entre otros; por plastificantes que sirven para bajar la viscosidad de la matriz orgánica (ej: TEGDMA); rellenos inorgánicos que son partículas con átomos de sílice de diferentes formas y tamaños, como cuarzo, sílice, cristales o vidrios de bario, etc; agentes de enlace que unen la matriz orgánica con los compuestos de relleno; sistema de activación que es un iniciador como el peróxido de benzoilo el cual debe ser activado, en el caso de los activados por luz se utiliza la canforquinona o la lucerina.⁷⁵

-Matriz Orgánica:

La matriz orgánica de las resinas compuestas está constituida básicamente por 4 elementos. En primer lugar un sistema de monómeros mono, di- o trifuncionales, siendo el Bis-GMA el monómero más usado⁷⁷. Debido a la alta viscosidad del Bis-GMA, a esta se ha agregado otros dimetacrilatos, como TEGDMA, UDMA u otros monómeros, para darle la viscosidad adecuada^{77,78}. En segundo lugar, un sistema iniciador de la polimerización de los radicales libres, que en las resinas compuestas fotopolimerizables es una alfa-dicetona (canforquinona); cuyo espectro de absorción está en un rango de longitud de onda entre 450 y 500 nm, siendo su pico de absorción o sensibilidad los 470nm⁷⁹. En tercer lugar, un sistema de estabilizadores o inhibidores, como el éter monometílico de hidroquinona, para maximizar la durabilidad del producto durante el almacenamiento antes de la polimerización y su estabilidad química tras la misma^{80,81}. Y, por último, los absorbentes de la luz ultravioleta por debajo de los 350 nm, como la 2- hidroxibenzofenona, para proveer estabilidad del color y eliminar sus efectos de generar decoloraciones a medio o largo plazo.^{80,81}

-Relleno inorgánico:

Son las que proporcionan estabilidad dimensional a la matriz resinosa y mejoran sus propiedades. La adición de estas partículas a la matriz reduce la contracción de polimerización, la absorción acuosa y el coeficiente de expansión térmica, proporcionando un aumento de la resistencia a la tracción, a la compresión y a la abrasión, aumentando el módulo de elasticidad (Rigidez).⁸²

Existe una gran variedad de partículas de relleno empleadas en función de su composición química, morfología y dimensiones⁸¹. Los modernos

sistemas de resina compuesta tienen rellenos como cuarzo, sílice coloidal y vidrio de sílice con contenido de bario, estroncio y zirconio.⁷⁹

La tendencia actual es la disminución del tamaño de las partículas, haciendo que la distribución sea lo más cercana posible, en torno a $0.05 \mu\text{m}$ ⁸³. Es importante resaltar que cuanto mayor sea la incorporación de relleno a la matriz, mejor serían las propiedades de la resina, ya que, produce menor contracción de polimerización y en consecuencia menor filtración marginal, argumento en el cual se basa el surgimiento de las resinas condensables.⁸⁴

-Agente de conexión o de acoplamiento:

Durante el desarrollo inicial de las resinas compuestas, Bowen⁸⁵ demostró que las propiedades óptimas del material dependían de la formación de una unión fuerte entre el relleno inorgánico y la matriz orgánica. La unión de estas dos fases se logra recubriendo las partículas de relleno con un agente de acoplamiento que tiene características tanto de relleno como de matriz. El agente responsable de esta unión es una molécula bifuncional que tiene grupos silanos (Si-OH) en un extremo y grupos metacrilatos (C=C) en el otro. Debido a que la mayoría de las resinas compuestas disponibles comercialmente tienen relleno basado en sílice, el agente de acoplamiento más utilizado es el silano ⁸⁶. El silano que se utiliza con mayor frecuencia es el γ - metacril-oxipropil trimetoxi-silano (MPS) (, éste es una molécula bipolar que se une a las partículas de relleno cuando son hidrolizados a través de puentes de hidrógeno y a su vez, posee grupos metacrilatos, los cuales forman uniones covalentes con la resina durante el proceso de polimerización ofreciendo una adecuada interfase resina / partícula de relleno⁸⁷. Asimismo, el silano mejora las propiedades físicas y mecánicas de la resina compuesta, pues establece una transferencia de tensiones de la fase que se deforma fácilmente (matriz resinosa), para la fase más rígida (partículas de relleno). Además, estos agentes de acoplamiento previenen la penetración de agua en la interfase BisGMA / Partículas de relleno, promoviendo una estabilidad hidrolítica en el interior de la resina ⁸⁸. Se han experimentado otros agentes tales como el 4-META, varios titanatos y zirconatos, sin embargo, ninguno de estos agentes demostró ser superior al MPS.⁸⁹

-Sistema Iniciador-Activador de Polimerización:

El proceso de polimerización de los monómeros en las resinas compuestas se puede lograr de varias formas. En cualquiera de sus formas es necesaria la acción de los radicales libres para iniciar la reacción. Para que estos radicales libres se generen es necesario un estímulo externo. Según Yearn ⁹⁰, en las resinas auto-curadas el estímulo proviene de la mezcla de dos pastas, una de las cuales tiene un activador químico (amina terciaria aromática como el dihidroxietil-p-toluidina) y la otra un iniciador (peróxido de benzoílo). En el caso de los sistemas foto-curados, la energía de la luz visible provee el estímulo que activa un iniciador en la resina (canforoquinonas, lucerinas u otras diquetonas). Es necesaria que la resina sea expuesta a una

fuente de luz con la adecuada longitud de onda entre 420 y 500 nanómetros en el espectro de luz visible⁹¹. Sin embargo, el clínico debe ser cuidadoso en minimizar la exposición de luz, hasta que el material esté listo para curar, de otra forma puede comenzar una polimerización prematura y el tiempo de trabajo se puede reducir considerablemente.⁹²

3.2 Clasificación de las resinas compuestas:

Las resinas compuestas que disponemos en el mercado se clasifican según el tamaño y la forma de sus partículas de relleno, produciendo un gran abanico de posibilidades entre las que escoger. Sin embargo, cada tipo presenta unas características mecánicas y estéticas concretas, siendo la localización y el tipo de restauración por realizar las que determinen el tipo de resina compuesta a utilizar en cada caso.⁹³

A. Resinas compuestas de macrorelleno: También denominadas resinas convencionales o de primera generación. Estas resinas estaban constituidas por partículas de relleno inorgánico bastante irregulares en cuanto a su tamaño, oscilando entre 1 - 100 micrones. Pese a ser mejores que las resinas acrílicas, estos tipos de resinas compuestas presentaban una serie de problemas, tales como: Dificultad de lograr una superficie pulida adecuada. Esto se debe fundamentalmente al distinto ritmo de desgaste de las partículas de relleno inorgánicas en relación con la fase matriz, ya que ambas tienen diferentes grados de dureza, y, además, por la heterogeneidad del tamaño de las partículas de relleno^{95,96}. · Baja cantidad de relleno (45% aprox.)

B. Resinas compuestas de microrelleno: También llamadas resinas compuestas de acabado fino nacen como una alternativa a las anteriores. Estos sistemas de resina poseen partículas de sílice pirolítica coloidal, las cuales tienen un tamaño mucho más uniforme que aquellas usadas en las resinas compuestas convencionales, oscilando entre 0.04 - 0.06 micrones de diámetro. Las partículas de relleno ultrafinas, por su tamaño, incrementan en gran medida el área de su superficie en contacto con la resina monomérica, razón por la cual no se pueden ⁹⁷ agregar en mucho porcentaje, ya que aumentarían demasiado su viscosidad. Esto conlleva a una reducción de las propiedades mecánicas de la resina compuesta. La característica más destacable de estas resinas compuestas es la excelente terminación superficial que pueden lograr, lo que permite obtener una estética excepcional, además que poseen una gran resistencia al desgaste. Es por esta razón que estos materiales se reservaron especialmente para restauraciones en el sector anterior donde además no se requiere una gran resistencia mecánica ^{94,96,98}.

C. Resinas compuestas híbridas: Estas resinas compuestas buscan combinar las propiedades físicas y mecánicas de los sistemas de partículas

convencionales y la capacidad de pulido de los sistemas de partículas de microrelleno, logrando resultados intermedios entre ambos sistemas. Esta tecnología híbrida permite una alta carga de relleno en la resina compuesta, lo cual permite recuperar gran parte de las propiedades mecánicas que se habían perdido con los sistemas de microrelleno, aunque no logran igualar su capacidad de pulido^{99,100}. Presentan dos tipos de partícula de relleno, micropartículas de 0.04 micrones y macropartículas de 1 a 5 micrones, constituyendo aproximadamente un 75 a 80% su peso de la resina compuesta^{94,101}.

D. Resinas compuestas microhíbridas: Con el fin de mejorar aún más las propiedades estéticas de estos materiales, y a su vez preservar las propiedades mecánicas, surgen los sistemas de resinas compuestas microhíbridas. Estos sistemas de resina compuesta están constituidos por micropartículas de relleno de 0.04 micrones, y minipartículas de 0.4 y 1 micrones. Presenta muy buenas propiedades estéticas, una alta capacidad de pulido y buena resistencia a la abrasión^{94, 97}.

E. Resinas compuestas de nanorelleno: Hoy en día los avances tecnológicos han permitido obtener resinas compuestas con partículas de relleno cada vez más pequeñas, pero con procedimientos que permiten agregarlas en un alto porcentaje. Es así como se han desarrollado estos sistemas de resinas compuestas con partículas de relleno que van de 0.02 a 0.075 micrones. Estos sistemas poseen una buena resistencia al desgaste gracias al tipo de relleno de estroncio vítreo que poseen. Este relleno nanométrico genera un pulido de larga duración de la resina compuesta, manteniendo las propiedades de resistencia mecánica¹⁰⁰.

3.3 Propiedades de las resinas compuestas

Las propiedades de las resinas compuestas son:

-Resistencia al Desgaste

Es la capacidad que poseen las resinas compuestas de oponerse a la pérdida superficial, como consecuencia del roce con la estructura dental, el bolo alimenticio o elementos tales como cerdas de cepillos y palillos de dientes¹⁰². Esta deficiencia no tiene efecto perjudicial inmediato, pero lleva a la pérdida de la forma anatómica de las restauraciones disminuyendo la longevidad de las mismas¹⁰⁴. Esta propiedad depende del tamaño, la forma y el contenido de las partículas de relleno así como de la localización de la restauración en la arcada dental y las relaciones de contacto oclusales¹⁰⁵. Cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, menor el tamaño y mayor la dureza de sus partículas, la resina tendrá menor abrasividad¹⁰⁶. Leinfelder y col.¹⁰⁷ explican el fenómeno de la siguiente manera: Dado que el módulo elástico de la resina es menor que el de las partículas de relleno, las partículas que conforman el

relleno son más resistentes al desgaste, comprimen la matriz en los momentos de presión (como las cargas cíclicas) y esto causa el desprendimiento de partículas de relleno y del agente de conexión silano, exponiéndose la matriz, la cual es más susceptible al desgaste. Este fenómeno por pérdida de partículas de la superficie es conocido como "plucking out".

-Textura Superficial

Se define la textura superficial como la uniformidad de la superficie del material de restauración¹²⁴, es decir, en las resinas compuestas la lisura superficial está relacionada en primer lugar con el tipo, tamaño y cantidad de las partículas de relleno y en segundo lugar con una técnica correcta de acabado y pulido. Una resina rugosa favorece la acumulación de placa bacteriana y puede ser un irritante mecánico especialmente en zonas próximas a los tejidos gingivales¹⁰⁸. En la fase de pulido de las restauraciones se logra una menor energía superficial, evitando la adhesión de placa bacteriana, se elimina la capa inhibida y de esta forma se prolonga en el tiempo la restauración de resina compuesta¹⁰⁹. Las resinas compuestas de nanorelleno proporcionan un alto brillo superficial¹²⁵

-Coeficiente de Expansión Térmica

Es la velocidad de cambio dimensional por unidad de cambio de temperatura¹¹⁰. Cuanto más se aproxime el coeficiente de expansión térmica de la resina al coeficiente de expansión térmica de los tejidos dentarios, habrá menos probabilidades de formación de brechas marginales entre el diente y la restauración, al cambiar la temperatura¹¹¹. Un bajo coeficiente de expansión térmica está asociado a una mejor adaptación marginal. Las resinas compuestas tienen un coeficiente de expansión térmica unas tres veces mayor que la estructura dental, lo cual es significativo, ya que, las restauraciones pueden estar sometidas a temperaturas que van desde los 0° C hasta los 60° C.¹¹⁶

-Sorci3n Acuosa (adsorci3n y absorci3n) y Expansi3n Higrosc3pica.

Esta propiedad est1 relacionada con la cantidad de agua adsorbida por la superficie y absorbida por la masa de una resina en un tiempo y la expansi3n relacionada a esa sorci3n¹¹⁰. La incorporaci3n de agua en la resina, puede causar solubilidad de la matriz afectando negativamente las propiedades de la resina fen3meno conocido como degradaci3n hidrol3tica¹¹³. Dado que la sorci3n es una propiedad de la fase org1nica, a mayor porcentaje de relleno, menor ser1 la sorci3n de agua¹¹⁴. Baratieri¹¹⁵ y Anusavice refieren que la expansi3n relacionada a la sorci3n acuosa es capaz de compensar la contracci3n de polimerizaci3n. Las resinas H3bridas proporcionan baja sorci3n acuosa¹⁰³.

-Resistencia a la Fractura

Es la tensión necesaria para provocar una fractura (resistencia máxima). Las resinas compuestas presentan diferentes resistencias a la fractura y va a depender de la cantidad de relleno, las resinas compuestas de alta viscosidad tienen alta resistencia a la fractura debido a que absorben y distribuyen mejor el impacto de las fuerzas de masticación.¹¹⁶

-Resistencia a la Compresión y a la Tracción

Las resistencias a la compresión y a la tracción son muy similares a la dentina. Está relacionada con el tamaño y porcentaje de las partículas de relleno: A mayor tamaño y porcentaje de las partículas de relleno, mayor resistencia a la compresión y a la tracción.¹¹⁷

-Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad indica la rigidez de un material. Un material con un módulo de elasticidad elevado será más rígido; en cambio un material que tenga un módulo de elasticidad más bajo es más flexible. En las resinas compuestas esta propiedad igualmente se relaciona con el tamaño y porcentaje de las partículas de relleno: A mayor tamaño y porcentaje de las partículas de relleno, mayor módulo elástico.¹¹⁶

-Estabilidad del color

Las resinas compuestas sufren alteraciones de color debido a manchas superficiales y decoloración interna. Las manchas superficiales están relacionadas con la penetración de colorantes provenientes principalmente de alimentos y cigarrillo, que pigmentan la resina. La decoloración interna ocurre como resultado de un proceso de foto oxidación de algunos componentes de las resinas como las aminas terciarias¹¹⁸. Es importante destacar que las resinas fotopolimerizables son mucho más estables al cambio de color que aquellas químicamente activadas¹¹⁹.

-Radiopacidad

Un requisito de los materiales de restauración de resina es la incorporación de elementos radio opacos, tales como, bario, estroncio, circonio, zinc, iterbio, itrio y lantano, los cuales permiten interpretar con mayor facilidad a través de radiografías la presencia de caries alrededor o debajo de la restauración. Contracción de Polimerización La contracción de polimerización es el mayor inconveniente de estos materiales de restauración¹²⁰. Las moléculas de la matriz de una resina compuesta (monómeros) se encuentran separadas antes de polimerizar por una distancia promedio de 4 nm. (Distancia de unión secundaria), al polimerizar y establecer uniones covalentes entre sí, esa distancia se reduce a 1.5 nm (distancia de unión covalente). Ese "acercamiento" o reordenamiento espacial de los monómeros (polímeros) provoca la reducción volumétrica del material¹²¹. La contracción de polimerización de las resinas es un proceso complejo en el cual se generan fuerzas internas en la estructura del material que se transforman en tensiones cuando el material está adherido a las

superficies dentarias¹²². Según Chen y col., ¹²³ las tensiones que se producen durante la etapa pregel, o la etapa de la polimerización donde el material puede aún fluir, pueden ser disipadas en gran medida con el flujo del material. Pero una vez alcanzado el punto de gelación, el material no fluye y las tensiones en su intento de disiparse pueden generar:

1. Deformación externa del material sin afectar la interfase adhesiva (si existen superficies libres suficientes o superficies donde el material no está adherido).
2. Brechas en la interfase dientes restauración (si no existen superficies libres suficientes y si la adhesión no es adecuada)
3. Fractura cohesiva del material restaurador (si la adhesión diente-restauración es buena y no existen superficies libres).

3.4 Propiedades ópticas de las resinas compuestas:

Los fabricantes de resinas compuestas se ven obligados a desarrollar materiales con diferentes propiedades ópticas; debido a que el diente presenta diferentes capas que generan una profundidad en el color. Estas resinas reproducen las mismas profundidades del color, logran mimetizar el defecto dental y a su vez consiguen que la luz tenga una misma reflectancia y transmitancia a la del diente ^{39, 40}.

Existen resinas opacas que se comportan de manera diferente a las resinas de esmalte o dentina. Dependiendo de las características del fondo de la cavidad, debe seleccionarse un espesor ideal para cubrir el fondo y proporcionar mimetismo con respecto a la superficie del diente. Varios colores pueden parecer similares para un mismo observador que hace un análisis subjetivo y sin la ayuda de ningún aparato especial; sin embargo, si sometemos a esos colores a una medición cuantitativa, estos pueden ser significativamente diferentes. Esto se permite precisamente porque al evaluar el color, no se puede evaluar unidimensionalmente, sino en las tres dimensiones del color (matiz, valor y croma) ^{41,43}.

Los requerimientos estéticos actuales nos indican que las técnicas multicapas son las que producen los mejores resultados clínicos. De esta forma emergen sistemas de resinas con grados variables de translucidez/ opacidad destinadas a imitar los distintos tejidos dentarios siendo etiquetadas por sus fabricantes

como masas de esmalte, dentina u opaca, cuerpo o universal, translúcidas y efectos ¹²⁶, pero al aplicar capas de diferente saturación y opacidad, el color base de la restauración puede variar y la combinación cromática se dificulta si no se conoce al detalle la propiedad óptica de cada masa de resina ¹²⁷.

Para lograr los efectos necesarios, se utiliza la técnica de estratificación, en la cual los materiales más translúcidos se colocan sobre las resinas opacas para crear

profundidad dentro de la restauración y evitar que el color solo se vea en la superficie, dicha técnica es de importancia debido a que la apariencia final obtenida no sólo se presenta por la capa final de la restauración sino que el conjunto de incrementos y volúmenes de las diferentes masas se complementan para brindar un efecto y apariencia natural, por lo tanto, todos los tonos utilizados deben considerarse previamente para conseguir el objetivo final desde el primer incremento de resina en lo más profundo de la cavidad ¹²⁸.

Es importante recordar que el espesor del composite determina el límite entre translucidez y opacidad. A medida que el grosor de un composite translúcido cromático aumenta, el valor disminuye y el croma aumenta. Al aumentar el grosor de una resina compuesta opaca, tanto el valor como el croma aumentan. La percepción cromática de las estructuras translúcidas está muy relacionada con el fondo usado para su observación. El mismo cuerpo translúcido va a presentar diferencias cuando se pone sobre un fondo negro y blanco por separado debido a la absorción y reflexión selectiva de las longitudes de onda particulares del fondo.
129

Cuando se compara resinas compuestas sobre diferentes fondos de colores, el fondo blanco tiende a ser la mejor elección de cómo se va a ver en la restauración ya que el blanco resalta la saturación y valor en compensación de cualquier fondo cromático. Los composites translúcidos son más sensibles a un fondo blanco que las resinas opacas ya que el valor y el croma son aumentados. Las resinas de alta opacidad tienen la habilidad de actuar como opacificadores enmascarando un sustrato cromático no deseado y aumentando el valor. Para el mismo material en varios grosores, una muestra delgada del material va a mostrar mucha menos saturación, y presentará una alta translucidez y ocurrirá todo lo contrario que en una muestra gruesa. ¹²⁹

El nivel de pulido de la superficie también cambia la percepción cromática del composite y es inversamente proporcional a la luminosidad¹³⁰. Mientras más pulida la superficie, más transmisión de luz y consecuentemente menos luminosidad. Al revés, la falta de pulido causa que la superficie se vuelva más reflectante haciendo que la restauración se vea más luminosa. ¹²⁹

Otro aspecto importante es la fotopolimerización ya que a medida que se produce el fotocurado, se generan cambios ópticos. Normalmente los composites microrelleno son más translúcidos y poseen un croma más alto antes de la polimerización. Los composites híbridos no polimerizados se ven más opacos y tienen un croma menos intenso, pero una vez polimerizados, el croma y la translucidez aumentan, el valor disminuye y el composite se vuelve levemente más grisáceo, el mismo fenómeno ocurre en superficies húmedas. ¹²⁹

Se recomienda a los dentistas considerar el color de la dentina subyacente cuando usan resinas de esmalte cromático para así evitar variaciones cromáticas no deseadas. La estratificación de la resina de esmalte cromático translúcido sobre la dentina se hace después de una mezcla de colores subjetiva, el fenómeno resultante de la interacción de luz y la materia son de gran importancia para las restauraciones estéticas ya que permiten una reproducción fidedigna de las

propiedades de la dentición natural, sin embargo, un análisis inadecuado del comportamiento óptico de la dentición natural puede llevar a una falla en el proceso restaurativo.¹²⁹

Al realizar restauraciones es importante tener claro el concepto de metamerismo que significa que dos muestras de colores idénticos bajo cierta iluminación se pueden observar de distinto color bajo otra fuente de luz.

Las resinas compuestas ofrecen un excelente potencial estético a un costo mucho menor y, además, permiten una preparación mínimamente invasiva.

En este estudio se utilizaron las siguientes resinas compuestas:

Resina	Matriz	Relleno inorgánico	% inorgánico	Tamaño partícula	Clasificación	Lote de fabricación
Filtex Z350 XT	Bis-GMA Bis-EMA UDMA TEGMA	Silica no aglomerada/nano aglomerado de zirconio/silica 5 a 20 nm	59.60%	0.6	Nanoparticulada	N978181
Weisswiss	-	Vidrio de bario Metacrilato Silice amorfo	65%	0.5	Nanohíbrida	I79505
Forma	Bis-GMA Bis-EMA UDMA TEGMA	Zirconio/silice/vidrio de bario	-	-	Nanohíbrida	D0619
Spectra Smart	Big-GMA TEGMA	-	-	-	Nanohíbrida	316857J
Brilliant NG	Bis-GMA TEGMA	Metacrilato/ Vidrio Dental/ Sílice Amorfo	80%	0,6 0,02 – 2,5	Nanohíbrida con Nanopartículas	I55895

MATERIALES Y MÉTODOS

1.Pregunta de investigación:

¿Existe correlación entre las características colorimétricas de restauraciones de resina compuesta mixtas que imitan esmalte-dentina de distintas marcas, a través de la lectura con Espectrofotómetro en un estudio in vitro?

2. Hipótesis:

Las restauraciones de resinas compuestas mixtas que simulan esmalte y dentina, codificadas según escala visual por el fabricante, presentan correlación de color/características colorimétricas respecto al método instrumental por espectrofotómetro.

H0: Las restauraciones de resinas compuestas mixtas que simulan esmalte y dentina, codificadas según escala visual por el fabricante, NO presentan diferencias de correlación de color/características colorimétricas respecto al método instrumental por espectrofotómetro

H1: Las restauraciones de resinas compuestas mixtas que simulan esmalte y dentina, codificadas según escala visual por el fabricante, presentan diferencias de correlación de color/características colorimétricas respecto al método instrumental por espectrofotómetro

3.Objetivo General:

Evaluar si existe correlación entre las características colorimétricas de restauraciones de composite mixtas que simulan esmalte-dentina de distintas marcas, a través de la lectura con espectrofotómetro en un estudio in vitro.

4.Objetivos Específicos:

- Evaluar de manera cuantitativa mediante método instrumental por espectrofotómetro las características colorimétricas de resinas compuestas para uso directo que simulan esmalte-dentina.
- Determinar si existen diferencias colorimétricas estadísticamente significativas mediante espectrofotómetro para restauraciones de resina compuesta de esmalte-dentina, entre siete marcas comerciales.
- Comparar los valores obtenidos entre las marcas comerciales de resinas compuestas.

5.Diseño del Estudio:

El estudio corresponde a un estudio analítico in vitro, sin muestras biológicas, basado en la elaboración y observación de muestras de resina compuesta que

simulan esmalte-dentina de la gama de color A2, A3 Y A3.5.

Según el estudio realizado por H. Osman Elamin et al., "Identifying the tooth shade in group of patients using Vita Easyshade"⁹⁷ el color de diente más frecuente en la población de estudio es A3 seguido del A2.

6. Universo:

Para este estudio, el universo corresponde a resinas compuestas de esmalte y dentina, para técnica de restauración directa. Se ocuparán 4 resinas compuestas diferentes (4 fabricantes) en sus variantes de colores A2, A3 y A3.5 correspondientes a los productos disponibles en el mercado, que utilicen nomenclatura de color basado en la escala VITA CLASSIC.

7. Tamaño Muestral:

La obtención del tamaño muestral se realizó en dos etapas, la primera etapa correspondió a establecer la cantidad de cuerpos de prueba por marca comercial y la segunda etapa a determinar la cantidad de mediciones que se deben realizar a cada cuerpo de prueba. Para establecer la cantidad de cuerpos de prueba, en primer lugar se estableció que el instrumento de medición utilizado Vita Easyshade V posee una precisión de medición del 80%⁹³. Basados en la metodología utilizada en los estudios "Influence of the thickness of a composite resin used for layering technique, in the expression of its final color"⁹⁵ y "Use of standardized digital photography and a computer software as a means of measuring dental color"⁹⁶, se realizó un estudio piloto el cual consistió en confeccionar 5 cuerpos de prueba de cada marca comercial (A2,A3,A3.5), siguiendo el protocolo descrito en punto "Confección muestras", y se realizó la medición según se explica en el punto "Obtención y recolección de datos". Se utilizó la proporción de coincidencia de la muestra completa, es decir, considerando todos los composite:

Resultado del tamaño estimado de muestras: $n=5$

En la segunda parte se seleccionó dos cuerpos de prueba al azar de cinco marcas comerciales a los cuales se le realizaron 5 mediciones y se calculó su Delta E. Además, se seleccionó al azar un cuerpo de prueba de entre todas las marcas comerciales y fue sometido a 60 mediciones. Se realizó un estudio de mediciones repetidas (repeated measurements) para analizar si el hacer 5 mediciones por cada muestra, indica alguna diferencia.

8. Confección de las muestras:

Los cuerpos de prueba fueron confeccionados en forma de discos, sobre una matriz plástica construida a través de una impresora 3D. Se realizó la confección de dos tipos distintos de matrices (ambas de diámetro 10 mm): una de grosor de 0.7 mm y otra de 1.3 mm. Ambas matrices fueron corroboradas con la medición de un calibrador de metales (Germany Stainless Inox), con tal que las medidas hayan sido

exactas. La relación existente entre profundidad y fotocurado, donde la profundidad de fotopolimerización no puede ser mayor a 2 mm, garantizando así la polimerización.



Imagen 1: Campo operatorio en que se realizó la confección de muestras.

La realización de los discos fue realizada a través de un solo incremento para evitar la incorporación de burbujas de aire que pudieran alterar la lectura del espectrofotómetro. Se utilizó una espátula de composite para la incorporación. Se realizaron usando como base una loseta de vidrio de 7x7 cm. Tanto esta como la matriz fueron previamente envaselinadas para facilitar el retiro y elaboración de los discos. Finalmente, al momento de realizar la fotopolimerización se utilizó una matriz de celuloide para que la superficie de las muestras fuera homogénea evitando las irregularidades y porosidades.

La polimerización fue realizada en función de una unidad de fotocurado Led modelo Woodpecker®, a intensidad extra de 3.200 mW/cm², durante el tiempo indicado por el fabricante.



Las muestras se retiraron cuidadosamente del conformador, para evitar cualquier tipo de daño estructural, se corroboró grosor de todos los discos con calibrador de metales Germany CE Inox (estos debían ser de 0.7 para esmalte y 1.3 para dentina). En esta fase no se utiliza técnica de pulido ya que podría modificar la superficie de la muestra.

Finalmente, las muestras debían seguir las siguientes estandarizaciones: ser lo más parecidos posibles entre ellos. Para los materiales que simularán dentina debían ser de 1.3 mm utilizando colores equivalentes a A2, A3 Y A3.5. Y para los materiales que simularán esmalte debían ser de 0.7 mm utilizando colores equivalentes A2, A3 Y A3.5.

Su almacenamiento fue realizado en cajas plásticas con separadores para cada muestra según respectivo color y fabricante.



La realización de la muestra fue realizada por un solo operador, previamente calibrado. Se respetaron todas las barreras de seguridad para evitar la contaminación o alteración colorimétrica de las muestras (Mascarilla, lentes de protección, guantes de nitrilo, gorro y tenida clínica completa). Fue realizado en el Preclínico de la Facultad de Odontología de la Universidad de Valparaíso.

9. Materiales utilizados para el estudio:

Para el presente estudio se utilizaron los siguientes materiales:

- 1 loseta de vidrio de 5mm de espesor, 10cm x 10cm
- Bandas de poliacetato.
- Guantes de Nitrilo.
- Espátula de resina compuesta HU-Friedy XTS de PFI.
- Conformador de muestras de 0.7 mm y 1.3 mm.
- Calibrador de metales Germany CE Inox
- VITA Easyshade® V.
- Jeringas A2, A3,A3.5 Spectra, Forma, SweissWiss de Esmalte.
- Jeringas A2, A3,A3.5 Spectra, Forma, SweissWiss de Dentina.
- Jeringas A3.5 Body Filtek Z350 XT
- Lámpara de fotocurado Led modelo Woodpecker®
- Cámara oscura.
- Paños de microfibra.
- Alcohol desnaturalizado al 90%.
- Microsoft Excel 2007.

10. Criterios de inclusión y exclusión:

El muestreo fue seleccionado por conveniencia, quedaron fuera todas las resinas compuestas que ya no se encuentren disponibles en el mercado tanto de los que simulan dentina como de los que simulan esmalte. Además, se excluyeron aquellas que no presenten nomenclatura VITA. Incluyéndose solamente las resinas compuestas donadas.

Se incluyeron todos los cuerpos de prueba que su superficie se encontraran indemnes (sin irregularidades ni porosidades en la conformación de estos), diferencia no mayor a +/- 0,1 mm respecto del espesor y diámetro definido.

Así mismo, se excluyeron todo cuerpo de prueba que estuviera fracturado o en su superficie tuviera porosidades o irregularidades.

11. Obtención y recolección de datos:

Para la obtención de datos fue necesario tener 3 materiales: Primero el dispositivo para medición objetiva del color Vita Easyshade, segundo un portamuestra para posicionar cada cuerpo de prueba para que no fuera afectado por movimientos y no sufriera desplazamientos; tercero una caja diseñada especialmente para la medición manteniendo así la estandarización, condiciones ideales. Esta misma caja presenta un posicionador ideado especialmente para el dispositivo.

En primera instancia se posicionó el cuerpo de muestra en el posicionador, primero se colocó el disco de resina simulando dentina, se adicionó un poco de glicerina en la superficie para fijar el siguiente disco que simula esmalte. Al estar en el posicionador se aseguró de que no existieran desplazamientos de estos cuerpos de prueba. Así se aseguró que la medición entre discos y entre medidas fuera reproducible. La caja oscura se cerró para luego dar paso al posicionamiento del espectrofotómetro lo cual también generó que toda medición sea reproducible y estandarizada entre las mediciones.

El sistema de Vita Easyshade utilizado en este estudio fue el modo “Determinación del color del medio”, esto significó que el mismo dispositivo entregará un promedio de las mediciones realizadas en una muestra. Cabe destacar que desde ahora a cada cuerpo de prueba le llamaremos “muestra” esta muestra contempla: 1 disco de resina simulando dentina como base y sobre él 1 disco de resina que simulara esmalte.

A cada cuerpo de prueba se le “disparó” 5 veces con el dispositivo, esto arrojó un promedio al cual se le denominó “medición”. Entre cada medición se aseguró anteriormente que el dispositivo fuera calibrado debidamente (de forma automática), según las indicaciones del fabricante.

La medición se realizó posterior a cada confección de los cuerpos de prueba en el Preclínico de la Facultad de Odontología de la Universidad de Valparaíso siendo realizada por un solo operador.

El registro y recolección de los datos obtenidos fue llevado a cabo en una ficha computacional tipo tabla Excel® Office 365® versión 2016 de Microsoft™ especialmente creada para esta labor.

12. Mediciones

Mediciones de Grosor:

1. Se abrió la caja de discos de resina codificados y un operador que desconocía el significado de la codificación
2. Se sacó un disco de la bolsa y mediante un calibrador de grosores análogo metálico se midió, registrando el grosor en milímetros en la etiqueta de la bolsa individual
3. Se guardó el disco en la bolsa correspondiente y se continuó con el siguiente.
4. Esto se realizó para todas las muestras.
5. Posteriormente los datos del grosor fueron traspasados a una planilla de Excel, ordenándolos según la codificación de la bolsa.

**Ningún disco de grosor distinto a 1 mm (+/- 0,1mm) fue utilizado en el estudio.

Mediciones de color: Se encendió el equipo Vita Easyshade y se conectó mediante bluetooth a un computador con el programa VITA Assist para la recolección de datos. Posteriormente, se ubicó la muestra de resina compuesta seleccionada sobre un fondo negro opaco en el interior de una cámara oscura, diseñada especialmente para que no existan fuentes de luz externas que alteren la medición.



Cada medición del programa promedio de color, requiere según el fabricante al menos 5 tomas de color, por lo que se realizaron 7 tomas de color, cuyo promedio otorgó 1 medición de valores para CIEL a*b. Esto se realizó 5 veces por cada muestra, obteniendo los datos desde la pantalla del computador y registrándolos en planillas de Excel® Office 365® versión 2016 de Microsoft™.

Para el cálculo de la diferencia de color de CIE L*a*b (E*) entre los tonos de esmalte y dentina, se utilizó la siguiente ecuación: $\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$. Donde Δ son las diferencias matemáticas entre L*, a* y b* de los diferentes productos en cada tono. Para definir la relación entre las diferencias entre rangos colorimétricos y diferencias de percepción visual de color, se consideraron como diferencias perceptibles clínicamente aquellas diferencias colorimétricas mayores a 3.3.

13. Variables

Variables Dependientes: Color

Definición conceptual: Bajo condiciones naturales, la luz que ilumina un objeto es luz blanca, cual es la mezcla de todos los colores del espectro visible. Un objeto presenta un color cuando su superficie es capaz de absorber cierta longitud de onda específica de la luz incidente. Cuando una o más longitudes de ondas son reflejadas, un objeto se reconoce como un color específico.

Definición operacional: Son las diferencias matemáticas entre los valores de L^* , a^* y b^* de los diferentes productos en cada tono. Se calcula con los promedios de los valores $L^*a^*b^*$ de las muestras mediante la siguiente ecuación:

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

Variables Independientes: Valores CIE $L^*a^*b^*$ correspondientes a cada muestra

Definición conceptual: Clasificación de color de manera tridimensional, donde el eje L^* es de valor o brillo que va de 0 a 100 donde 0 es negro y 100 es blanco. El eje a^* representa a la variación rojizo verdoso, donde los valores positivos del eje a^* corresponden a coloración rojiza y los valores negativos a coloración verdosa y el eje b^* al amarillento azulado, donde los valores positivos corresponden al color amarillo y los valores negativos al color azul. En el caso que estos ejes sean 0 es porque son acromáticos.

Definición operacional: valores L^* , a^* y b^* del sistema CIE $L^*a^*b^*$ obtenidos por medio de un colorímetro digital para cada muestra.

14. Análisis Estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de los datos y un análisis estadístico para probar hipótesis nula. Para determinar el test estadístico adecuado se realizaron pruebas de normalidad (test Shapiro-Wilks/Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad (Test de Barlett), dando como resultado que nuestros datos seguían una distribución normal (Shapiro Wilk $p > 0.05$), pero las varianzas no eran homogéneas (Test de Barlett $p < 0.05$) por lo tanto la prueba estadística adecuada fue de carácter no paramétrica correspondiente a KRUSKAL-WALLIS factor. El test de significancia utilizado fue de un 0.05. El análisis fue realizado a través de Excel Microsoft y STATASE 15.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio se presentan resumidamente en la siguiente tabla, detallando promedio, desviación estándar según color y según marca.

Marca	Color	Promedio	Desviación Std
Filtek Z350 XT	A2	25,53277992	4,19078597
	A3	24,7743171	0,54567892
	A3.5	16,05375817	12,3326218
SweissWiss	A2	14,11645552	0,38775544
	A3	17,18907849	1,8751602
	A3.5	5,293759279	2,40159132
Forma	A2	14,2984965	1,63890124
	A3	15,30318931	2,96660518
	A3.5	2,573596789	0,38177147
Spectra	A2	14,01841811	0,74979461
	A3	18,05398607	0,99107698
	A3.5	17,54323679	1,13404305
Brilliant NG	A2	14,9875552	2,11644452
	A3	15,30099931	11,30318931

A3.5	18,30318931	12,30318931
------	-------------	-------------

Tabla 1: Se muestra promedio y desviación estándar de cada tono según marca

El análisis de datos se realizó a través de la medición de espectrofotómetro para así buscar la relación entre material que simula esmalte, material que simula dentina y el color.

Se determinó primero que todo que se cumplieran con los requisitos: Aleatoriedad, Normalidad y Homocedasticidad. Cada muestra refleja la diferencia numérica respecto del valor CIELab del color (A2, A3, A3.5) obtenidos en el estudio Imbery 2013, expresada como valor delta E, cabe destacar que menor valor delta E representa menor lejanía respecto al color que debería obtenerse idealmente al medir al disco de resina compuesta. La determinación específica del valor A3.5 fue realizada a través de un estudio piloto ya que Imbery no presentaba estos valores, realizándose en base a la medición con espectrofotómetro de la escala VITA Classical. Para determinar que los datos obtenidos siguieran una distribución normal se determinó a través del test Shapiro-Wilk principalmente porque las muestras son mayores a 50, de todas formas, se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov.

Pruebas de Normalidad para color A2, A3 y A3.5

Marca	Color	Test Normalidad Shapiro-Wilk	Test Normalidad Kolmogorov-Smirnov
Filtek Z350 XT	A2	0.71398	0.694
WeissWiss	A2	0.38774	0.609
Forma	A2	0.97542	0.727
Spectra	A2	0.88379	0.837
Brilliant NG	A2	0.14616	0.670

Tabla 2: Análisis de Shapiro Wilk y Kolmogorov-Smirnov para color A2.

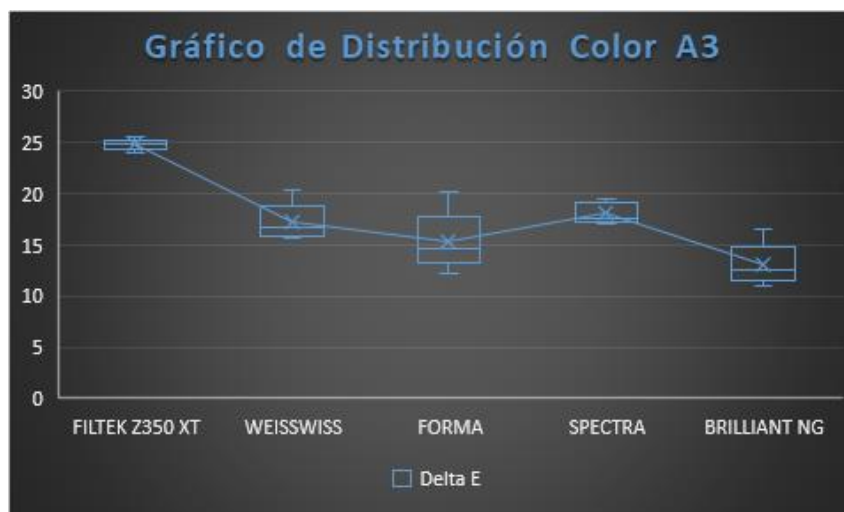
El test de Normalidad de los datos realizados (delta E) para el color A2 de las distintas marcas muestra que valor $p > 0.05$, por ende, los datos siguen una distribución normal.



Marca	Color	Test de Normalidad Shapiro-Wilk	Kolmogorov-Smirnov
Filtek Z350 XT	A3	0.97160	0.730
WeissWiss	A3	0.15223	0.434
Forma	A3	0.34862	0.432
Spectra	A3	0.45300	0.486
Brilliant NG	A3	0.23540	0.384

Tabla 3: Análisis de Shapiro Wilk y Kolmogorov-Smirnov para color A3

El test de Normalidad de los datos (delta E) para el color A3 de las distintas marcas muestra que los valores $p > 0.05$ (tanto para test Shapiro-Wilk y Kolmogorov Smirnov), por ende, los datos siguen una distribución normal.



Marca	Color	Test de Normalidad Shapiro-Wilk	Kolmogorov-Smirnov
Filtek Z350 XT	A3.5	0.02165	0.233
WeissWiss	A3.5	0.84303	0.830
Forma	A3.5	0.21969	0.709
Spectra	A3.5	0.10197	0.607
Brilliant NG	A3.5	0.38369	0.621

Tabla 4: Análisis de Shapiro Wilk y Kolmogorov-Smirnov para color A3.5

El test nos muestra una distribución normal de los datos, exceptuando Filtek Z350XT que muestra una desviación de la normalidad de datos ($p < 0.05$), por ende sumado al test de Homocedasticidad nos da pie para un análisis estadístico no paramétrico.



Test de Homocedasticidad

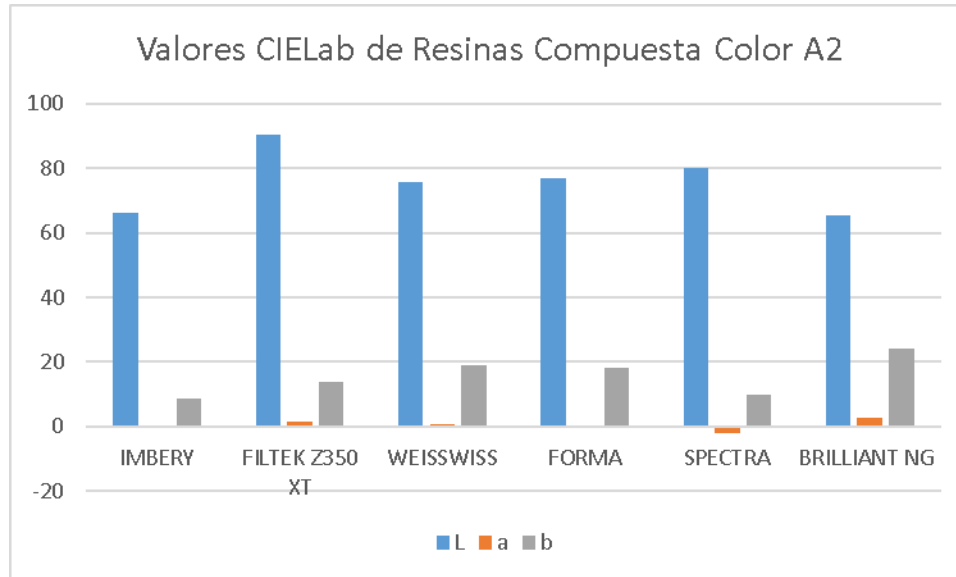
Con el Test de Bartlett (homocedasticidad), el p valor fue $p < 0.05$, por lo tanto, las varianzas entre los datos no fueron homogéneas, no cumpliéndose el criterio de Homocedasticidad, siendo la prueba estadística no paramétrica elegida: KRUSKAL-WALLIS.

Color	Test de Bartlett
A2	0.0001
A3	0.042
A3.5	0.0001

Tabla 5: Análisis de Bartlett para determinar si los datos son homogéneos entre si

Análisis KRUSKAL-WALLIS

Color A2



```
. kwallis DeltaE, by(Marcas)
Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test
```

Marcas	Obs	Rank Sum
BRILLIANT NG	5	80.00
FILTEK Z350 XT	5	115.00
FORMA	5	47.00
SPECTRA	5	42.00
WEISSWISS	5	41.00

```
chi-squared = 15.338 with 4 d.f.
probability = 0.0040

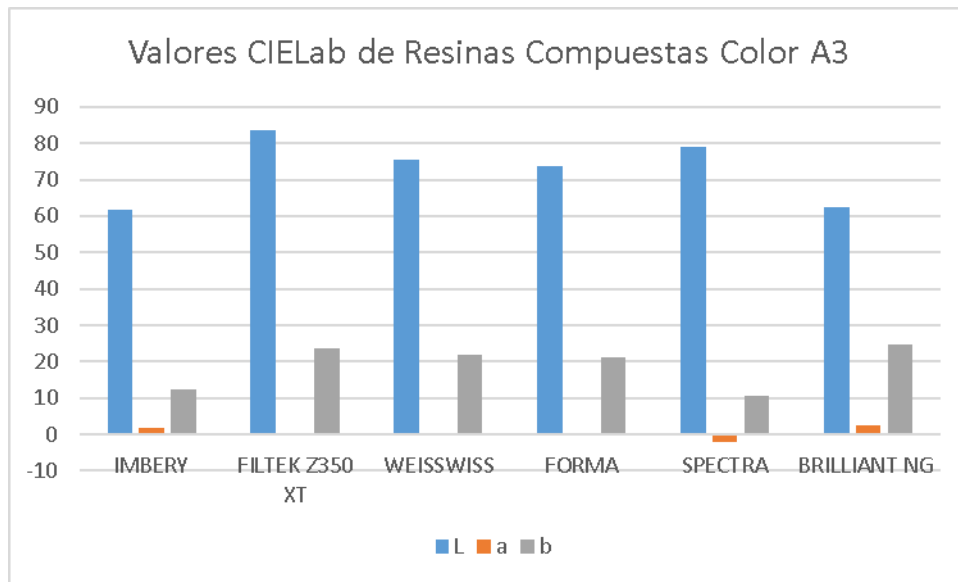
chi-squared with ties = 15.338 with 4 d.f.
probability = 0.0040
```

Marcas	OBS	RANK SUM	Chi-Squared	Probability
Filtex Z350 XT				
Weisswiss	5	15.00	6.818	0.0090
Spectra Smart	5	15.00	6.818	0.0090
Forma	5	15.00	6.818	0.0090
	5	15.00	6.818	0.0090

Brilliant NG				
Weisswiss				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Spectra Smart	5	29.00	0.098	0.7540
Forma	5	27.00	0.011	0.9168
Brilliant NG	5	38.00	4.811	0.0283
Spectra Smart				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	29.00	0.098	0.7540
Forma	5	27.00	0.011	0.9168
Brilliant NG	5	35.00	2.455	0.1172
Forma				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	27.00	0.011	0.9168
Spectra Smart	5	27.00	0.011	0.9168
Brilliant NG	5	37.00	3.938	0.0472
Brilliant NG				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	38.00	4.811	0.0283
Spectra Smart	5	35.00	2.455	0.1172
Forma	5	37.00	3.983	0.0472

El test KRUSKAL WALLIS muestra que existe diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para el grupo de materiales de color A2 y el delta E respectivo.

Color A3



```
. kwallis DeltaE, by(Marcas)
```

```
Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test
```

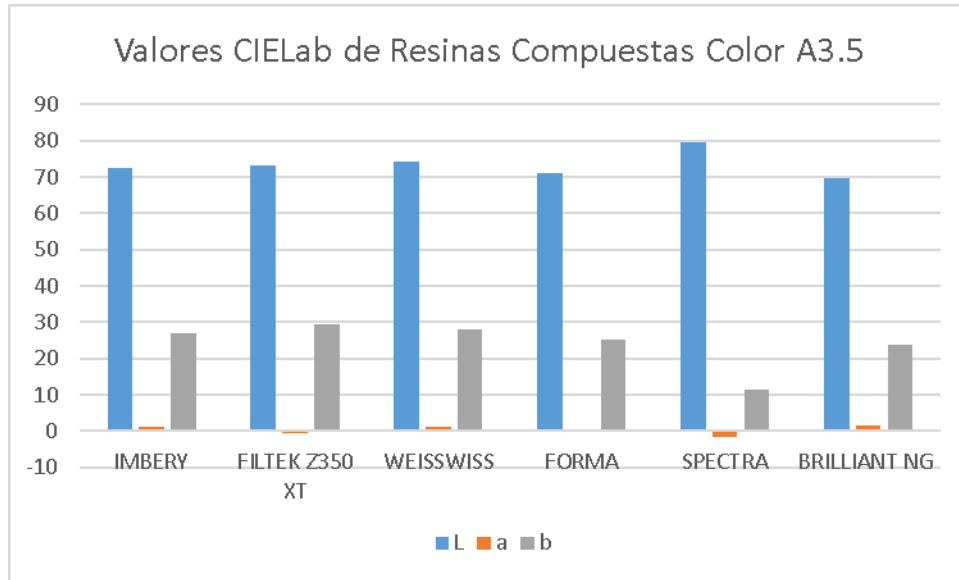
Marcas	Obs	Rank Sum
BRILLIANT NG	5	23.00
FILTEK Z350 XT	5	115.00
FORMA	5	43.00
SPECTRA	5	79.00
WEISSWISS	5	65.00

```
chi-squared = 18.255 with 4 d.f.  
probability = 0.0011
```

El grupo de marca y resina de color A3 muestra que son estadísticamente significativos entre los valores ($p < 0.05$).

Marcas	OBS	RANK SUM	Chi-Squared	Probability
Filtex Z350 XT				
Weisswiss	5	15.00	6.818	0.0090
Spectra Smart	5	15.00	6.818	0.0090
Forma	5	15.00	6.818	0.0090
Brilliant NG	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Spectra Smart	5	19.00	3.153	0.0758
Forma	5	34.00	1.844	0.1745
Brilliant NG	5	17.00	4.811	0.0283
Spectra Smart				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	19.00	3.153	0.0758
Forma	5	35.00	2.455	0.1172
Brilliant NG	5	21.00	1.844	0.1745
Forma				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	34.00	1.844	0.1745
Spectra Smart	5	35.00	2.455	0.1172
Brilliant NG	5	15.00	6.818	0.0090
Brilliant NG				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	17.00	4.811	0.0283
Spectra Smart	5	21.00	1.844	0.1745
Forma	5	15.00	1.844	0.0090

Color A3.5



Marcas	OBS	RANK SUM	Chi-Squared	Probability
Filtex Z350 XT				
Weisswiss	5	16.00	5.771	0.0163
Spectra Smart	5	15.00	6.818	0.0090
Forma	5	35.00	2.455	0.1172
Brilliant NG	5	18.00	3.938	0.0472
Weisswiss				
Filtex Z350 XT	5	16.00	5.771	0.0163
Spectra Smart	5	20.00	2.455	0.1172
Forma	5	40.00	6.818	0.0098
Brilliant NG	5	29.00	0.098	0.7540
Spectra Smart				
Filtex Z350 XT	5	15.00	6.818	0.0090
Weisswiss	5	20.00	2.455	0.1172
Forma	5	40.00	6.818	0.0090
Brilliant NG	5	33.00	1.320	0.2506
Forma				
Filtex Z350 XT	5	35.00	2.455	0.1172
Weisswiss	5	40.00	6.818	0.0090
Spectra Smart	5	40.00	6.818	0.0090
Brilliant NG	5	15.00	6.818	0.0090
Brilliant NG				
Filtex Z350 XT	5	18.00	3.938	0.0472
Weisswiss	5	29.00	0.098	0.7540
Spectra Smart	5	33.00	1.320	0.2506
Forma	5	15.00	6.818	0.0090


```
. kwallis DeltaE, by(Marcas)
```

```
Kruskal-Wallis equality-of-populations rank test
```

Marcas	Obs	Rank Sum
BRILLIANT NG	5	50.00
FILTEK Z350 XT	5	91.00
FORMA	5	27.00
SPECTRA	5	110.00
WEISSWISS	5	47.00

```
chi-squared = 17.332 with 4 d.f.  
probability = 0.0017
```

El análisis KRUSKAL-WALLIS para material y color A3.5 muestra que las diferencias son estadísticamente significativas, existiendo una diferencia delta E para los distintos grupos ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

¿Existe correlación entre las características colorimétricas de restauraciones de resina compuesta mixtas que imitan esmalte-dentina de distintas marcas, a través de la lectura con Espectrofotómetro en un estudio in vitro?

Actualmente la industria dental de las resinas compuestas basa su producción en dos grandes grupos: Resinas compuestas que simulan esmalte y resinas compuestas que simulan dentina para cumplir con la función de reemplazar especialmente las propiedades ópticas de las diferentes estructuras dentales, que según su composición e interrelación son los que dan a cada diente las características y distribución óptica. Utilizando la técnica de estratificación dándole a la restauración un aspecto más estético y parecido al tejido dentario.¹³⁰

El principal hallazgo encontrado en el presente estudio es que, al realizar el análisis de color medido con espectrofotómetro, los resultados arrojaron que existían diferencias de color entre fabricantes de resina compuesta correlacionado con la escala Vita.

En el presente estudio la recolección de datos permitió comparar los Delta E entre las diferentes marcas. Obteniendo diferencias estadísticamente significativas para color A3 entre:

- Filtek Z350 XT diferencia estadísticamente significativa con todos los grupos de resina
- Weisswiss diferencia estadísticamente significativa entre Filtek Z350 XT y Brilliant NG
- Spectra Smart diferencia estadísticamente significativa con Filtek Z350 XT
- Forma diferencia estadísticamente significativa con Forma, Brilliant NG
- Brilliant NG diferencia estadísticamente significativa entre Forma, Weisswiss y Filtek Z350 XT

En el presente estudio la recolección de datos permitió comparar los Delta E entre las diferentes marcas. Obteniendo diferencias estadísticamente significativas para color A2 entre:

- Filtek Z350 XT diferencia estadísticamente significativa con todos los grupos de resina
- Weisswiss diferencia estadísticamente significativa entre Brilliant NG y Filtek Z350 XT
- Spectra Smart diferencia estadísticamente significativa entre Filtek Z350 XT
- Forma diferencia estadísticamente significativa entre Filtek Z350XT y Brilliant NG
- Brilliant NG diferencia entre Forma, Weisswiss y Filtek Z350XT

En el presente estudio la recolección de datos permitió comparar los Delta E entre marcas. Obteniendo diferencias estadísticamente significativas para color A3.5 entre:

- Filtek Z350 XT se diferencia con Weisswiss, Spectra Smart y Brilliant NG
- Weisswiss se diferencia con Filtek Z350 XT y Forma
- Spectra se diferencia estadísticamente significativa con Filtek Z350 XT y Forma
- Forma se diferencia estadísticamente significativa con Weisswiss, Spectra Smart, Brilliant NG
- Brilliant NG se diferencia estadísticamente significativo con Filtek Z350 XT y Forma

Datos que no siguen una distribución normal (como por ejemplo la resina Filtek Z350 XT. Esto puede explicarse debido a que, para este, color A3.5, solo fue utilizado para la confección de los discos A3.5 Body. Esto se explica ya que los tonos para cuerpo (body) son algo más opacos, menos translúcidos que los tonos para esmalte. Sin embargo, son menos opacos que los tonos para dentina.¹³¹

Todos los datos extraídos de las muestras y aplicados a las pruebas estadísticas, dieron como resultado que las resinas compuestas estudiadas para tonos A2, A3 Y A3.5 para esmalte y para dentina presentan diferencia en la correlación del fabricante con la escala VITA.

Se accedió a un número de muestras y confección de discos de resina de carácter significativo, realizados por un solo operador y medidos también por solo un operador, ambos debidamente calibrados. La utilización de espectrofotómetro fue debidamente aplicada luego de su calibración y utilizando una cámara oscura, además con un posicionador para cuando se realizará la medición del disco de resina compuesta para evitar cualquier movimiento que pudiera alterar la medición. Es adecuado utilizar un fondo negro para investigaciones, ya que elimina la reflexión de la luz, reduciendo las interacciones que produce el fondo sobre el color observado.¹³⁰

En tanto, DaCosta y colaboradores en 2010 al realizar el estudio con 3 marcas de resinas compuestas superponiendo estas, llegaron a la conclusión de que: los tonos compuestos no coinciden bien a la guía de colores Vita, incluso cuando se usa una técnica de estratificación. Solo unos pocos compuestos, esmalte ES en capas sobre tonos de dentina ES, y ES esmaltado en capas sobre FS y P sombras de dentina, producidas DE * ab por debajo del límite perceptible en comparación con el VST correspondiente.⁶⁴

Otros estudios similares como Valdivieso y col. 2016, afirman que el código del color VITA muchas veces no concuerda con el rótulo de la resina compuesta.¹³²

Browning y cols. en 2009, Las diferencias de color observadas fueron generalmente mayores que una esperaría y representarían desviaciones sustanciales de la declaración de los tonos clásicos de Vitapan. Otros han encontrado similares diferencias de color; 4.2% clínicamente aceptable y 95.8% inaceptable.¹³³

La determinación de color con el espectrofotómetro en el estudio nos llevó a la conclusión de que ningún cuerpo de prueba superpuesto para un tono (A2, A3, A3.5) se correlaciona con la escala VITA ni con la codificación, a pesar de estar utilizando un método objetivo de medición. Presentando un Delta E inaceptable.

Las propiedades ópticas de las resinas están influenciadas por otras cosas aparte del espesor, algunas, por ejemplo: composición de la matriz, cantidad de relleno y algunos otros aditivos, grado de pulido de la superficie.⁸⁶

Existen diferencias entre la medición de un espectrofotómetro para medir en escala CieLab y arroja valores diferentes a uno de laboratorio.¹²⁴ El posicionamiento del dispositivo, la calibración del dispositivo entre mediciones y el lugar donde se utilice influye directamente en la selección del color medido en resinas compuestas. También se debe tener en cuenta que Vita EasyShade no muestra una variación de color exacta, otorga además dos opciones para el color, siendo a veces dentro de la escala cromática, muy distintas entre sí.³⁴

La estratificación del color en técnicas restauradoras y espesores mínimos establecidos también al momento de determinar el color suele ser complejo, acompañado de una técnica sensible y la codificación de los materiales (que pueden incluso no estar codificados a escala Vita) demuestra que el proceso clínico y tiempos operatorios se ven directamente afectados.⁸⁷

Para la resina Brilliant NG, esta si presenta de todas formas su propio muestrario para la selección del color en este estudio no fueron evaluadas aquellas resinas compuestas que no se encontraran codificadas por VITA, de todas formas, aunque tenga su propio muestrario para selección del color este se basa en un método subjetivo.

Sin embargo, no representa una reproducibilidad y cuantificación de datos, el realizar la toma de color con un método subjetivo, generando discrepancias entre operadores y afectando por factores externos la decisión (fatiga visual, factor iluminación, escala utilizada)

La utilización en este estudio fue de un grosor de 0.7 mm para esmalte y 1.3 mm para dentina.

Ismail y col. en 2019 al realizar un estudio en discos de resina que simulaban esmalte realizaron el estudio a base en 3 grosores: 0.5mm. 0.7 mm y 1 mm. Los resultados de ese estudio arrojaron que; la aplicación de la capa de esmalte de 0.7 mm de RC probado produjo el color más cercano coincide con las tablillas del muestrario.¹³⁴

Considerar además que el pulido final afectará a la superficie⁵⁷, en este estudio las muestras utilizadas no se pulieron, pero si fueron superficies lisas y exentas de porosidades las cuales se utilizaron. El tamaño de la partícula influye en la translucidez, ya que, si el diámetro de la partícula aumenta, la translucidez por lo general disminuirá. Lo que podría relacionarse con las distintas composiciones de los fabricantes de resina compuesta.¹³⁴

Actualmente el método subjetivo es el método clínico más utilizado para la determinación de color, sin embargo, la utilización de espectrofotómetro habrá que tenerla en cuenta debido al avance y el recambio rápido del mercado y mientras no siga existiendo una estandarización de marcas de fabricantes de resina compuestas será necesario realizar una cuantificación y objetivación de los datos. La demanda estética por parte del paciente ha ido aumentando³. Sumado a que la selección del color de por si es un procedimiento complejo y sensible⁷, influenciado por factores de composición de la resina compuesta, de codificación (o no codificación con respecto a VITA), de manipulación (grosor, pulido), del entorno (método subjetivo, métodos objetivos utilizados), costos. Implica según nuestro estudio que el proceso seguirá siendo complejo y que dificulta que no se encuentre estandarizado, sumado a que las marcas de resina van sacando al mercado cada cierto tiempo nuevas tecnologías y nuevos productos, lo que dificultaría llevar un estudio acorde al tiempo actual de los productos (vida útil).

SUGERENCIAS

Se sugiere que próximos estudios estén relacionados a quizás estudios in vivo, o a restauraciones que se encuentren pulidas como parte del proceso de estudio, aumentar la cantidad de marcas comerciales o incluso con tecnologías ms avanzadas, sumado a niveles de satisfacción del paciente con el color de la restauración.

LIMITACIONES

Una de la limitación del estudio fue que a pesar de gran cantidad de resinas y sus colores equivalentes estudiados, la cantidad de marcas, fue muy reducido.

Algunas de las resinas expuestas no presentaban su equivalente en color y tono para esmalte y dentina, utilizándose una resina compuesta universal.

CONFLICTO DE INTERÉS

Tanto el equipamiento, medición y evaluación fueron gestionados como préstamos y/o donación. El grupo de investigación no tuvo contacto con representantes de las marcas.

CONCLUSIÓN

De la presente investigación que incluyó las resinas compuestas directas, Filtek Z350XT, WeissWiss, Forma, Spectra Smart, Brilliant NG que simulan esmalte y dentina codificadas en Escala Vita Classical tonos A2, A3, A3.5 se concluye que:

El 100% de las resinas utilizadas en nuestro estudio codificadas en tono A2, A3, A3.5, no cumple con las características colorimétricas bajo el sistema CIELAB (ΔE) establecidas por la escala Vita Classical.

A pesar de que todas las resinas dieron una diferencia estadísticamente significativa con respecto a lo establecido por la escala Vita Classical, la resina Forma de tono A 3.5 con un ΔE de 2.57, para el ojo de un observador no entrenado, puede otorgar un resultado aceptable, para todas las demás resinas compuestas presenta una diferencia evidente de color que es inaceptable.

Al comparar entre las diversas marcas de resinas compuestas utilizadas por tonos podemos destacar que para el tono A2 y A3 la resina Filtek Z350 XT tiene una diferencia estadísticamente significativa con todas las otras marcas y para su tono 3.5 donde se ocupó su versión body se diferencia de 3 marcas obteniendo su ΔE más pequeño en comparación con sus otros tonos. Así mismo vale la pena considerar, que esta marca es la que presenta los promedios de ΔE más altos para los tonos A2, A3 y segundo más alto para A3.5. Mientras que la marca Spectra Smart solo presenta diferencias estadísticamente significativas en sus tonos A2 y A.3 solo con la marca Filtek Z350 XT y en su tono A3.5 con la marca Filtek Z350 XT y Forma. Cabe destacar que es la marca con valor más bajo de ΔE en su tono A2 y más alto es su tono A3.5.

Para el tono A2 su valor más bajo de ΔE lo presenta la marca Brilliant NG.

Por lo tanto, se concluye que los datos son estadísticamente significativos (p valor $< 0,05$) para nuestro estudio, resultando en que los tonos de las resinas estudiadas son distintos a los de la escala Vita Classical.

La resina Forma posee un ΔE menor al resto y por su parte Filtek Z350XT muestra un ΔE mayor, siendo estos 2 los valores extremos encontrados en el estudio.

RESUMEN

TÍTULO: Evaluación Instrumental in vitro del color en restauraciones de resina compuesta mixtas de esmalte- dentina, medidas con espectrofotómetro.

INTRODUCCIÓN: En la actualidad la odontología restauradora tiene una alta demanda por parte de los pacientes, quienes exigen recuperar no sólo la función masticatoria, sino la estética dental, siendo uno de los puntos de mayor desafío la selección del color y su reproducción, lo que ha llevado a la industria a elevar continuamente el nivel con respecto a los detalles estéticos. A base de esto resulta importante determinar si las marcas de resinas compuestas que simulan esmalte y dentina se encuentran estandarizadas según la escala VITA.

OBJETIVOS: Evaluar si existe correlación entre las características colorimétricas en restauraciones de composite mixtas que simulan esmalte-dentina de distintas marcas, a través de la lectura con espectrofotómetro en un estudio in vitro.

MATERIAL Y MÉTODO: Se utilizaron 5 marcas de resinas compuestas en tres tonos A2, A3 Y A3.5 tanto para esmalte como para dentina, realizando discos para esmalte de 1mm de diámetro y de 0.7 mm de grosor. Para los discos de dentina se realizaron de 1 mm y 1.3 mm de grosor superpuestos. Utilizando Vita Easyshade V. Se obtuvo un valor Delta E, y se realizó un test estadístico correspondiente a Kruskal-Wallis.

RESULTADO: El Delta E obtenido fue el más alto para Filtek Z350 XT y el más bajo fue para Forma color A3.5

CONCLUSIONES: El 100% de las resinas utilizadas en nuestro estudio codificadas en tono A2, A3, A3.5, no cumple con las características colorimétricas bajo el sistema CIELAB (ΔE) establecidas por la escala Vita Classical.

BIBLIOGRAFIA

1. Bersezio C, Olivera O, Vildósola P, Marín J, Fernández E, Angel P. Instrumentación para el registro del color en odontología. Revista Dental de Chile. 2013;(3):3-7.
2. Mejía A, Ballinas A, Ledesma C. Algunos aspectos que influyen para igualar el color dental. Revista ADM. 2009;(3):44-49.
3. Troiano M, Sánchez P, Closas J, Benincasa M, Haümuller I. Elección del color en la restauración dental. Actas Odontológicas. 2008;(2):46-55.
4. Miller L. Organizing color in dentistry. The Journal of the American Dental Association. 1987;115:26-40.
5. Joiner A, Hopkinson I, Deng Y, Westland S. A review of tooth colour and whiteness. Journal of Dentistry. 2008;36:2-7.
6. Herrero M. Carillas estéticas. Gaceta Dental. 2010;(217):160-175.
7. Schmeling, M. Selección de color y reproducción en Odontología Parte 3: Escogencia del color de forma visual e instrumental. Odovtos - International Journal of Dental Sciences [Internet]. 2017;19(1):23-32.
8. Adrian Yap et all. "Color attributes and accuracy of Vita-based manufacturers shade guides". Operative Dentistry. 23: 266-271, 1998
9. Henrriquez M. Influencia del entrenamiento visual en la capacidad de discriminación de color en estudiantes de odontología. Universidad De Chile; 2010.
10. Chu SJ. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. Pract Proced Aesthet Dent. 2002; 14 (1): 79-83.
11. Park J, Lee Y, Lim B. Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2006;96(6):402-411.

12. O'Brien W, Hemmendinger H, Boenke K, Linger J, Groh C. Color distribution of three regions of extracted human teeth. *Dental Materials*. 1997;13(3):179-185.
13. Bridgeman I. The nature of light and its interaction with matter. In: McDonald R, editor.; 1987.
14. Alman D. *Colour Physics for Industry*, edited by Roderick McDonald, Society of Dyers and Colourists, Bradford, England. *Color Research & Application*. 1988;13(4):264-265.
15. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *Journal of Dentistry*. 2004;32:3-12.
16. Capetillo Hernandez G, Rodriguez Abrego T, Lopez M. *La Importancia del Laboratorio Dental*. Saarbrücken: Editorial Académica Española; 2012.
17. VILLARROEL M, FAHL N, DE SOUSA A, DE OLIVEIRA O. Direct Esthetic Restorations Based on Translucency and Opacity of Composite Resins. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2011;23(2):73-87.
18. Chykanovskyy V. Estudio sobre la percepción del color en odontología y abordaje multidisciplinar con enfoque estético de un caso clínico. Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte, Grado en Odontología. 2011 - 2016; 2016.
19. Soler E. Estudio de diferentes variables metodológicas en la evaluación del color en odontología [Doctorado]. UIC Barcelona; 2015.
20. Kaizer M, Diesel P, Mallmann A, Jacques L. Ageing of silorane-based and methacrylate-based composite resins: Effects on translucency. *Journal of Dentistry*. 2012;(40):64-71.
21. Takahashi M, Vieira S, Rached R, Almeida J, Aguiar M, Souza E. Fluorescence Intensity of Resin Composites and Dental Tissues Before and After Accelerated Aging: A Comparative Study. *Operative Dentistry*. 2008;33(2):189-195.
22. Lobos N. Estudio de la fluorescencia visible inducida por luz ultravioleta en dientes anteriores, según edad en pacientes de la clínica odontológica de la Universidad De Chile. Universidad de Chile; 2018

23. Matsumoto H, Kitamura S, Araki T. Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperature measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Archives of Oral Biology*. 1999;44(4):309-318.
24. Nolasco Á, Perdomo O. Manejo y eficacia en la selección del color dental de los estudiantes del área de prótesis fija de la clínica odontológica Dr. René Puig Bentz de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, en el período septiembre diciembre, 2017. [Doctorado]. Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña; 2017.
25. Hurtado J. Técnica de selección de color para restauraciones estéticas directas realizadas en la Clínica de Internado de la Facultad Piloto de Odontología durante el año 2011. Universidad De Guayaquil Facultad Piloto De Odontología; 2012.
26. Aguilera K. Factores determinantes que influyen en la toma de color en prótesis fija en la clínica de postgrado de la facultad de odontología de la Universidad De Guayaquil en el año 2012-2014. Universidad De Guayaquil facultad piloto de odontología Escuela De Postgrado; 2014.
27. Gómez de Ferraris M, Campos Muñoz A. Histología, embriología e ingeniería tisular bucodental. México: Medica Panamericana. 2009.
28. Cate A. Histología oral. Buenos Aires: Panamericana; 1992.
29. Soldevilla M. Evaluación de la concordancia de tres métodos de registro de color dental: guía dentaria, luz polarizada y espectrofotometría. Universidad Complutense de Madrid; 2014.
30. Ginzburg M, Gilboa I. Tooth color matching systems and communication with dental laboratory in indirect restorations. *Refuat Hapeh Vehashinayim*. 2012; (29): 28-34.
31. Johnston WM. Color measurement in dentistry. *J Dent* .2009;(37) Suppl 1:2-6.
32. Paravina RD, Powers JM, Fay RM. Color comparison of two shade guides. *Int JProsthodont*. 2002;15(1):73-8.

33. Tung FF , Goldstein GR, Jang S , Hittelman E. The repeatability of an intraoral dental colorimeter. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002;88(6):585-590.
34. Ginzburg M, Gilboa I. Tooth color matching systems and communication with dental laboratory in indirect restorations: 2011 update. *Refuat Hapeh Vehashinayim* 2012; 29: 28-34.
35. O'Brien WJ, Groh CL, Boenke KM. A new, small-color-difference equation for dental shades. *J Dent Res*. 1990; (69): 1762-1764.
36. Kina S, Bruguera A, Pellizzari Alonso M. *Invisible*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2011.
37. Chu SJ, Devigus A, Mieleszk AJ. *Fundamentals of color: shade matching and communication in esthetic dentistry*. Quintessence Publishing Company. 2004.
38. Sproull RC. Color matching in dentistry. Part II: practical applications of the organization of color. *J Prosthet Dent*. 1973; (29): 556–566.
39. Della Bona A, Barrett AA, Rosa V, Pinzetta C. Visual and instrumental agreement in dental shade selection: three distinct observer populations and shade matching protocols. *Dent Mater*. 2009; (25): 276-281.
40. Oh WS, Koh IW, O'Brien WJ. Estimation of visual shade matching errors with 2 shade guides. *Quintessence Int*. 2009; (40): 833-836.
41. Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent*. 2004; (92): 371-376.
42. Westland S. Review of the CIE system of colorimetry and its use in dentistry. *J Esthet Restor Dent*. 2003; (15): 5-12.

43. Technical Report Colorimetry. (2004). 3rd ed. WASHINGTON, D.C.: Commission Internationale de l'Eclairage for study and application.
44. Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM. Optimization of tooth color and shade guide design. *J Prosthodont* 2007; (16): 269-276.
45. Okubo SR, Kanawati A, Richards MW, Childress S. Evaluation of visual and instrument shade matching. *J Prosthet Dent*. 1998; (80): 642-648
46. Gómez-Polo C, Gómez-Polo M, Martínez Vázquez de Parga J, Celemín Viñuela A. Study of the most frequent natural tooth colors in the Spanish population using spectrophotometry. *The Journal of Advanced Prosthodontics*. 2015;7(6):413.
47. Baltzer A, Kaufmann-Jinoian V, La determinación del color del diente. *Quintessenz Zahntechnik*. 2004;(7):726–740.
48. Yuan J, Brewer J, Monaco E, Davis E. Defining a natural tooth color space base on a 3-dimensional shade system. *The journal Prothetic Dentistry* 2007; (98): 110-119.
49. Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater*. 2006; (22):553–559.
50. Paravina R, Westland S, Kimura M, Powers J, Imai F. Color interaction of dental materials: blending effect of layered composites. *Dental materials* 2006; (22): 903-908.
51. Chu S, Ddevigius A, Paravina R, Mielezsko A.: *Fundamentals of color, Shade Matching and Communication in Esthetic Dentistry*. Quintessence Publishing Co. 2006; (3):81-96
52. Paravina R. Performance assessment of dental shade guides. *Journal of color and appearance of dentistry*. 2009; (37):15-20.

53. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl.* 1979; (4):83-91.
54. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrument colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res.* 1989;(68):1760-1764.
55. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res.* 1989; 68(5):819-822.
56. Zafra M. Estudio experimental, in vitro, sobre la estabilidad cromática de los composites amarís® (voco) Universidad Complutense de Madrid. 2012.
57. Alshiddi, I. and Richards, L. (2015). A comparison of conventional visual and spectrophotometric shade taking by trained and untrained dental students. *Australian Dental Journal*, 60(2), pp.176-181.
58. Agrawal, V. and Kapoor, S. (2013). Color and shade management in esthetic dentistry. *Universal Research Journal of Dentistry*, 3(3), p.120.
59. Pascual A, Camps I. Aesthetic dentistry: Chromatic appreciation in the clinic and the laboratory. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2016;(11):363-368.
60. Aesthetic dentistry: Chromatic appreciation in the clinic and the laboratory. Agustín Pascual Moscardó 1, Isabel Camps
61. Sikri V. Color: Implications in dentistry. *Journal of Conservative Dentistry* Edito. 2010;13(4):249-255.

62. GIEL C, WEYHRAUCH M, WENTASCHEK S, SCHELLER H, LEHMANN K. Dental color matching: A comparison between visual and instrumental methods. *Dental Materials Journal*. 2016;35(1):63-69.
63. Zahnfabrik V. VITA Zahnfabrik Startseite [Internet]. VITA Zahnfabrik. 2019 [cited 17 July 2019]. Available from: <https://www.vita-zahnfabrik.com/es/Guia-de-colores-VITA-classical-A1-D4-39702,27568.htm>
64. Da Silva J, Park S, Weber H, Ishikawa-Nagai S. Clinical performance of a newly developed spectrophotometric system on tooth color reproduction. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2008;99(5):361-368.
65. Haddad H, Jakstat H, Arnetzl G, Borbely J, Vichi A, Dumfahrt H et al. Does gender and experience influence shade matching quality?. *Journal of Dentistry*. 2009;37:e40-e44.
66. Schmeling DDS, MS, PhD M. Color Selection and Reproduction in Dentistry. Part 3: Visual and Instrumental Shade Matching. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*. 2017;19(1):23.
67. Paul SJ, Peter A, Rodoni L, Pietrobon N. Conventional visual v/s spectrophotometric shade taking for procelain-fused-to metal crowns: a clinical comparison. *Int J Periodont Res* .2004; (24): 222–231
68. Berns R, Billmeyer F, Saltzman M, Billmeyer F. *Billmeyer and Saltzman's principles of color technology*. New York: John Wiley & Sons; 2000.
69. Paravina D, Powers M. *Esthetic color training in dentistry*. t. Louis: Elsevier; 2004. p. 17-28, 169-70.

70. Kim-Pusateri S, Brewer J, Davis E, Wee A. Reliability and accuracy of four dental shade-matching devices. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2009;101(3):193-199.
71. Chu S, Devigus A, Paravina R, Mieleszko A, Chu S. *Fundamentals of color*. Hanover Park, IL: Quintessence Publishing Co Inc; 2010.
72. Hassel AJ, Koke U, Schmitter M, Beck J, Rammelsberg P. Clinical effect of different shade guide systems on the tooth shades of ceramic- veneered restorations. *Int J Prosthodont* 2005;(18): 422-426.
73. Lagouvardos E, Fougia G, Diamantopoulou A, Polyzois L. Repeatability and interdevice reliability of two portable color selection devices in matching and measuring tooth color. *J Prosthet Dent* 2009; (101): 40-44
74. Odaira C, Itoh S, Ishibashi K. Clinical evaluation of a dental color analysis system: The Crystaleye Spectrophotometer®. *Journal of Prosthodontic Research*. 2011;55(4):199-205.
75. Steenbecker González O, Garone Filho W. *Principios y bases de los biomateriales en operatoria dental estética adhesiva*. Valparaíso, Chile: Universidad de Valparaíso; 2006.
76. *Direct and indirect restorative materials*. *The Journal of the American Dental Association*. 2003;134(4):463-472.
77. Ferracane JL. Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1995;6(4):302-318.
78. Ferracane J. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. 2011;27(1):29-38.
79. Chen MH. Update on dental nanocomposites. *J Dent Res* 2010;89(6):549-60.

80. Vasudeva G. Monomer systems for dental composites and their future: a review. *J Calif Dent Assoc* 2009;37(6):389-98.
81. Hervás-García A, Martínez-Lozano MA, Cabanes-Vila J. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2006;(11):215-220.
82. Mc Cabe J, Kagi S. Mechanical Properties of a composite inlay material following post-curing. *Br. Dent J.* 1991: 246-248.
83. Sabbagh J, Ryelandt L, Bachérius L, Biebuyck J, Vreven J, Lambrechts P, Leloup, G. Characterization of the inorganic fraction of resin composite. *Journal of Oral Rehabilitation*. 2004;(31):1090-1101.
84. Williems G, Celis J, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Nano-indentation hardness and Young's modulus of filler particles of dental restorative materials compared with human enamel. *J Biomed Mater Res*. 1992; (27):747-755.
85. Bowen R. Properties of silica reinforced polymer for dental restoration. *J Am Dent Assoc*. 1963; (66):57-64.
86. Sarkar NK, Karmaker A, Prasad A, Shih F. Simulation of in vivo degradation of dental composites. *J Mater Sci Let*. 1999;(18):1749-1752.
87. Schmidseder J. Atlas de odontología estética. Barcelona[etc.]: Masson; 2000.
88. Mohsen N, Craig R. Effect of silanation of fillers on their dispersability by monomer systems. *J Oral Rehabil*. 1995; (22): 183-189.

89. Mohsen N, Craig R. Hydrolytic stability of silanated zirconium silica-urethane dimethacrylate composites. *J Oral Rehabil.* 1995 (22): 213-220.
90. Yearn J. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J.* 1985; (35):218-225.
91. Rueggeberg F, Caughman W, Curtis J, Davis H. Factors affecting cure at depths within light activated resin composites. *Am J Dent.* 1993; (6):91-95.
92. Kuijs R, Fennis W, Kreulen C, Barink M, Verdonschot N. Does Layering Minimize Shrinkage Stresses in Composite Restorations? *J Dent. Res.* 2003; 82(12):967-971.
93. Fahl N Jr. Mastering Composite Artistry to Create Anterior Masterpieces. *Journal of Cosmetic Dentistry.* 2010: 56-68.
94. Martinez M." Estudio comparative in vitro de la resistencia a la tensión diametral de una resina compuesta fotopolimerizada con una lámpara 71 L.E.D y una lámpara halógena convencional". Universidad de Chile ; 2005.
95. Sturdevant, C., Roberson, T., Heymann, H. and Sturdevant, J. (1996). *Operatoria dental : arte y ciencia.* 3rd ed. Madrid: Mosby/Doyma Libros, pp.253-265.
96. Nodarse M. "Composición y clasificación de los composites dentales restaurativos". 1998.
97. Craig, R. (1998). *Materiales Dentales restauradores.* 7th ed. Editorial Mundi S.A.I.C y F, pp.237-266.
98. Phillips R.(1987). "La ciencia de los materiales dentales". 8th ed. Interamericana, pp. 226-260.

99. Anusavice J. (1998). "Ciencia de los materiales dentales" 10th ed. McGraw-Hill Interamericana, pp:238-311.
100. Produits Dentaire S.A.(2004) "Chemical cure Irbid composite", pp 63-64.
101. SDI. Información técnica de sistemas de composite híbridos y nanohíbridos Australia. 2004.
102. Bayne S, Taylor D.(1999). Arte y ciencia Operatoria dental.3rd ed. Madrid: Harcourt Brace.
103. Yin R, Heiss M, Sharp L, Suh B. Development and physical properties of a new low shrinkage composite. J Dent Res.2002; (80): 514.
104. Stefanello Busato, A., González-Hernández, P. and Prates Macedo, R. (2005). *Odontología restauradora y estética*. España: Amolca.
105. Soderholm K. Degradation of glass filler in experimental composites. J Dent Res 1981;(60):1867-1875.
106. Kreulen C, Van Amerongen W. Wear measurements in clinical studies of composites resin restorations in the posterior region: A review. J Dent Child. 1991; (58):109-123.
107. Leinfelder K, Wilder A Jr, Teixeira L. Wear rates of posterior composite resins. J Am Dent Assoc .1986; (112): 829-833.
108. Burgogne A, Nicholls J, Brudvik J. In vitro two-body wear of inlays-onlays composite resin restoratives. J Prosthet Dent. 1991; (65):206-214.

109. Kreulen C, Van Amerongen W. Wear measurements in clinical studies of composites resin restorations in the posterior region: A review. *J Dent. Child.* (1991); 58:109-123.
110. Craig R.(1998) *Materiales de Odontología Restauradora*. 10th ed.Harcourt Brace. Madrid.
111. Leinfelder K. Using composite resin as a posterior restorative material. *JADA.* 1991; (122):65.
112. Soderholm K. Influence of silane treatment and filler fraction on thermal expansion of composite resins. *J Dent Res.* 1984; (63):1321.
113. Chais B. Polymers in the service of prosthetic dentistry. *J Dent.* 1984; (12):203.
114. Santos J, Leinfelder K. O estágio atual das resinas compostas. *Rev Ass paul Cirurg Dent.*1982; 36(3):322-325.
115. Baratieri, L. (1993). *Operatoria dental*. Brasil: Quintessence.
116. Hu X, Marquis M, Shortall C. Influence of filler loading on the two-body wear of a dental composite.*J Oral Rehabil.* 2003; (30):729-737.
117. Mandarino F. Estudo comparativo das partículas de carga de diferentes tipos de resinas compostas. *E. A. P.*1989; (3):27-31.
118. Miyagawa Y, Powers J. Prediction of color of an esthetic restorative material. *J Dent Res.* 1983;(62):581.

119. Dennison J, Powers J, Koran A. Color of dental restorative resins. 1978; (57):557.
120. Feilzer A, De Gee A, Davidson C. Setting stress in composite restorations in relation to the configuration of the restoration. J Dent Res. 1987; (66): 1636 - 1639.
121. Braga R, Ferracane J. Alternatives In Polymerization Contraction Stress Management. Crit Rev Oral Biol Med. 2004; 15(3): 176 - 184.
122. Manhart J, Garcia F, Hickel R. Direct posterior restoration. Clinical result and new developments. J Dent Clin N Am. 2002; (46):303-339.
123. Chen H, Manhart J, Hickel R, Kunzelmann K. Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. Dent Mater 2001; (17): 253-259.
124. Chapman R, Nathanson D. Excessive wear of natural tooth structure by opposing composite restorations. J Am Dent Assoc. 1983; (106):51-53.
125. Braga R, Ballester R, Ferracane J. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. Dent Mater 2005 ;(21): 962-970.
126. Ryan A, Tam E, McComb D. Comparative translucency of esthetic composite resin restorative materials. J Can Dent Assoc. 2010;76(1):84.
127. Hosoya Y, Shiraishi T, Oshiro M, Ando S, Miyazaki M, Garcia F. Color characteristics of resin composites in different color moder and geometries. Journal of Oral Science 2009;51(1):123-130.
128. Vogel K. Tecnología de relleno. Report. Reserch and development Ivoclar Vivadent AG FL 9494 Schaan/ Liechtenstein. 2007;(18).

129. Villarroel M, Fahl N, De Sousa AM, De Oliveira OB Jr. Direct esthetic restorations based on translucency and opacity of composite resins. *J Esthet Restor Dent* 2011; 23(2):73-87.
130. Lee YK, Yu B, Lim HN. Vitapan 3D-master shade guide showed no fluorescence emission. *Indian J Dent Res* 2012 ;(23):742-746.
131. 3M ESPE: Catálogo Filtek Z350, Ficha técnica (2014).
132. Valdivieso J, Arias R, Fernández E, Estay J, Bersezio C, Ferrarezi M, Bastista O. Influence of the thickness of a composite resin used for layering technique, in the expression of its final color. *Revista Dental de Chile*; 2016; 107 (1) 52-55.
133. Browning WD, Chan DC, Blalock JS, Brackett MG. A comparison of human raters and an intra-oral spectrophotometer. *Operative Dentistry* 2009;34:337–43.
134. Ismail E, Dawson D, Maia R. A novel sample design for determining color compatibility between layered resin composite and vita shade guides. *J Esthet Restor Dent*. 2019 Sep 29.

ANEXOS

UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Comité de Revisión
Proyectos de Investigación

Valparaíso, 27 de Abril de 2018

Sr.
Prof. Dr. Jaime Sarmiento Cornejo
Presente

De nuestra consideración:

Se realizó la evaluación de su Proyecto de Investigación titulado "**Evaluación Instrumental In Vitro del Color en Restauraciones de Composite Mixtas de Esmalte-Dentina, Medidas con Espectrofotómetro**", bajo el código PreG-07-17, no encontrándose reparos desde el punto de vista metodológico, bioético ni de bioseguridad. En consecuencia, se aprueba la ejecución de su proyecto.

Atentamente,



Prof. Dr. Ricardo Moreno Silva
Presidente
Comité de Revisión
Proyectos de Investigación
Facultad de Odontología

A2	FILTEK Z350 XT	SweissWiss	Forma	Spectra				
	21,13943708	14,68501958	16,63736157	14,52679593				
	22,13761053	13,99534923	14,3584052	13,64293957				
	28,07845793	13,80006522	12,21678354	12,94827402				
	25,05597334	13,77271941	14,80566783	14,8509865				
	31,25242071	14,32912419	13,47426436	14,12309456				
	Análisis de varianza de un factor							
	RESUMEN							
	<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>			
	Filtek Z350XT	5	127,6638996	25,53277992	17,56268707			
	SweissWiss	5	70,58227762	14,11645552	0,15035428			
	Forma	5	71,4924825	14,2984965	2,685997278			
	Spectra	5	70,09209057	14,01841811	0,562191952			
	ANÁLISIS DE VARIANZA							
	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
	Entre grupos	486,5541356	4	121,6385339	21,76134174	4,20555E-06	3,055568276	
	Dentro de los grupos	83,84492234	15	5,589661489				
	Total	570,3990579	19					

A3	Filtek Z350 XT	SweissWiss	Forma	Spectra				
	25,52928906	16,05205906	12,18058291	17,41489592				
	24,84191216	16,65036336	15,37890113	17,10095319				
	24,94447033	15,6381137	14,22204627	18,63256826				
	24,06022859	17,24188505	20,17410717	19,49986154				
	24,49568533	20,3629713	14,56030906	17,62165145				
	Análisis de varianza de un factor							
	RESUMEN							
	<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>			
	Filtek Z350 XT	5	123,8715855	24,7743171	0,297765483			
	SweissWiss	5	85,94539246	17,18907849	3,516225762			
	Forma	5	76,51594654	15,30318931	8,800746283			
	Spectra	5	90,26993037	18,05398607	0,982233582			
	ANÁLISIS DE VARIANZA							
	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
	Entre grupos	255,3406017	3	85,1135339	25,03896882	2,77231E-06	3,238871517	
	Dentro de los grupos	54,38788444	16	3,399242777				
	Total	309,7284861	19					

A3.5	Filtek Z350 XT	SweissWiss	Forma	Spectra			
	37,67465992	1,62788206	2,049390153	15,65279528			
	13,51961538	8,008120878	2,289104628	17,32656919			
	11,26898398	4,610856753	2,780287755	18,21675053			
	11,06164545	5,630275304	2,833725463	18,11463497			
	6,74388612	6,591661399	2,915475947	18,40543398			
	Análisis de varianza de un factor						
	RESUMEN						
	<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>		
	Filtek Z350 XT	5	80,26879085	16,05375817	152,0935608		
	SweissWiss	5	26,46879639	5,293759279	5,767640872		
	Forma	5	12,86798395	2,573596789	0,145749457		
	Spectra	5	87,71618395	17,54323679	1,286053649		
	ANÁLISIS DE VARIANZA						
	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
	Entre grupos	851,5624732	3	283,8541577	7,127849918	0,002957055	3,238871517
	Dentro de los grupos	637,1720191	16	39,82325119			
	Total	1488,734492	19				

MARCA/COLOR	CODIGO	L	A	B	delta E	DS	MEDIANA	S	ShapiroWilks
FILTEK Z350 XT	FXDA2-FXE A2 1	84,4	0,2	19,7	21,13943708	4,19078597	25,0559733		0.680422
A2	FXDA2-FXE A2 2	85,5	0,1	19,8	22,13761053				
	FXDA2-FXE A2 3	94,1	1,8	12,6	28,07845793				
	FXDA2-FXE A2 4	91,3	2,1	7,7	25,05597334				
	FXDA2-FXE A2 5	97,5	2,3	9,8	31,25242071				
				PROM	25,53277992				
FILTEK Z350 XT	FXDA3-FXE A3 1	82,6	0,1	25,7	25,52928906	0,54567892	24,8419122		0.999945
A3	FXDA3-FXE A3 2	83,3	0,3	24,3	24,84191216				
	FXDA3-FXE A3 3	83,7	0,5	23,8	24,94447033				
	FXDA3-FXE A3 4	82,7	0,6	23,8	24,06022859				
	FXDA3-FXE A3 5	84,9	0,4	19,8	24,49568533				
				PROM	24,7743171				
FILTEK Z350 XT	FXB A3.5 1	35,1	-0,4	30,2	37,67465992	12,3326218	11,268984		0.0895973
A3.5	FXB A3.5 2	85,6	-0,4	30,3	13,51961538				
	FXB A3.5 3	83,5	-0,4	29,3	11,26898898				
	FXB A3.5 4	83,2	-0,5	29,6	11,06164545				
	FXB A3.5 5	79	-0,3	28,4	6,74388612				
				PROM	16,05375817				
MARCA/COLOR	CODIGO	L	A	B	delta E	DS	MEDIANA	S	ShapiroWilks
WEISSWISS	WD A2-WE A2 1	77,8	0,3	17,9	14,68501958	0,38775544	13,9953492		0.480959
A2	WD A2-WE A2 2	75	0,9	19,7	13,9534923				
	WD A2-WE A2 3	75,3	0,9	19,2	13,80006522				
	WD A2-WE A2 4	74,9	0,8	19,5	13,77271941				
	WD A2-WE A2 5	76,1	0,8	19,2	14,32912419				
				PROM	14,11645552				
WEISSWISS	WD A3-WE A3 1	74,1	0,9	22,3	16,05205906	1,8751602	16,6503634		0.187367
A3	WD A3-WE A3 2	74,1	0,6	23,2	16,65036336				
	WD A3-WE A3 3	74,5	0,3	21	15,6381137				
	WD A3-WE A3 4	76,4	0,2	21	17,24188505				
	WD A3-WE A3 5	79,1	0,3	22,6	20,3629713				
				PROM	17,18907849				
WEISSWISS	WD A3.5-WE A3.5 1	71	1	27	1,62788206	2,40159132	5,6302753		0.974394
A3.5	WD A3.5-WE A3.5 2	78	0,9	32,9	8,008120878				
	WD A3.5-WE A3.5 3	77,1	1,2	28	4,610856753				
	WD A3.5-WE A3.5 4	77,8	0,8	29,1	5,630275304				
	WD A3.5-WE A3.5 5	67,6	2,2	22,8	6,591661399				
				PROM	5,29375279				
MARCA/COLOR	CODIGO	L	A	B	delta E	DS	MEDIANA	S	ShapiroWilks
FD RMA	FD A2-FE A2 1	78,9	-0,5	19,6	16,63736157	1,63890124	14,3584052		0.999971
A2	FD A2-FE A2 2	77,1	-0,4	18,2	14,3584052				
	FD A2-FE A2 3	75,9	-0,3	16,3	12,21678854				
	FD A2-FE A2 4	77,7	-0,2	18,2	14,80566783				
	FD A2-FE A2 5	76	-0,2	18,1	13,47426436				
				PROM	14,2984965				
FD RMA	FD A3-FE A3 1	71,4	0,5	19,4	12,18058291	2,96660518	14,5603091		0.430082
A3	FD A3-FE A3 2	74,5	0,8	20,6	15,37890113				
	FD A3-FE A3 3	72,8	1	21	14,22204627				
	FD A3-FE A3 4	77,1	-0,4	25	20,17410717				
	FD A3-FE A3 5	73,5	0,7	20,6	14,56030906				
				PROM	15,30318931				
FD RMA	FD A3.5-FE A3.5 1	71	0,3	25,2	a	0,28255211	2,80700661		0.267135
A3.5	FD A3.5-FE A3.5 2	70,8	0,3	26	2,289104628				
	FD A3.5-FE A3.5 3	71,1	0,5	24,8	2,780287755				
	FD A3.5-FE A3.5 4	71,1	0,6	24,7	2,833725463				
	FD A3.5-FE A3.5 5	71,1	0,6	24,6	2,915475947				
				PROM	2,704648448				
MARCA/COLOR	CODIGO	L	A	B	delta E	DS	MEDIANA	S	ShapiroWilks
SPECTRA	SD A2-SE A2 1	80,6	-2,2	9,8	14,52679593	0,74979461	14,1230946		0.989485
A2	SD A2-SE A2 2	79,7	-2,1	10	13,64293957				
	SD A2-SE A2 3	79	-2,1	9,9	12,94827402				
	SD A2-SE A2 4	80,8	-2,4	10,7	14,8509865				
	SD A2-SE A2 5	80,2	-2,3	9,3	14,12309456				
				PROM	14,01841811				
SPECTRA	SD A3-SE A3 1	78,5	-2,1	10	17,41489592	0,99107698	17,6216515		0.567129
A3	SD A3-SE A3 2	78,1	-2,3	9,8	17,10095319				
	SD A3-SE A3 3	79,7	-2,3	9,9	18,63256826				
	SD A3-SE A3 4	80,8	-1,9	11,5	19,49986154				
	SD A3-SE A3 5	78,9	-1,8	11,4	17,62165145				
				PROM	18,05398607				
SPECTRA	SD A 3.5-SE A3.5 1	79,1	-1,3	13	15,65279528	1,13404305	18,114635		0.130294
A3.5	SD A 3.5-SE A3.5 2	81,5	-1,5	12,4	17,32656919				
	SD A 3.5-SE A3.5 3	80,7	-1,9	11	18,21675053				
	SD A 3.5-SE A3.5 4	80,9	-1,8	11,2	18,11463497				
	SD A 3.5-SE A3.5 5	75,6	-1,1	9	18,40543398				
				PROM	17,54323679				
Imbery	A2	66,33	0,3	8,73					
	A3	61,65	1,71	12,2					
	A3.5	72,6	1,3	27					