

Master Oficial en Ciencias Odontológicas

Universidad Complutense de Madrid

Trabajo Final de Master

**Influencia del espesor de tres resinas
compuestas translúcidas de diferente
tonalidad sobre la luminosidad.**



**Facultad de Odontología
Departamento de Estomatología IV**

Tutor: Prof. Carlos Oteo Calatayud
Alumno: Joan Restrepo Lluís

Septiembre 2014

Índice

Introducción	3
<i>Resinas compuestas</i>	3
Composición de las resinas compuestas	3
Clasificación de las resinas compuestas	6
Resinas compuestas microhíbridas	7
<i>El color</i>	8
La ciencia del color	8
Dimensiones del color en odontología	10
Métodos para medir el color dental	11
Método Subjetivo	11
Método Objetivo	12
Sistema de color CIELAB	14
Valores Delta E y su relevancia clínica	14
<i>Color de las resinas compuestas</i>	15
Técnica estratificada	16
Resina compuesta translúcida y luminosidad	17
Justificación	18
Objetivos	18
Hipótesis	19
Materiales y métodos	19
<i>Diseño del estudio</i>	19
<i>Elección del composite</i>	20
<i>Confección de los especímenes</i>	20
<i>Estandarización de los registros fotográficos</i>	22
<i>Calibración de la cámara</i>	23
<i>Lectura del color</i>	24
<i>Análisis estadístico</i>	24
Resultados	26
Discusión	31
Conclusiones	43
Referencias bibliográficas	44

Introducción

Resinas compuestas

Las resinas compuestas utilizadas en odontología se desarrollaron a partir de los estudios de Bowen, realizados en la década de 1950, en su afán de reforzar las resinas epóxicas con partículas de relleno.(Henostroza G, 2006) Sus esfuerzos alcanzaron relevante éxito en 1962, cuando desarrolló la molécula orgánica Bis-GMA (bisfenol-metacrilato de glicidilo); la cual combina las ventajas de las resinas epóxicas y las de los metacrilatos.(Bowen RL, 1962)(Henostroza G, 2006)

Tras más de cinco décadas de desarrollo continuado, se han ido mejorando sus propiedades mecánicas, ópticas y estéticas.(Fahl N Jr, 2010) Actualmente, suponen unos materiales modernos que nos proporcionan una excelente durabilidad, resistencia al desgaste y estética, que no solo mimetizan el diente natural, sino resultan indistinguibles de los dientes vecinos.(Fahl N Jr, 2010),(Sakaguchi RL, 2012) De esta forma, la restauraciones directas de composite han ido ganando terreno a las porcelanas, suponiendo una alternativa menos agresiva a estas.(Kamishima N, 2006)

Composición de las resinas compuestas

Básicamente, las resinas compuestas dentales están compuestas por tres materiales químicamente diferentes:(Vasudeva G, 2009),(Hervás-García A, 2006),(Echevarría JJ, 2008),(Lutz F, 1983),(Terry DA, 2006),(Chen MH, 2010),(Ferracane JL, 2011)

1. La matriz orgánica o fase orgánica.
2. La matriz inorgánica, material de relleno o fase dispersa.

3. Un silano o agente de unión, entre la resina orgánica y el relleno cuya molécula posee grupos silánicos en un extremo (unión iónica con SiO₂), y grupos metacrilatos en el otro extremo (unión covalente con la resina).

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 usado.(Ferracane JL, 1995) 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.(Ferracane JL, 1995),(Ferracane JL, 2011)

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 470nm.(Chen MH, 2010)

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.(Vasudeva G, 2009),(Hervás-García A, 2006)

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.(Vasudeva G, 2009),(Hervás-García A, 2006)

Por su parte, la fase dispersa de las resinas compuestas está integrada por un material de relleno inorgánico. Existe una gran variedad de partículas de relleno empleadas en función de su composición química, morfología y dimensiones.(Hervás-García A, 2006) Los modernos sistemas de resina compuesta tienen rellenos como cuarzo, sílice coloidal y vidrio de sílice con contenido de bario, estroncio y zirconio.(Chen MH, 2010)

Por último, el agente de unión, permite una fuerte unión covalente entre los rellenos inorgánicos y la matriz orgánica. Esto se logra mediante el bañado de los rellenos con el agente de unión silano, 3-metacriloxipropiltrimetoxysilano (MPTS).(Chen MH, 2010)

Obviamente, las propiedades, y por tanto el comportamiento de las resinas compuestas, dependen de los tres componentes básicos del material. Algunas de las propiedades están principalmente relacionadas con el relleno y el agente de unión, mientras que otras propiedades provienen principalmente de la matriz de resina.(Vasudeva G, 2009)

Los rellenos inorgánicos aumentan la fuerza y el módulo de elasticidad y reducen la contracción por polimerización, el coeficiente de expansión térmica y la absorción de agua.(Chen MH, 2010)

La estabilidad del color y la tendencia al reblandecimiento de las resinas compuestas dependen de la matriz orgánica. Además, propiedades como la contracción a la polimerización y la absorción de agua dependen tanto del relleno como de la matriz.(Vasudeva G, 2009)

Las propiedades mecánicas están muy influenciadas por el relleno y el agente de unión, pero también la matriz orgánica desempeña un papel importante para la fuerza, rigidez y resistencia a la abrasión.(Vasudeva G, 2009)

La alteración de los componentes de relleno continúa siendo el desarrollo más importante en la evolución de las resinas compuestas, porque el tamaño, distribución y cantidad de la partícula de relleno incorporada influye de manera importante en las propiedades mecánicas y en el éxito clínico de las resinas compuestas. En general, las propiedades mecánicas y físicas de las resinas compuestas mejoran en relación a la cantidad de relleno agregado.(Terry DA, 2004)

Clasificación de las resinas compuestas

Los composites de los 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 a realizar las que determinen el tipo de resina compuesta a utilizar en cada caso. (Fahl N Jr, 2010)

Tabla 1. Clasificación de las resinas compuestas según el tamaño de las partículas de relleno	
Tipo de Resina Compuesta	Tamaño de partículas
Macrorelleno	10-50 μm
Microrelleno	40-50 nm
Híbridas	10-50 μm + 40 nm
Relleno medio	1-10 μm + 40 nm
Minirelleno o microhíbridos	0,6-1 μm + 40 nm
Nanorelleno	5-100 nm
Nanohíbridos	0,6-1 μm + 5-100 nm

Las resinas compuestas dentales convencionales tenían unos tamaños de partícula promedio que superaban 1 μm , y generalmente tenían rellenos de tamaños cercanos o que excedían el diámetro de un pelo humano (~50 μm). Estos materiales de macrorelleno eran muy resistentes, pero difíciles de pulir e imposibles de mantener una superficie homogénea. Para hacer frente a la importante cuestión de la estética a largo plazo, se fabricaron las resinas compuestas de microrelleno, nombrándolos así para enfatizar el hecho de que las partículas eran microscópicas.(Ferracane JL, 2011)

El nivel de relleno de estas resinas era bajo, pero se podía aumentar incorporando en la matriz rellenos de resina prepolimerizado (RRP) con lo cual se agregaban partículas de microrelleno adicionales. Las resinas compuestas de

microrelleno podían pulirse pero eran débiles debido a su contenido de relleno relativamente bajo. Por lo tanto, el tamaño de la partícula de las resinas compuestas convencionales se redujo aún más para producir las resinas compuestas híbridas de partículas pequeñas. Esta se denominó después de relleno medio, con tamaños de partícula promedio ligeramente superior a 1 μm pero conteniendo también una porción de los microrellenos de sílice de 40 nm de tamaño.(Ferracane JL, 2011)

Aún más, los refinamientos en el tamaño de la partícula mediante técnicas de pulverización dio como resultado resinas compuestas con partículas de 0,4 – 1 μm de tamaño, las cuales inicialmente fueron llamados de minirelleno(Bayne SC, 1994) y que al final se les denominó microhíbridos.(Ferracane JL, 2011) Estas resinas son consideradas como resinas compuestas universales ya que pueden ser utilizados tanto en restauraciones anteriores como posteriores basándose en su combinación de fuerza y capacidad de pulido.

La innovación más reciente ha sido el desarrollo de las resinas compuestas de nanorelleno, que contiene sólo partículas de escala “nano”. Además, la mayoría de fabricantes han modificado la composición de sus resinas microhíbridas para incluir más nanopartículas, y posiblemente rellenos de resina prepolymerizada, similar a los encontrados en las resinas compuestas de microrelleno, y a este grupo se les ha denominado nanohíbridos.(Ferracane JL, 2011)

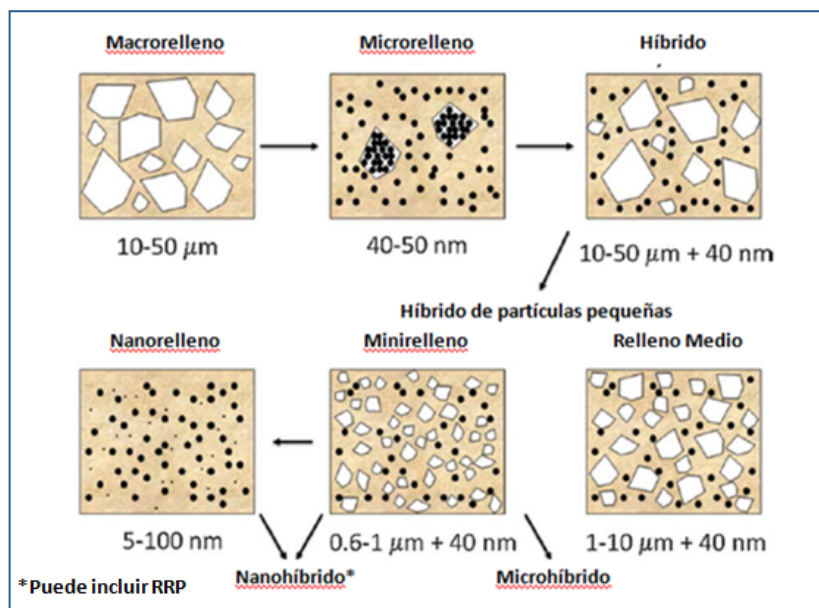


Figura 1. Clasificación de las resinas compuestas según el tamaño de las partículas de relleno (Ferracane JL, 2011)

Resinas compuestas microhíbridas

En el caso de los microhíbridos, se trata de un tipo de composite que contiene dos tipos de rellenos combinados, con un alto contenido en partículas submicrónicas de formas irregulares.(Fahl N Jr, 2010) La distribución de las partículas proporciona un buen empaquetamiento, permitiendo conseguir composites de alta carga con un buen manejo clínico. Teniendo entre un 60% y un 70% de relleno en volumen (lo que equivale a un 77%-84% en peso).(Sakaguchi RL, 2012)

Sus propiedades principales son una buena resistencia al desgaste y fractura, junto con un buen manejo clínico y pulido,(Fahl N Jr, 2010) lo cual los hace uno de los tipos de composite más versátiles, adecuados tanto para el sector anterior como posterior.(Echeverría JJ, 2008) Sin embargo, tienen como defecto la pérdida del pulido en un tiempo reducido, haciendo conveniente visitas periódicas para devolver el brillo inicial a la restauración.(Echeverría JJ, 2008),(Sakaguchi RL, 2012)

El color

La ciencia del color

El color es uno de los determinantes más importantes de la estética dental.(Paravina RD, 2010) No obstante, se trata de un complejo fenómeno que tiene componentes físicos, fisiológicos y psicológicos.(Wasson W, 1992)

La realización del proceso del color se inicia mediante un estímulo físico, la luz. Esta se trata de una energía radiante de banda estrecha del espectro electromagnético cuyo rango va desde las ondas de radio hasta los rayos gama. Sin embargo, el ojo humano detecta sólo las longitudes de onda que están en el rango desde los 380 nm (violeta) a los 780 nm (rojo), recibiendo el nombre de luz visible.(Goldstein GR, 1993)

Por otro lado, todos los objetos absorben y reflejan color, este aspecto es enteramente físico y objetivo. Entonces, las ondas reflejadas entran al ojo y pasan a través de la cornea, el cristalino, el humor acuoso y vítreo y estimulan los receptores celulares en la retina (conos y bastones). Estos receptores reaccionan a la llegada de la luz y estimulan sus terminaciones nerviosas; de tal forma que el mensaje es llevado por el nervio óptico hasta el cerebro; siendo este el aspecto fisiológico. Aquí el mensaje es interpretado por el huésped, se puede decir entonces que “el color sólo existe en la mente”, y por tanto comprende un factor psicológico.(Raygada J, 2000),(Chu SJ, 2002)

En 1666, Newton descubrió que la capacidad de colorear lo que vemos está en la luz y no en los objetos. A partir de este descubrimiento, se concluye que se requieren tres factores para la percepción del color: una fuente de luz (fuente de iluminación), un objeto y un detector (ocular o instrumental).(Ahmad I,1999),(Echeverría JJ, 2008) De este mismo modo, variaciones en estos tres factores pueden producir alteraciones en el color observado.

1. Fuente de Iluminación.

El color de un objeto puede variar cuando es expuesto a diferentes fuentes de iluminación, lo que se conoce como reproducción de color.(Ahmad I, 1999) La *Commission Internationale de L'Éclairage* (CIE) lo definió como el efecto de una iluminación sobre la percepción del color de los objetos, de forma consciente o subconsciente, en comparación con su percepción del color bajo una iluminación de referencia. (Commission Internationale de l'Éclairage, 1987)

Por este motivo, en 1931, la CIE recomendó el uso de fuentes concretas para describir la calidad de luz, caracterizándose por sus curvas de distribución del poder espectral e indicándose para determinar el color bajo condiciones específicas de iluminación. Aunque inicialmente se describieron tres, en 1971 la CIE modificó estas fuentes para clasificar la Iluminación Estándar D65 como luz del día a 6540 K, la cual incluye las longitudes de onda de radiación ultravioleta.(Ahmad I, 1999)

2. Objeto.

Ciertas características de los objetos también pueden variar el color que observamos, ya que este depende de la luz visible que absorben, reflejan o transmiten.(Echeverría JJ, 2008) Así pues, la textura superficial, la morfología y la posición de los dientes pueden hacer variar la percepción del color. De esta forma dientes más liso, protruidos y grandes parecerán más claros, mientras que aquellos más rugosos, retruídos y de menor tamaño parecerán más oscuros.(Echeverría JJ, 2008)

3. El detector.

En el caso del ojo humano, son los conos y bastones las células encargadas de la percepción de la luz, siendo los primeros los que perciben la luminosidad y los segundos la tonalidad (y por tanto el color en sí). No obstante, existen factores que pueden alterar la percepción del color por parte de estos receptores, como la fatiga que se produce fijar la vista prolongadamente sobre un mismo color, el daltonismo, la edad o el consumo de algunos fármacos.(Echeverría JJ, 2008)

Dimensiones del color en odontología

El sistema más utilizado para la descripción del color es el Sistema de Munsell, descrito en 1929, según el cual el color consta de tres dimensiones, creando un espacio donde se distribuyen todos los colores. Estas dimensiones son el tinte o tono, la saturación y el valor o luminosidad.(Kina S, 2008),(Echeverría JJ, 2008)

El tinte (hue) o tono hace referencia al "nombre" que le damos al color, y viene determinada por la longitud de onda que se refleja del objeto. De esta forma, distinguimos "familias" de colores como serían el rojo, el azul o el verde.(Kina S, 2008) En los dientes naturales el tinte viene determinado mayoritariamente por la dentina, y se encuentra en el intervalo amarillo-rojo.(Echeverría JJ, 2008)

La saturación (chroma) es la intensidad o concentración de un color y permite comparar dos colores con el mismo tinte (Manual de odontología). Para

cuerpos translúcidos, tales como el complejo esmalte/dentina, la intensidad del cromatismo depende de la saturación de capas, ya que, cuanto más espeso, más saturado el color. De esta forma, es común observar en los dientes saturaciones más altas en el tercio cervical (mayor grosor) con una reducción gradual hacia saturaciones más bajas en el tercio incisal (menor espesor).(Kina S, 2008)

El valor (value) o luminosidad es la cantidad de luz que refleja o absorbe un color y por tanto la cantidad de gris que muestra. Distingue entre los colores claros de los oscuros. Viene determinado principalmente por el esmalte, y es un factor clave para la calidad de una restauración, ya que el ojo humano detecta más fácilmente variaciones en esta dimensión del color que en el tinte. (Echeverría JJ, 2008)

Métodos para medir el color dental

La medida del color dental se realiza más comúnmente en la luz reflejada,(Sakaguchi RL, 2012) ya sea usando métodos subjetivos o visuales y objetivos o instrumentales.(Haddad HJ, 2009),(Terry DA, 2005 (a)),(Terry DA, 2005 (b))

Método Subjetivo

Los métodos visuales son conocidos como selección del color y se realiza usando unas guías de color dental bajo condiciones más o menos controladas.(Haddad H, 2009) Este método, ya sea realizado por parte del dentista, auxiliar o técnico dental es aún el más comúnmente utilizado para proporcionar, a una restauración dental, el color natural del diente.(Hugo B, 2005)

Sin embargo, esta metodología presenta dos grandes inconvenientes. En primer lugar, la fiabilidad de las guías de referencia; y en segundo lugar, la dependencia en las características fisiológicas y psicológicas del observador, responsables de captar la energía estimulada.(Devigus A, 2004),(Segura Egea JJ, 1999),(Lu H, 2006)

Siendo la guía Vita la más extendida durante muchos años, esta está basada en una organización empírica de las tabletas de colores.(Miller L, 1987),(Paravina RD, 2002),(Đozic A, 2007),(Paravina RD, 2007 (b)) Además, se han encontrado diferencias incuestionables en la consistencia del color entre guías de color del mismo fabricante.(Cal E, 2004),(Tashkandi E, 2010)

No obstante, la introducción de las guías de color basada en la evidencia Vitapan 3D-Master, Toohguide, Bleachedguide y, particularmente, Linearguide por el mismo fabricante, corresponden al color de los dientes humanos y por lo tanto aumentan las posibilidades para una compatibilidad exitosa de color.(Paravina RD, 2009 (a)),(Paravina RD, 2007 (a))

Por otro lado, hay que tener en cuenta que existen dificultades innatas en la evaluación del color de manera visual como: metamerismo, condiciones poco óptimas de compatibilidad de color, instrumentos y métodos poco óptimos, fatiga por la edad, estado de ánimo y drogas/medicaciones que consume la persona que toma la medida.(Ahmad I, 2000)

Método Objetivo

La evaluación instrumental es realizada usando espectrofotómetros, colorímetros, espectralradiómetros, imágenes digitales e imágenes espectrales.(Haddad HJ, 2009), (Terry DA, 2005 (b))

Cuando los métodos instrumentales son seleccionados e implementados apropiadamente, son objetivos y más sólidos, por lo tanto son un complemento inestimable para la elección visual del color en odontología.(Haddad HJ, 2009)

Estos instrumentos son útiles e importantes para la medición y análisis del color dental y para el control de la calidad de la reproducción del color. Además, son útiles para el análisis del color de restauraciones directas o indirectas y para la

comunicación, reproducción y verificación del color de restauraciones indirectas.(Chu SJ, 2010)

Por lo tanto, los sistemas de selección de color basados en la tecnología proporcionan a la comunidad odontológica la información necesaria que se requiere para una determinación predecible del color.(Chu SJ, 2001),(Chu SJ, 2002),(Goldstein GR, 1993) No obstante, es recomendable usar tanto el método visual e instrumental para determinar la compatibilidad de color, como complemento uno del otro, para llegar a resultados estéticos predecibles.(Chu SJ, 2010),(Fondriest J, 2003),(Yoshida A, 2010),(Ishikawa-Nagai S, 2010),(Terry DA, 2005 (b))

Fotografía digital

La imagen a color de las cámaras digitales se crea a partir de los colores rojo, verde y azul (RGB) de las imágenes que se toman. El modelo de color RGB es un modelo adicional en la cual se añaden en conjunto y de varias maneras la luz roja, verde y azul para reproducir una amplia gama de colores, resultando de la suma de estos tres el color blanco.(Chu SJ, 2010),(Echeverría JJ, 2008)

Se han usado varios métodos para transformar estos datos en información de color que sea útil en odontología,(Chu SJ, 2010) como la combinación con programas informáticos específicos capaces de leer el color. (Đozic A, 2007)

Varios autores han estudiado las cámaras digitales como instrumentos para determinar el color de los dientes y las encías, concluyendo que se trata de una técnica valida y fiable cuando se acompaña de apropiados protocolos de calibración.(Wee AG, 2006),(Smith RN, 2008),(Bayindir F, 2009) (Cal E, 2004),(Joiner A, 2004)

Sistema de color CIELAB

Aunque de manera general el sistema de colores de Munsell es el más utilizado, en investigación odontológica se emplea el sistema de color CIELAB, desarrollado por la Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) en 1971.(Paravina RD, 2006) Este sistema es usado comúnmente en estudios perceptuales y para la evaluación del color dental porque cubre visualmente de manera uniforme el espacio de color.(Analoui M, 2004)

Los parámetros de los que consta este sistema son tres. La L*, que determina la Luminosidad, y por tanto es una coordenada acromática, cuyos valores van del 0 al 100, siendo el negro y el blanco, respectivamente. Por otro lado, la a* y la b* son las coordenadas cromáticas; siendo a* el eje verde-rojo, donde a- es verde y a+ es rojo; y b* el eje azul-amarillo, donde b- es azul y b+ es amarillo.(Paravina RD, 2010),(Swift EJ, 1994)

El espacio cromático de los dientes en este sistema se encuentra entre +a y +b, debido que los dientes naturales se encuentran entre el intervalo del rojo, rojo-naranja y el amarillo.(Echeverría JJ, 2008)

Por otro lado, este sistema nos permite calcular las diferencias de color entre dos objetos, combinando matemáticamente las diferencias en L*, a* y b*. Para ello se utiliza la ecuación ΔE , donde los valores L₁*, a₁*, b₁* corresponden a un color y L₂*, a₂*, b₂* al otro.(Analoui M, 2004)

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

Valores Delta E y su relevancia clínica

Para llevar estos valores a la clínica, se han intentado establecer unos valores estándares de perceptibilidad y aceptabilidad a la vista humana. No obstante, ha habido mucha disparidad en los resultados obtenidos en distintos estudios.

La perceptibilidad se refiere a la detección de la diferencia de color entre un diente y el color de una restauración adyacente.(Wee AG, 2006) 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%.(Paravina RD, 2009 (b))

En odontología, se considera coincidencia de color cuando la diferencia de color está en o por debajo del umbral de perceptibilidad.(Paravina RD, 2009 (b)) Las diferencias de color perceptibles están en un rango que va de un ΔE de 1 (Kuehni RG, 1979) y 2 (Seghi RR, 1989) en estudios in vitro a 3,7 en un estudio in vivo.(Johnston WM, 1989)

Aceptabilidad se refiere a la aceptación del color de la restauración como bueno, aunque se perciba una ligera discordancia en este.(Wee AG, 2006) 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%.(Chu SJ, 2010)

En odontología existe coincidencia de color aceptable cuando la diferencia de color está en o por debajo del umbral de aceptabilidad.(Paravina RD, 2009 (b)) Las diferencias de color aceptables están en un rango que va de un ΔE de 2,72 (Ragain JC, 2000) y 3,3 (Ruyter IE, 1987) en estudios in vitro a 6,8 en un estudio in vivo.(Johnston WM, 1989)

Color de las resinas compuestas

Cuando una luz blanca incidente se transmite a través de la resina compuesta, la luz primero se dispersa por las partículas de pequeño tamaño que están dentro del material antes de que este salga y alcance el ojo del observador con la información óptica y de color específica del material. Por lo tanto, la apariencia del color de la resina compuesta es una combinación compleja de sus propiedades ópticas.(Arikawa H, 2007)

Algunos investigadores han encontrado que las características de la transmisión de luz de las resinas compuestas están afectadas por las propiedades de relleno, el tamaño de relleno y el contenido del relleno.(Emami N, 2005),(Lim YK, 2008),(Dos Santos GB, 2008)

Pero, aunque el principal componente de las resinas compuestas que afecta de manera importante en la translucidez de las resinas compuestas es el relleno inorgánico; se ha observado que la composición de la matriz de resina también influye de manera importante en la translucidez de las resinas compuestas.(Azzopardi N, 2009)

Técnica estratificada

El objetivo de cualquier restauración estética es la de crear un aspecto natural que sea agradable para el paciente sin que deje de ser funcional. Para lograr este resultado estético, el odontólogo debe imitar la apariencia de los tejidos naturales.(Da Costa J, 2010),(Kim SJ, 2009)

Sin embargo, existen varias dificultades al compatibilizar el color para las restauraciones con resinas compuestas. Las situaciones particularmente difíciles son las restauraciones Clase III y IV, donde poco o nada de estructura dental que rodea la restauración para dar una base de color reflejada o transmitida.(Johnston WM.1997) Específicamente, se observa un color grisáceo en comparación con la estructura dental circundante, ya que los materiales translúcidos son afectados probablemente por la oscuridad de la cavidad oral.(Ikeda T, 2004) Para minimizar el efecto del color de fondo, se han utilizado resinas compuestas opacas como fondo a lo que se ha denominado “técnica estratificada”.(Ikeda T, 2005)

Lo que se intenta con el concepto de estratificación natural es reemplazar el tejido normal de los dientes, es decir, el esmalte y la dentina, restaurando lo que existía previamente.(Da Costa J, 2010) En la técnica estratificada, una capa de resina más translúcida se aplica sobre la resina compuesta opaca con el fin de

crear la percepción de profundidad en la restauración; reduciendo de esta manera el color que proviene sólo de la superficie de la restauración.(Kamishima N, 2005)

Por otro lado, el color de cada capa en la técnica estratificada es un factor muy importante que determina el éxito o fracaso estético de la restauración estratificada. Se sabe que el color final de la restauración está influenciado no sólo por las propiedades ópticas de la capa superficial, sino también por el color y las propiedades ópticas de las capas subyacentes.(Lee YK, 2004)

Resina compuesta translúcida y luminosidad

Sin embargo, en odontología, y en especial cuando realizamos estratificaciones, el sistema de reproducción del color es sustractivo, es decir que las diferentes capas sustraen (absorben) algunas longitudes de onda, emitiendo otras, creando así los distintos colores. Se trata de un sistema por el cual la suma de los tres colores primarios resultan en el color negro, y cualquier mezcla intermedia de ellos resulta en colores grisáceos.(Echeverría JJ, 2008)

Por este motivo, al realizar una restauración estratificada, las sucesivas capas que se van añadiendo disminuyen progresivamente la luminosidad.(Echeverría JJ, 2008) Este fenómeno se ha observado de una forma más marcada al crear capas de composite translucido de un grosor excesivo, donde en vez de dar mayor profundidad a la restauración, le dan una coloración grisácea. Por ello, ante una restauración que requiera mucho grosor vestibulo-lingual, se recomienda engrosar la capa de resina compuesta opaca manteniendo el espesor de la translúcida.

Justificación

Las resinas compuestas son los materiales más utilizados para la realización de restauraciones estéticas directas, sin embargo, se ha observado una pérdida de luminosidad en la restauración final cuando aumenta el espesor de la capa de composite translúcido. Por tal de cuantificar este fenómeno, y así poder predecir que espacio debemos dejar para el composite translucido, al confeccionar una restauración estratificada, hemos realizado el presente estudio in vitro.

Objetivos

El objetivo general de este estudio es la determinación de si el aumento de espesor de composite translúcido da una coloración grisácea, por una pérdida de luminosidad, a la restauración estratificada.

Para ello, se han planteado como objetivos específicos de este estudio:

- Determinar la magnitud de la relación entre la tonalidad del composite translúcido, su espesor y el color de fondo, y la luminosidad final de la estratificación.
- Determinar el efecto del aumento de espesor de la capa de composite translúcido sobre la luminosidad final de la estratificación.
- Determinar las diferencias entre las diferentes tonalidades de composite translúcido en relación a la luminosidad final de la estratificación.
- Determinar la influencia del color de fondo en la luminosidad final de la estratificación.

Hipótesis

La hipótesis nula planteada es al siguiente:

“Un aumento del espesor del estrato de composite translúcido no disminuye la luminosidad, independientemente del fondo sobre el cual se aplique y la tonalidad de este composite”

Paralelamente, la hipótesis alternativa planteada es:

“Un aumento del espesor del estrato de composite translúcido produce una modificación de la luminosidad, independientemente del fondo sobre el cual se aplique y la tonalidad de este composite”

Materiales y métodos

Diseño del estudio

Se realizó un estudio descriptivo, transversal y observacional in vitro en el cual se analizaron, mediante fotografía digital, los valores de luminosidad obtenidos al combinar distintos espesores y tonalidades de composite translucido con una base de composite opaco, de un grosor y color constante, sobre un fondo blanco y otro negro estandarizados.

Elección del composite

Para la realización de este estudio, se escogió el sistema Amaris®(VOCO GmbH, Cuxhaven, Alemania), presentándose en el mercado como un sistema de composites que con una técnica muy sencilla, de solo dos pasos, consigue grandes resultados estéticos además de un buen pulido. Se trata de un composite micro-híbrido con 80% de su peso en relleno, del cual se disponen de cinco tonalidades de composite opaco (O1-O5) y tres tonalidades de composite translúcido, a elegir según si se quiere oscurecer (TD), mantener el color (TN) o aclarar (TL) la restauración final. Las tonalidades elegidas para la realización de este estudio fueron el O3 (Nº lote 1416160 y 1416210), siendo el color intermedio entre los disponibles, y las tres tonalidades de esmalte TD (Nº lote 1413595), TN (Nº lote 1412631) y TL (Nº lote 1412630 y 1418214), para comparar sus diferencias a la hora de modificar la luminosidad final de la restauración.

Previamente a la realización de la investigación, se hizo un estudio piloto donde se comprobó que no había diferencias de color entre los diferentes lotes del mismo material.

Confección de los especímenes

Se trabajó con especímenes en forma de disco de 10 mm de diámetro. Realizando 3 replicas de cada combinación, para aumentar la potencia estadística del estudio. Las diferentes combinaciones realizadas constaban de 2 mm de composite O3 como base, y 0 mm, 0,5 mm, 2 mm y 4 mm de composite translúcido (considerando 0 mm aquellos discos en que no colocábamos composite translúcido), realizados con TD, TN y TL, sumando un total de 30 discos (Figura 2).

La elección de realizar estratos de hasta 4 mm de composite translúcido fue llevada a cabo siguiendo el protocolo de Kamishima N. (2005, 2006), quien consideraba que a partir de este espesor se alcanzaba el espesor teórico óptico

infinito, por el cual no había influencia del color de fondo y el color observado era el intrínseco del material en cuestión.

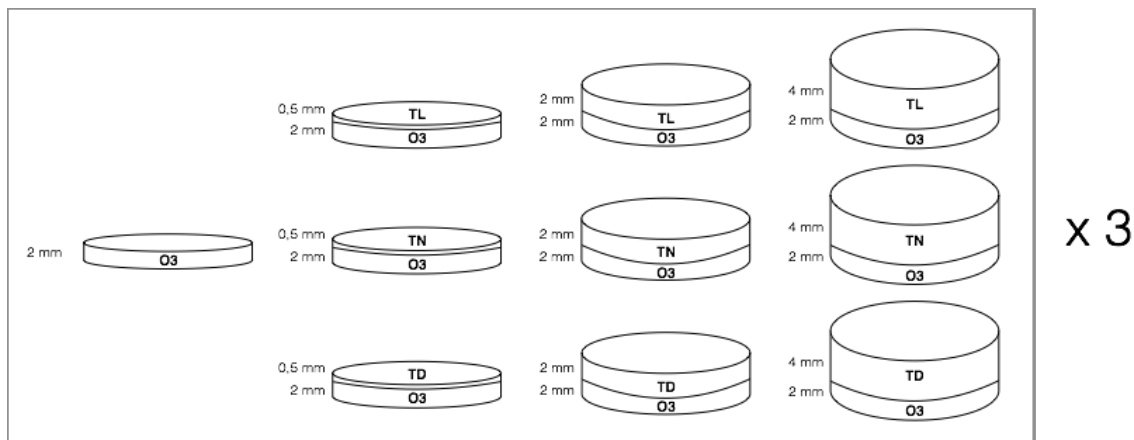


Figura 2. Esquema de la composición de los discos realizados.

Para la confección de dichos discos, se procedió siempre de la misma forma. En primer lugar, se colocaron tres galgas metálicas (Athleta, Alemania) de 2 mm de grosor sobre una loseta de vidrio (ASA Dental® Spa, Bozzano (LU), Italia), cubierta con papel de acetato para impedir que la resina compuesta se adhiriera al cristal. Seguidamente, se colocó una pequeña cantidad de composite opaco sobre la misma loseta y se cubrió con un segundo trozo de papel de acetato y se presionó con otra loseta de vidrio, asegurándonos que las tres galgas contactaban a la vez con ambas superficies y que el composite se esparcía para adaptarse a dicho espesor. Se realizó una polimerización inicial de 10 segundos con una lámpara Flash lite 1401™ (Discus Dental, Inc., Culver City (CA), Estados Unidos), se separaron las losetas y se polimerizó durante 50 segundos más, disminuyendo la distancia entre la lámpara y el composite y consiguiendo una completa polimerización del material. Acto seguido, se comprobó que el espesor de los especímenes era el adecuado mediante un calibre digital, descartando aquellas muestras que difirieron más de 10µm.

En el caso de las muestras que requerían de una segunda capa de composite translúcido, se repitió la operación de la misma forma; sumando a las galgas iniciales las del grosor de composite translúcido que queríamos añadir, y colocando el composite translúcido del tono elegido sobre el disco de composite opaco realizado previamente.

Finalmente, se utilizaron dos monedas de 10 mm de diámetro y discos de pulir para dar el mismo diámetro a todos los especímenes, pero sin pulir las superficies planas, ya que esto produciría variaciones en la textura superficial que podrían ocasionar interferencias en las mediciones del color.(Schemeling M, 2010) Acto seguido, se realizaron los registros fotográficos para la medición del color.

La realización de los registros fotográficos fue llevada a cabo inmediatamente tras la realización de los especímenes, ya que previamente se realizó un estudio piloto en el cual se comparó esta técnica con otras dos, también utilizadas por diferentes autores en la bibliografía estudiada, y al obtenerse diferencias no estadísticamente significativas, se eligió esta técnica por mayor comodidad y optimización del tiempo. Las otras dos técnicas estudiadas fueron, por un lado la realización de los registros al cabo de 24h en un medio seco y a temperatura ambiente, para conseguir una completa polimerización del material, y por otro lado, la realización de los registros al cabo de 24h en agua y a temperatura ambiente, simulando, en cierta manera, el medio húmedo de la cavidad oral.

Estandarización de los registros fotográficos

El equipo fotográfico utilizado fue una cámara digital Canon EOS D700 con un objetivo macro de 100mm. Para que todas las fotografías fueran estandarizadas, se utilizó una mesa de fotografía con un brazo para fijar la cámara perpendicular a la superficie de la mesa, donde se colocarían los discos, a la altura deseada. En este caso se colocó a 54 cm sobre la superficie de la mesa, obteniendo un buen encuadre y enfoque de los discos.

En ambos laterales de esta mesa, a la mitad de la longitud de estos, se colocaron unas lámparas de luz GrafiLite CCON450(Colour Confidence, Birmingham, Reino Unido), orientando su cabezales con una angulación de 45° respecto al suelo, iluminando así de manera uniforme toda la superficie donde se colocaron las muestras. Estas lámparas son dispositivos que emiten luz de

verdadero tono neutro de 2000 lux, simulando de manera eficiente la luz natural. La toma de registros se realizó en una habitación cerrada, bloqueando cualquier otra fuente de luz que no fuera la estandarizada.

Para valorar la influencia del color de fondo sobre el color de la restauración, se utilizaron un fondo de cerámica negra y otro de cerámica blanca, con valores CIE $L^* = 29,9 / a^* = -0,7 / b^* = -2,2$ y $L^* = 95,5 / a^* = -0,4 / b^* = 2,3$, respectivamente, bajo una luz estandarizada D65.

Además, las fotografías fueron realizadas mediante un dispositivo de disparo remoto para evitar movimientos de la cámara, y se realizaron dos disparos en cada muestra, para realizar la media de los datos obtenidos de cada una de ellas, y descartar posibles variaciones intrínsecas de la cámara, aumentando así la precisión de los datos.

Calibración de la cámara

En primer lugar se reprodujeron las condiciones en las que se iban a tomar las fotografías, y se realizó un balance de blancos con una ficha de gris 18% (ColorChecker® Gray Scale Balance Card, X-Rite, Inc., Grand Rapids (MI), Estados Unidos), modificando la velocidad de obturación, la apertura del diafragma y la sensibilidad debidamente, para conseguir un buen nivel de exposición. Los parámetros establecidos fueron, 1/8 s de velocidad de obturación, F11 de apertura de diafragma y ISO 100 de sensibilidad.

Posteriormente, se realizó un perfil informático de la cámara. Este procedimiento consiste en la evaluación de los errores en la captura del color que presenta una cámara en unas condiciones concretas, determinando que modificaciones deben sufrir las fotografías para adecuarse a la realidad, siendo estas modificaciones el llamado perfil. Para ello, se realizó una fotografía a una ficha de colores estandarizados (ColorChecker® Passport™, X-Rite, Inc., Grand Rapids (MI), Estados Unidos) a partir de la cual un software específico (DNG

Profile Editor[®], versión 1.0.0.46 beta, Adobe Systems Software Ireland Ltd.) comparó los valores de RGB obtenidos en distintos colores de dicha ficha, con los valores conocidos que deberían haber tenido. De esta forma, se creó un perfil que al aplicarse a las fotografías realizadas, modificó los valores de RGB, y paralelamente del CIE Lab, acercándolos a la realidad.

Finalmente, se valoró la exactitud de la técnica, realizando una nueva fotografía de la ficha de colores y comprobando que los valores de color obtenidos tras aplicar el perfil, correspondían con los valores que la ficha debía tener.

Lectura del color

Para la evaluación del color de las muestras, se analizaron las fotografías en formato RAW con el programa Adobe Photoshop[™] CS6 (Adobe Systems Software Ireland Ltd.), obteniendo de cada una de ellas sus valores expresados en parámetros CIE Lab (Commission International de l'Eclairage, L*, a* y b*). Donde L* representa la luminosidad, siendo 0 el negro y 100 el blanco; a* el eje rojo-verde, siendo los valores positivos los rojos y los negativos los verdes; y b* el eje amarillo-azul, siendo los valores positivos los amarillos y los negativos los azules.

Para que los valores obtenidos fueran representativos de cada muestra, se eligió la opción de medición de color en el que el programa hace un promedio de los valores de los píxeles contenidos en un área de 51 píxeles x 51 píxeles, seleccionando los de la zona central de cada muestra.

Análisis estadístico

Dado que nuestro estudio solo se centra en las variaciones de luminosidad, el análisis estadístico únicamente se realizó con los valores CIE de L*, comparándolos según la tonalidad del composite translúcido, su espesor, y el color de fondo. De tal forma que constamos de 4 variables de estudio, que se clasifican de la siguiente forma:

- Variables independientes:
 - Tonalidad del composite translúcido (Cualitativa de escala ordinal)
 - Espesor de composite translúcido (Cualitativa de escala ordinal)
 - Color de fondo (Cualitativa dicotómica)

- Variable dependientes:
 - Luminosidad de la estratificación (Cuantitativa continua)

Para valorar el efecto del color de fondo en cuanto a la luminosidad observada en los discos estratificados con diferentes tonalidades y espesores de composite translúcido, se realizaron varios test T de *Student*, test paramétrico para 2 muestras independientes. En primer lugar, se realizó entre los valores de luminosidad obtenidos de los discos de base de composite opaco, comprobando así si esta base era capaz de neutralizar el fondo; y, seguidamente, se realizaron entre los demás combinaciones, para valorar si estas diferencias seguían siendo evidentes a medida que aumentábamos el grosor de composite translúcido.

En cuanto a la determinación del efecto de las diferentes tonalidades de composite translúcido, así como de sus espesores, para alterar la luminosidad de los discos; se realizaron dos test de Kruskal Wallis independientes para cada variable, separando también los resultados obtenidos con el fondo blanco y el negro. Siendo este test de carácter no paramétrico para más de 2 muestras independientes, necesitamos de un test *a posteriori* para discernir entre que grupos se encontraban las posibles diferencias. En este caso, se utilizó la T de *Student*, comparando los grupos de dos en dos de forma triangular.

Por otro lado, se realizó un estudio de regresión, para valorar la fuerza de la relación entre las variables independientes (tonalidad de composite translúcido, espesor de composite translúcido y color de fondo) y la variable dependiente (luminosidad de la estratificación).

Para los distintos test estadísticos se estableció una significación del 95%, y se llevaron a cabo mediante el programa IBM SPSS Statistics 22.0 (IBM Corp).

Resultados

Los valores promedio CIELab, y sus desviaciones estándar, de cada combinación de composite según la tonalidad (O3; O3+TL; O3+TN; y O3+TD) y el espesor de composite translúcido (0; 0,5; 2; y 4 mm) se exponen en la Tabla 2 y 3 separando los valores obtenidos sobre fondo blanco y negro.

Tabla 2. Valores promedio CIELab de las diferentes combinaciones de composite sobre fondo blanco				
Composite	Espesor T	L*	a*	b*
O3	0 mm	81,50 (0,50)	6,00 (0,00)	20,17 (0,76)
O3 + TL	0,5 mm	78,17 (0,29)	4,00 (0,00)	17,67 (0,58)
	2 mm	80,00 (0,50)	1,00 (0,00)	11,18 (0,29)
	4 mm	81,67 (0,58)	-1,00 (0,00)	11,50 (0,50)
O3 + TN	0,5 mm	78,00 (0,00)	5,00 (0,00)	22,00 (0,00)
	2 mm	77,33 (0,58)	4,83 (0,29)	22,83 (0,29)
	4 mm	77,33 (0,58)	4,17 (0,29)	22,17 (0,76)
O3 + TD	0,5 mm	81,33 (0,58)	7,00 (0,00)	21,00 (1,00)
	2 mm	78,17 (0,76)	8,00 (0,00)	28,5 (0,50)
	4 mm	76,67 (0,58)	8,00 (0,00)	28,00 (0,00)

Tabla 3. Valores promedio CIELab de las diferentes combinaciones de composite sobre fondo negro				
Composite	Espesor T	L*	a*	b*
O3	0 mm	78,17 (0,29)	2,68 (0,58)	16,33 (0,58)
O3 + TL	0,5 mm	74,67 (0,58)	0,00 (0,00)	13,00 (0,50)
	2 mm	76,83 (0,29)	-1,33 (0,58)	8,17 (0,29)
	4 mm	77,50 (0,50)	-3,00 (0,00)	8,17 (0,29)
O3 + TN	0,5 mm	73,83 (0,29)	2,00 (0,00)	17,33 (0,58)
	2 mm	73,00 (0,00)	2,00 (0,00)	18,33 (0,58)
	4 mm	72,50 (0,58)	2,00 (0,00)	17,67 (0,58)
O3 + TD	0,5 mm	78,33 (0,58)	4,00 (0,00)	17,67 (0,58)
	2 mm	74,83 (0,29)	5,00 (0,00)	24,83 (0,76)
	4 mm	72,83 (0,29)	4,67 (0,58)	24,00 (1,00)

Se observó que el color de fondo modificaba significativamente ($p < 0,05$) la luminosidad de la base de 2 mm de composite opaco. Estos valores, aumentaban de 78,17 (0,29), sobre fondo negro, a 81,50 (0,50), sobre el fondo blanco, dando una coloración más cercana al blanco cuando se utilizaba el mismo fondo. Esta variación de la luminosidad observada en la base de composite opaco repercutió en la luminosidad observada en las diversas estratificaciones, de tal forma que presentaron también diferencias estadísticamente significativas entre su utilización sobre fondo blanco y negro ($p < 0,05$).

En cuanto a la luminosidad observada en los diferentes espesores comparando las tres tonalidades de resina compuesta translúcida disponible, en fondo blanco, se observó que, utilizando 0,5 mm de composite translúcido, se disminuía la luminosidad de una forma significativamente mayor con los composites TN y TL, respecto al TD ($p < 0,05$). No obstante, las diferencias entre estos dos composites no eran significativas ($p = 0,425$)(Figura 3).

En fondo negro, los valores de luminosidad observados utilizando 0,5 mm de espesor de resina translúcida, seguían un patrón similar, pero con valores de una magnitud más baja. De tal forma que se disminuía la luminosidad de una forma significativamente mayor con los composites TN y TL, respecto al TD ($p < 0,05$), pero las diferencias entre estos dos composites seguían sin ser significativas ($p = 0,089$)(Figura 4).

Utilizando un espesor de 2 mm de composite translúcido, en fondo blanco, mientras el composite TD disminuyó la luminosidad, el composite TL la aumentó, observándose valores, estadísticamente significativos, más altos con TL que con TN y TD ($p < 0,05$). En este caso, eran las diferencias entre TD y TN las que no fueron estadísticamente significativas ($p = 0,206$)(Figura 3).

En fondo negro, el composite TD y TL también invirtieron posiciones. Sin embargo, en este caso las diferencias entre las tres tonalidades fueron

significativas ($p < 0,05$), obteniendo valores de mayor luminosidad con el composite TL que con el TD, y mayor con el TD que con el TN (Figura 4).

Por otro lado, al superponer 4 mm de composite translúcido sobre la base de composite opaco, en fondo blanco, los valores de luminosidad del tono TL siguieron aumentando, observándose diferencias que seguían siendo estadísticamente significativas respecto a los tonos TN y TD ($p < 0,05$). La tonalidad TD, por otra parte, registró valores de luminosidad más bajos que la tonalidad TN, si bien estas diferencias no fueron significativas ($p = 0,230$) (Figura 3).

Sobre fondo negro, al utilizar capas de composite translúcido de 4 mm, la tonalidad TL volvía a obtener valores de luminosidad estadísticamente más altos respecto a TN y TD ($p < 0,05$), mientras que las diferencias entre estos dos no fueron significativas ($p = 0,374$), obteniéndose valores más altos con TD que con TN (Figura 4).

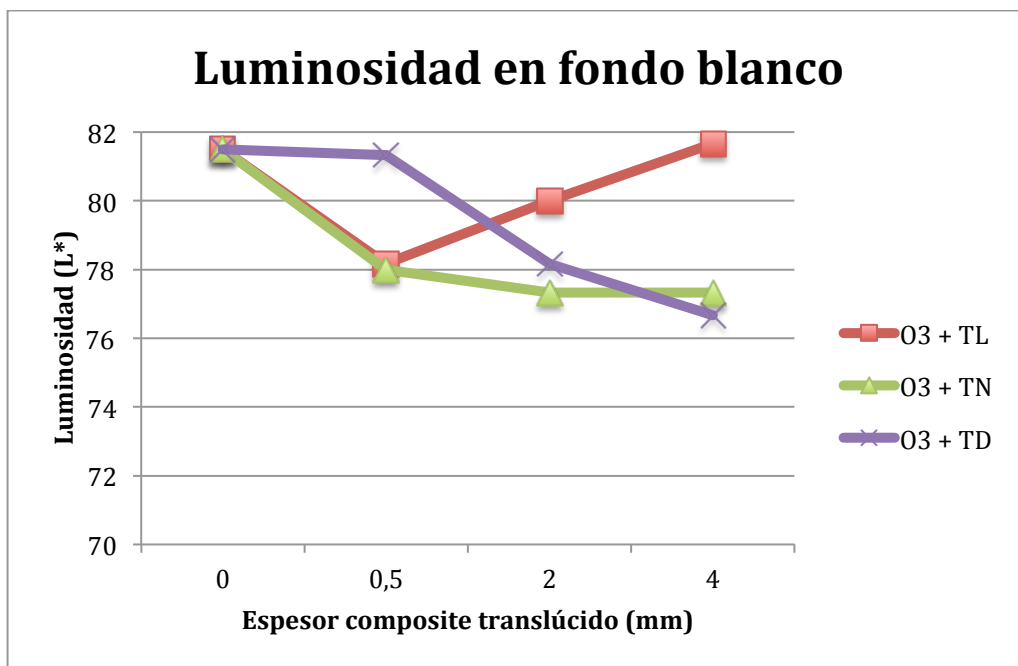


Figura 3. Gráfica de los valores de luminosidad obtenidos con las diferentes combinaciones de composite, medidos sobre fondo blanco, a medida que aumentamos su espesor.

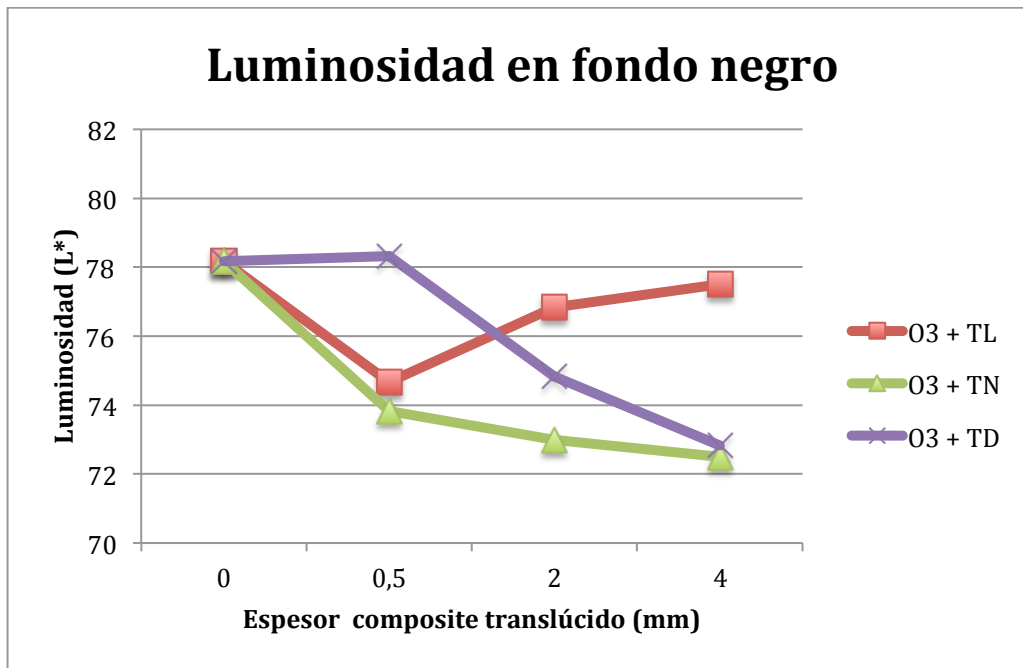


Figura 4. Gráfica de los valores de luminosidad obtenidos con las diferentes combinaciones de composite, medidos sobre fondo negro, a medida que aumentamos su espesor.

Analizando el comportamiento de las diferentes tonalidades de composite translúcido, en cuanto a luminosidad, a medida que aumentamos su grosor, se observaron diferentes patrones, que se repetían sobre fondo blanco y negro, pero no siempre obteniéndose las mismas diferencias estadísticamente significativas (Figura 5 y 6).

Por un lado, el composite TL produce una disminución de la luminosidad cuando es aplicado en una capa de 0,5 mm de espesor sobre la base de composite opaco y, a partir de este valor, la luminosidad va aumentando a medida que aumenta el espesor de esta capa. Sobre fondo blanco, fueron las diferencias entre los tres espesores estadísticamente significativas ($p < 0,05$) (Figura 5). No obstante, sobre fondo negro, solo fueron estadísticamente significativas las diferencias entre la utilización de 0,5 mm de espesor respecto a la utilización de 2 o 4 mm ($p < 0,05$), pero no lo fueron entre la utilización de estos dos últimos espesores ($p = 0,116$) (Figura 6).

En segundo lugar, utilizando 0,5 mm de composite TN, sobre fondo blanco, disminuye la luminosidad respecto a los valores observados con la base de

composite opaco, a partir de este valor, las variaciones de luminosidad que observamos al aumentar el espesor de esta capa no presentan diferencias estadísticamente significativas ($p(Kw)=0,202$).

Sobre fondo negro, el composite translúcido TN, sigue disminuyendo la luminosidad observada de forma gradual al incrementar su espesor. Se obtienen valores estadísticamente más altos con la utilización de 0,5 mm de espesor respecto a la utilización de 2 o 4 mm ($p<0,05$). Sin embargo, las diferencias de luminosidad entre la utilización de 2 y 4 mm, de composite translúcido, no son estadísticamente significativas ($p=0,158$)(Figura 6).

En tercer lugar, la luminosidad observada cuando superponemos estratos, de grosores progresivos, de composites TD al composite opaco, lo que observamos es una disminución escalonada de la luminosidad, partiendo de valores muy próximos a los observados con la base de 2 mm de composite opaco(Figura 5 y 6). En el caso del fondo blanco, las diferencias fueron significativas entre la utilización de 0,5 y 2 mm ($p<0,05$), y entre 0,5 y 4 mm ($p<0,05$), pero no entre la utilización de 2 y 4 mm ($p=0,053$). En el caso del fondo negro, las diferencias entre los tres espesores utilizados siempre fueron estadísticamente significativas ($p<0,05$).

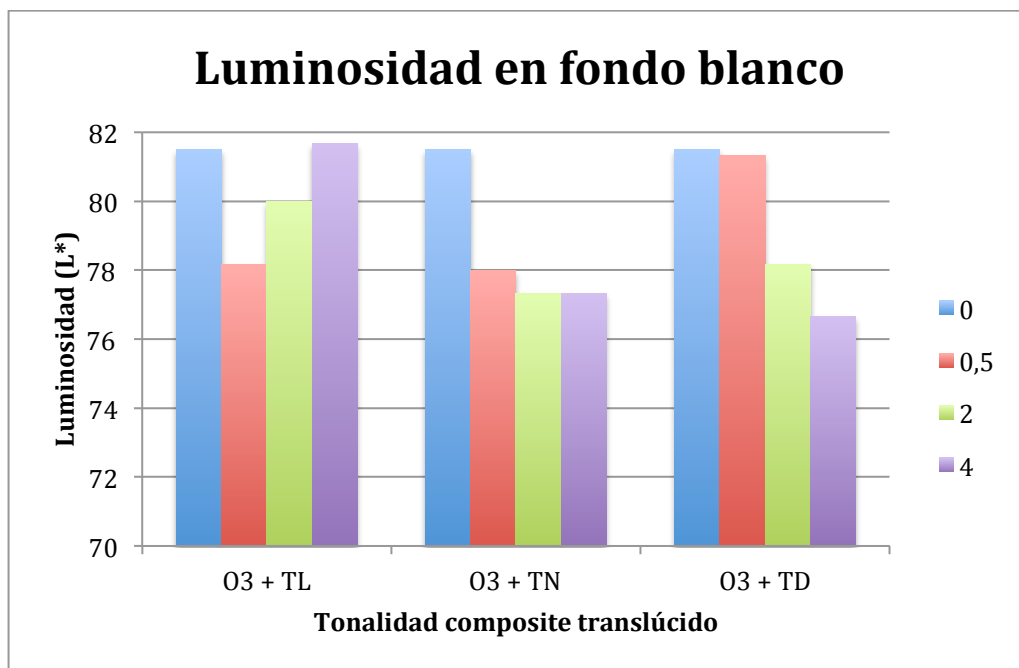


Figura 5. Gráfica de los valores de luminosidad obtenidos con diferentes espesores de composite translúcido, medidos sobre fondo blanco, utilizando las tres tonalidades disponibles.

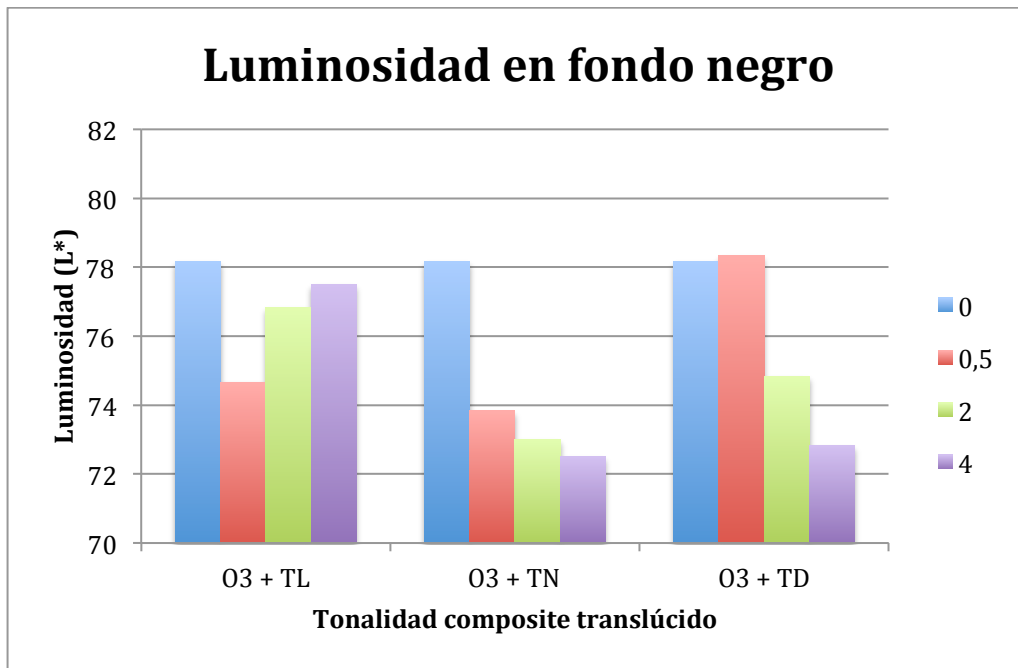


Figura 6. Gráfica de los valores de luminosidad obtenidos con diferentes espesores de composite translúcido, medidos sobre fondo negro, utilizando las tres tonalidades disponibles.

Finalmente, y de forma paralela, se realizó un análisis de regresión entre las diversas variables independientes (tonalidad del composite translúcido, espesor de composite translúcido y color de fondo) y la variable dependiente luminosidad. El resultado de dicho análisis manifestó una gran asociación entre estas tres variables y los valores de luminosidad observados en la estratificación final. El valor de regresión obtenido fue $R^2=0,637$; estableciendo, cualquier valor $R^2>0,3$, una excelente relación entre las variables.

Discusión

Al realizar una restauración en el sector anterior, hay que tener varios factores en cuenta para obtener un resultado estético comparable al de un diente natural. Para que una restauración se mimetice con los dientes adyacentes, a parte de su forma, es de gran importancia su coloración, y en particular su luminosidad. Esta propiedad cobra gran importancia, ya que el ojo humano tiene mayor capacidad de distinguir discrepancias en ella, que en el tono y la saturación. (Kim SJ, 2009)

En este estudio, hemos observado que la luminosidad de una restauración estratificada está fuertemente ligada a la capa de resina translúcida que utilizamos, en concreto a su tonalidad y su espesor, además de al color de fondo sobre el cual trabajemos, observándose valores de regresión muy determinantes ($R^2=0,637$). Por lo tanto, ante un diente a restaurar, hay que considerar qué valor de luminosidad debería tener, y como lo podemos conseguir, según el espacio vestíbulo lingual del que disponemos, y el fondo de esta restauración.

Estos hallazgos coinciden, en parte, con los de Kamishima N. y cols. (2005), quienes concluyeron que el color de las resinas compuestas translúcidas se ve afectada por el cambio de su espesor de una forma mayor que las resinas más opacas. Por lo cual, pequeñas variaciones en el composite translúcido, tanto en su espesor como tonalidad, pueden tener un efecto importante en el color de la restauración estratificada. Por otra parte, Friebel M. y cols. (2012) también concluyeron que el color observado de una restauración era resultado del espesor de las distintas capas de la estratificación y la translucidez de dichas capas.

En cuanto al fondo, ha demostrado ser un factor determinante para la luminosidad de la restauración. Los valores de luminosidad observados cuando el fondo sobre el cual disponíamos las muestras era blanco eran de un rango mayor a las que observados sobre el fondo negro, de tal forma que los valores más altos solo se podían alcanzar cuando disponíamos de un fondo blanco, y los más bajos solo se podían conseguir cuando disponíamos de un fondo negro. Estos resultados coinciden con otros autores que, trabajando con espesores de 1 mm (Al-Jazairy YH, 2005),(Knispel G, 1991), 2 mm (Al-Jazairy YH, 2005),(Lee YK, 2005),(Ikeda T, 2005) o 4 mm de resina compuesta (Kim SJ, 2009), también concluyeron que el color de fondo afecta al color final de una restauración de composite.

Coincidiendo con nuestros resultados, Ikeda T. y cols. (2005), al estudiar dos sistemas de composite en opacidades "body" y dentina en muestras de 2 mm, observan valores siempre mayores de luminosidad en fondo blanco en comparación con el fondo negro. Sin embargo, detectaron que el efecto del fondo era más marcado en las muestras de resina "body" que en las de mayor opacidad.

Por otro lado, estos autores también observaron que sobre fondo negro, no solo se producía una disminución de la luminosidad, sino también de los valores cromáticos CIE a^* y b^* , que produciría la coloración grisácea característica en las restauraciones tipo III y IV, donde se ha perdido todo el grosor vestibulo-lingual.(Ikeda T, 2005)

A nivel clínico nunca disponemos de unos fondos totalmente blancos o negros. Sin embargo, los datos en fondo negro, se pueden relacionar con aquellas restauraciones clase III y IV, en las que se ha perdido todo el grosor vestibulo-lingual en una zona del diente, y por lo tanto el fondo de la restauración sería la parte posterior de la cavidad oral, zona donde prácticamente no llega luz. Siendo, además, respaldado por los hallazgos de Ardu S. y cols (2013), quienes realizaron un estudio *in vivo* donde comparaban los valores CIELab obtenidos con un espectrofotómetro para la medición del color de un diente, mediante la utilización de un fondo negro, uno blanco, uno gris 50% y sin la utilización de ningún fondo; obteniendo los resultados más semejantes, a la medición sin fondo, cuando utilizaban el fondo negro y, por tanto, recomendándolo para la realización de estudios *in vitro*.

Los hallazgos de Ardu S. y cols. (2013) también coinciden con los de Lee YK. y cols. (2005) quienes también estudiaron el efecto del color de fondo en el color final de la una restauración, utilizando 5 sistemas de composite comerciales en un mismo color y espesor, comparando un fondo blanco con lo que ellos llamaron "light trap" (trampa de luz), tratándose de un fondo negro que además era antireflectante. Los resultados que obtuvieron manifestaron una mayor variabilidad en la luminosidad sobre fondo blanco que sobre fondo negro. De tal forma que concluyeron que era más adecuado utilizar el fondo negro antireflectante para investigaciones *in vitro*, ya que este elimina la reflexión de la luz, reduciendo las interacciones que produce el fondo sobre el color observado.

Contradiendo los hallazgos de los autores mencionados,(Ardu S, 2013),(Lee YK, 2005) quienes descartaban totalmente la utilización de un fondo blanco para la medición del color en estudios *in vitro*, nosotros elegimos utilizar

también este fondo ya que lo relacionamos a aquellos casos en los que el diente, por su coloración muy oscura, necesita de un enmascaramiento con resina de alta opacidad o "opaquer". En estos casos, la base sobre la que se realiza la estratificación de composite tendría una coloración muy blanquecina a la vez que opaca.

Además, otros autores como Villarroel M. y cols. (2011), al comparar distintos fondos, concluyeron que el de color blanco era la mejor opción para visualizar el aspecto que tendría la restauración final. Su razonamiento se basaba en que el color blanco intensifica la saturación y el valor, compensando cualquier pequeña falta que pudiese haber en el croma. Asimismo, también mencionaban que las resinas translucidas, son más sensibles a los fondos blancos que las resinas opacas, puesto que al potenciarse el valor y la saturación, sus diferencias se hacen más evidentes, de tal manera que se pueden estudiar mejor sobre este fondo.

Por otro lado, Kim SJ. y cols. (2009), utilizaron otra metodología más elaborada para extrapolar los datos de la investigación *in vitro* a la clínica. En este caso, los fondos que utilizaron fueron tres: cerámica negra, porcelana C4 y resina opaca del mismo color que la utilizada como material de estudio en cada caso. De tal modo que consideraron que para simular el efecto de fondo de la cavidad oral, debían considerar valores intermedios entre los obtenidos sobre fondo negro y el de resina opaca; y para simular el efecto que tendría la restauración al realizarse sobre un diente teñido, los valores a considerar eran intermedios entre los obtenidos sobre el fondo de porcelana C4, siendo este el color más oscuro de la guía Vita, y la resina opaca. No obstante, esta metodología sigue siendo muy inexacta, no solo por la dificultad en la estandarización de los fondos, pero también en establecer qué valores intermedios serían los que corresponderían a cada caso clínico, de encontrarse diferencias muy amplias entre los distintos fondos.

Al comparar diferentes tonalidades de composite translúcido, utilizándose en los mismos espesores, se han observado comportamientos distintos, en cuanto a la luminosidad, según el espesor en que se utilizaban.

En ambos fondos, al utilizar 0,5 mm de composite translúcido, se observaba mayor luminosidad con la tonalidad más intensa (TD). Estos resultados coinciden en cierta medida con los encontrados por Knispel G y cols. (1991), quienes observaron que la luminosidad aumentaba conforme los colores eran más intensos. Sin embargo, en nuestro estudio no observamos diferencias estadísticamente significativas entre la tonalidad de intensidad media (TN), y la de menor intensidad (TL).

Sin embargo, estos resultados difieren de los encontrados por otros autores como Friebel M. y cols. (2012) quienes, al estudiar los dos sistemas de composite Artemis (Ivoclar Vivadent AG) y Herculite XRV (KerrHawe) en diferentes tonalidades y opacidades, observaron que la luminosidad disminuía a medida que aumentaba la intensidad del tono, al pasar de A2 a A4. No obstante, excepcionalmente encontraron valores mayores de luminosidad en el composite esmalte EA3 de Herculite XRV que en el EA2.

Del mismo modo, Vichi A. y cols. (2007), al estudiar el sistema de composites Point 4 (Kerr Co.), observaron distintos comportamientos de modificación del color en las tres tonalidades de composite translúcido disponible (T1, T2 y T3, ordenados en intensidades crecientes) al aumentar su espesor. Pero, una vez más, observaron menores niveles de luminosidad cuando utilizaban composites translúcidos de mayor intensidad.

Por otro lado, cuando utilizábamos grosores mayores de composite translúcido, los valores más altos de luminosidad, en ambos fondos, se observaban con el composite TL, el de menor intensidad, contradiciendo los resultados obtenidos por Knispel G. y cols. (1991), pero corroborando los obtenidos por Friebel M. y cols. (2012). Mientras que las diferencias entre el de mayor intensidad (TD) y el de intensidad media (TN) solo fueron estadísticamente significativas utilizándose en espesores de 2 mm sobre fondo negro; siendo los valores más bajos para el de intensidad media (TN).

Una posible razón por la cual los patrones de luminosidad de las diferentes tonalidades no sea constante en los distintos espesores estudiados puede ser que se valgan de variaciones de un rango mayor en el croma, es decir, los valores a^* y b^* , para conseguir mayor o menor intensidad en su color. Esto coincidiría con los datos obtenidos por Vichi A. y cols. (2007), quienes, a parte de las variaciones en la luminosidad, observaron que parte del cambio de color entre las diferentes tonalidades de composite translúcido era debido a los valores cromáticos a^* y b^* , en especial en el composite T2 debido a un aumento marcado de los valores CIE b^* .

En cuanto al efecto sobre la luminosidad del espesor de composite translúcido, utilizando la misma tonalidad, se han observado similares a los que indica el fabricante.

El composite TL, aumentaba la luminosidad de la estratificación a medida que aumenta su espesor. Si bien, sobre fondo negro, las diferencias entre utilizar 2 y 4 mm de espesor, de este composite, ya no eran estadísticamente significativas, como sí lo eran sobre fondo blanco.

El composite TN, disminuía ligeramente la luminosidad de la estratificación a medida que aumentaba su espesor. No obstante, estas variaciones no eran estadísticamente significativas cuando se trabajaba sobre fondo blanco. Sobre fondo negro, solo se observaba una disminución de la luminosidad al pasar de 0,5 a 2 mm de espesor; las diferencias entre la utilización de 2 o 4 mm de espesor no fueron estadísticamente significativas.

El composite TD, disminuía de una forma marcada la luminosidad de la estratificación a medida que aumentaba su espesor. Sin embargo, sobre fondo blanco, las diferencias entre utilizar 2 y 4 mm de espesor, de este composite, no eran estadísticamente significativas, como sí lo eran sobre fondo negro.

Es decir, tal como indica el fabricante, el composite TL, aclara la restauración a medida que aumenta su espesor; el TN, prácticamente no varía su

luminosidad al aumentar su espesor; y TD, oscurece la restauración a medida que aumenta su espesor.

Estos resultados difieren con los encontrados por otros autores, quienes observan una relación inversa entre el espesor del composite utilizado y la luminosidad observada, independientemente de la tonalidad utilizada.(Al-Jazairy YH, 2005),(Schemeling M, 2010) Sin embargo, esto parece ser debido a la filosofía del sistema de composites que utilizamos, que ha sido especialmente diseñado con el propósito que el composite translúcido modifique el color conseguido con el composite opaco, aclarando, manteniendo, o oscureciendo el color en la estratificación final.

Otros autores, por otro lado, atribuyen las variaciones de luminosidad al aumentar el espesor a la pérdida de translucidez, y por tanto menor efecto del fondo. En estos casos, solo observan una pérdida de luminosidad al aumentar el espesor cuando se trabaja sobre fondo blanco. Sobre fondo negro observan un aumento de la luminosidad al incrementar el espesor del composite, en especial si se trata de translúcido.(Arimoto A, 2010),(Powers JM, 1978)(Villarreal M, 2011)

No obstante, en nuestro estudio, mientras el fabricante indica que estas variaciones de luminosidad se producen respecto al color de base de composite opaco, hemos observado que el único de los composites translúcidos que se comporta de dicha forma es el TD. Contrariamente, los composites TL y TN utilizados en espesores de 0,5 mm obtienen valores de luminosidad notablemente más bajos que el composite opaco, a partir de los cuales producen las modificaciones de luminosidad.

Sin embargo, comparando nuestros resultados con los de otros autores que realizaron un estudio parecido, observamos que lo excepcional es que el TD utilizado en espesor de 0,5 mm consiga valores de luminosidad equivalentes a los de la base de composite opaco.

Concretamente, Schemeling M. y cols. (2010), estudiando el sistema de composites 4 Seasons (Ivoclar), observaron que los tres composites de esmalte disponibles, llamados "Low value" (valor bajo), "Medium value" (valor medio) y "High value" (valor alto), presentaban, respectivamente, valores de luminosidad creciente que, además, aumentaba, en las tres tonalidades, a medida que se incrementaba su espesor. No obstante, los valores de luminosidad siempre fueron menores a los obtenidos cuando solo utilizaban la base de composite dentina. Esto lo atribuyeron a la dispersión de la energía lumínica inherente a los objetos translúcidos, en este caso la resina de esmalte, por la cual la energía que este cuerpo recibe se refleja de forma difusa en todas las direcciones, siendo únicamente una fracción de esta captada por el receptor de luz, en nuestro caso la cámara digital.

Kamishima N. y cols. (2006), por otro lado, estudiaron dos sistemas de composite diferentes en los que observaron comportamientos en cuanto a la luminosidad también diferentes. En sus estudio utilizaron una base de 3mm de composite dentina y 2 mm de composite cuerpo, y sobre este superponían diferentes espesores de composite esmalte, siendo el objeto de estudio su efecto en el color final. En el caso de Filtek Supreme (3M), observaron los mismos niveles de luminosidad entre la base de composite opaco y cuerpo, y la estratificación con 4 mm de composite translúcido; considerando este el grosor a partir del cual no había efecto del fondo. No obstante, en el caso de Gradia Direct (GC) observaron mayor luminosidad en la base de composite opaco y cuerpo que cuando se superponía la capa de composite translúcido.

Otros autores no trabajaron con composites estratificados, sino que estudiaron las propiedades de las diferentes opacidades de composite por separado para poder entender como actúan las diferentes capas en la modificación final del color en diferentes sistemas de composite.

Kamishima N. y cols. (2005), en un estudio realizado antes del ya mencionado, trabajaron con las tres opacidades de composite disponibles (esmalte, cuerpo y opaco) en el sistema Filtek Supreme (3M) y Gradia Direct (GC),

en espesores crecientes de 0,5 mm a 4 mm. Los resultados que obtuvieron indicaron mayores niveles de luminosidad en los composites opacos, que los observados con composites cuerpo y esmalte, independientemente de la marca comercial y del color de fondo que utilizaban.

Ikeda T y cols. (2005), estudiaron resinas compuestas con diferentes opacidades de tres marcas comerciales distintas, dos de ellas introducidas en el mercado en los últimos años (Filtek Supreme, 3M; Solare, GC) y una que llevaba años en el mercado (Charisma, Heraeus-Kulzer). En los dos sistemas de composites más innovadores observaron mayor luminosidad en los composites más opacos respecto a sus equivalentes, en tonalidad, de mayor translucidez; tanto en fondo blanco como en negro. En la marca comercial más antigua no observaron diferencias significativas entre la luminosidad de los composites opacos respecto los translúcidos.

Friebel M. y cols. (2012), también estudiaron las características de color de diferentes tonalidades y opacidades en dos sistemas de composite, en este caso Artemis (Ivoclar Vivadent AG) y Herculite XRV (KerrHawe); y observaron, una vez más, que las resinas dentina siempre presentaban valores de luminosidad por encima de las de esmalte, a excepción de una de las dentinas de Herculite XRV, que era menos luminosa que su equivalente en esmalte y la de una tonalidad menor.

Teniendo todos estos hallazgos en mente, nos hacen pensar que posiblemente el composite TD que utilizamos en nuestra investigación no presente la misma translucidez que TL y TN, sino que sea más opaco. Esto explicaría por qué al utilizarse en espesores de 0,5 presenta valores de luminosidad estadísticamente iguales a los obtenidos con la base de composite opaco sola. Y a partir de este valor, al incrementar su espesor disminuiría la luminosidad de la estratificación tal como indica el fabricante.

Aunque no hay una explicación clara de estas relación entre las resinas de diferentes opacidades y los niveles de luminosidad, una posible causa sería la reflexión de mayor cantidad de luz de la superficie y del interior de los composites más opacos, dando mayor luminosidad.(Ikeda T, 2005) En cambio, en el caso de los

composites translucidos se produciría la dispersión de la energía lumínica inherente en todos los cuerpos translúcidos, por la cual la luz se refleja de forma difusa en todas las direcciones, siendo únicamente una fracción de esta captada por el receptor de luz, en nuestro caso la cámara digital.(Schemeling M, 2010)

Por otro lado, también hay que tener en cuenta la influencia en la luminosidad de realizar una restauración con diferentes capas de composite, como en las técnicas de estratificación, en comparación con la realización de restauraciones en bloque. Horie K. y cols. (2012), dedicaron un estudio a investigar este fenómeno, utilizando tres sistemas de composite distintos(Estelite Σ , Tokuyama Dental; Beautifil II, Shofu; y Clearfil Majesty, Kuraray Medical) y distintas opacidades (opaco y cuerpo). Los resultados que obtuvieron determinaron una menor difusión de la luz a través de la restauración cuando esta está estratificada, produciendo una disminución de la luminosidad final en comparación con realizar una restauración en bloque.

Este fenómeno explicaría de forma paralela por qué al superponer 0,5 mm de los composites translúcidos TL y TN, se produce una disminución tan marcada de la luminosidad, respecto a la utilización únicamente del composite opaco de base. Además, observaron que este comportamiento era más marcado cuando se utilizaban espesores de pequeña magnitud que al aumentar el espesor del último estrato, y también era más pronunciado en el caso de las resinas translúcidas, ya que las resinas opacas incluso en bloque permitían una menor difusión de la luz, resultando en diferencias menos importantes al compararlas con el hecho de estratificarlas.(Horie K, 2012)

Sin embargo, aunque no observaron grandes variaciones en el color final (ΔE) debido a este fenómeno, concluyeron que al realizar múltiples capas la restauración final puede perder luminosidad progresivamente, resultando en un color distinto al que buscábamos. No obstante, también plantean la posibilidad de utilizar este fenómeno en nuestro beneficio, ante la necesidad de enmascarar un color de fondo, ya que al realizar más estratos, llegaría menos luz al fondo, disminuyéndose su influencia en el color final de la restauración (Horie K, 2012)

Finalmente, tras analizar los resultados obtenidos, cabe destacar las limitaciones de nuestro estudio. En primer lugar, los espesores de composite translúcido utilizados en este estudio no son equivalentes a los utilizados en clínica para una restauración de composite estratificada. Siendo el grosor del esmalte en la mitad de la altura de la corona de un diente natural anterosuperior de 1 mm de media, y el de la dentina de 1,5 mm de media, normalmente se utilizarían espesores parecidos de composite para sustituir cada tejido.(Da Costa J, 2010) De tal forma que, ciñéndonos a estos valores y escogiendo intervalos más pequeños, de 0,3-0,5 mm de composite translucido, hubiésemos encontrado resultado más fácilmente aplicables a nivel clínico y que nos ayudarían a predecir la luminosidad final, a la vez que descartaríamos aquellas modificaciones de luminosidad que suceden con mayores espesores y cuyas explicaciones no son claras.

Por otro lado, nuestra elección de utilizar hasta 4 mm de composite translúcido se basó en el estudio de Kamishima N. (2005), donde consideraron que este espesor correspondía a el espesor óptico infinito teórico, es decir, el espesor a partir del cual el color de fondo dejaba de tener influencia en el color observado, y este era el intrínseco del material a estudiar. De tal forma que así podíamos observar el efecto de utilizar cada composite translúcido de una forma magnificada y sin influencias por el color de fondo. Sin embargo, nuestros resultados han manifestado que para el material estudiado, el espesor óptico infinito teórico es mayor al esperado, encontrándose diferencias en el color por efecto del fondo incluso cuando utilizábamos 4 mm de composite. Esto se correspondería con los hallazgos de otros autores como Miyagawa Y. y cols. (1981), quienes determinaron el espesor óptico infinito teórico del composite entre 4,19 mm y 6,7 mm, o Li R. y cols. (2012), quienes concluyeron que tenía valores muchos mayores, entre 10,4 mm y 22,61 mm.

En segundo lugar, Li R. y cols. (2012) también mencionaron que a parte de las propiedades ópticas intrínsecas de los materiales, que son las que afectan en mayor proporción al color de la restauración, la existencia de otros factores extrínsecos que también lo modifican de manera más sutil, como son la curvatura de la superficie del diente y su textura. Por este motivo, en su estudio no utilizaron

muestras en forma de disco, sino que utilizaron dientes naturales para efectuar moldes de dientes anteriores sobre los cuales realizaron las distintas estratificaciones. Este es un procedimiento sencillo que permitiría una mejor extrapolación de los datos del estudio a la clínica, dando mayor validez externa al estudio.

En tercer lugar, cabe mencionar que nosotros realizamos los discos estratificados, tal como se harían para realizar una restauración en clínica, es decir, creando una unión química entre los diferentes estratos. Si bien, Da Costa J. y cols. (2010), realizaron un estudio piloto donde comparaban el efecto en el color entre realizar muestras estratificándolas, o simplemente apilando discos de composite esmalte sobre discos de composite dentina. En dicho estudio, no observaron diferencias significativas entre las técnicas y, por lo tanto, consideraron más adecuado apilar los discos una vez polimerizados, no solo siendo una técnica más fácil, sino que además permite utilizar los mismos discos para distintas combinaciones, ahorrando así material.

Por otro lado, aunque las disparidades en la luminosidad de una restauración sean las más evidentes al ojo humano, el análisis de las variables tinte y saturación, mediante los descriptivos CIE a^* y b^* , hubiese ayudado en la explicación de los resultados obtenidos. Puesto que, muestras con valores muy parecidos de luminosidad (L^*), con diferencias muy acusadas en a^* y b^* , resultarían igualmente muy dispares a la visión humana, haciendo necesaria la modificación de dicha estratificación.

Para terminar, puesto que con la realización de este estudio hemos observado un comportamiento inesperado de las resinas compuestas de esta marca comercial, Amaris®, sería de especial interés seguir analizándola en estudios consecutivos. La línea de investigación a seguir incluiría, en primer lugar, distintas tonalidades de composite opaco y, en segundo lugar, discos de diferentes espesores de una sola opacidad, opacos por un lado, y translúcidos por el otro. De esta forma, podríamos observar sus comportamientos de forma individual, a la vez que analizar como se modifican al utilizarlos de forma estratificada.

Conclusiones

Tras la realización del presente estudio, las conclusiones a las cuales se ha llegado son las siguientes:

- La luminosidad de una restauración se ve estrechamente ligada al espesor y tonalidad del composite translúcido utilizado.
- La luminosidad de una restauración se ve estrechamente ligada al color de fondo, ya sea blanco o negro.
- Aplicados sobre un fondo blanco se obtiene un incremento de los valores de luminosidad en espesores de hasta 4 mm composite translúcido sobre una base de 2 mm de composite opaco.
- Aplicados sobre un fondo negro se obtiene una disminución de los valores de luminosidad en espesores de hasta 4 mm composite translúcido sobre una base de 2 mm de composite opaco.
- El espesor del composite translúcido modifica de forma distinta la luminosidad en los distintas tonalidades de este composite.
- El composite TL incrementa la luminosidad a medida que aumenta su espesor.
- El composite TN prácticamente no modifica la luminosidad de la restauración a medida que aumenta su espesor.
- El composite TD reduce la luminosidad a medida que aumenta su espesor.

Referencias bibliográficas

Ahmad I. Three-dimensional shade analysis: perspectives of color--Part I. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 1999;11(7):789-96.

Ahmad I. Three-dimensional shade analysis: perspectives of color--Part II. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 2000;12(6):557-64.

Al-Jazairy YH, El-Hejazi AA. The color differences between different thicknesses of resin veneered over amalgam. *J Contemp Dent Pract* 2005; 6(4):38-45.

Analoui M, Papkosta E, Cochran M, Matis B. Designing visually optimal shade guides. *J Prosthet Dent* 2004;92(4):371-6.

Ardu S, Braut V, Di Bella E, Lefever D. Influence of background on natural tooth colour coordinates: an in vivo evaluation. *Odontology*. 2014 Jul;102(2):267-71. doi: 10.1007/s10266-013-0126-1.

Arikawa H, Kanie T, Fujii K, Takahashi H, Ban S. Effect of filler properties in composite resins on light transmittance characteristics and color. *Dent Mater J* 2007;26(1):38-44.

Arimoto A, Nakajima M, Hosaka K, Nishimura K, Ikeda M, Foxton RM, Tagami J. Translucency, opalescence and light transmission characteristics of light-cured resin composites. *Dent Mater* 2010;26(11):1090-7.

Azzopardi N, Moharamzadeh K, Wood DJ, Martin N, van Noort R. Effect of resin matrix composition on the translucency of experimental dental composite resins. *Dent Mater* 2009;25(12):1564-8.

Bayindir F, et al. Coverage error of gingival shade guide systems in measuring color of attached anterior gingiva. *J Prosthet Dent* 2009;101:46-53.

Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ. Update on dental composite restorations. J Am Dent Assoc 1994;125(6):687-701.

Bowen RL. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bis phenol and glycidyl acrylate. (US Patent 3,066,112), 1962.

Cal E, Sonugelen M, Guneri P, Kesercioglu A, Kose T. Application of a digital technique in evaluating the reliability of shade guides. J Oral Rehabil 2004;31:483-91.

Chen MH. Update on dental nanocomposites. J Dent Res 2010;89(6):549-60.

Chu SJ, Tarnow DP. Digital shade analysis and verification: A case report and discussion. Pract Proced Aesthet Dent 2001;13(2):129-136.

Chu SJ. Precision shade technology: Contemporary strategies in shade selection. Pract Proced Aesthet Dent 2002;14(1):79-83.

Chu SJ, et al. Dental color matching instruments and systems. Review of clinical and research aspects. J Dent 2010;38s:e2-e16.

Commission Internationale de l'Eclairage. International Lighting Vocabulary. N° 845-02-59, CIE 17.4; 1987.

Da Costa J, Fox P, Ferracane J. Comparison of various resin composite shades and layering technique with a shade guide. J Esthet Restor Dent 2010; 22(2): 114-124.

Devigus A. La medición digital del color en odontología. Quintessence (ed. esp.), 2004; 17(5): 281-286.

Dos Santos GB, Alto RV, Filho HR, da Silva EM, Fellows CE. Light transmission on dental resin composites. Dent Mater 2008;24:571-6.

Dozic A, Kleverlaan CJ, El-Zohairy A, Feilzer AJ, Khashayar G. Performance of five commercially available tooth color measuring devices. *J Prosthodont* 2007;16:93-100.

Echeverría JJ, Pumarola J. *Manual de odontología*. 2 ed. Barcelona: Editorial Elsevier Masson; 2008.

Emami N, Sjö Dahl M, Söderholm KJ. How filler properties, filler fraction, sample thickness and light source affect light attenuation in particulate filled resin composites. *Dent Mater* 2005; 21:721-730.

Fahl N Jr. Mastering Composite Artistry to Create Anterior Masterpieces - Part 1. *Journal of Cosmetic Dentistry* 2010: 56-68, Fall.

Ferracane JL. Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Biol Med*. 1995;6(4):302-18.

Ferracane JL. Resin composite-state of the art. *Dent Mater*. 2011 Jan;27(1):29-38. doi: 10.1016/j.dental.2010.10.020.

Fondriest J. Shade matching in restorative dentistry: the science and strategies. *Int J Periodont Restor Dent* 2003;23:467-79.

Friebel M, Pernell O, Cappius HJ, Helfmann J, Meinke MC. Simulation of color perception of layered dental composites using optical properties to evaluate the benefit of esthetic layer preparation technique. *Dent Mater*. 2012 Apr;28(4):424-32. doi: 10.1016/j.dental.2011.11.017.

Goldstein GR, Schmitt GW. Repeatability of a specially designed intraoral colorimeter. *J Prosthet Dent* 1993;69(6):616-9.

Haddad HJ, Jakstat HA, Arnetzl G, et al. Does gender and experience influence shade matching quality?. *J Dent* 2009;37 Suppl 1:e40-4.

Henostroza G. *Estética en Odontología restauradora*. 1ª Edición. Madrid: Ripano, 2006.

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:E215-20.

Horie K, Nakajima M, Hosaka K, Kainose K, Tanaka A, Foxton RM, Tagami J. Influences of composite-composite join on light transmission characteristics of layered resin composites. *Dent Mater* 2012;28(2):204-11.

Hugo B, Witzel T, Klaiber B. Comparison of in vivo visual and computer-aided tooth shade determination. *Clin Oral Invest* 2005;9(4):244-250.

Ikeda T, Murata Y, Sano H. Translucency of opaque-shade resin composites. *Am J Dent* 2004; 17: 127-130.

Ikeda T, Sidhu SK, Omata Y, Fujita M, Sano H. Colour and translucency of opaque-shades and body-shades of resin composites. *Eur J Oral Sci* 2005;113(2): 170-3.

Ishikawa-Nagai S, et al. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns. Part 1. Analysis and interpretation of tooth color. *J Esthet Restor Dent* 2010;22:42-52.

Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. *J Dent Res* 1989;68(5):819-22.

Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. *J Dent* 2004;32 Suppl 1:3-12.

Kamishima N, Ikeda T, Sano H. Color and translucency of resin composites for layering techniques. *Dent Mater J* 2005;24(3):428-32.

Kamishima N, Ikeda T, Sano H. Effect of enamel shades on color of layered resin composites. *Dent Mater J*. 2006 Mar;25(1):26-31.

Kim SJ, Son HH, Cho BH, Lee IB, Um CM. Translucency and masking ability of various opaque-shade composite resins. *J Dent* 2009;37(2):102-7.

Kina S, Bruguera A. Invisible: restauraciones estéticas cerámicas. 1ª Ed. Sao Paulo: Artes Medicas, 2008.

Knispel G. Factors affecting the process of color matching restorative materials to natural teeth. *Quintessence Int* 1991;22(7):525-31.

Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. *Color Res Appl* 1979;4:83-91.

Lee YK, Powers JM. Calculation of colour resulting from composite/compomer layering techniques. *J Oral Rehabil* 2004;31(11):1102-1108.

Lee YK, Lim BS, Kim CW. Difference in the colour and colour change of dental resin composites by the background. *J Oral Rehabil* 2005;32(3):227-33.

Li R, Ma X, Liang S, Sa Y, Jiang T, Wang Y. Optical properties of enamel and translucent composites by diffuse reflectance measurements. *J Dent* 2012;40 Suppl 1:e40-7.

Lim YK, Lee YK, Lim BS, Rhee SH, Yang HC. Influence of filler distribution on the color parameters of experimental resin composites. *Dent Mater* 2008;24:67-73.

Lu H, Lee YK, Villalta P, Powers JM, García-Godoy F. Influence of the amount of UV component in daylight simulator on the color of dental composite resins. *J Prosthet Dent* 2006;96(5): 322-327

Lutz F, Phillips RW. A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent* 1983;50(4):480-8.

Miller L. Organizing color in dentistry. *J Am Dent Assoc* 1987;115:26E-40E.

Miyagawa Y, Powers JM, O'Brien WJ. Optical properties of direct restorative materials. *J Dent Res* 1981;60(5):890-4.

Paravina RD. Evaluation of a newly developed shade matching apparatus. *Int J Prosthodont* 2002;15:528-34.

Paravina RD, Kimura M, Powers JM. Color compatibility of resin composites of identical shade designation. *Quintessence Int* 2006;37(9):713-719.

Paravina RD, Johnston WM, Powers JM. New shade guide for evaluation of tooth whitening-colorimetric study. *J Esthet Restor Dent* 2007;19:276-83. (a)

Paravina RD, Majkic G, Imai FH, Powers JM. Optimization of tooth color and shade guide design. *J Prosthodont* 2007;16:269-76. (b)

Paravina RD. Performance assessment of dental shade guides. *J Dent* 2009;37:e15-e20. (a)

Paravina RD. Critical appraisal. Color in dentistry: match me, match me not. *J Esthet Restor Dent* 2009;21:133-9. (b)

Paravina RD, O'Neill PN, Swift EJ Jr, Nathanson D, Goodacre CJ. Teaching of color in predoctoral and postdoctoral dental education in 2009. *J Dent* 2010;38 Suppl 2:e34-40.

Powers JM, Dennison JB, Lepeak PJ. Parameters that affect the color of direct restorative resins. *J Dent Res* 1978;57(9-10):876-80.

Ragain JC, Johnston WM. Color acceptance of direct dental restorative materials by human observers. *Color Res Appl* 2000;25:278-85.

Raygada J. La comunicación odontólogo-laboratorio como instrumento de la selección de color. En: Henostroza G, editor. *Operatoria Dental y Biomateriales* 2000. Lima; Asociación Peruana de Odontología Restauradora y Biomateriales; 2000. p. 124.

Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987;3(5):246-51.

Sakaguchi RL, Powers JM. *Craig's Restorative Dental Materials*. 13th edition. Philadelphia: Elsevier, 2012.

Schemeling M, Meyer-Filho A, de Andrada MA, Baratieri LN. Chromatic influence of value resin composites. *Oper Dent* 2010;35(1):44-9.

Seghi RR, Hewlet ER, Kim J. Visual and instrument colorimetric assessments of small color differences on translucent dental porcelain. *J Dent Res* 1989;68:1760-4.

Segura Egea JJ, Jiménez Rubio-Manzanares A, Valle Rodríguez M. *Fundamentos de colorimetría aplicados a la toma de color subjetiva en odontología*. Quintessence (ed. esp.) 1999;12(2): 75-83.

Smith RN, et al. The in vitro and in vivo validation of a mobile non-contact camera-based digital imaging system for tooth color measurement. *J Dent* 2008;36:15-20.

Swift EJ, Hammel S, Lund PS. Colorimetric evaluation of vita shade resin composites. *Int J Prosthodont* 1994;7(4):356-61.

Tashkandi E. Consistency in color parameters of a commonly used shade guide. *Saudi Dent J* 2010;22:7-11.

Terry DA. Application of nanotechnology. *Pract Proced Aesthet Dent* 2004;16(3):220-2.

Terry DA. Color matching: Part I – Subjective methods. *Pract Proced Aesthet Dent* 2005;17(5):347-348. (a)

Terry DA. Color matching: Part II – Objective method. *Pract Proced Aesthet Dent* 2005;17(6):401-402. (b)

Terry DA. Redefining the restorative concept. *Pract Proced Aesthet Dent*. 2006 Apr;18(3):161-2.

Vasudeva G. Monomer systems for dental composites and their future: a review. *J Calif Dent Assoc* 2009;37(6):389-98.

Vichi A, Fraioli A, Davidson CL, Ferrari M. Influence of thickness on color in multi-layering technique. *Dent Mater* 2007;23(12):1584-9.

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.

Wasson W, Shuman N. Color vision and dentistry. *Quintessence Int* 1992;23(5):349-353.

Wee AG, Lindsey DT, Kuo S, Johnston WM. Color accuracy of commercial digital cameras for use in dentistry. *Dent Mater* 2006;22:553-9.

Yoshida A, et al. Spectrophotometric analysis of tooth color reproduction on anterior all-ceramic crowns. Part 2. Color reproduction and its transfer from in vitro to in vivo. *J Esthet Restor Dent* 2010;22:53-63.