

QuickTime™ and a  
TIFF (sin comprimir) decompressor  
are needed to see this picture.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

QuickTime™ and a  
TIFF (sin comprimir) decompressor  
are needed to see this picture.

## FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

OBTENCIÓN DE TONOS BÁSICOS EN UNA RESINA  
COMPUESTA FOTOPOLIMERIZABLE EXPERIMENTAL,  
COMPROBANDO LA ESTABILIDAD DE COLOR, PROFUNDIDAD  
DE CURADO Y RADIO OPACIDAD.

T E S I S

TRABAJO TERMINAL ESCRITO DEL  
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR ALTO PROMEDIO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**CIRUJANO DENTISTA**

PRESENTA:

TUTOR: DR. FEDERICO BARCELÓ SANTANA  
ASESOR: DR. CARLOS ÁLVAREZ GAYOSSO



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

MÉXICO D.F  
2008

### **Dedicatorias**

A MIS PADRES

Por permitirme realizar un sueño, fruto de su amor, apoyo y sacrificio incondicionales.

A MI ABUE

Por su gran amor, preocupaciones y ayuda infinita.

A MI HERMANO

Por ser mi constante recordatorio de hacer las cosas bien para darle un buen ejemplo.

A MI MADRINA NENA

Por su cariño y apoyo, siempre.

A TODA MI FAMILIA

Por su amor sin límite e interés en mi desarrollo personal y profesional.

MEGUMI HIYAMA MATSUMOTO

Por su gran amistad, cariño y apoyo.

A MIS AMIGOS

Porque siempre estuvieron cuando los necesité.

## **Agradecimientos**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. FACULTAD DE ODONTOLOGÍA.  
Por darnos la oportunidad de pertenecer a la máxima casa de estudios, rica en ciencia y cultura: por haberme formado dentro de sus aulas y clínicas.

DR. FEDERICO HUMBERTO BARCELÓ SANTANA  
Por su confianza, enseñanzas y apoyo incondicionales. Es un ejemplo a seguir.

ING. CARLOS ÁLVAREZ GAYOSSO  
Por su paciencia y excelente guía en la realización de esta tesis.

MTRO. JAVIER DE LA FUENTE HERNÁNDEZ  
Por todo el apoyo y confianza que me ha brindado.

C.D. TERESA BAEZA KINGSTON  
Por su colaboración durante todas las pruebas experimentales de esta tesis.

INVENTA COMUNICACIÓN  
Por su colaboración en el diseño e impresión de esta tesis, en especial a Megumi Hiyama Matsumoto.

A mis maestros y doctores de la Facultad y Clínica Periférica, que se interesaron en mi desarrollo profesional y personal.

Y mil gracias a todos mis pacientes que depositaron su confianza en mí. Debo a ellos gran parte de mi formación profesional.

## ÍNDICE

I Resumen	1
II Introducción	2
III Antecedentes	3
1. Historia de la estética en la odontología	3
a) Desarrollo de nuevos materiales dentales estéticos	5
b) Resina compuesta	6
2. Historia del color	8
3. Teoría del color y sus propiedades	10
a) Percepción del color en los objetos	11
b) Colores primarios	11
c) Color luz, síntesis aditiva	12
d) Color pigmento, síntesis sustractiva	12
4. Temperatura del color	14
5. Lux	15
6. Colorímetros	16
7. Pigmentos y colorantes	17
a) Pigmento	17
b) Pigmentos orgánicos	17
c) Pigmentos inorgánicos	18
d) Dióxido de titanio	19
e) Colorantes	20
f) Colorante Disperse yellow 64	21
g) Colorantes Solvent red 135	22
8. Propiedades ópticas de los órganos dentales	23
IV Planteamiento del problema	25
V Justificación	25
VI Hipótesis	25
1. Hipótesis nula	25
VII Objetivos	26
VIII Metodología	26
IX Muestra	27
1. Criterios de inclusión	27
2. Criterios de exclusión	27
3. Criterios de eliminación	27
4. Recolección de datos	27
5. Análisis estadístico	27
X Materiales y métodos	28
1. Metodología	28
a) Resina compuesta sin pigmento	28
b) Obtención de tonos básicos	30
2. Pruebas de calidad	32
a) Profundidad de curado	32
b) Estabilidad de color	34
c) Radio opacidad	38
XI Resultados	41
1. Obtención de tonos básicos	41
2. Profundidad de curado	44
a) Pigmento inorgánico y colorantes orgánicos	44
3. Radio opacidad	46
4. Estabilidad de color	48
XII Discusión	51
1. Obtención de tonos básicos	51
2. Profundidad de curado	53

3. Radio opacidad	54
4. Estabilidad de color	55
XIII Conclusión	58
XIV Bibliografía	59

#### Índice de ilustraciones

Figura 1. Prótesis de dientes naturales de animales y humanos.	3
Figura 2. Incrustaciones de piedras preciosas en dientes anteriores.	4
Figura 3. Esquema de la formulación general de la resina compuesta.	6
Figura 4. Aristóteles y Da Vinci.	8
Figura 5. Rango de luz visible en el espectro electromagnético.	10
Figura 6. Percepción del color de un objeto.	11
Figura 7. Síntesis Aditiva.	12
Figura 8. Síntesis Sustractiva.	13
Figura 9. Círculo cromático.	13
Figura 10. Temperatura de color.	14
Figura 11. Luz solar.	15
Figura 12. Guía de color dental Vita Lumin	16
Figura 13. Pigmentos inorgánicos.	18
Figura 14. Colorantes orgánicos.	22
Figura 15. Propiedades ópticas de los dientes.	23
Figura 16. Distribución de la luz en la superficie dental.	23
Figura 17. Resina compuesta sin pigmento.	28
Figura 18. Componentes de la resina compuesta fotopolimerizable.	28
Figura 19. Grupos de trabajo de resina compuesta.	29
Figura 20. Cámara de mezclado.	30
Figura 21. Mezcla manual de resina para la obtención de tonos básicos.	31
Figura 22. Mezcla de pigmentos y colorantes con la resina compuesta	31
Figura 23. Material para la prueba de profundidad de curado.	32

Figura 24. Cálculo de profundidad de curado.	33
Figura 25. Material para estabilidad de color.	34
Figura 26. Filtros de color de temperatura.	34
Figura 27. Estufa con temperatura controlada (37°C).	35
Figura 28. Lámpara de xenón.	36
Figura 29. Comparación de la superficie de la muestra radiada.	36
Figura 30. Comparación de la muestra radiada con la muestra seca de referencia.	37
Figura 31. Comparación de la muestra húmeda con la muestra seca de referencia.	37
Figura 32. Material para la prueba de radio opacidad.	38
Figura 33. Densitómetro fotográfico.	38
Figura 34. Preparación de muestras para la prueba de radio opacidad.	39
Figura 35. Fotopolimerización de las muestras de radio opacidad.	39
Figura 36. Toma de radiografías.	40
Figura 37. Muestra de aluminio y de resina colocadas sobre la radiografía dental.	40
Figura 38. Medición de la densidad óptica de las muestras.	40
Figura 39. Comparación de la profundidad de curado de la resina con y sin pigmento.	41
Figura 40. Tonos básicos de la resina compuesta (A2, A3, A3.5 y B2).	42
Figura 41. Imágenes radiográficas de las muestras de resina y aluminio.	46

#### Índice de tablas

Tabla 1. Definición de variables	26
Tabla 2. Componentes de la Resina compuesta experimental.	28
Tabla 3. Composición de cada grupo de resina compuesta.	29
Tabla 4. Resultados promedio de profundidad de curado con pigmentos inorgánicos.	41
Tabla 5. Resultados promedio de profundidad de curado.	44
Tabla 6. Resultados promedio de Radio opacidad.	46
Tabla 7. Estabilidad de color.	48
Tabla 8. Estabilidad de color para cada grupo de resina compuesta.	50

## Índice de gráficas

Gráfica 1. Profundidad de curado con pigmentos inorgánicos.	42
Gráfica 2. Profundidad de curado de cada grupo.	44
Gráfica 3. Radio opacidad promedio de cada grupo.	47
Gráfica 4. Estabilidad de color (envejecimiento acelerado).	49
Gráfica 5. Estabilidad de color para cada grupo de resina compuesta.	50



# Resumen

Es un gran logro que los materiales modernos de relleno a base de resina (resina compuesta) constituyan uno de los materiales dentales de mayor desarrollo en la Odontología debido a su fácil manipulación y a que han alcanzado similitud con los tejidos duros dentales. Aunque esto es benéfico para el paciente, para el odontólogo es un reto lograr la igualación casi perfecta con el tejido duro dental.

Por lo anterior, es necesario el desarrollo de materiales de restauración estética como las resinas compuestas con agregados de colorantes y pigmentos para obtener la variedad de tonos más empleados en el mercado nacional actual y que puedan proponerse a la industria nacional para su comercialización.

El objetivo de este estudio fue obtener tonos básicos en una base de resina compuesta experimental fotopolimerizable, valorando profundidad de curado, radio opacidad y estabilidad de color.

Se elaboró una carga de resina con la que se experimentaron diferentes tipos de pigmentos y colorantes hasta que se logró la igualación de los tonos A2, A3, A3.5 y B2, del colorímetro para resina Carisma.

A estas resinas se les evaluaron las propiedades físicas y químicas de acuerdo con las normas ISO 4049 y 7491.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- ▶ En la prueba de profundidad de curado, los cinco grupos mostraron valores superiores a los requeridos por la norma.
- ▶ En la prueba de radio opacidad, los cuatro grupos pigmentados fueron más radio opacos que la muestra de aluminio.
- ▶ En la prueba de estabilidad de color, todos los grupos cumplieron con el requisitos de estabilidad de color.

La influencia de los colorantes orgánicos en las propiedades físicas y químicas de las resinas compuestas experimentales alteran los valores de éstos significativamente, sin embargo, entran en el rango que exigen los estándares internacionales.

# Introducción

La estética en la Odontología moderna y su relación con la función del sistema estomatognático ha sido y es la principal meta a alcanzar en cualquier tratamiento odontológico contemporáneo.<sup>1</sup>

Uno de los mayores desafíos de la Odontología es alcanzar la perfecta igualación de color entre el diente y la restauración. Los materiales de restauración modernos a base de resina compuesta han podido lograr una gran similitud con el tejido dental, por lo que su demanda en la práctica clínica diaria se ha incrementado. Sin embargo, propiedades como la estabilidad de color siguen siendo un problema, ya que la razón principal del reemplazo de restauraciones estéticas es el cambio de coloración de éstas.<sup>2</sup>

Para acelerar el proceso de envejecimiento de las resinas compuestas se han desarrollado pruebas in vitro para predecir cambios clínicos del material. En el presente estudio la estabilidad de color se valoró de acuerdo con la ISO 4049 y 7491.

La detección de caries secundaria, entre la resina y el esmalte o cemento, debe ser fácilmente detectable gracias a la radio opacidad de la resina, que, según la ISO 4049, se expresa en términos de su grosor equivalente al del aluminio.<sup>3</sup>

La influencia de los pigmentos y colorantes en la prueba de profundidad de curado de la resina compuesta altera los valores; la ISO 4049, por lo tanto, cambia su valor de 1.5 mm de profundidad de curado para materiales sin pigmentos ni opacadores, a 1 mm para materiales a base de resina compuesta con opacadores y pigmentos.<sup>4</sup>

Por lo anterior, es necesario el desarrollo de materiales de restauración estética como las resinas compuestas con agregados de colorantes y pigmentos para obtener la variedad de tonos más empleados en el mercado nacional actual y que puedan proponerse en la industria nacional para su distribución.

El objetivo de este estudio fue obtener tonos básicos de una resina compuesta experimental fotopolimerizable con valores físicos y químicos aceptables; para ello, se elaboraron cuatro resinas experimentales (A2, A3, A3.5 y B2) a las que se les evaluaron las pruebas de estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad según la ISO 4049 que hace referencia de uso de la ISO 7491 para complementar la prueba de estabilidad de color.

Dicho estudio se realizó en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales (LIMD) de la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) de la Facultad de Odontología (FO) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

# Antecedentes

## Historia de la estética en Odontología

Nunca antes se había utilizado tanto la palabra “estética” en Odontología; parece que tiene un efecto sobre los estudiantes, académicos y, por qué no, sobre los pacientes que cada vez buscan los consultorios odontológicos para obtener una mejor apariencia dental.

Esta profesión siempre tuvo en cuenta el valor y la importancia de la estética dental, pero solo recientemente es que la exigencia por parte del paciente ha aumentado significativamente; este hecho puede ser confirmado gracias al análisis del perfil del paciente actual, que demuestra claramente una tendencia a un tratamiento estético de un diente sano o sin mayores problemas, contrario a buscar solamente el tratamiento de dientes cariados o fracturados, como ocurría en el pasado.<sup>5</sup>

La búsqueda de la belleza se remonta a las primeras civilizaciones. Desde entonces, el arte dental ha formado parte del anhelo de mejorar el aspecto estético de los dientes y la boca.<sup>6</sup>

Los fenicios (800 a.C.) y los etruscos (900 a.C.) tallaban minuciosamente colmillos de animales para imitar la forma y el color de los dientes naturales para usarlos como prótesis, como se muestra en la Figura 1.



Figura 1. Prótesis de dientes naturales de animales y humanos.

Los mayas de América Central y del Sur (1000 d.C.) se embellecían limando los bordes incisales de los dientes anteriores con diferentes formas y diseños.

También colocaban tapones de pirita ferrosa, obsidiana y jade en las superficies labiales de los dientes anteriores superiores (Figura 2). Esta práctica era corriente en ambos sexos, y la mutilación dental se sigue practicando todavía en algunas sociedades.<sup>6</sup>



Figura 2. Incrustaciones de piedras preciosas en dientes anteriores.

Durante el Imperio Romano sólo las clases pudientes podían tener acceso al tratamiento estético dental. La higiene oral era una costumbre fundamentalmente femenina, por razones de belleza más que por salud dental. En los tocadores romanos eran frecuentes los enjuagues bucales, los dentífricos y los palillos de dientes, y cuando se perdía un diente se reemplazaba con un sustituto de hueso o marfil tallado a semejanza del diente perdido.<sup>6</sup>

Durante la Edad Media prácticamente no existió ningún interés por la estética dental. Hasta el siglo XVIII no se reconoció a la Odontología como una disciplina individualizada y



se establecieron sus diferentes ramas. El pionero de este movimiento de modernización y popularización de la Odontología fue el francés Pierre Fauchard (1678-1761). Junto con varios colegas, preconizó prácticas estéticas como una higiene oral adecuada y el uso de fundas de oro con carillas de esmalte. Estos pioneros también introdujeron una técnica para la fabricación de dientes minerales (en lugar de utilizar hueso o marfil) para usar en prótesis dentales.<sup>6</sup>

En los Estados Unidos de la época colonial prevalecieron durante un siglo (1670-1770) las condiciones dentales primitivas, hasta la llegada de los “barberos” profesionales dentales que se habían preparado en Europa. Trajeron con ellos medicamentos para el dolor dental y también recetas para preparar polvos dentales para blanquear los dientes y cuidarlos, así se ocupaban de su salud y belleza. Aseguraban que sus polvos preparaban y fijaban los dientes de esmalte verdadero, el mejor invento para reponer la pérdida de los dientes naturales. Se practicaba el trasplante de dientes entre pacientes y se pagaba a los donantes por sus molestias:

*para toda persona que done sus dientes anteriores,  
cinco guineas por cada uno de ellos.*

Sin embargo, la Odontología estética no gozaba de una aceptación universal. En algunos países de la Gran Bretaña, por ejemplo Inglaterra, se consideraba a la estética dental un engaño y una falta de conducta.

A finales del siglo XIX se empezaron a aplicar distintas técnicas usadas en prótesis fija, como la utilización de dientes individuales de porcelana que revolucionó su construcción



Figura 3. Dentadura parcial superior. Los dientes de porcelana han sido soldados a un soporte de oro.

(Figura 3). Hacia 1880 se inventó la corona de superficie abierta; en esa misma década apareció la carilla de porcelana intercambiable (una carilla con reborde que encajaba en un pónico con un surco labrado) y a comienzos del siglo XX se pusieron de moda las fundas de porcelana. En 1907 apareció la corona de tres cuartos.<sup>6</sup>

Los profesionales de la Odontología operatoria buscaban un material más estético que el oro, el plomo, el estaño y el platino, usados a finales del siglo XIX. Una de las opciones era el tapón de Hill, una mezcla de gutapercha blanqueada, carbonatos de cal y cuarzo, plástico, hueso y vidrio fundido. La porcelana era otra posibilidad como material de restauración.<sup>6</sup>

### Desarrollo de nuevos materiales dentales estéticos

En 1897 se desarrolló un compuesto relativamente moderno de cemento de óxidos silícicos. Estaba formado por polvo de aluminio y óxido de zinc mezclados con ácido fosfórico y fluorhídrico. Después de ser abandonado durante un tiempo por ser frágil y difícil de manipular, en 1904 resurgió una versión modificada que revolucionó la Odontología operatoria. La ingeniosa combinación de vidrios solubles en ácidos mezclados con un líquido que contenía ácido fosfórico dio origen al primer material restaurador verdaderamente translúcido: el silicato.<sup>6</sup>

Las modificaciones continuaron hasta 1938, año en que la Asociación Dental Americana (ADA) publicó su primera especificación definitiva de aceptación como “Especificación No. 9”. Éste fue el primer material estético aceptado por la ADA. Sin embargo, a pesar de ofrecer una alta estética, presentaba algunos defectos, como alta solubilidad en el medio bucal y un alto grado de irritación pulpar.

Estos problemas condujeron al desarrollo de los sistemas acrílicos sin relleno (un copolímero basado en el polimetacrilato de metilo), que se introdujeron a finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, debido a su parecido con el diente, su insolubilidad en los fluidos orales, su facilidad de manipulación y su bajo costo. Sin embargo, éstos poseían

alta contracción de polimerización y elevado coeficiente de expansión térmica (diez veces mayor que el de las estructuras dentarias), provocando defectos clínicos y fallas prematuras, además de baja resistencia mecánica, inestabilidad de color y gran generación de calor al polimerizar.<sup>6</sup>

### Resina compuesta

En el año de 1962, el Dr. Rafael L. Bowen introdujo, en reemplazo del metacrilato de metilo, un monómero de alto peso molecular llamado 2,2-bis[2-hidroxy-3-metacrililoxipropoxi] fenil o bisfenol A-glicil metacrilato (BisGMA). A esta molécula se le añadieron partículas de relleno inorgánico, las cuales se unían al monómero mediante un agente acoplador bifuncional constituido por un vinil silano, creando de esta forma un nuevo complejo de resina que se representa en la Figura 4.

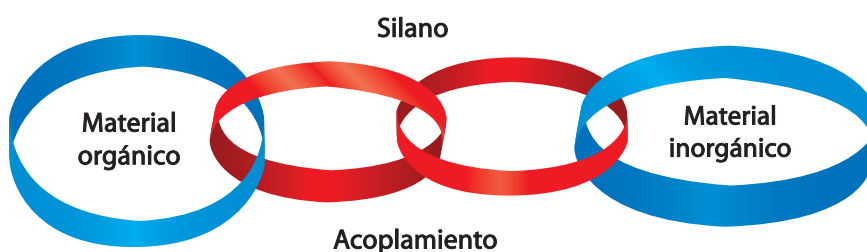


Figura 4. Esquema de la formulación general de la resina compuesta.

De ahí nace el término resinas compuestas o “composites”, que se define como un material con alta calidad de entrecruzamientos poliméricos, reforzados con una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de relleno cristalinas u orgánicas o pequeñas fibras que se unen a la matriz gracias a su agente de conexión.<sup>7</sup>

La matriz de la mayor parte de los materiales compuestos está constituida por un monómero de dimetacrilato aromático o alifático, denominado BisGMA. Éste es sintetizado por la reacción entre bisfenol A y metacrilato glicidílico. En la actualidad puede ser reemplazado por el dimetacrilato de uretano (UDMA), el cual posee un índice de refracción de luz más parecido al diente que el BisGMA.<sup>8</sup>

La fase inorgánica (partículas de relleno) está constituida principalmente por cuarzo, sílice, bario, hidroxiapatita, circonio, etc. El objetivo de la incorporación de este relleno inorgánico es lograr disminuir la cantidad de monómero por unidad de volumen y así disminuir la contracción de polimerización.<sup>9</sup> A su vez, el relleno inorgánico aumenta la resistencia mecánica del material, siempre que las partículas estén bien adheridas a la matriz; si esto no ocurre, estas partículas no actúan como refuerzo, sino como debilitadores del material. Debido a la importancia de una buena adhesión de las partículas de relleno, el uso de un agente de unión eficaz es muy importante para el éxito de la resina compuesta.<sup>7</sup>

El agente de acoplamiento es un agente de enlace con grupos bifuncionales que relaciona la fase inorgánica y la matriz, originando una unión química entre ellas. Esta adhesión es esencial entre ambas fases para que el material tenga resistencia y durabilidad. Estos agentes también pueden actuar como disipadores de esfuerzo en la interfase relleno-resina.

Los agentes de vinil silano fueron los primeros en ser utilizados como agentes de unión entre la matriz orgánica y la fase inorgánica; por ejemplo, el gamma metacriloxipropilvinilsilano, que permitía una unión más estable y resistente. La conexión adecuada mediante el silano es vital para las propiedades de los materiales de restauración a base de resinas compuestas.<sup>7</sup>

Además de la matriz, del relleno y del agente de unión, también forman parte de la resina compuesta otros agentes:

- Monómeros que disminuyen la viscosidad, como, el
  - ▶ Trietilenglicoldimetacrilato (TEGDMA).
- Inhibidores de la polimerización para prolongar la vida útil, previniendo la polimerización espontánea del material durante el periodo de almacenamiento.
- Iniciadores y aceleradores que se combinan para producir
  - ▶ radicales libres que inician la reacción de polimerización.

- ▶ Pigmentos y colorantes orgánicos para lograr los diferentes tonos del material restaurador.
- ▶ Modificadores y opacadores a base de óxidos metálicos para controlar el color y la translucidez.<sup>7</sup>

En 1972 aparecieron los ionómeros de vidrio con características estéticas, las cuales han sido mejoradas hasta nuestros días con diferentes composiciones.<sup>6</sup> Actualmente se siguen utilizando versiones mejoradas de la fórmula elemental de matriz resinosa y relleno de vidrio.

## Historia del color

El desarrollo de los nuevos materiales y técnicas odontológicas ha obligado a los profesionales a desarrollar nuevas habilidades artísticas. El odontólogo restaurador manipula la luz, el color, la tersura, la forma y el aspecto para poder conseguir un resultado más estético. La experiencia en estos campos es lo que diferencia a un odontólogo técnicamente competente de otro con un nivel muy superior de pericia artística y profesional.<sup>6</sup>

El conocimiento de la ciencia del color es muy importante desde el punto de vista estético, debido a que la combinación de diferentes colores o pigmentos nos da como resultado una amplia gama de colores para poder seleccionar el adecuado en cada caso.



Figura 5. Aristóteles y Leonardo da Vinci.

Aristóteles (384-322 a.C.) encontró que todos los colores se conforman con la mezcla de cuatro de ellos y otorgó un papel fundamental a la incidencia de luz y la sombra sobre los mismos (Figura 5). Estos colores, que denominó como básicos, eran los de la tierra, el fuego, el agua y el cielo.<sup>10</sup>

Siglos más tarde, Leonardo da Vinci (1452-1519) identificó al color como propio de la materia, definiendo la siguiente escala de colores básicos: primero, el blanco como el principal ya que permite recibir a todos los demás colores; después seguía el amarillo para la tierra, verde para el agua, azul para el cielo, rojo para el fuego y negro para la oscuridad, ya que es el color que nos priva de todos los otros. Con la mezcla de estos colores obtenía todos los demás, aunque observó que el verde también surgía de una mezcla.<sup>10</sup>

Finalmente fue Isaac Newton (1642-1727) quien estableció un principio hasta hoy aceptado: la luz es color. En 1665 Newton descubrió que la luz del sol al pasar a través de un prisma, se dividía en varios colores conformando un espectro; lo que consiguió fue la descomposición de la luz en los colores del espectro.



Estos colores son básicamente, el azul violáceo, el azul celeste, el verde, el amarillo, el rojo anaranjado y el rojo púrpura. Este fenómeno lo podemos contemplar con mucha frecuencia cuando la luz se refracta en el borde de un cristal o de un plástico; también cuando llueve y hace sol, las gotas de agua de la lluvia realizan la misma operación que el prisma de Newton y descomponen la luz produciendo los colores del arco iris.<sup>10</sup>

Así es como observó que la luz natural está formada por luces de seis colores; cuando incide sobre un elemento, absorbe algunos de esos colores y refleja el resto. Con esta certeza enunció el siguiente principio:

*Todos los cuerpos opacos al ser iluminados reflejan todos o parte de los componentes de la luz que reciben.*

Por lo tanto, cuando vemos una superficie roja, realmente estamos viendo una superficie de un material que contiene un pigmento que absorbe todas las ondas electromagnéticas que contiene la luz blanca con excepción de la roja, la cual al ser reflejada, es captada por el ojo humano y decodificada por el cerebro como el color rojo.<sup>10</sup>

## Teoría del color y sus propiedades

El color es un atributo que percibimos de los objetos cuando hay luz, que está constituida por ondas electromagnéticas que se propagan a 300 000 kilómetros por segundo. Esto significa que nuestros ojos reaccionan a la incidencia de la energía y no a la materia en sí.

Las ondas forman, según su longitud, distintos tipos de luz: infrarroja, visible, ultravioleta o blanca. Las ondas visibles son aquellas cuya longitud de onda está comprendida entre 380 y 770 nanómetros en el espectro electromagnético (Figura 6).

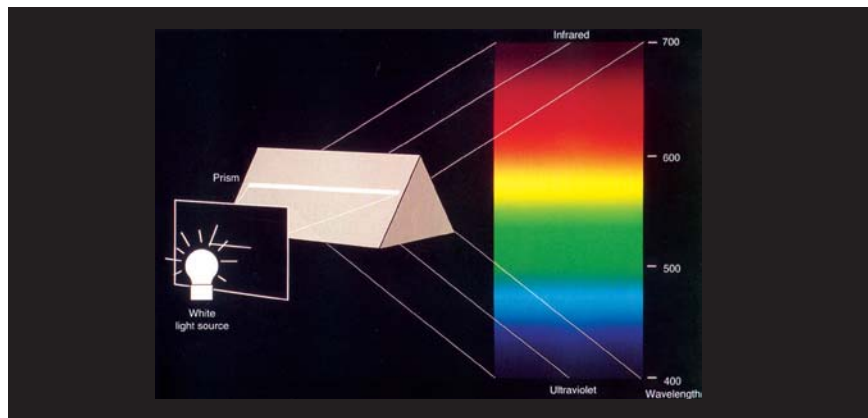


Figura 6. Rango de luz visible en el espectro electromagnético, que va de 380 nm (violeta) a 770 nm (rojo).

Los objetos devuelven la luz que no absorben hacia su entorno. Nuestro campo visual interpreta estas radiaciones electromagnéticas que el entorno emite o refleja, como la palabra “COLOR”.<sup>11</sup>

- ▶ El valor o luminosidad, la saturación y el matiz o color propiamente dicho son las propiedades cambiantes de un tono.
- ▶ Tono (hue), matiz o croma es el atributo que diferencia el color y por la cual designamos los colores: verde, violeta, anaranjado.
- ▶ Saturación (saturation) es la intensidad cromática o pureza de un color .
- ▶ Valor (value) es la claridad u oscuridad de un color; está determinado por la cantidad de luz que un color tiene. Valor y luminosidad expresan lo mismo.
- ▶ Brillo (brightness) es la cantidad de luz emitida por una fuente lumínica o reflejada por una superficie.
- ▶ Luminosidad (lightness) es la cantidad de luz reflejada por una superficie en comparación con la reflejada por una superficie blanca en iguales condiciones de iluminación.<sup>12</sup>

### Percepción del color en los objetos

Un cuerpo opaco, es decir no transparente, absorbe gran parte de la luz que lo ilumina y refleja una parte más o menos pequeña.

Cuando este cuerpo absorbe todos los colores contenidos en la luz blanca, el objeto parece negro. Cuando refleja todos los colores del espectro, el objeto parece blanco. Los colores absorbidos desaparecen en el interior del objeto, los reflejados llegan al ojo humano. Los colores que visualizamos son, por

tanto, aquéllos que los propios objetos no absorben, sino que los propagan (Figura 7). Por ejemplo, el tomate nos parece de color rojo porque el ojo sólo recibe la luz roja reflejada por la hortaliza, absorbe el verde y el azul y refleja solamente el rojo. Un plátano amarillo absorbe el color azul y refleja los colores rojo y verde, los cuales sumados permiten visualizar el color amarillo.<sup>13</sup>

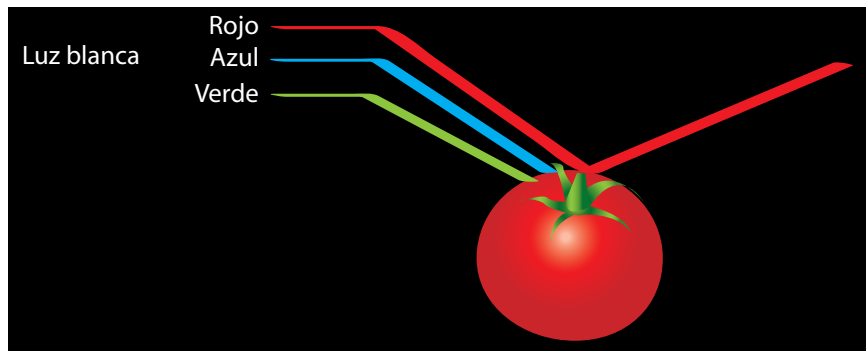


Figura 7. Percepción del color rojo.

### Colores primarios

La problemática del color y su estudio es muy amplia, pudiendo ser abordada desde el campo de la física, la percepción fisiológica y psicológica, la significación cultural, el arte, la industria, etc. El conocimiento que tenemos y hemos adquirido sobre color en la escuela elemental, hace referencia al color pigmento y proviene de las enseñanzas de la antigua Academia Francesa de Pintura que consideraba como colores primarios (aquéllos

que por mezcla producirán todos los demás colores) al rojo, el amarillo y el azul. En realidad existen dos sistemas de colores primarios: colores primarios luz y colores primarios pigmento. El blanco y negro son llamados colores acromáticos, ya que los percibimos como “no colores”.<sup>14</sup>

#### Color luz, síntesis aditiva

En el color luz, los bastones y conos del ojo, se encuentran organizados en tres elementos sensibles; cada uno de estos tres elementos va destinado a cada color primario: al azul, rojo y verde. Los demás colores complementarios, los opuestos a los primarios, son el magenta, el cian y el amarillo.

Los colores producidos por luces (en el monitor de nuestra computadora, en el cine, televisión, etc.) tienen como colores

primarios al rojo, el verde y el azul (RGB) cuya fusión crea y compone la luz blanca, por eso a esta mezcla se le denomina síntesis aditiva y las mezclas parciales de estas luces dan origen a la mayoría de los colores del espectro visible (Figura 8).<sup>10</sup>

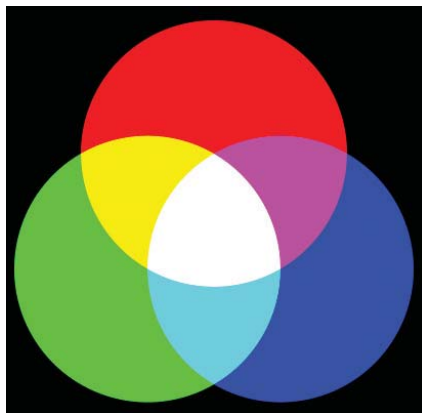


Figura 8. Síntesis aditiva.

### Color pigmento, síntesis sustractiva

El color pigmento es cuando hacemos uso de los colores normalmente; es decir cuando utilizamos colores, pinturas, tintes, pigmentos, etc. Este fenómeno lo definimos como color pigmento, no es color luz. Son los pigmentos que inyectamos en las superficies para sustraer la luz blanca, parte del componente de espectro. Todas las moléculas denominadas pigmentos tienen la facultad de absorber ondas del espectro y reflejar otras.

Los colores sustractivos son aquéllos basados en la luz reflejada de los pigmentos aplicados a las superficies. Forman esta síntesis sustractiva, el color magenta, el cian y el amarillo. Son los colores básicos de las tintas que se usan en la mayoría de los sistemas de impresión, motivo por el cual estos colores han desplazado en la consideración de colores primarios a los tradicionales.

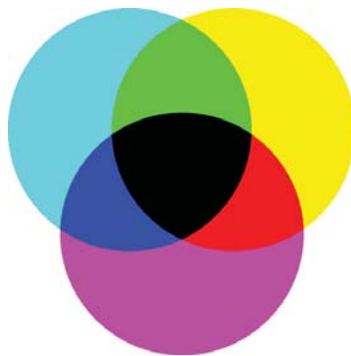


Figura 9. Síntesis sustractiva.

La mezcla de los tres colores primarios pigmento, en teoría, debería producir el negro, el color más oscuro y de menor cantidad de luz, por lo cual esta mezcla es conocida como síntesis sustractiva.<sup>10</sup>

En la práctica, el color así obtenido no es lo bastante intenso, por lo cual se le agrega pigmento negro conformándose el espacio de color CMYK (Figura 9).<sup>10</sup>

En Odontología, los tonos tienen una relación entre sí que se puede representar mediante un círculo cromático (Figura 10), basado en el sistema de colores primarios pigmento, que representa gráficamente las relaciones entre los tonos primarios, secundarios y complementarios.<sup>6</sup>



Figura 10. Círculo cromático.

Los tonos primarios (rojo, amarillo y azul) constituyen la base del sistema cromático dental.

Los pigmentos de óxidos metálicos y colorantes orgánicos que se emplean para colorear las restauraciones estéticas, sólo permiten crear determinados rojos; debido a ello, hay que

sustituir el rosa. Los tonos primarios y las relaciones que existen entre ellos forman la estructura básica del círculo cromático. La mezcla de tonos primarios cualesquiera proporciona un tono secundario:

Rojo + azul = violeta

Azul + amarillo = verde

Amarillo + rojo = naranja

Si se modifica el croma (saturación) de los tonos primarios de una mezcla, se altera el tono del color secundario obtenido.

Se denominan tonos complementarios a aquellos colores que se oponen directamente en el círculo cromático. Cuando se mezcla un tono primario con un tono secundario complementario, se produce un efecto de cancelación de ambos colores y se obtiene el gris. Ésta es la relación más importante en la manipulación de los colores dentales.<sup>6</sup>

## Temperatura de color

La temperatura de color de una fuente de luz se define comparando su color dentro del espectro luminoso con el de la luz que emitiría un cuerpo negro calentado a una temperatura determinada. Por este motivo, esta temperatura de color generalmente se expresa en kelvin, a pesar de no reflejar directamente una medida de temperatura.



Generalmente no es perceptible a simple vista, sino mediante la comparación directa entre dos luces como podría ser la observación de una hoja de papel normal bajo una luz de tungsteno (lámpara incandescente) y a otra bajo la de un tubo fluorescente (luz de día), simultáneamente (Figura 11).

Algunos ejemplos aproximados de temperatura de color:

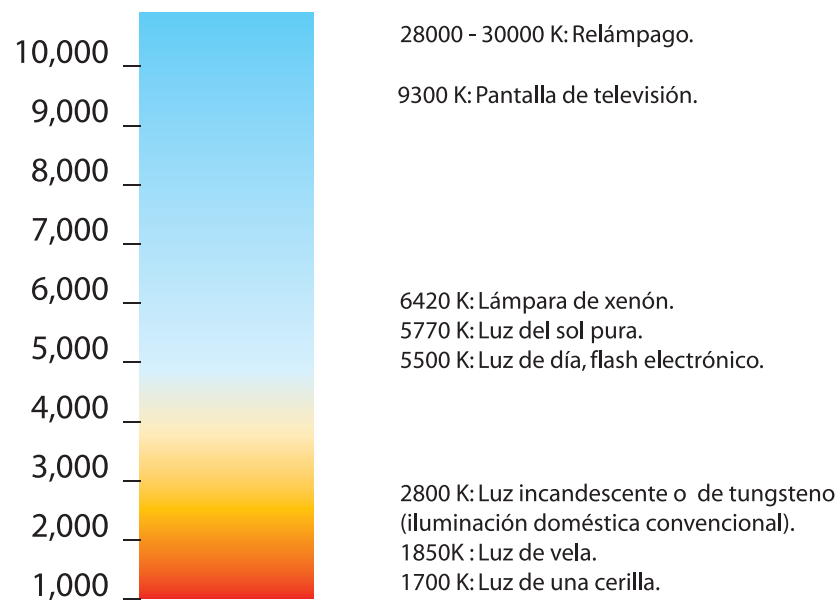


Figura 11. Temperatura del color.

La temperatura de color se usa en muchas ramas de la industria y la técnica, concretamente en fotografía, cine y video, donde su efecto produce dominantes de color que pueden afectar la calidad de la imagen. Igualmente es utilizada en astronomía

y, concretamente, analizando el espectro de una estrella, se puede relacionar su clasificación y, además, para determinar el desplazamiento con respecto a la Tierra; así, si la estrella se ve en tono rojo, se trataría, bien de una estrella fría, bien de una estrella que se aleja de nosotros, o que se acerca si se trata de tonos azulados.<sup>15</sup>

## Lux

La luz natural es muchísimo más dañina que cualquiera de las fuentes de luz artificial. Las proporciones aproximadas son: 20 veces más dañina que una lámpara incandescente y 10



Figura 12. Luz solar.

veces más que una fluorescente. La lámpara de xenón a la temperatura de color indicada anteriormente representa la luz de día natural, por lo que acelerará el proceso de envejecimiento de las resinas compuestas.

Lux (lx) es la unidad de iluminación o iluminancia -derivada del sistema internacional de unidades (SI)-, que es el nivel de iluminación medido sobre una determinada superficie.<sup>16</sup> Es igual a un lumen/m<sup>2</sup>.

- ▶ La luz solar (Figura 12) ilumina entre 32 000 y 100 000 luxes en la Tierra.
- ▶ Un estudio de TV está iluminado con alrededor de 1000 luxes.
- ▶ Una oficina luminosa está iluminada con alrededor de 400 luxes.
- ▶ La luz de la luna, ilumina alrededor de 1 lux en la Tierra.
- ▶ La luz de las estrellas ilumina con 0,00005 lux a la Tierra.<sup>16</sup>

## Colorímetros

Para la selección del color de una restauración estética, los odontólogos y técnicos dentales emplean una guía de color (colorímetro).

Debido a la complejidad de definir un color o tono determinado, se ha estandarizado una gama de los tonos más frecuentes para las restauraciones estéticas; la nomenclatura más empleada es la del colorímetro VITA (Figura 13), que corresponde a una guía que va de los tonos más claros a los mas oscuros (value), de izquierda a derecha, así como la denominación del color (hue) con la nomenclatura que va de A1 a D4.

A cada color corresponde una letra y un número para su identificación.<sup>7</sup>

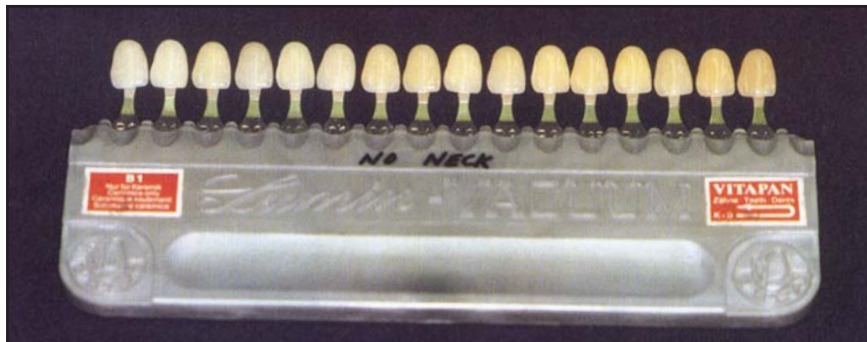


Figura 13. Guía de color dental Vita Luminim. Los cuellos de los dientes han sido eliminados para una mejor visualización del color.

Muchos fabricantes de productos dentales, en este caso en particular de materiales estéticos, como resina compuesta, porcelana, o cementos a base de resina, nos proveen de guías que incluyen casi la totalidad de la gama de colores de los órganos dentales, por lo que el uso de las guías de colores o colorímetros es esencial para lograr la selección más aproximada de tono del diente a restaurar, además de darnos una nomenclatura con la cual se facilita el entendimiento de un color en específico con el técnico del laboratorio.<sup>9</sup>

## Pigmentos y colorantes

### Pigmento

El término “pigmento” se refiere a un polvo finamente dividido en partículas microscópicas, cuya característica principal es **transmitir color y ser insoluble en el medio donde se incorpora**; por tal motivo, se requiere dispersar (molienda) en equipos mecánicos con fuerzas cortantes que logran romper los aglomerados microscópicos y lograr tamaños óptimos de partícula de 12 micras, aproximadamente. Con ello se logra desarrollar la mayor intensidad de color que puede obtenerse de un pigmento determinado.

En la industria son materias primas indispensables para dar color a **pinturas** decorativas (casas, autos, estructuras, etc.), **plásticos** (juguetes, aparatos eléctricos, etc.), **tintas de impresión** (revistas, libros, folletos publicitarios, etc.).

Los pigmentos pueden ser caracterizados por su composición química, por sus propiedades ópticas y técnicas. Por lo tanto, podemos encontrar pigmentos orgánicos e inorgánicos.<sup>17</sup>

### Pigmentos orgánicos

Los pigmentos orgánicos se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. Se les conoce con el nombre de carotenoides.

Su color, que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro, se encuentra directamente relacionado con su estructura: los enlaces dobles carbono-carbono interactúan entre sí en un proceso llamado conjugación. Mientras el número de enlaces dobles aumenta, la longitud de onda de la luz absorbida también lo hace, dando al compuesto una apariencia más rojiza.

Por ejemplo, el fitoeno que posee tres enlaces dobles conjugados absorbe luz en el rango ultravioleta, apareciendo por tanto incoloro a la vista; el licopeno, compuesto que confiere su color rojo al tomate contiene 11 enlaces dobles conjugados. Existen también carotenoides de color verde (alfa-Caroteno), amarillo (beta-Caroteno) y anaranjado (neurosporaxantina).

Como ejemplo de estos compuestos en la naturaleza podemos citar al carotenoide mejor conocido que da al grupo su nombre, el caroteno, encontrado en zanahorias y responsable de su color anaranjado brillante. El color rosado del flamenco y el salmón,

y la coloración roja de las langostas también son producidos por carotenoides.

Entre las aplicaciones más importantes de los carotenoides podemos mencionar su uso como pigmentos naturales en complementos alimenticios.<sup>18</sup>

### Pigmentos inorgánicos

La composición química de los pigmentos inorgánicos corresponde a óxidos, hidróxidos, sulfides, silicatos y sulfatos, que normalmente consisten en componentes de estructura cristalina (Figura 14).



Figura 14. Pigmentos inorgánicos.

Su clasificación y propiedades son las siguientes:

- Pigmentos blancos: el efecto óptico es causado por la dispersión de luz no selectiva. Ejemplo: óxido de titanio, sulfato de zinc, lithopone, óxido de zinc.

- ▶ Pigmentos coloreados: el efecto óptico es causado por la absorción selectiva de luz y también por la dispersión selectiva de luz. Ejemplos: óxido de hierro rojo y amarillo, pigmento de cadmio, pigmento ultramarino, amarillo cromo, azul cobalto.
- ▶ Pigmentos negros: el efecto óptico es causado por la absorción de luz no selectiva. Ejemplos: Pigmento de carbon negro, óxido de hierro negro.
- ▶ Pigmentos lustre: el efecto óptico es causado por reflexión regular o interferente.
  - ▶ Pigmentos de efecto metálico: la reflexión regular toma lugar sobre las partículas metálicas del pigmento paralelas. Ejemplo: Aluminio escamado.
  - ▶ Pigmentos nacarados: la reflexión regular toma lugar sobre las plaquetas de pigmento paralelas altamente reflectantes. Ejemplo: óxido de titanio sobre mica.
  - ▶ Pigmentos interferentes: el efecto óptico del pigmento lustroso coloreado total o parcialmente por el fenómeno de interferencia. Ejemplo: óxido de hierro sobre mica.
  - ▶ Pigmentos luminiscentes: el efecto óptico es causado por la capacidad para absorber radiación y emitirla como luz de una longitud de onda mayor.
  - ▶ Pigmentos fluorescentes: la luz de una longitud de onda larga es emitida después de la excitación sin retraso. Ejemplo: sulfato de zinc en barniz de plata.



- ▶ Pigmentos fosforescentes: la luz de la longitud de onda larga es emitida varias horas después de la excitación. Ejemplo: sulfato de zinc en barniz de cobre.<sup>14</sup>

### Dióxido (óxido) de titanio

Es un compuesto cuya fórmula es  $\text{TiO}_2$ . Es utilizado en los procesos de oxidación avanzada fotocatalizada.

El dióxido de titanio se presenta en la naturaleza en varias formas: rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octahédrica) y brookita (estructura ortorómbica). El rutilo y la anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y se utilizan como pigmentos y catalizadores y en la producción de materiales cerámicos. El dióxido de titanio tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión y estabilidad química. El dióxido de titanio es el pigmento inorgánico más importante en términos de producción mundial.<sup>19</sup>

Tiene propiedades fundamentales que lo hacen muy útil:

- ▶ Es una de las sustancias químicas más blancas que existen: refleja prácticamente toda la radiación visible y mantiene el color de forma permanente.
- ▶ Un índice de refracción alto (2.4 como el diamante), incluso pulverizado o mezclado con otras cosas; por la

misma razón, es muy opaco. Esta propiedad sirve para proteger los objetos de la luz del sol: refleja prácticamente toda la luz, incluso la ultravioleta, y la que no refleja, la absorbe.

- ▶ Es un fotocatalizador eficaz, esto quiere decir que acelera mucho las reacciones químicas provocadas por la luz.<sup>14</sup>

El dióxido de titanio es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética cerca de la región UV. El dióxido de titanio es anfotérico, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos. Se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y en ácido hidrofúrico.<sup>14</sup>

### *Aplicaciones*

- ▶ Los pigmentos de dióxido de titanio se utilizan principalmente en la producción de pinturas y plásticos, así como en papel, tintas de impresión, cosméticos, productos textiles y alimentarios. El dióxido de titanio es el pigmento más utilizado en el mundo, proporciona a los productos finales una blancura brillante, opacidad y protección.
- ▶ En el sector de las artes gráficas (impresión) donde se opera con espesores de recubrimientos de menos de 100 micras, se utilizan pigmentos de dióxido de titanio muy finos.

- ▶ También tiene aplicaciones en las fibras sintéticas, eliminando la apariencia grasosa causada por las propiedades translúcidas de la resina. Los pigmentos de anatasa son preferidos en esta aplicación.
- ▶ Otras áreas de aplicación del dióxido de titanio incluyen la industria cerámica, la manufactura de cemento blanco y el coloreado de hule o linóleo. Los pigmentos de dióxido de titanio también se utilizan como absorbentes de rayos UV en productos para el bronceado, jabones, polvos cosméticos, cremas, pasta de diente y papel de cigarro.
- ▶ El dióxido de titanio también se ha empleado como agente blanqueador y opacador en esmaltes de porcelana, dando un acabado final de alto brillo y dureza.<sup>14</sup>

### Colorantes

El término “colorante” se utiliza técnicamente para describir polvos finamente divididos, que se diferencian de los pigmentos por ser totalmente solubles en el medio donde se requiere solubilizarlos, por ejemplo en agua o en cualquier material graso (aceite, gasolina, grasa vegetal, etc.). Este tipo de productos son utilizados en la industria y dependiendo de su pureza pueden ser utilizados para teñir textiles o para dar color a los diversos alimentos y bebidas, donde, por supuesto, deberán tener pureza y registro FDA. Su parecido con un pigmento, físicamente, es similar; sin embargo, se requiere solubilizarlo en agua para determinar si es un pigmento o un colorante.<sup>17</sup>

El color de los compuestos orgánicos depende de su estructura. Generalmente, los compuestos empleados como tintes son productos químicos orgánicos insaturados. La característica del color es especialmente notable en productos químicos que contienen ciertos grupos insaturados bien definidos. Estos productos químicos, conocidos como cromóforos (portadores de color), tienen diferentes capacidades para dar color.

Los colorantes han de tener la capacidad de penetrar y colorear los tejidos y otros materiales.

Los radicales químicos llamados auxocromos, tienen la propiedad de fijar eficazmente el colorante deseado. Se trata de compuestos químicos ácidos y bases que originan a su vez colorantes ácidos y colorantes básicos. En algunos compuestos, la presencia de un grupo auxocromo puede colorear compuestos incoloros. La materia prima básica de los colorantes sintéticos son compuestos que, como el benceno, se derivan de la destilación seca o destructiva del carbón. Por eso, estos colorantes se conocen a menudo popularmente como colorantes de alquitrán de hulla.<sup>20</sup>

Los colorantes pueden clasificarse atendiendo a sus aplicaciones o por su estructura química. La clasificación química suele determinarse por el núcleo del compuesto. Entre los grupos más importantes de colorantes están los azocolorantes, que incluyen el amarillo mantequilla y el rojo congo; los

trifenilmetanos, que incluyen el color magenta y el violeta metilo; las ftaleínas; las azinas, que incluyen el color malva, y las antraquinonas, que incluyen la alizarina.

Otro grupo importante lo constituyen las ftalocianinas, de color azul o verde, con una estructura química semejante a la clorofila. Sin embargo los azocolorantes son los más empleados debido a su mayor gama de colores (Figura 15).<sup>21</sup>

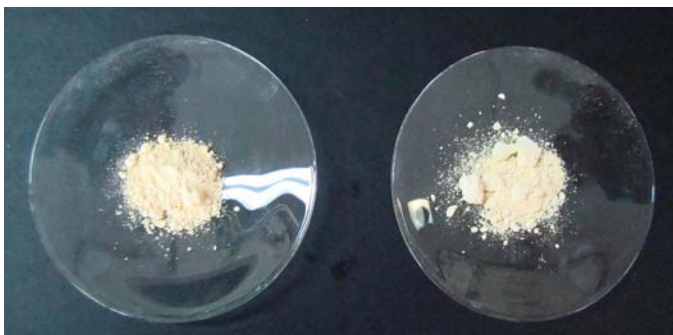


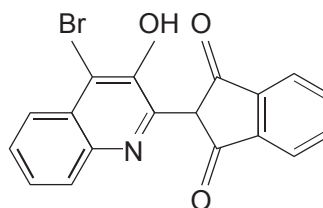
Figura 15. Colorantes orgánicos.

#### Colorante <sup>22</sup> Disperse Yellow 64

Sinónimos: 2- (4 -Bromo- 3- hidroxi -2 -quinolinil) -1, 3-indandione; 3 '-Hydroxy-4'-bromoquinophthalone; 4-Bromo-3-hydroxy -2- ( 1, 3 -indandion- 2- y 1 ) quinoline; 4- Bromo-3-hydroxyquinophthalone; C.I.47023; Solvent Yellow 176; Dianix Yellow F 3G-E; Dianix Yellow F 3G-E concentrate; Disperse Yellow 3G; Dispersion Yellow VP 247; Miketon Polyester Yellow 3GSL; Navilene Yellow 3G; Palanil Yellow 3G; Resolin Yellow 3GL; Samaron Yellow H 3GL; Solvaperm Yellow G; Sumikaron

Yellow SE 3GL; Tersetile Yellow 3GL; Transetile Yellow P 3GL;  
Tulasteron Fast Yellow 3G-B.

Estructura molecular:



Fórmula molecular:  $C_{18}H_{10}BrNO_3$

Peso molecular: 368.18

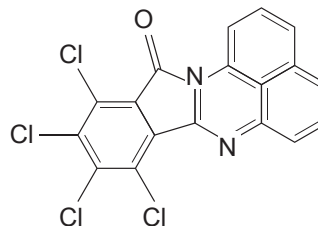
Toxicidad: Este colorante no es tóxico, ya que es un producto orgánico.<sup>18</sup>

No. de registro CAS: 10319-14-9

#### Colorante<sup>22</sup> Solvent Red 135

Sinónimos: C.I. 564120; Solvent Red 162; 8,9,10,11-Tetrachloro-12H-phthaloperin-12-one. Figura 17.

Estructura molecular:



Fórmula molecular:  $C_{18}H_6Cl_4N_2O$

Peso molecular: 408.07

Toxicidad: Este colorante no es tóxico, ya que es un producto orgánico.<sup>18</sup>

No. de registro CAS: 20749-68-2

## Propiedades ópticas de los órganos dentales



El conocimiento de las propiedades ópticas (Figura 16) de los dientes y un entendimiento del origen de estas propiedades es necesario para el desarrollo de materiales biomiméticos de restauración estética.<sup>23</sup>

Figura 16. Propiedades ópticas de los dientes.

La meta final de este tipo de materiales es la imitación del tejido duro dental. El color del diente es determinado por los caminos de luz dentro del diente y la absorción a lo largo de estos caminos. El espectro de reflectancia difuso del esmalte y la dentina corresponde al rango de longitud de onda de 400 a 700 nm. El esmalte y la dentina son capaces de coleccionar y distribuir luz con el diente; los prismas de esmalte y los túbulos dentinarios actúan como fibras ópticas (Figura 17).<sup>23</sup>



Figura 17. Distribución de la luz en la superficie dental.

Los túbulos dentinarios son la causa predominante de la dispersión en la dentina y los prismas adamantinos en el esmalte.

La disminución de luz del esmalte dental está relacionada con el coeficiente de dispersión. Cuando la luz pasa a través de una sustancia translúcida, como el diente o un material estético, sufre absorción y dispersión. La luz es dispersada como inclusiones en un material y la absorción atenúa el rayo de luz.<sup>23</sup>

Se pueden describir cuatro fenómenos asociados con la interacción de una sustancia translúcida con el flujo de luz:

- ▶ Transmisión especular.
- ▶ Reflexión especular en la superficie.
- ▶ Reflexión difusa en la superficie.
- ▶ Absorción y dispersión con una sustancia.

El color y la translucidez de las resinas compuestas están caracterizadas por dos parámetros dependientes de longitud de onda, que son el coeficiente de dispersión y el coeficiente de absorción.<sup>23</sup>

La reflectancia de la luz indica la luz reflejada por un material de un grosor infinito, el cual indica el color verdadero de un material translúcido a pesar del fondo. En concentraciones



altas de relleno, el coeficiente de absorción de las resinas compuestas puede alcanzar un valor constante. Pueden existir diferencias en las características de transmisión de luz entre las diferentes composiciones de los tipos de materiales de restauración estética, dando como resultado diferencias en la apariencia clínica.<sup>23</sup>

Por lo tanto, el tamaño y la cantidad de relleno de las resinas compuestas debe ser controlada para la mejor reproducción del color, considerando los índices de reflexión del relleno y de la matriz de resina.

## Planteamiento del problema

Partiendo de una resina compuesta experimental fotopolimerizable con valores mecánicos, físicos y químicos aceptables, surge la necesidad de modificarla con diferentes pigmentos y colorantes hasta obtener tonos básicos estables, como parte del traslado de tecnología de una resina compuesta al mercado nacional.

## Justificación

Los materiales de restauración estéticos tienen la cualidad de tratar de igualar el tono, la luminosidad y la saturación del color de los dientes naturales, para armonizar con los demás dientes y que la restauración pase inadvertida; por lo tanto, es imprescindible la obtención de los tonos básicos en nuestra base de resina compuesta fotopolimerizable experimental, de acuerdo a colorímetros universales con nomenclatura Vita, para así poder cubrir los requerimientos estéticos del material de restauración y poderse ofertar a pacientes con diferentes tonos en sus órganos dentales.

## Hipótesis

Con el agregado de diferentes cantidades de pigmentos inorgánicos a una base de resina compuesta experimental, se obtendrán resinas compuestas experimentales con tonos básicos A2, A3, A3.5, y B2 del colorímetro para resinas “Carisma” con estabilidad de color, radio opacidad y profundidad de curado, de acuerdo con la ISO 4049.

### Hipótesis nula

Con el agregado de diferentes cantidades de pigmentos inorgánicos a una base de resina compuesta experimental, no se obtendrán resinas compuestas experimentales con tonos básicos A2, A3, A3.5, B2 del colorímetro para resinas “Carisma”(Kulzer), con estabilidad de color, radio opacidad y profundidad de curado de acuerdo con la ISO 4049 y 7491.

# Objetivos

## Objetivo general

Lograr tonos básicos en una resina compuesta experimental con valores aceptables de acuerdo con la ISO 4049 de estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad.

## Objetivos específicos

- ▶ Obtener el tono A2 del colorímetro “Carisma” y valorar la estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad.
- ▶ Obtener el tono A3 del colorímetro “Carisma” y valorar la estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad.
- ▶ Obtener el tono A3.5 del colorímetro “Carisma” y valorar la estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad.
- ▶ Obtener el tono B2 del colorímetro “Carisma” y valorar la estabilidad de color, profundidad de curado y radio opacidad.

# Metodología

## Tipo de estudio

Experimental, longitudinal, prospectivo, explicativo.

## Definición de variables

VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES
Resina compuesta experimental	Profundidad de curado
Pigmentos inorgánicos	Radio opacidad
Óxidos metálicos (opacadores)	Estabilidad de color
Bloqueador de rayos UV	Tonos A2, A3, A3.5 y B2
Material de relleno	
Aditivos	

Tabla 1. Definición de variables.

# Muestra

## Criterios de inclusión

- ▶ Base de resina compuesta experimental fotopolimerizable.
- ▶ Pigmentos inorgánicos y colorantes orgánicos.
- ▶ Muestras que cumplan con las dimensiones y formas que marca la norma para profundidad de curado, translucidez y estabilidad de color.

## Criterios de exclusión

- ▶ Base de resina compuesta comercial.
- ▶ Pigmentos orgánicos.
- ▶ Muestras que no cumplan con las dimensiones y formas que marca la norma para profundidad de curado, translucidez y estabilidad de color.

### Criterios de eliminación

- ▶ Todas las muestras que presenten burbujas, contaminación o defectos en su fabricación.
- ▶ Todas las muestras que no cumplan con la norma ISO 4049 y 7491.

### Recolección de datos

- ▶ Hojas de captura.
- ▶ Programa de cómputo excel.

### Análisis estadístico

- ▶ Manejo de resultados de acuerdo con la norma.
- ▶ ANOVA.



# Materiales y métodos

## Metodología

### Resina compuesta sin pigmento

Se preparó una carga de resina compuesta fotopolimerizable experimental (Figura 18), con una relación de 26% de matriz orgánica y 74% de matriz inorgánica o partículas de relleno. Los componentes (Figura 19) se muestran en la Tabla 2:

LÍQUIDO	POLVO
Bisfenol A-glicil metacrilato (BISGMA)	Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) Silanizado (Sil 15;15µm)
Trietilenglicoldimetacrilato (TEGDMA)	Dióxido de silicio (Aerosil R972; 16nm)
N - Dimetil Paratoloudina (DMPT)	
Hidroquinona (HQ)	
Canforoquinona (CPQ)	
Tetrahidroxi- benzofenona (TB)	

Tabla 2. Componentes de la resina compuesta experimental.



Figura 18. Resina compuesta sin pigmento.



Figura 19. Componentes de la resina compuesta fotopolimerizable.

La carga total se dividió en cinco porciones iguales (Figura 20) que correspondieron a cinco grupos de trabajo. Cada resina fue distinguida por el nombre del tono a lograr, y la resina sin pigmento como Master Batch (resina patrón). En la Tabla 3 se identifica cada una de las formulaciones.

COLOR	MATRIZ ORGÁNICA	COMPONENTE INORGÁNICO	PIGMENTO
Master Batch	Bis -GMA TEGDMA	SiO2 Silanizado 72.5% Aerosil 1.5 %	
A2	Bis -GMA TEGDMA	SiO2 Silanizado 72.5% Aerosil 1.5 %	Pigmentos inorgánicos
A3	Bis -GMA TEGDMA	SiO2 Silanizado 72.5% Aerosil 1.5 %	Pigmentos inorgánicos
A3.5	Bis -GMA TEGDMA	SiO2 Silanizado 72.5% Aerosil 1.5 %	Pigmentos inorgánicos
B2	Bis -GMA TEGDMA	SiO2 Silanizado 72.5% Aerosil 1.5 %	Pigmentos inorgánicos

Tabla 3. Composición de cada grupo de resina compuesta.



Figura 20. Grupos de trabajo resina compuesta.

A los cinco grupos se les agregó HIDROQUINONA como estabilizador, CANFOROQUINONA como iniciador, DIMETIL PARATOLOUDINA como activador y TETRAHIDROXYBENZOFENONA como bloqueador de rayos ultravioleta.

### Obtención de tonos básicos

Se agregaron diferentes cantidades de pigmentos inorgánicos a la base de resina compuesta hasta obtener el tono y la consistencia adecuada. Se igualaron los tonos, según la ISO 4049 y 7491, empleando a tres personas para comparar, por inspección visual, cualquier diferencia y similitud de color utilizando el colorímetro para resinas Carisma, con nomenclatura universal VITA.

#### Master Batch + Pigmentos inorgánicos = Tono

Master Batch	+	TiO <sub>2</sub> + Óxido de fierro amarillo	= A2
		TiO <sub>2</sub> + Pigmento naranja (amarillo y rojo)	= A3
		TiO <sub>2</sub> + Pigmento naranja (rojo y amarillo)	= A3.5
		TiO <sub>2</sub> + Pigmento naranja Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> amarillo	= B2

Cada combinación se realizó en una mezcladora eléctrica (Figura 21), con filtro de luz para evitar la polimerización de la resina compuesta, hasta alcanzar una mezcla homogénea, registrando el tiempo de mezclado promedio.

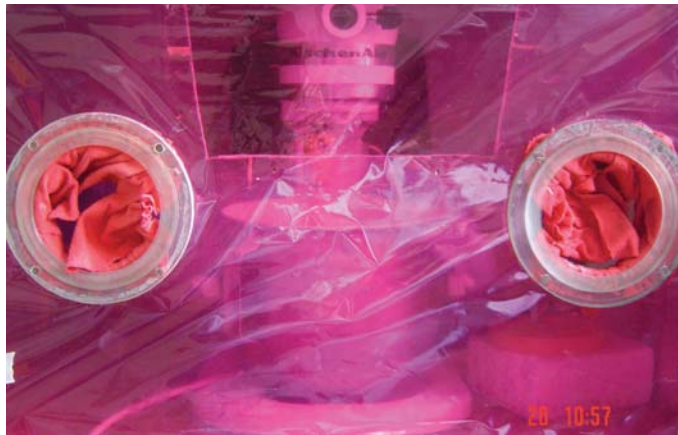


Figura 21. Cámara de mezclado.

Por el principio del círculo cromático se realizaron las combinaciones de la mezcla y los pigmentos manualmente (Figura 22), es decir se combinaron dos colores primarios para obtener un secundario, como en el caso del naranja, se combinó colorante amarillo con rojo a diferentes cantidades para obtener naranja, que según Shilinburg<sup>24</sup> es la base de los tonos B en el colorímetro universal VITA.

Una vez obtenido el tono deseado de forma manual, la mezcla en cantidades mayores, se realizó usando la mezcladora eléctrica con filtro de luz (Figura 23).

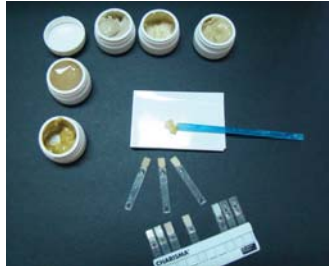


Figura 22. Mezcla manual de resina para la obtención de tonos básicos.



Figura 23. Mezcla de pigmentos y colorantes con la resina compuesta.

Basándose en la Norma ISO 4049 se realizaron las pruebas físicas y químicas de profundidad de curado, radio opacidad y estabilidad de color. La ISO 7491 también fue empleada para esta última prueba.

## Pruebas de calidad

### Profundidad de curado

#### *Material* (Figura 24)

- ▶ Molde de acero para la preparación de especímenes cilíndricos de 6 mm de altura y 4 mm de diámetro.
- ▶ Aceite de silicón.
- ▶ Portaobjetos.
- ▶ Película transparente de poliéster de 50 de  $\mu\text{m}$  grosor (cinta mylar).
- ▶ Radiómetro (Demetron Research Corp. CT 06810-7377 USA).

- ▶ Vernier Digital (Electronic Digital Caliper, Max-cal, No. 255827Fower NSK) con una exactitud de 0.01mm.
- ▶ Lámpara Bluephase C5 (Ivoclar Vidavent. F1-9494. Australia).
- ▶ Espátula plástica.
- ▶ Resina compuesta experimental Master Batch.
- ▶ Resinas compuestas experimentales, tonos A2, A3, A3.5 y B2.



Figura 24. Material para prueba de profundidad de curado.

### *Método*

Se valoró la mezcla experimental de resina compuesta sin pigmento (MB) y la mezcla con los tonos obtenidos (A2, A3, A3.5 y B2), según el procedimiento ISO 4049 para materiales de obturación a base de resina.

Se colocó el molde de acero inoxidable previamente lubricado con aceite de silicón sobre una tira de cinta mylar y sobre un portaobjeto de vidrio.

Se sobreobturó el molde con el material teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire; se colocó una segunda tira de película transparente en la parte superior del molde seguida del segundo portaobjetos.

Se presionó el molde y las tiras de película entre los portaobjetos para desplazar el material excedente.

Se retiró el portaobjeto que cubría la película superior y se colocó la punta de la lámpara en contra de la película. Se irradió el material durante 40 segundos, con una lámpara de fotocurado de luz azul de  $550 \text{ mW/cm}^2$  monitoreados con el radiómetro de intensidad, para obtener la profundidad de curado.

Inmediatamente después de completada la irradiación, se retiró la muestra del molde y el material no curado con la espátula de plástico.

#### *Cálculo de profundidad de curado*



Figura 25. Cálculo de profundidad de curado.

Se midió el largo del cilindro del material curado con el vernier, y el valor se dividió entre dos y se registró como profundidad de curado.

### Estabilidad de color

#### *Material* (Figura 25)

- ▶ Molde de  $15 \pm 0.1$  mm de diámetro por  $1.0 \pm 0.1$  mm de altura.
- ▶ Espátula de plástico.
- ▶ Película transparente de poliéster de  $50 \mu\text{m}$  de grosor (cinta mylar).
- ▶ Portaobjetos.
- ▶ Lámpara Bluephase C5 (Ivoclar Vidavent,  $450 \text{ mw/cm}^2$  F1-9494. Australia).
- ▶ Estufa a  $37 \pm 1^\circ\text{C}$ .
- ▶ Contenedor de agua.
- ▶ Soporte de plástico.
- ▶ Termómetro.
- ▶ Lámpara de xenón con un calor de temperatura de  $6000 \pm 1000$  K y con una exposición a la muestra de  $150\,000$  lux (Ovni grafic xenon. ELMO. 350 w, 120v, Japón). Monitoreada con un espectro colorímetro (Sixticolor, Grossen, Germany. N. serie 25649) para medir los K y un medidor de intensidad de luz (Light meter 615, Taiwán N. serie 45678) para los lux.
- ▶ Filtros de calor (Figura 27): Wratten Filter No. 2E (Kodak Filter CC05R, Kodak Filter CC05C CC05Y).
- ▶ Resina compuesta experimental Master Batch.
- ▶ Resinas compuestas experimentales, tonos A2, A3, A3.5 y B2.





Figura 26. Material para estabilizar el color.

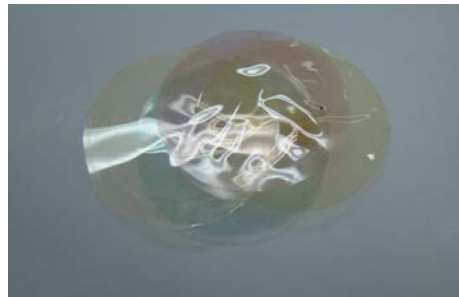


Figura 27. Filtros de calor.

### *Método*

Se prepararon 3 muestras según ISO 4049 para materiales de obturación a base de resina de la siguiente manera:

Se utilizó un hacedor de muestras metálico de 15 mm de diámetro por 1 mm de profundidad.

Se sobreobturó el hacedor con la resina experimental fotopolimerizable, se eliminó el exceso de material y se colocó un trozo de cinta mylar y sobre ésta un portaobjetos que desplazó el material en el molde. Se retiró el portaobjetos y se irradió la periferia del disco durante 40 segundos con la punta de la lámpara de fotopolimerizado hasta cubrir toda la superficie del disco.

Muestra 1. Después de remover la muestra del molde, se almacenó en oscuridad (Figura 28) a  $37 \pm 1^\circ \text{C}$ , durante 7 días (muestra de referencia).

Muestra 2. Después de remover la muestra del molde, se almacenó en oscuridad en agua desionizada a  $37 \pm 1^\circ \text{C}$ , durante 7 días (Figura 28).

Muestra 3. Después de remover la muestra del molde, se almacenó en el horno a  $37 \pm 1^\circ \text{C}$ , durante  $24 \pm 2 \text{h}$ . Después de este tiempo se retiró la muestra del horno y se cubrió la mitad con aluminio, se llevó a la cámara de radiación, que consistió en un recipiente con agua a  $37 \pm 5^\circ \text{C}$ , en el cual se introdujeron las muestras en un soporte de plástico vertical separado del cristal del recipiente ( $10 \pm 5 \text{ mm}$ ), se radiaron durante 24 h con la lámpara de xenón (Figura 29).



Figura 28. Estufa con temperatura controlada ( $37^\circ \text{C}$ ).



Figura 29. Lámpara de xenón.

Después de la exposición a la radiación, se retiró la hoja de aluminio y se llevó al horno a  $37 \pm 1^\circ \text{C}$ , almacenándola en ausencia de agua durante 5 días.

### *Comparación de color*

Después de los 7 días se retiraron del horno y se observaron los cambios de tono en la superficie de éstas.

Nueve observadores hicieron una inspección visual de las muestras experimentales. Se comparó la mitad expuesta y no expuesta de las muestras; asimismo, la comparación de éstas se realizó con la muestra de referencia. La muestra húmeda se secó con papel absorbente y se comparó con la muestra de referencia (Figuras 30, 31 y 32).

La comparación se llevó a cabo usando luz fría o luz de día, sobre un fondo blanco difuso de 90% de reflectancia. Se recortó el fondo blanco al tamaño del disco y se rodeó con un fondo negro difuso.

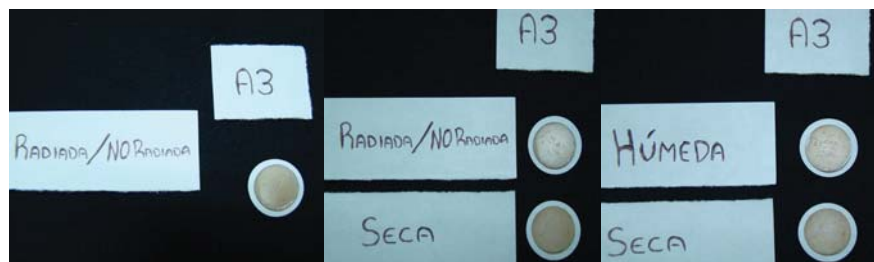


Figura 30, 31 y 32. Comparación de la superficie de la muestra radiada, de la misma con la muestra seca de referencia y con la muestra húmeda.

Se permitió que los observadores vieran las muestras por un periodo no mayor a 2 s, se anotó el promedio de las comparaciones independientemente de los nueve observadores.

Después de la observación de color de la superficie de la muestra radiada, la muestra seca con la radiada y la muestra seca con la húmeda de todos los grupos, se reportó según la ISO 7491 que para cumplir con el requisito de estabilidad de color sólo se observarían ligeros cambios en la superficie de las muestras.

### Radio opacidad

#### *Material* (Figura 33)

- ▶ Radiografías Kodak Ektaspeed Plus, #2, E.P - 21P, velocidad de película E. USA.
- ▶ Densitómetro (Figura 34) X-Rite Modelo 891 (Incorporated 3100, 44th, Street S.W, Grandville, Michigan, 49418).



Figura 33. Material para la prueba de opacidad.



Figura 34. Densitómetro fotográfico.

- ▶ Aparato de rayos X (Corix Medical Systems) 70 kVp – 8 mA.  
Líquido revelador Kodak (USA, CAT 190 0984).
- ▶ Líquido fijador Kodak, USA (CAT 190 2485).
- ▶ Discos de aluminio con una pureza de 99.5% y dimensiones de 1 mm de grosor y 15 mm de diámetro.
- ▶ Vernier Digital (Electronic Digital Caliper, Max-cal, No. 255827 Fowor NSK).
- ▶ Molde de  $15 \pm 0.1$  mm de diámetro y  $1.0 \pm 0.1$  mm de espesor.
- ▶ Espátula de plástico.
- ▶ Película transparente de poliéster de 50  $\mu\text{m}$  de grosor (cinta mylar).
- ▶ Portaobjetos.
- ▶ Lámpara de fotocurado (Bluephase Cs. 550 mW/cm<sup>2</sup>).
- ▶ Resina compuesta experimental Master Batch.
- ▶ Resina compuesta experimental tono A2, A3, A3.5 y B2.

### *Método*

Las muestras se prepararon en moldes de metal inoxidable de  $15 \pm 0.1$  mm de diámetro y  $1.0 \pm 0.1$  mm de profundidad y se lubricó el molde con aceite de silicón; se colocó la resina sobrellenándolo ligeramente (Figura 34) y cubriéndolo con cinta Mylar y una loseta de vidrio para desplazar el material excedente.



Figura 35. Preparación de muestras para la prueba de radio opacidad.



Figura 36. Fotopolimerización de las muestras de radio opacidad.

Se irradió la muestra durante 40s cada espacio que cubria la punta de la lámpara hasta cubrir toda la superficie de la muestra (Figura 35).

Se realizaron cinco muestras por cada grupo de resina (MB, A2, A3.5, y B2).



Figura 37. Toma de radiografía.

Una vez obtenidas las muestras, se tomaron radiografías dentales de cada resina (Figura 37), a  $65 \pm 5 \text{KV}$  colocando en cada radiografía la muestra de la resina de 1 mm de grosor y 15 mm de diámetro y un disco de aluminio de 1 mm de grosor y un diámetro de 15 mm (Figura 38), a una distancia foco objeto de 400 mm durante 0.5 segundos a 10 mA.

Las radiografías se revelaron y fijaron con los líquidos (Kodak). Se midió el cambio

de densidad óptica de la imagen de la muestra y del aluminio en la misma radiografía, con el densitómetro digital X-Rite (Figura 39).

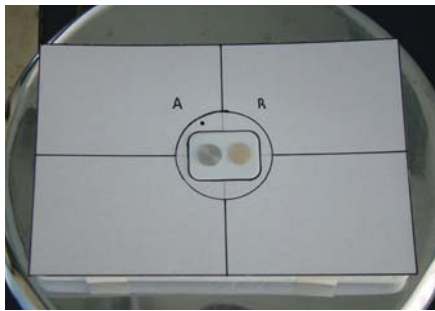


Figura 38. Muestra de aluminio y de resina colocadas sobre la radiografía.



Figura 39. Medición de la densidad óptica de la imagen radiográfica de la muestra de resina y la muestra de aluminio en el densitómetro.

La radio opacidad del material debe ser igual o mayor a la del aluminio, o no menor que 0.5 mm de lo que establece el fabricante.

## Resultados

### Obtención de tonos básicos

La obtención de los tonos A2, A3, A3.5 y B2 se logró con la utilización de pigmentos inorgánicos. Los valores de la prueba de profundidad de curado (Figura 40, Tabla 4 y Gráfica 1)



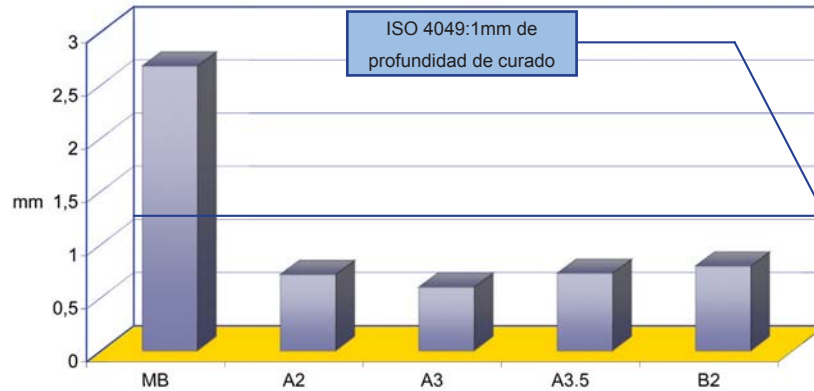
Figura 40. Comparación de la profundidad de curado de la resina MB (izquierda) y de la resina con pigmentos inorgánicos (derecha).

disminuyeron al grado no cumplir con los valores exigidos por ISO 4049. La consistencia final de la resina también se vió alterada en comparación con la resina sin pigmento.

Tipo de muestra	Valor obtenido (mm)
MB	$2.68 \pm 0.162$
A2	$0.72 \pm 0.075$
A3	$0.60 \pm 0.068$
A3.5	$0.73 \pm 0.045$
B2	$0.80 \pm 0.013$

Tabla 4. Resultados promedio de profundidad de curado con pigmentos inorgánicos.





Gráfica 1. Profundidad de curado con pigmentos inorgánicos.

Con la misma metodología se experimentó con otro tipo de compuestos para colorear. Se usaron los colorantes orgánicos y sólo al óxido de titanio como pigmento inorgánico. Los tonos A2, A3, A3.5 y B2 (Figura 41) se obtuvieron con la mezcla de colorantes orgánicos (Tetracloro-12H-ftaloperin-12-ona y 4-Bromo-3-hidroxiquinona ftalona) y el pigmento inorgánico (óxido de titanio) como vehículo, plastificante y opacador, en distintas proporciones.



Figura 41. Tonos básicos de la resina compuesta (de izquierda a derecha A2, A3, A3.5 y B2).

Por los resultados anteriores, las formulaciones cambiaron de la siguiente manera:

Master Batch	+	Pigmento inorgánico y colorantes orgánicos	=	Tono
		TiO <sub>2</sub> + Colorante amarillo	=	A2
		TiO <sub>2</sub> + Colorante naranja	=	A3
Master Batch	+	TiO <sub>2</sub> + Colorante naranja	=	A3.5
		TiO <sub>2</sub> + Colorante naranja	=	B2
		Colorante amarillo		

Los cuatro grupos de resina pigmentados más el grupo MB, fueron sometidos a las pruebas de calidad de profundidad de curado, radio opacidad y estabilidad de color.

Los resultados obtenidos de cada prueba fueron analizados estadísticamente con ANOVA de una vía, así como prueba de Tukey, utilizando el programa Sigma-Stat 2.03.

## Profundidad de curado

### Pigmento inorgánico y colorantes orgánicos

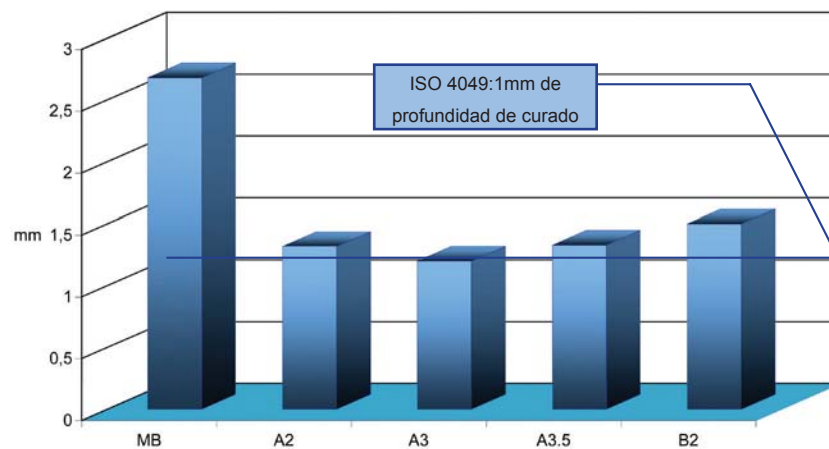
Todos los grupos de resina con la utilización de óxido de titanio y colorantes orgánicos obtuvieron valores por arriba de lo que exige ISO 4049, por lo que cumplieron con el requisito de profundidad de curado.

En la Tabla 5 y la Gráfica 2 se muestran los resultados de profundidad de curado de los grupos valorados.

Profundidad de curado promedio de cada grupo

Tipo de muestra	Valor obtenido (mm)
MB	$2.68 \pm 0.162$
A2	$1.32 \pm 0.085$
A3	$1.20 \pm 0.058$
A3.5	$1.33 \pm 0.055$
B2	$1.50 \pm 0.012$

Tabla 5. Resultados promedio de profundidad de curado.



Gráfica 2. Profundidad de curado de cada grupo.

Existe una diferencia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.001$ ) entre los valores promedio de los cinco grupos, por lo tanto los valores fueron sometidos a la prueba de Tukey, encontrándose diferencias significativas entre los grupos:

- ▶ MB vs. A2, A3, A3.5, B2
- ▶ B2 vs. A2, A3, A3.5
- ▶ A3.5 vs. A3
- ▶ A2 vs. A3

## Radio opacidad

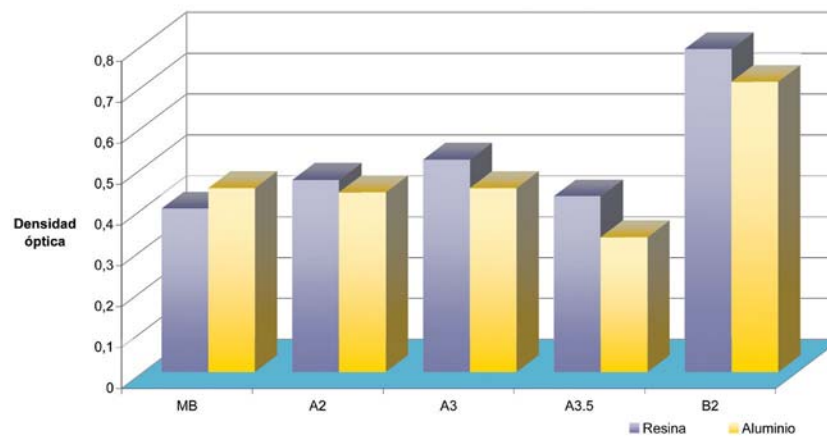
En la Tabla 6 y Gráfica 3 se muestran los resultados de radio opacidad de los grupos valorados, utilizando óxido de titanio y colorantes orgánicos.

Se midió la densidad óptica de cada muestra y aluminio. Si el valor que se obtiene de la muestra es mayor que el aluminio, la resina será más radio opaca que la muestra de aluminio (Figura 42).

Los cuatro grupos con pigmento obtuvieron mayor densidad óptica que del aluminio, que según ISO 4049 es el parámetro para medir la radio opacidad de las resinas compuestas, por lo tanto, la resina cumplió con el requisito de radio opacidad.

Tipo de muestra	Densidad óptica Resina	Densidad óptica Aluminio
MB	0.40 ± 0.258	0.45
A2	0.47 ± 0.410	0.44
A3	0.52 ± 0.563	0.45
A3.5	0.43 ± 0.227	0.33
B2	0.79 ± 0.617	0.71

Tabla 6. Resultados promedio de radio opacidad.



Gráfica 3. Radio opacidad promedio de cada grupo.

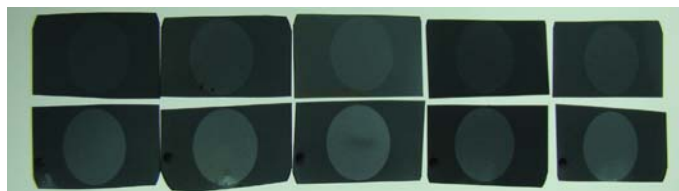


Figura 42. Imágenes radiográficas de las muestras de resina (arriba) y aluminio (abajo).

No existe diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedio de todos los grupos.

## Estabilidad de color

En la Tabla 7 y Gráfica 4 se muestran los resultados de estabilidad de color para las resinas valoradas con óxido de titanio y colorantes orgánicos.

Según ISO 4049, refiere que después de haber cumplido con la prueba descrita en ISO 7491, un ligero cambio en tono debe ser observado en el material en comparación con la muestra seca de referencia, para cumplir con el requisito de estabilidad de color.

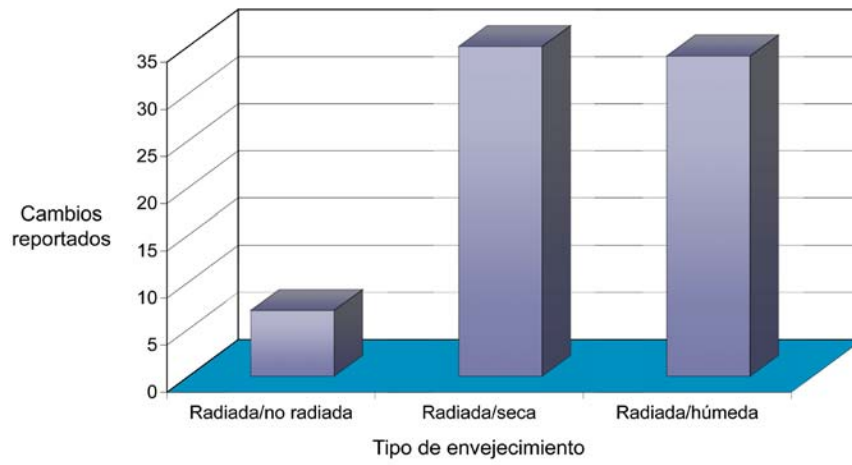
Los cuatro grupos de resina pigmentados cumplieron con el requisito, al mostrar no sólo ligeros cambios en la superficie de las muestras en comparación con la muestra secas de referencia.

Para fines experimentales se tabuló la relación de las tres condiciones de envejecimiento a las que fueron sometidos los cinco tipos de muestras, en relación con los ligeros cambios reportados o no reportados en la superficie de la muestra por nueve observadores, con el fin de saber qué tipo de envejecimiento acelerado y pigmento altera más la estabilidad de color de la resina compuesta.

Cambios Muestra	Ningún cambio	Cambio ligero	Cambio marcado
Radiada/no radiada:			
MB	8	1	0
A2	8	1	0
A3	7	2	0
A3.5	8	1	0
B2	7	2	0
Total	38	7	0
Radiada/no radiada/seca:			
MB	0	9	0
A2	2	7	0
A3	3	6	0
A3.5	3	6	0
B2	2	7	0
Total	10	35	0
Húmeda/seca			
MB	0	9	0
A2	3	6	0
A3	2	7	0
A3.5	3	6	0
B2	3	6	0
Total	11	34	0

Tabla 7. Análisis estadístico de radio opacidad.

La Gráfica 4 ilustra los ligeros cambios reportados en la superficie de las muestras en cada tipo de envejecimiento. En ella se observa que la humedad provocó mayor número de ligeros cambios de tono en la superficie de las muestras.



Gráfica 4. Estabilidad de color (envejecimiento acelerado).

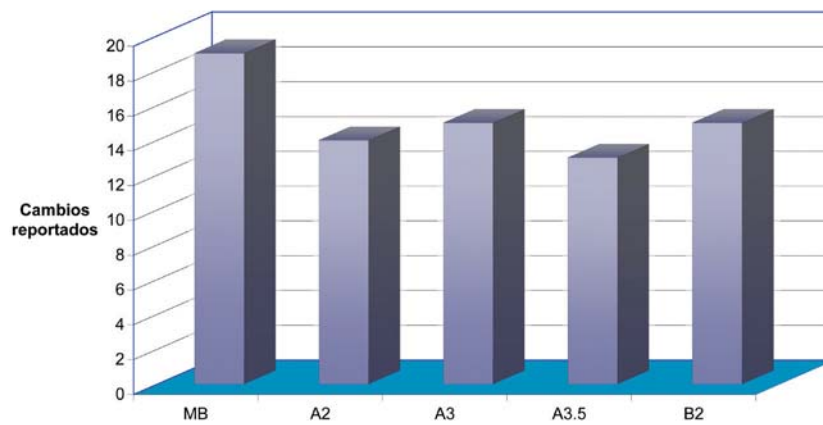
En la Tabla 8 se contabilizaron los ligeros cambios reportados para cada grupo de resina en particular.

Comparación	Master Batch	A2	A3	A3.5	B2
Radiada/no radiada (1)	1	1	2	1	2
(1)/seca	9	7	6	6	7
Húmeda/seca	9	6	7	6	6
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>15</b>

Tabla 8. Estabilidad de color para cada grupo de resina compuesta.



La Gráfica 5 ilustra los ligeros cambios reportados en cada grupo de resina; en ella se observa que los ligeros cambios de tono en las muestras pigmentadas disminuyó, en comparación con las muestras sin pigmento MB.



Gráfica 5. Estabilidad de color para cada grupo de resina compuesta.

## Discusión

### Obtención de tonos básicos

La obtención de los tonos básicos de la resina compuesta experimental fotopolimerizable se logró con los colorantes orgánicos (Tetracloro-12H-ftaloperin-12-one y 4-Bromo-3-hidroxiquino ftalona) y pigmento (óxido de titanio) en distintas proporciones.

Las pruebas de calidad ISO y su metodología fueron cumplidas en su totalidad, reuniendo todo el material y equipo necesarios.

Para las pruebas de profundidad de curado y radio opacidad se empleó el equipo existente del laboratorio de materiales dentales de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología, y para la prueba de estabilidad de color se adquirió una fuente de luz de arco de xenón con un rango de color de temperatura entre 5000° y 7000° K y con una exposición a la muestra de 150 000 lux, además de

filtros de luz para la lámpara. Gracias a que reunimos todas las condiciones y equipo necesarios para las pruebas, pudimos lograr el objetivo de esta investigación.

Para la obtención de los distintos tonos se partió de los fundamentos de la teoría del color y sus propiedades, las características de la luz, las propiedades ópticas de los órganos dentales y la diferenciación entre pigmento y colorante, entre otros temas.

La forma en la que se integraron los colorantes y el pigmento a la resina está respaldada por la investigación de Lai, Wang y DeLong,<sup>25</sup> en la que explican que la coloración de la resina puede ser lograda intrínseca y extrínsecamente. Sin embargo, reportan que la coloración intrínseca es la que tiene mejores resultados en comparación con la extrínseca debido a que en la coloración intrínseca la incorporación del pigmento dentro de la base de resina es anterior a la reacción de polimerización, por lo que se incorpora de una mejor manera en comparación con la lograda por medio del pigmento después de la reacción de curado.

Según la teoría del color, para que un objeto sea visible debe reflejar o transmitir la luz que incide sobre él y absorber o dispersar las longitudes de onda que no correspondan al color de dicho objeto.<sup>6</sup> La igualación de los tonos A2, A3, A3.5 y B2 se logró partiendo de dicho principio, ya que en la resina

pigmentada, el pigmento absorbe las longitudes de onda que no le corresponden. Sin embargo, para la obtención de cada uno en particular fue necesario más de un colorante con diferente reflectancia (longitud de onda) y absorción para conseguir la mezcla de ambos, y las longitudes de onda resultantes, que no son absorbidas por cada colorante, fueran el color reflejado resultante de la mezcla de los colorantes empleados, que se conoce como mezcla de colores reflejados.<sup>6</sup>

La luz de un objeto que incide sobre el ojo humano es enfocada en la retina y se convierte en impulsos nerviosos que son transmitidos al cerebro, siendo los conos de la retina responsables de la percepción del color en este estudio, los observadores recibieron la luz reflejada o transmitida por el colorante y pigmento mezclado con resina e interpretaron el color resultante y su similitud con la muestra a igualar.

Siguiendo la teoría de sistemas de colores primarios, los colores primarios del pigmento son colores sustractivos, es decir, se basan en la luz reflejada de los pigmentos aplicados a una superficie.<sup>6</sup>

La percepción del color de los colorantes y pigmentos al igualar los tonos de la resina compuesta experimental reflejan la luz que incide sobre ellos; esta percepción cambia si el pigmento se mezcla con la base de resina experimental, debido a que el color final de la mezcla base es verde claro, entonces, con

la integración del pigmento a la mezcla, el color percibido es distinto al original del colorante o pigmento puro.

Para la obtención específica de los tonos A2, A3, A3.5 y B2 de la resina compuesta experimental, fue necesario también considerar la teoría del círculo cromático basada en el sistema de colores primarios del pigmento que representa las relaciones entre los tonos primarios, secundarios y complementarios.<sup>6</sup> Los tonos primarios (rojo, amarillo y azul) constituyen la base del sistema cromático; sólo se utilizaron rojo y amarillo. Los tonos primarios y las relaciones que existen entre ellos forman la estructura básica del círculo cromático. La mezcla de tonos primarios proporciona un tono secundario:

Rojo + azul = violeta

Azul + amarillo = verde

Amarillo + rojo = naranja

Para fines de este estudio, se realizó el color secundario naranja para obtener el tono B, y el color primario amarillo para la base de tonos A, combinándolo con blanco (óxido de titanio).

Los tonos obtenidos para la base de resina experimental fotopolimerizable fueron igualados con colorantes orgánicos, en mayor proporción que con pigmentos inorgánicos, debido a que los tonos obtenidos con estos últimos modificaban demasiado las propiedades físicas y químicas de la resina. En

cuanto a las propiedades físicas, la mezcla final poseía una consistencia pastosa en vez de la consistencia original de migajón que es la indicada para su mejor manipulación en la cavidad dental.<sup>26</sup> Debido a las comparaciones realizadas al trabajar mezclas de resina con pigmentos orgánicos e inorgánicos en diferentes cantidades, se deduce que el cambio de consistencia puede ser debido a la plasticidad provocada por los pigmentos inorgánicos que actúan como opacificadores y plastificantes.<sup>7</sup> En cuanto a las propiedades químicas, las diferencias se estudiarán más adelante en lo que se refiere a la discusión de los resultados de profundidad de curado (Tabla 5).

Además de lo comprobado anteriormente, los pigmentos inorgánicos no están regidos por la FDA<sup>17</sup> (Food Drugs Administration), es decir, que no pueden ser utilizados en grandes cantidades para pigmentar alimentos o bebidas. Sin embargo, el óxido de titanio ha demostrado ser bio compatible cuando es utilizado en porcentajes que van del 0.001 a 0.007% en peso como opacificadores en las resinas compuestas, tal y como lo indica la teoría.<sup>7</sup>

Por lo anterior, los tonos finales de la resina compuesta fueron logrados con la mezcla de colorantes orgánicos.

## Profundidad de curado

En cuanto a las propiedades químicas, en la prueba de profundidad de curado se obtuvieron valores bajos (< a 1mm) de resina pigmentada con pigmentos inorgánicos en comparación con la resina sin pigmento (Tabla 5). Los pigmentos tienen la capacidad de absorber luz de la lámpara para fotopolimerizar, disminuyendo así las longitudes de onda que activarán al iniciador de la resina y, por lo tanto, reduciendo la ruptura de los dobles enlaces y la cantidad de radicales libres responsables de la reacción de polimerización del monómero consecuentemente.

Lo anterior se respalda con estudios realizados por Ritter, Ruttermann y Raabl, quienes añadieron pigmentos inorgánicos para lograr un efecto de fluorescencia en la resina compuesta y observaron que hay influencia significativa entre la utilización de pigmentos inorgánicos y los resultados de profundidad de curado, ya que los valores de la prueba disminuían considerablemente.

Por otro lado, con el empleo de colorantes orgánicos y óxido de titanio como pigmento inorgánico (opacador, plastificante y vehículo), la profundidad de curado aumentó considerablemente (Tabla 6).

Los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por la norma ISO 4049, donde los cuatro grupos pigmentados son mayores a 1 mm: A2 (1.32 mm), A3 (1.20 mm), A3.5 (1.33 mm) y B2 (1.50 mm).

Este valor (1 mm) es aplicado para resinas que contengan opacadores según ISO 4049, debido a que todos los modificadores ópticos afectan la capacidad de transmisión de la luz de un compuesto por lo que muchos de ellos disminuyen los valores de profundidad de curado, ya que los valores dictados para resina sin opacadores deben ser mayores a 1.5 mm según ISO 4049.<sup>4</sup> Es necesario recordar que los valores finales obtenidos de profundidad de curado, se reportan dividiendo el resultado entre 2, por lo que los valores reales de polimerización corresponden al doble de la cifra señalada anteriormente, por lo tanto, se cumple con la indicación de la manipulación de las resinas compuestas explicada por los fabricantes y en los libros de materiales dentales, que indica que debe ser empacada en la cavidad dental en porciones de no más de 2 mm de grosor.<sup>7</sup>

## Radio opacidad

Uno de los principales problemas de las resinas compuestas es el encogimiento por polimerización, que tiene como consecuencia la posible aparición de caries secundaria, por lo que es de suma importancia observar la clara diferenciación



radiográfica entre el esmalte o dentina y la resina para poder detectar tempranamente alguna posible reincidencia de caries o simplemente partes de la preparación de la cavidad en las que hizo falta resina compuesta.<sup>27</sup>

Por otro lado, la radio opacidad de la resina compuesta está en relación directa con el contenido inorgánico de su material de relleno. Resultados de estudios de Klaus Jandt<sup>3</sup> demostraron que al agregar óxido de titanio como componente inorgánico de la resina compuesta aumentó la densidad óptica de la resina y obtenían resultados mayores de radio opacidad que el esmalte y la dentina, ya que los rayos X sufren mayor atenuación cuando pasan a través de la resina compuesta con mayor contenido inorgánico.

En este estudio se empleó al óxido de titanio como vehículo de colorantes orgánicos para la obtención de los tonos deseados, además de servir como opacador y plastificante.<sup>7</sup>

Los valores de densidad óptica deben ser mayores o iguales al valor del grosor de 1 mm de aluminio de acuerdo con ISO 4049<sup>4</sup>, es decir, la radio opacidad de las muestras fue expresada en términos del grosor equivalente de aluminio.

Las resinas que obtuvieron valores mayores de densidad óptica en comparación con el aluminio fueron las que contenían pigmento A2 (0.47) en comparación con la densidad óptica

del aluminio (0.44); A3 (0.52) en comparación con aluminio (0.45); A3.5 (0.43) con la del aluminio (0.33) y B2 (0.79) con aluminio (0.71). La resina que no obtuvo valores por arriba del aluminio fue la resina base (MB) sin pigmento, obteniendo 0.40 de densidad óptica en comparación con el aluminio (0.45), probablemente por la ausencia de opacadores como el óxido de titanio.

No existió diferencia estadísticamente significativa entre los grupos, debido a los resultados similares obtenidos.

### Estabilidad de color

En el área de las restauraciones con resinas estéticas, la estabilidad de color es un requisito indispensable. La mayoría de las restauraciones para dientes anteriores son reemplazadas por no cumplir esta propiedad; la decoloración externa (exógena) como resultado de acumulación de placa, el tabaco y una dieta rica en carbohidratos intervienen en el cambio de color del material. Las aparentes diferencias de color también pueden estar relacionadas con la falta de pulido de la superficie de la resina.<sup>28</sup>

Por otro lado, la decoloración en las capas profundas (endógena) de la resina pueden ser ocasionadas por las reacciones físico-químicas de los componentes de la misma; estudios anteriores<sup>29</sup> mostraron que las aminas terciarias contribuyen a la decolo-

ración hacia un tono amarillento, así como el agua, que actúa como un transportador de agentes de manchado en el proceso de sorción acuosa.

Campbell, en el estudio a A. Schilze,<sup>28</sup> reportó una relación lineal entre el coeficiente de dispersión óptica y la concentración de relleno. Las diferencias químicas entre los componentes de la resina, tales como la pureza del monómero, la concentración y tipo de iniciadores y activadores, la oxidación de las dobles cadenas de carbono y el relleno, pueden afectar la estabilidad del color.

La canforoquinona es el fotoiniciador más usado en las resinas compuestas, ya que tiende a alterar su color debido al amarillo que lo caracteriza. Otros componentes importantes del sistema fotoiniciador son las aminas terciarias aromáticas o alifáticas, las cuales actúan como aceleradores, pues en el proceso de fotorreacción, tienden a causar decoloraciones (amarillo a marrón) bajo la influencia de luz o calor.

La matriz de la resina también tiene influencia en la estabilidad de color; en el caso de una matriz hidrofílica, la sorción de agua se incrementa dando como resultado una tonalidad más blanca y opaca. Si la matriz es hidrofóbica, la sorción es menor y el impacto en el color también es menor. En contraste con la decoloración exógena, causada por la absorción de tintes

o placa que puede ser eliminada puliendo la superficie de la resina, la decoloración endógena es irreversible.<sup>29</sup>

Para acelerar el proceso de envejecimiento de la resina compuesta, se desarrollaron según ISO 4049<sup>4</sup> y 7491<sup>30</sup>, pruebas *in vitro* para predecir el funcionamiento clínico estético del material. Muchos factores han sido estudiados como responsables de la decoloración que sufre la resina dentro del ambiente de la cavidad oral.

Las muestras en este estudio fueron sometidas a radiación de xenón con un rango de temperatura de  $6000 \pm 1000$  K y una exposición de 150 000 lux (que representa la cantidad de iluminación en un día soleado) en agua a 37°C, durante 24h, posteriormente seis días en oscuridad a la misma temperatura y humedad. Otro grupo fue expuesto a humedad a 37°C durante siete días y un grupo más a la misma temperatura, sin humedad y mismo periodo de tiempo.<sup>30</sup>

Los cambios de color fueron medidos de acuerdo con ISO 7491. Se encontraron ligeros cambios de color en la superficie de la resina en todos los casos, por lo que se cumplió con el requisito de estabilidad de color al no reportarse ningún cambio marcado en las superficies de las muestras. Sin embargo, el grupo que estuvo sometido al envejecimiento con agua (humedad y temperatura) fue el que reportó valores más altos en cuanto a cambios de color en la superficie de las muestras de resina.

La comparación de la estabilidad del color entre la muestra radiada y no radiada, la muestra seca con la radiada y la muestra húmeda con la seca, se realizó al término de los siete días de prueba. Los observadores reportaron, según ISO 4049, ligeros cambios de color o su ausencia en la superficie de las muestras. Sus resultados se graficaron y mostraron lo siguiente:

De las 45 observaciones (nueve observadores en cada uno de los cinco grupos):

Grupo 1 (radiada y no radiada), 7 ligeros cambios en total.

Grupo 2 (seca con radiada), 35 ligeros cambios.

Grupo 3 (húmeda con seca), 38 ligeros cambios.

Los reportes restantes no sufrieron cambio.

Resultados similares fueron encontrados por Alessandro Vichi<sup>2</sup> y colaboradores en su estudio comparativo de resinas dentales con diferentes composiciones después del envejecimiento con agua; concluyeron que el agua actúa como agente de decoloración y, probablemente, a la naturaleza de la matriz de resina compuesta, ya que existe mayor absorción de agua por la matriz de la resina compuesta a base de trietilenglicol-dimetacrilato (TEGDMA) que a base de dimetacrilato de uretano (UDMA). La resina experimental del presente estudio usó TEGDMA.

Asimismo refieren que el tamaño y distribución de las partículas de relleno también están directamente relacionadas con estos resultados.

Las resinas con mayor tamaño de partícula mostraron más susceptibilidad a la decoloración por el envejecimiento con agua en comparación con resinas con contenidos de tamaño de partículas menores; esto puede ser explicado considerando que la percepción de color está directamente relacionada con la dispersión de luz y que la absorción de agua es más sensible a mayor interfase entre la matriz de resina y el relleno.

El tamaño de partícula del material de relleno de la resina compuesta que se empleó en este estudio fue de 15  $\mu\text{m}$  que corresponde a un tamaño de partícula menor a las 25 micras, que es el valor que se toma en consideración como mínimo para clasificarse como partícula grande. De acuerdo con lo reportado por Yong-Kyu Lim,<sup>23</sup> entre mayor sea el tamaño de las partículas de relleno, la interfase con la matriz de resina es mayor, a diferencia de la utilización de partículas de relleno más pequeñas que disminuyen el espacio de esta interfase ocupando mejor los espacios resultantes para que la reflexión de la luz sea mayor. Por lo tanto, la dispersión de la luz y absorción de agua es mayor cuando la interfase es mayor, dando como resultado un cambio ligero en la percepción del color. Esto puede explicar los resultados reportados en este estudio. Es posible que exista una degradación hidrolítica en la interfase, debida a la absorción de agua, que puede modificar la manera en que la luz es dispersada por las partículas de relleno. Esto también puede explicar el hecho de que los resultados de radio opacidad para la muestra no pigmentada fueron

menores. Además del hecho de no contener opacador provoca que la interfase material de relleno matriz afecte el coeficiente de atenuación de los rayos X, disminuyéndolo y haciendo más radio opaca la resina si la interfase es menor (más densa), y aumentándolo y haciendo menos radio opaca la resina si la interfase es mayor (menos densa).<sup>23</sup>

La constante demanda de materiales para restauración estética obliga a seguir mejorando las propiedades físicas y químicas de las resinas compuestas.

Con la experiencia adquirida, se recomienda el desarrollo de más prototipos de matriz orgánica para poder incorporar más elementos que ayuden a incrementar valores como profundidad de curado y mejorar el aspecto final de la resina, así como igualarla cada vez más al diente con propiedades estéticas como la fluorescencia.

Son necesarios estudios posteriores para un mejor entendimiento del proceso de decoloración de la base de resina compuesta, evaluando cada uno de los parámetros que afectan la estabilidad de color clínicamente.

Con los resultados obtenidos se ha logrado un gran avance en el desarrollo de una resina compuesta fotopolimerizable con el fin de hacer el traslado de tecnología para la industria nacional. Sin embargo, es necesaria la continuidad de la investigación

para seguir mejorando cada vez más las propiedades físicas y químicas de la resina compuesta.

Las normas internacionales para materiales dentales se contemplan en la Asociación Dental Americana (ADA) y la Organización Internacional de Estándares (ISO), siendo en esta última donde se agrupan de una manera universal, las normas relacionadas con los materiales dentales y a la que se acogen los fabricantes de productos dentales.

La fabricación de materiales dentales tiene la obligación, entonces, de cubrir todas las normas establecidas para la elaboración y uso de éstos.



## Conclusión

Con esta metodología y en las condiciones en que se desarrolló este trabajo, se obtuvieron los tonos A2, A3, A3.5 y B2 con el agregado de diferentes colorantes orgánicos (Tetracloro-12H-ftaloperin-12-one y 4-Bromo-3-hidroxiquinofalona) y un pigmento inorgánico (óxido de titanio) en distintas proporciones, no cumpliéndose la hipótesis del protocolo.

Sin embargo, los objetivos se cumplieron al obtenerse los diferentes tonos deseados de las resinas compuestas fotopolimerizables experimentales, con valores de profundidad de curado, radio opacidad y estabilidad de color de acuerdo con la norma ISO 4049.

1. En la prueba de profundidad de curado, los cinco grupos pigmentados estuvieron por arriba de las especificaciones de la ISO 4049 para materiales con opacadores, que es de 1mm.
2. En la prueba de radio opacidad, todos los grupos pigmentados obtuvieron valores por arriba del grosor del

valor de radio opacidad del aluminio, parámetro dictado por la ISO 4049.

3. En la prueba de estabilidad se reportaron sólo ligeros cambios en las superficies de las muestras, cumpliendo con lo establecido por la norma.

## Bibliografía

1. St. Ruttermann, J. Ritter, W.H. Raab, R. Bayer, R. Janda. *Laser-induced fluorescence to discriminate between a dental composite resin and tooth*. *Dental Materials* 2007; 23: 1390-1396.
2. A. Vichi, M. Ferrari, C. Davidson. *Color and opacity variations in three different resin-based composite products alter water aging*. *Dental Materials* 2004; 20: 530 – 534.
3. K. Jandt, O, Abdullah, Al- Jasser, K. Al- Ateeq. *Mechanical properties and radiopacity of experimental glass-silica-metal Irbid composites*. *Dental Materials* 2002; 18: 429-435.
4. International Standard ISO 4049. *Dentistry – Polymer – based filling, restorative and luting materials* . 3<sup>a</sup>. Ed. Suiza: ISO;2000.
5. Alves C. Rielson J, Nogueira G. Elenice A. *Estética dental, nueva generación*. Brasil: Artes Médicas Latinoamericana, 2003.

6. Aschheim Kenneth W, Dale Barry G. *Esthetic Dentistry a clinical approach to techniques and materials*. 2a. Edición. Estados Unidos de América: Mosby, 2001.
7. K. J. Anusavice. *Phillips' Science of Dental Materials*. 11va. Edition. USA, SAUNDERS, 2003.
8. Nordase M. *Composición y clasificación de los composites dentales restaurativos*. Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas en Cuba (on line) Feb. 1998. Disponible en: URL: <http://www.facest.sld.cu/articulos>. Visitada el 13 de enero de 2008.
9. Barceló SF, Palma M. *Materiales Dentales; conocimientos básicos aplicados*. 2ed. México: Trillas; 2004. pp: 103-125.
10. Foto nostra. *Fotografía y diseño digital*. México. 2005. Disponible en: URL: <http://www.fotonostra.com/grafico/historiacolor.htm>. Visitada el 27 de noviembre de 2007.
11. Goldstein E Ronald. *Odontología Estética*. Volumen I, 2da. Edición. España: Ars Medica, 2002.
12. Ferracane Jack L. *Materials in dentistry principles and applications*. 2a. Edición. Estados Unidos de América: Lippincott Williams and Wilkins, 2001.
13. Combe C Edward, Burke Trevor, Douglas William. *Dental biomaterials*. Estados Unidos de América: Kluwer Academic Publishers, 1999.
14. Buxbaum Hunter. *Industrial Inorganic pigments*. 2a. Edición. Germany: Wiley-VCH, 1998.

15. Wikipedia, la enciclopedia libre. Temperatura de color. [http://es.wikipedia.org/wiki/color de temperatura](http://es.wikipedia.org/wiki/color%20de%20temperatura). Visitada el 20 de enero de 2008.
16. Wikipedia, la enciclopedia libre. Definición de Lux. <http://es.wikipedia.org/wiki/lux>. Visitada el 20 de enero de 2008.
17. Clariant (México), S.A. de C.V. Master Bathes. División pigmentos y aditivos. *Diferencias entre pigmentos y colorantes*. Naucalpan, Edo. de México. 2007.
18. Wikipedia, la enciclopedia libre. Pigmentos orgánicos. <http://es.wikipedia.org/wiki/Carotenoide>. Visitada el 25 de enero de 2008.
19. Wikipedia, la enciclopedia libre. *Bióxido de titanio, propiedades y aplicaciones*. [http://es.wikipedia.org/wiki/Dióxido\\_de\\_titanio](http://es.wikipedia.org/wiki/Dióxido_de_titanio). Visitada el 10 de diciembre de 2007.
20. Solomon DH, Hawthorne DG. *Chemistry of pigments and fillers*. Estados Unidos de América: John Wiley and Sons, 1983.
21. PINSA. Pigmentos importados y nacionales S.A. de C.V. Colorantes orgánicos. Azcapotzalco, México, DF. 2007.
22. PINSA. Pigmentos Importados y Nacionales S.A. de C.V. Hoja de datos técnicos. Clave JL-9527.
23. Yong-Kyu Lim, Yong-Keun Lee. *Influence of filler distribution on the color parameters of experimental resin composites*. Dental Materials. 2007; 30: 1-7.

24. Shillingburg T. Herbert Jr, DDS, Hobo Sumiya, DDS, MSD, PhD, *Fundamentos esenciales en Prótesis Fija* 3ra. Edición, Editorial Quintessence books, 2000
25. J. H. Lai, L. L. Wang. *New organosilicon maxillofacial prosthetic materials*. Dental Materials. 2002; 18: 281-286.
26. Barrancos Money J, Barrancos P J. *Operatoria Dental*. 3ra ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1999
27. R. Nomoto, A. Mishima, K. Kobayashi. *Quantitative determination of radio-opacity: Equivalence of digital and film X-ray systems*. Dental Materials. 2008; 24: 141-147.
28. A. Schilze, J. Marshall, A. Stuart. *Color stability and harness in dental composites alter accelerated aging*. Dental Materials. 2003; 19: 612-619.
29. R. Janda, J. Roulet, M. Latta. *Effect of exponential polymerization on color stability of resin-based filling materials*. Dental materials. 2007; 23: 696-704.
30. International Standard ISO 7491. *Determination of color stability in Dentistry – Polymer – based filling, restorative and luting materials*. Madrid: ISO;1985.

## Iconografía

1. Ring E. Malvin, *Historia Ilustrada de la Odontología*, Doyma, Barcelona, 1989. Figuras 1, 2, 3
2. Barceló FS, Palma M. *Materiales dentales; conocimientos básicos aplicados*, 2da ed. Trillas, México, 2004. Figura 4
3. <http://www.persistenceunlimited.com/wp-content/uploads/2007/10/da%20vinci.jpg>  
[http://images.google.com/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Aristoteles\\_Louvre.jpg/450px-](http://images.google.com/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a4/Aristoteles_Louvre.jpg/450px-Aristoteles_Louvre.jpg/450px-) Figura 5
4. K. J. Anusavice. *Phillips' Science of Dental Materials*. 11va. Edition. USA, SAUNDERS, 2003. Figuras 6, 13
5. Esquema propio. Figuras 7, 10
6. Foto nostra. *Fotografía y diseño digital*. México. 2005. Disponible en: URL: <http://www.fotonostra.com/grafico/historiacolor.htm>. Visitada el 27 de noviembre de 2007. Figuras 8, 9
7. Wikipedia, la enciclopedia libre. Temperatura de color. [http://es.wikipedia.org/wiki/color de temperatura](http://es.wikipedia.org/wiki/color_de_temperatura). Visitada el 20 de enero de 2008. Figura 11

9. Wikipedia, la enciclopedia libre. Naturaleza de la luz. Figura 12  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Luz#Naturaleza\\_de\\_la\\_luz](http://es.wikipedia.org/wiki/Luz#Naturaleza_de_la_luz). Visitada el 20 de enero de 2008.
10. Fotografías propias. Figuras 10,14,  
15, 18-42
11. Baratieri, Araujo Jr. EM, *Composite Restorations in anterior teeth*, Editorial Quintessence Books, Brazil, 2005. Figuras 16, 17