



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**INFLUENCIA DEL PIGMENTO EN RESINAS PARA
RESTAURACIÓN EN PROFUNDIDAD DE CURADO Y
PROPIEDADES A LA FLEXIÓN.**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N O D E N T I S T A

P R E S E N T A:

MARIO MANCILLA BLANCAS

TUTOR: Dr. CARLOS ANDRÉS 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.



A DIOS:

Por darme la oportunidad de vivir, por darme fortaleza para concluir este trabajo y su amor infinito.

A MI MAMÁ:

ESTELA BLANCAS Gracias por el infinito amor y apoyo incondicional que me has brindado en toda mi vida, por tus grandes sacrificios, tu entera confianza y fe que pusiste en mí. Por brindarme los valores y armas para poder cumplir con esta y otras metas que se presenten en mi vida.

A MI PAPA:

MARIO MANCILLA Gracias por tu apoyo incondicional, por tus esfuerzos, sacrificios, exigencias y sobre todo por tu paciencia para que pudiera alcanzar mis metas. Por brindarme los valores, armas y la fuerza para seguir adelante.

A MIS HERMANOS:

JAVIER Por ser parte importante de mi vida y por los grandes momentos q hemos compartido en la vida.

MIRIAM Por tu apoyo incondicional en cada momento, por tu paciencia, por ser una hermana ejemplar, y porque eres parte importante de mi vida.

VRJDIANA Por tu cariño, paciencia y apoyo incondicional en cada momento, gracias por los momentos que hemos vivido juntos.

HÈCTOR Por ser parte importante en mi vida, por tu cariño, confianza y por los grandes momentos que hemos vivido juntos a lo largo de nuestras vida. Y sobre todo porque ustedes son el motor de mi vida. Muchas GRACIAS.

A MI SOBRINO:

YÆL Por llegar a nuestras vidas y brindarnos la alegría que hacía falta.

A MIS ABUELITOS:

AMPARO Y SIXTO Por sus experiencias, su gran cariño y sobre todo por el gran ejemplo que me han brindado ante la vida.

A MIS AMIGOS:

Chamorro, Daniela, Elizabeth, Marilú, Maya, Teresa, Ricardo, Luis, David, Orta, Mario, Javier, Gerardo, Areí, Eli, Melisa y a todos los demás por haber estado a mi lado en estos años, darme su confianza y apoyarme en los momentos complicados. Pero sobre todo por loa grandes momentos alegres que compartimos juntos. Por ser como mi segunda familia.

A MI TUTOR:

Al Dr. Carlos Andrés Álvarez Gayosso Por su gran apoyo, paciencia, consejos y tiempo. Pero sobre todo por sus conocimientos compartidos para desarrollar este trabajo.

A la C.D. Teresa Baeza por su gran apoyo, conocimientos y paciencia aportados.

*A la Facultad de Odontología y a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad en formar, parte de ella y desarrollarme tanto profesional como personalmente.*

A todos ustedes muchas gracias.....

MARIO MANCILLA BLANCAS.



ÍNDICE

PAG.

I.- INTRODUCCIÓN	8
II.- ANTECEDENTES	9
1.- Resinas Compuestas	11
2.- Composición	11
3.- Matriz Orgánica	12
4.- Relleno	12
5.- Agente de Conexión	13
6.- Sistema Activador-Iniciador	14
7.- Inhibidores	17
8.- Profundidad de Curado	17
9.- Resistencia a la Flexión	19
10.- Módulo Elástico	19
11.- Color	20
12.- Modelo CIE L* a* b*	21
13.- Pigmentos	22
III.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
IV.- JUSTIFICACIÓN	24
V.- HIPÓTESIS	25
VI.- OBJETIVOS	26
VII.- MATERIAL Y MÉTODO	27
1.- PREPARACION DE LAS RESINAS	27
1.1.- MATERIAL	27
1.2.- EQUIPO	27
1.3.- PROCEDIMIENTO	28
2.- PRUEBA DE PROFUNDIDAD DE CURADO	30
2.1.- MATERIAL	30
2.2.- EQUIPO	30
2.3.- PROCEDIMIENTO	31



3.- PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.....	33
3.1.- MATERIAL	33
3.2.- EQUIPO	33
3.3.- PROCEDIMIENTO	35
4.- PRUEBA DE COLOR.....	40
4.1.- MATERIAL:	40
4.2.- EQUIPO:	40
4.3.- PROCEDIMIENTO	41
VIII.- RESULTADOS.....	44
IX.- DISCUSIÓN	54
X.- CONCLUSIONES	58
XI.- REFERENCIAS.....	59



ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1. Mezcla de los materiales con agitador magnético.....	29
Figura 2. Resina envasada.....	29
Figura 3. Se colocó aceite de silicón en el molde.....	31
Figura 4. Incorporación de la resina en el molde.....	31
Figura 5. Se presionó el molde con un vidrio para eliminar exceso de resina. 32	32
Figura 6. Se fotopolimerizó la muestra.....	32
Figura 7. Medición de resina polimerizada.....	32
Figura 8. Muestra sujeta en los vidrios.....	35
Figura 9. Fotopolimerización de la muestra.....	36
Figura 10. Muestras obtenidas.....	36
Figura 11. Muestras envasadas con agua ionizada a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$	37
Figura 12. Estufa de temperatura controlada a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$	37
Figura 13. Medición de la muestra.....	37
Figura 14. Muestra sobre el soporte para flexión.....	38
Figura 15. Medición del molde de acero inoxidable.....	42
Figura 16. Aplicación de aceite de silicón.....	42
Figura 17. Colocación de la resina.....	42
Figura 18. Polimerización de la muestra.....	43
Figura 19. Muestra obtenida.....	43
Figura 20. Medición de la muestra.....	43



ÍNDICE DE TABLAS

PAG.

Tabla 1. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono B2.....	44
Tabla 2. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono A3.....	45
Tabla 3. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono A3.5.....	45
Tabla 4. Promedios de profundidad de curado en función de la concentración de pigmento.	46
Tabla 5. Valores obtenidos en resistencia a la flexión del tono B2 en MPa.	47
Tabla 6. Valores en MPa obtenidos de resistencia a la flexión del tono	48
Tabla 7. Valores obtenidos en resistencia a la flexión del tono A3.5 en MPa. .	48
Tabla 8. Promedios de resistencia a la flexión en función de la concentración de pigmento.	49
Tabla 9. Valores obtenidos en módulo elástico del tono B2 en MPa.	50
Tabla 10. valores obtenidos en módulo elástico del tono A3 en MPa.....	51
Tabla 11. Valores obtenidos en módulo elástico del tono A3.5 en MPa.	51
Tabla 12. Valores promedio del módulo elástico (GPa) en función de la concentración de pigmento.	52
Tabla 13. Valores de L* obtenidos	53
Tabla 14. Valores de a* obtenidos.	53
Tabla 15. Valores de b* obtenidos.	53
Tabla 16. Valores obtenidos del colorímetro VITA.....	53



ÍNDICE DE GRAFICAS

PAG.

Gráfica 1. Comparación de las resinas en sus tres tonos de profundidad de curado.....	47
Gráfica 2. Comparación promedio de las muestras en resistencia a la flexión.	49
Gráfica 3. Comparacion de los promedios del módulo elástico de las diferentes resinas.	52



I.- INTRODUCCIÓN

Las resinas compuestas en la actualidad son los materiales de restauración más empleados en la práctica odontológica debido a sus propiedades estéticas.

Desde la introducción de las resinas compuestas a la Odontología, diversas modificaciones en su formulación y sus presentaciones, en sus métodos de colocación y en sus procesos de polimerización se han llevado a cabo; esto para mejorar sus propiedades físico-químicas y su comportamiento en el área clínica.

Fabricar una resina para restauración sin pigmentar y que cumpla con los diversos requerimientos que las normas de calidad exigen es relativamente fácil. El problema se presenta cuando son pigmentadas para obtener los tonos deseados e igualar con el color de los dientes ya que muchas propiedades ya no cumplen con los requerimientos.

Para comprobar este fenómeno, se valoró profundidad de curado, resistencia a la flexión y el módulo elástico de resinas experimentales en función de los tonos A3, A3.5 Y B2 usando los métodos de preparación de muestras bajo las condiciones de la norma ADA27.

En las tres propiedades se encontraron diferencias estadísticas en función de la cantidad de pigmento añadido además de que los pigmentos suministrados no fueron tipo universal, es decir, se deben preparar pigmentos específicos para cada relación fase orgánica-fase inorgánica.



II.- ANTECEDENTES

A lo largo de su historia, la odontología se ha planteado como objetivo primordial la consecución de un adecuado estado de salud oral. Por ello se han desarrollado investigaciones para mejorar las propiedades físicas, químicas y sobre todo estéticas de las resinas compuestas.

La historia de las resinas compuestas, comienza con los llamados materiales de obturación de resinas acrílicas reforzadas con vidrios, sílice, alúmina, diamante y hasta aleaciones de plata.

Las resinas compuestas se han introducido en el campo de la Odontología Conservadora para minimizar los defectos de las resinas acrílicas que hacia los años 40 habían reemplazado a los cementos de silicato, hasta entonces los únicos materiales estéticos disponibles. A comienzos del año 1905 y hasta los años 60, se usaron los cementos de silicato como material de obturación.¹

A partir de los años 50, comienzan a utilizarse los plásticos basándose en metacrilato y dimetacrilato, con el objeto de buscar un material más resistente y evitar la irritación pulpar comúnmente producida por los cementos de silicato.¹

Buonocore en 1955, utilizó el ácido ortofosfórico para incrementar la adhesión de las resinas acrílicas en la superficie adamantina. Hervas G.A.¹ comenta que Bowen R.L. en 1958 empezó a experimentar con resinas epóxicas y acrílicas utilizando, además, partículas de relleno como refuerzo, este trabajo culminó con el desarrollo de la molécula de bisfenol A- glicidil metacrilato mejor conocida como Bis-GMA, tratando



de mejorar las propiedades físicas de las resinas acrílicas, cuyos monómeros permitían solamente la formación de polímeros de cadenas lineales.

A partir de 1970 aparecieron los materiales compuestos polimerizados mediante radiaciones electromagnéticas que obviaban la mezcla y sus inconvenientes. Se utilizó en los primeros momentos, la energía luminosa de una fuente de luz ultravioleta (365 nm), pero ante sus efectos iatrogénicos y su poca profundidad de polimerización, fue sustituida por la luz visible (427-491 nm) actualmente en uso.¹

En los años 80s existían materiales de resina para distintos propósitos como lo fueron: las resinas de microrelleno o de macrorelleno. Para los años 90s se utilizó un solo producto de resina para la mayoría de las aplicaciones dentales llamándose resinas Universales o Híbridas.

Para la década de los 2000 aparecen productos distintos para cada aplicación clínica con mejoramientos en los sistemas de aplicación, gran variedad de color, tiempo de fotopolimerización más cortos.

En el año 2003 se introducen al mercado las resinas de nanorelleno o con tecnología nanométrica, obteniendo así un gran avance en el área de las resinas para restauración.²

En la actualidad, los composites han tomado un protagonismo indudable entre los materiales de obturación que se usan mediante técnicas directas. Sus grandes posibilidades estéticas dan gran variedad en indicaciones terapéuticas, que se incrementan gracias a la gran versatilidad de presentaciones que se ofrecen actualmente.¹



1.- RESINAS COMPUESTAS

Un composite es un material heterogéneo formado por dos componentes, que poseen cualidades superiores a las de cada uno de ellos, con una gran densidad de entrecruzamientos poliméricos reforzados por una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de rellenos cristalinos u orgánicos que se unen a la matriz gracias a un agente de conexión.^{3,4}

2.- COMPOSICIÓN

El composite está conformado por las siguientes componentes: ^(1,5)

- 1.- Matriz Orgánica: material de resina plástica que forma una fase continua que representa del 30 al 50% del volumen total del material.
- 2.- Relleno: partículas o fibras de refuerzo que forman una fase dispersa.
- 3.- Agente de conexión o acoplamiento: sustancia química que favorece la unión del relleno con la matriz. Normalmente se usa un compuesto químico denominado Silano.
- 4.- Sistema activador-iniciador de la polimerización: compuestos químicos que inician y continúan la reacción de polimerización.
- 5.- Pigmentos: sustancias químicas que permiten obtener el color semejante al diente.



6.- Inhibidores de la polimerización: compuestos químicos que alargan la vida de almacenamiento y aumentan el tiempo de trabajo.

7.- Coadyuvantes: sustancias que proporcionan estabilidad de color ante la luz ultravioleta (absorbedores UV) o bien compuestos que previenen el polimerizado como la hidroquinona.

3.- MATRIZ ORGÁNICA

La matriz está compuesta por monómeros orgánicos disfuncionales, la mayoría de los composites contienen dimetacrilato de diglicidiléter de bisfenol-A (Bis-GMA) o matriz de Bowen, dimetacrilato de uretano (UDMA) o dimetacrilatos de trietilenglicol (TEGDMA).⁵

La molécula de Bis-GMA es bifuncional, ya que en ambos extremos de su cadena se encuentran dobles enlaces de grupos metacrilatos, a los que van ligados la capacidad de reticulación durante la polimerización. La presencia de dos ciclos aromáticos le confiere viscosidad. El Bis-GMA es altamente viscoso a temperatura ambiente debido a su alto peso molecular, por tanto es necesario diluirlo con otro monómero de bajo peso molecular con el fin de obtener una matriz de menor viscosidad.⁶

4.- RELLENO

El principal papel del relleno es conferir al composite sus propiedades físicas y mecánicas siempre que estén bien adheridas a la matriz, sin perder las ventajas propias aportadas por la matriz de la resina.²



Si esto no ocurre, estas partículas no actúan como refuerzo sino como debilitadores del material.⁴

Los beneficios del material de relleno son:

- Mayor dureza, resistencia y una disminución al desgaste.
- Reducción de la contracción de polimerización.
- Reducción de la contracción y expansión térmica.
- Disminución en la absorción del agua, menor reblandecimiento y tinción.
- Aumento de la radiopacidad.

Materiales que se han utilizado como relleno; vidrios, sílice coloidal, silicato y cuarzo molido. Deben tener los siguientes requisitos:⁴

- No ser tóxicos.
- Incoloros
- Alta resistencia a la dureza.
- Resistentes a la disolución en agua y a condiciones bucales

5.- AGENTE DE CONEXIÓN.

Es de suma importancia la íntima unión de las partículas de relleno con la matriz de la resina. Esto permite que la matriz del polímero más flexible transfiera los esfuerzos a las partículas de relleno más rígidas.



El enlace entre las dos fases del compuesto es proporcionado por un agente de acoplamiento, aplicado en forma adecuada puede impartir propiedades físicas y mecánicas mejoradas y proporcionar estabilidad hidrolítica para prevenir la penetración de agua a través de la interfase relleno-resina.⁴

Generalmente el agente de acoplamiento que se utiliza es un silano orgánico, siendo el más utilizado el gamma-metacril-oxipropil-trimetoxi-silano que al ser una molécula difuncional se une a los grupos hidroxilo del sílice en un extremo y con el doble enlace de los monómeros de la matriz, por el otro.

6.- SISTEMA ACTIVADOR-INICIADOR

Existen varias formas de activar una polimerización en las resinas, una de ellas es usando una fuente lumínica, sin embargo, para poder acelerar el proceso es necesario usar un iniciador junto con un activador adecuado.

Los activadores son aquellas sustancias químicas utilizadas para inducir el proceso de polimerización de los monómeros.

Los iniciadores son aquellas sustancias que inician la reacción química y son capaces de romper la doble ligadura del monómero para convertirlo en polímero.⁶ Los monómeros de metil metacrilato y di-metil metacrilato polimerizan por mecanismos de adición de polimerización iniciados por radicales libres. Los radicales libres pueden ser generados por activación química o por activación energética (calor o luz).⁴



Resinas fotoactivadas: los compuestos dentales se proporcionan como pasta simple contenida en una jeringa, la iniciación de los radicales libres consiste en la fotoactivación de las moléculas y del activador de amina contenido en esta pasta. Cuando estos dos componentes han sido expuestos a la luz estos interactúan. La exposición a la luz en una longitud de onda de aprox. 470 nm produce un estado de excitación del fotoiniciador e interacción con la amina para formar radicales libres que inicien la polimerización.⁴

Un fotoiniciador es una molécula que absorbe luz formando especies reactivas capaces de iniciar una reacción en cadena. Un co-iniciador es la parte del sistema químico que no absorbe luz, pero participa en la producción de las cadenas. Al incidir los fotones sobre el fotoiniciador, los grupos funcionales lo absorben, entrando en un estado de excitación y chocando con las aminas presentes en el medio, generando un intercambio de electrones que da lugar a la formación de radicales libres. Estos radicales libres buscan establecer un enlace covalente con un monómero para formar un complejo monómero-radical que prosigue la reacción o fase de propagación. La reacción terminara mediante los mecanismos característicos de la fase de terminación.⁷

Las propiedades fotoquímicas y fotofísicas de los fotoiniciadores son muy importantes para que puedan desencadenar una buena reacción y deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Ser solubles en otras sustancias.
- No ser tóxico.
- Fácil manipulación.
- Ser inodoro.



- Tener baja degradación química antes y después de una reacción.
- Alta capacidad de generar especies activas, lo que provoca un alto rendimiento cuántico de formación de radicales libres.
- Vida útil larga.
- Ser incoloros.
- Baja tendencia a la decoloración.⁸

Los fotoiniciadores que generan radicales libres se clasifican en base al mecanismo por el cual son creados; hay dos tipos:

Tipo I: Estos son aquellos que después de absorber la luz generan radicales libres por fragmentación de molécula, es un proceso directo de fotofragmentación; ejemplo, 1-fenil-1,2-propanoidona (PPD).⁸

Tipo II: Estos son aquellos que absorben luz y producen un estado de excitación en la molécula y ésta a su vez interactúa con una segunda sustancia la cual es donadora de electrones para que los radicales libres puedan ser generados. La molécula que absorbe la luz es llamada fotoiniciador y la donadora de electrones co-iniciador. Por ejemplo, la camforoquinona (CQ).⁸

Resinas activadas químicamente: este tipo de materiales que son activados químicamente se presentan en dos pastas, una que contiene el iniciador, que es el peróxido de benzoilo y la otra que contiene el activador, que es un amina terciaria (N,N-dimetil-p-toluidina). Cuando estas dos pastas se mezclan, la amina reacciona con el peróxido de benzoilo y forma radicales libres y por consiguiente se inicia la polimerización.⁴



7.- INHIBIDORES

Estas son sustancias que se agregan al compuesto permitiendo controlar los periodos de inducción, asegurando así una conservación del producto, para evitar la polimerización espontánea y aumentar la vida útil del material. Los inhibidores más utilizados son las quinonas.¹

8.- PROFUNDIDAD DE CURADO.

Las especificaciones que deben respetar las resinas para restauración marcan las propiedades que deben cumplir. La profundidad de curado, la resistencia a la flexión son algunas de ellas.

La profundidad de curado está definida como el grosor de resina compuesta que puede polimerizar de monómero a polímero bajo condiciones específicas de fotopolimerización.⁴

Esta propiedad resulta de gran importancia en el estudio de las resinas compuestas fotopolimerizables, debido a que constituye una medida de la eficiencia de la polimerización. Mientras mayor es la profundidad de curado, mayor es el grado de conversión y por consiguiente, menor la cantidad de monómero que queda sin polimerizar.⁹

La intensidad máxima del haz de luz de radicación lumínica se concentra cerca de la superficie de la resina; a medida que la luz penetra en el material, es dispersada y reflejada, con lo que pierde intensidad. Existen varios factores que influyen en el grado de polimerización después de la fotoiniciación.



La resina debe tener una concentración de fotoiniciador o absorbentes de luz que pueda reaccionar con la longitud de onda adecuada. El contenido y el tamaño de las partículas de relleno influyen considerablemente en la dispersión del haz de luz.

La intensidad de la luz en la superficie de la resina es un factor crítico para poder lograr una polimerización completa, tanto en la superficie como en el interior del material. Para conseguir una penetración óptima hay que mantener el extremo de la fuente de luz a menos de 1 mm de la superficie.

Sin embargo, la absorción y la dispersión de la luz en las resinas compuestas hacen que la potencia y el grado de conversión, disminuya de forma exponencial con la profundidad de penetración.⁷

El tono de la resina tiene también una importancia considerable, ya que las tonalidades más opacas limitan la transmisión de la luz y solo permite la polimerización a profundidades mínimas. El tiempo de exposición normal para la mayoría de las lámparas de luz visible es de 20 segundos. En general este tiempo es suficiente para polimerizar una resina clara hasta una profundidad de 2 a 2.5 mm. Con una exposición de 40 segundos aumenta el grado de polimerización a todas las profundidades, pero es necesario para polimerizar las tonalidades más oscuras. La aplicación de la luz a través de 1mm o menos de espesor de estructura dental permite la polimerización a poca profundidad, pero los valores de dureza obtenidos no son uniformes a diferentes profundidades.



La consecuencia práctica es que la profundidad de curado está limitada a 2 o 3 mm a menos que se aplique un tiempo de exposición de luz extremadamente largo, independientemente de la intensidad de la lámpara.⁴

9.- RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

Básicamente la resistencia a la flexión (FS) es una prueba de resistencia que consiste en una barra sujeta a ambos lados, o un disco sujeto a un círculo de soporte inferior, sometido a una carga estática.⁴

La resistencia a la flexión (FS) es una propiedad mecánica significativa de materiales frágiles, describe la cantidad de fuerza requerida para doblar y romper el material, a esto también se le denomina resistencia transversal.¹⁰

10.- MÓDULO ELÁSTICO.

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación: cuanto menor sea la deformación para una tensión dada, mayor es el valor del módulo de elasticidad y más rígido el material. Esta propiedad mecánica es importante en la clínica para el buen comportamiento de la interfase material/diente. ^(4,10)

El módulo elástico se expresa en unidades de fuerza por unidad de área, normalmente en Giganewtons por metro cuadrado (GN/m^2) o Gigapascales (GPa). Describe la rigidez del material, con una medida de la resistencia a la deformación bajo carga.



11.- COLOR

El ser humano para visualizar la luz, requiere que la onda electromagnética emitida se encuentre entre 400 y 700 nm. Nuestro sistema visual se puede estimular por fuentes propias de luz, como el sol, de una fogata un foco, etc.¹¹

Fue A. H. Munsell en 1095, quien definió lo que se consideran las características básicas del color que son: matiz, saturación y luminosidad.¹¹

MATIZ O TINTE.- Es la primera cualidad del color, precisamente por ser la característica que permite diferenciar un color de otro.

CROMA.- Es la segunda cualidad del color que es el grado de pureza o intensidad de un color. Hoy se llama saturación. También puede ser descrita como el inverso de la cantidad de blanco, gris o negro.

VALOR.- Es la tercera cualidad del color y es una propiedad acromática, por tanto, carente de todo color, que puede ser descrita como la característica por la cual un color puede ser clasificado como equivalente en luminosidad o claridad.¹¹

La percepción del color de un objeto es el resultado de una respuesta fisiológica a un estímulo físico. La sensación es una experiencia subjetiva, mientras que el rayo de luz, que es el estímulo físico que produce dicha sensación, es enteramente subjetivo. El color que percibimos es el resultado de la reflexión o la transmisión de un rayo de luz blanca o de una parte del mismo.⁴



La reflexión de un color-pigmento varía según la fuente de iluminación y la intensidad de la luz recibida, lo que hace que el sistema óptico perciba el color reflejado en forma diferente, dependiendo de la fuente que lo ilumina.

12.- MODELO CIE L* a* b*.

De los sistemas de color, el más utilizado para medición del color e investigación dental es el CIE L*, a*, b*.¹¹

En el concepto de CIE X, Y, Z, todos los colores pueden ser comparados mezclando cantidades relativas de los 3 colores primarios: rojo (X), verde (Y), y azul (Z). Las coordenadas L*, a* y b* definen un color en términos generales.

L*, representa la luminosidad del objeto, en un rango de 0 (negro) a 100 (blanco).

Los valores de la coordenada a*, representan los extremos rojo o verde de los matices.

Los valores de la coordenada b*, representan los colores de los extremos amarillo o azul.

La diferencia de color entre dos objetos puede determinarse comparando los valores de coordenadas respectivos de cada muestra.¹¹



13.- PIGMENTOS

Para que las resinas compuestas tengan una apariencia natural al de los dientes (estética), deben tener ciertas propiedades de tonos y translucidez semejantes a la estructura dental. La tonalidad se logra mediante la adición de diferentes pigmentos.

Estos pigmentos normalmente son cantidades minúsculas de partículas de óxidos de metal. La translucidez y la opacidad se ajustan lo necesario para parecerse a la dentina y al esmalte.

Para incrementar la opacidad, los fabricantes añaden dióxido de titanio y óxido de aluminio a las resinas compuestas, en cantidades pequeñas, debido a que estos óxidos son opacificadores altamente eficaces.⁴

Es de suma importancia saber que todos los modificadores ópticos afectan la transmisión de la luz a través de la resina compuesta, es por ello que cuando se emplean tonalidades más oscuras o bien existe mayor opacidad, la profundidad de curado disminuye, por lo que o bien se aumenta el tiempo de exposición o se coloca una capa más delgada de resina compuesta durante la fotopolimerización.⁷

Hay estudios que demuestran que para que se logre una polimerización óptima, las tonalidades oscuras y las resinas de opacificación se deben aplicar en capas más delgadas.⁷



III.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

¿Por qué cuando se agrega una cantidad muy pequeña de un pigmento orgánico o inorgánico, en polvo o en forma de mezcla maestra (master batch), polimerizando con luz o con calor, se modifican las propiedades de una resina para restauración?

Este hecho representa un gran problema para los fabricantes.

De lo anterior nace la pregunta de investigación:

¿Por qué varían las propiedades de profundidad de curado, resistencia y módulo elástico a la flexión cuando se pigmenta una resina de restauración experimental?



IV.- JUSTIFICACIÓN.

Preparar una resina para restauración formada por una fase orgánica y una fase inorgánica, mezclarlas hasta lograr que exista una fase homogénea para después añadirle un sistema para polimerizar es relativamente fácil, es un proceso físico no hay una reacción química. El proceso químico se lleva a cabo cuando esa mezcla se convierte en un sólido al cual hay que determinar sus propiedades.

El problema se presenta cuando el producto final necesita llevar un color. El fabricante inicia el trabajo de pigmentar la mezcla homogénea para lograr el color deseado. Nuevamente lleva a cabo el proceso químico y sorpresa, las propiedades han cambiado por el hecho de estar pigmentadas. Comenta “únicamente he añadido 0.1% en peso de pigmento, una cantidad pequeñísima, y ¿afectó de una forma enorme el comportamiento del material?”

Es aquí cuando la química no la física, entra en acción porque debe encontrar la causa del cambio de las propiedades.

Por lo anteriormente escrito, queda justificado el estudio de la influencia de la cantidad de pigmento que debe agregarse a una mezcla homogénea de monómeros, iniciadores, co-iniciadores, aditivos y rellenos inorgánicos tomando como parámetros de comparación los valores de profundidad de curado, resistencia a la flexión y módulo elástico en flexión.



V.- HIPÓTESIS

Las muestras de resina que contengan mayor porcentaje de pigmento, tendrán menor profundidad de curado, menor resistencia a la flexión y menor módulo elástico.



VI.- OBJETIVOS

Encontrar por qué diferentes tipos y cantidades de pigmento para dar los tonos A3, A3.5 y B2, modifican las propiedades de profundidad de curado, resistencia y módulo elástico a la flexión de una resina experimental para restauración.

Objetivos particulares:

- Medir la profundidad de curado de resinas experimentales variando la concentración del pigmento (0, 0.05 y 0.10% en peso) para obtener los tonos A3, A3.5 y B2.
- Calcular la resistencia y el módulo elástico en flexión de resinas experimentales variando la concentración del pigmento (0, 0.05 y 0.10% en peso) para obtener los tonos A3, A3.5 y B2.



VII.- MATERIAL Y MÉTODO.

1.- PREPARACION DE LAS RESINAS.

1.1.- MATERIAL:

BisGMA: Bisglicidil de metacrilato, (Aldrich-Sigma, México).

TEGDMA: Trietilenglicol de dimetacrilato, 95% (Aldrich- Sigma, México).

R-CPQ: Camforoquinona (1R), 99% (Aldrich-Sigma, México).

DMPT: N, N-Dimetil-p-toluidina, 99% (Aldrich-Sigma, México).

M325: Dióxido de silicio,

Aerosil R-972: Dióxido de silicio silanizado, (Degussa, México).

Pigmento A3: Pigmento orgánico (Pigmentos PIN, México)

Pigmento A3.5: Pigmento orgánico (Pigmentos PIN, México)

Pigmento B2: Pigmento orgánico (Pigmentos PIN, México)

1.2.- EQUIPO:

Agitador magnético (Mod. 1000 Stir Plate, TERMOLYNE®, USA).

Balanza analítica (Adventure, OHAUS®, China).

Cristalería.

Espátula.



1.3.- PROCEDIMIENTO

Se prepararon 9 resinas compuestas (tres tono B2, 3 tono A3 y 3 más tono A3.5) con diferentes concentraciones de pigmento (0%, 0.05% y 0.10% en peso).

La base de las resinas fue una fase orgánica (50% en peso) y una fase inorgánica (50% en peso). Su preparación fue la siguiente:

Se pesaron por separado 10.47g de Bis- GMA, 4.49g de TEGDMA, 0.38g de N,N-Dimetil-p-toluidina (DMPT), 34.25g de Dióxido de silicio (M 325) y 0.35g de Dióxido de silicio silanizado (Aerosil R-972), 0.05 y 0.10g de los pigmentos proporcionados para dar los tonos A3, A3.5 Y B2. Por último se pesó 0.08g de camforoquinona y se almacenó en un recipiente oscuro para evitar su descomposición con la luz artificial y natural.

Se mezcló el BisGMA con el TEGDMA con ayuda de un agitador magnético, Figura 1, para que el BisGMA se hiciera menos viscoso; después se incorporó el DMPT poco a poco hasta hacer la mezcla más fluida.

Posteriormente se agregó el M 325 y el Aerosil R-972 intercalándolos uno a uno y poco a poco hasta conseguir una mezcla homogénea.



Figura 1. Mezcla de los materiales con agitador magnético.

Después se colocó el pigmento mezclándolo con una espátula para cementos hasta conseguir un color uniforme en la mezcla. Por último se mezcló la camforoquinona bajo una lámpara de seguridad para evitar la polimerización hasta conseguir una mezcla homogénea. Todas las resinas se envasaron en frascos color ámbar, Figura 2, se etiquetaron y se almacenaron en un lugar fresco.



Figura 2. Resina envasada.



2.- PRUEBA DE PROFUNDIDAD DE CURADO¹²

Condiciones de prueba. La preparación de las muestras se llevó a cabo en el área de temperatura controlada del laboratorio (23 ± 2 °C) y humedad relativa mayor a 30%. Las pruebas se llevarán a cabo a la temperatura del área de prueba.¹²

Seguridad. Usar bata para el laboratorio, lentes y guantes.

2.1.- MATERIAL:

Resina.

Cinta Mylar.

Aceite de silicón.

Pincel.

2.2.- EQUIPO:

Higrómetro.

Moldes metálicos (4 mm de diámetro, 6 mm de espesor)

Vidrios, porta objetos.

Fuente de energía externa (Lámpara Bluephase C8. Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Espátula para resinas.

Vernier.

Radiómetro de curado (Optilux Demetron Research Corporation. Danbury. Ct. USA.)



PRECAUCIONES

Antes de realizar las muestras verificar que:

- El área de temperatura controlada esté a 23 ± 2 °C.
- La lámpara de curado presente un mínimo de 500 mW/cm^2 .
- El vernier se encuentre calibrado.

Si alguna de estas condiciones no se cumplen NO se debe iniciar la preparación de muestras bajo ninguna circunstancia.

2.3.- PROCEDIMIENTO

Atendiendo al método de prueba de la norma ISO4049, se prepararon 10 muestras de cada una de las resinas bajo las condiciones de humedad y temperatura controladas.

Se colocó sobre el vidrio, una cinta mylar, se colocó el molde metálico sobre la cinta mylar, con un pincel se le aplicó una delgada capa de aceite de silicón dentro del molde. Figura 3, se llenó el molde con la resina sobrellenando ligeramente procurando no formar burbujas de aire. Figura 4.

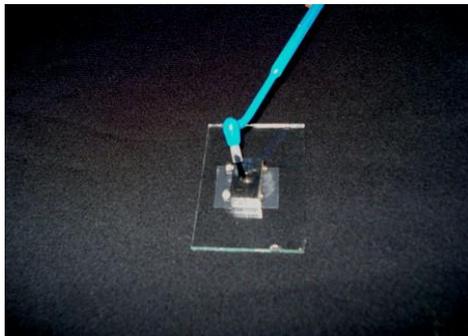


Figura 3. Se colocó aceite de silicón en el molde.

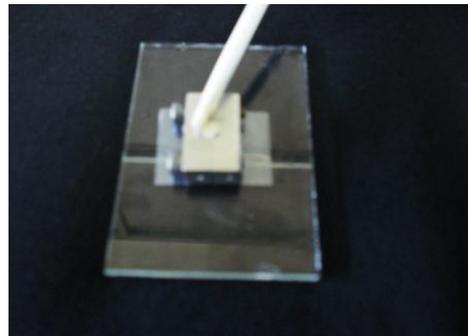


Figura 4. Incorporación de la resina en el molde.



Se colocó una segunda cinta mylar sobre la superficie del molde, se presionó el molde y la cinta con la ayuda de un segundo vidrio para eliminar el exceso de resina. Figura 5. Posteriormente se quitaron ambos vidrios, suavemente se colocó la punta de la lámpara sobre la cinta mylar superior, se irradió con la luz previamente medida en cuanto a intensidad lumínica y calorífica usando el radiómetro y se acciono durante 40 segundos. Figura 6.

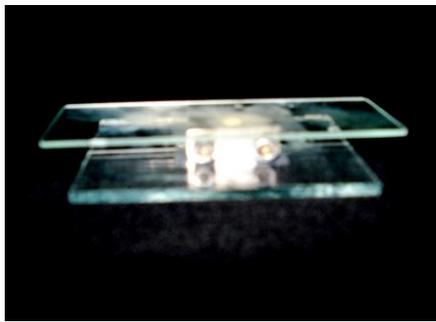


Figura 5. Se presionó el molde con un vidrio para eliminar exceso de resina.

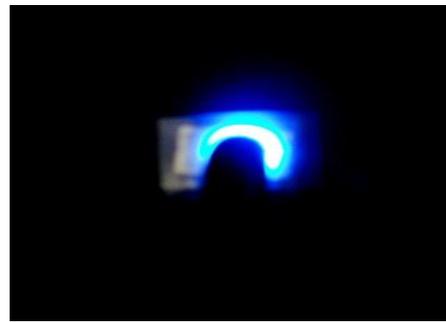


Figura 6. Se fotopolimerizó la muestra.

Se retiró la muestra del molde después de terminar la irradiación, primero retirando el excedente de resina con la ayuda de una espátula, después se desatornilló el molde para separarlo, se retiró el material sin fotopolimerizar con la espátula para resinas. Se midió la altura del cilindro formado usando el vernier con una precisión de 0.1. Figura 7 y se registró este valor como la profundidad de curado.



Figura 7. Medición de resina polimerizada.



3.- PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN¹²

Condiciones de prueba. La preparación de las muestras se llevó a cabo en el área de temperatura controlada del laboratorio (23 ± 2 °C) y humedad relativa mayor a 30%. Las pruebas se llevaran a cabo a la temperatura del área de prueba.¹²

Seguridad: Usar bata del laboratorio, lentes y guantes.

3.1.- MATERIAL:

Resinas.

Cinta Mylar.

Aceite de silicón.

Agua desionizada.

Frascos de vidrio o plástico (uno para cada muestra).

3.2.- EQUIPO:

Higrómetro

Vidrios.

Fuente de energía externa (lámpara bluephase C8 Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).

Espátula para resina.

Vernier (Mitutoyo, Tokio Japón).

Radiómetro de curado (modelo 200 Heat/ Glare Demetron Research Corporation. Danbury, Ct. USA).

Moldes de acero inoxidable (25 x 2 x 2 mm).



Pinzas.

Estufa de temperatura controlada a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Máquina universal de pruebas mecánicas (Instron model 1125/5500R, Instron Corp, Canton, MA, USA).

Baño de agua de temperatura controlada.

Antes de realizar las pruebas se verificó que:

- El área de temperatura controlada se encuentre a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- La lámpara de curado presenta un mínimo de 500 mW/cm^2 .
- La estufa de temperatura y humedad controlada se encontrará a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- El vernier se encontrará calibrado.
- El desionizador de agua se encontrara dentro del intervalo de 0-9 ppm de NaCl.
- El baño de agua se encontrará a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.
- La máquina universal de pruebas mecánicas se encontrará calibrada.
- No exceder el tiempo de trabajo para colocar las resinas en lo moldes.
- Respetar el tiempo y temperatura de inmersión en agua durante 23 h 45 min a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Si alguna de estas condiciones no se cumplen no realizar las preparaciones de muestras bajo ninguna circunstancia.



3.3.- PROCEDIMIENTO

Atendiendo a la norma ISO4049 se realizaron 54 muestras, bajo las condiciones de humedad y temperatura controladas.

Se colocó cinta mylar sobre un vidrio, se colocó un molde metálico sobre la cinta mylar y con la ayuda de un pincel se aplicó una ligera capa de aceite de silicón, se llenó el molde con la resina tratando de no formar burbujas de aire se sobrellenó ligeramente el molde con resina, se colocó una segunda cinta mylar sobre la superficie del molde y con un segundo vidrio se presionó para eliminar el excedente de resina, posteriormente se sujetó todo el conjunto con la ayuda de dos pinzas. Figura 8.



Figura 8. Muestra sujeta en los vidrios.

Se colocó la punta de la lámpara de fotopolimerización en el centro de la muestra contra el vidrio, se irradió la sección de la muestra con un tiempo de 40 segundos. Se movió la punta de la lámpara de curado a las secciones contiguas al centro, hasta irradiar totalmente la muestra (4 puntos a lo largo de la muestra). Se irradió la muestra por ambos lados. Figura 9.

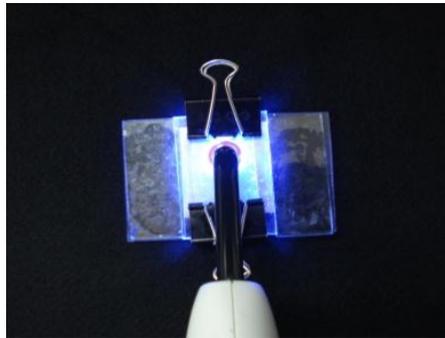


Figura 9. Fotopolimerización de la muestra.

Se colocó el conjunto en el baño agua de temperatura controlada a 37°C durante 15 minutos.

Se retiró el molde pasados 15 minutos, se retiraron las pinzas, los vidrios y las cintas mylar para obtener la muestra. Se retiraron los excedentes (rebabas) de la resina con la ayuda de un papel abrasivo (lija) grano 600. Y se obtuvieron las muestras. Figura 10.

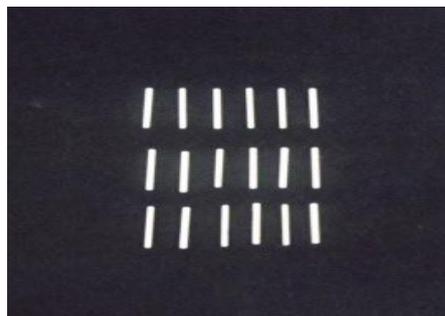


Figura 10. Muestras obtenidas.

Se almacenaron las muestras en frascos con agua desionizada. Figura 11, a 37±1°C durante 23 horas y 45 minutos en la estufa de temperatura controlada. Figura 12.



Figura 11. Muestras enfrascadas con agua ionizada a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.



Figura 12. Estufa de temperatura controlada a $37\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Medición de las muestras:

Transcurridas 23 h y 45 min, se retiraron las muestras de la estufa de temperatura controlada. Se midió el ancho y el espesor de las muestras con un vernier con una precisión de 0.01 mm. Figura 13.



Figura 13. Medición de la muestra.



Prueba de flexión:

Se colocó la muestra sobre la base de la máquina universal de pruebas mecánicas y el soporte de flexión para muestras. Figura 14 Se aplicó una fuerza (carga) a la muestra con una velocidad de prueba de 0.75 ± 0.25 mm/min hasta que esta se fracturó. Se registró la máxima carga ejercida sobre la muestra para ser sustituida en la ecuación de resistencia a la flexión.

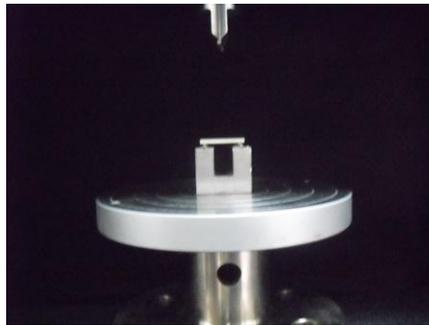


Figura14. Muestra sobre el soporte para flexión.

Resistencia a la flexión:

Se calculó la resistencia a la flexión, RF, con la siguiente ecuación:

$$RF = \frac{3FL}{2bh^3}$$

Donde:

F es la fuerza máxima ejercida sobre la muestra, en Newtons.

L es la distancia en mm, entre los soportes.

b es el ancho en mm.

h es el espesor.



Módulo de flexión:

Se calculó el modulo de flexión, E, con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{F'L}{4bh^3d'}$$

Donde:

F' es la fuerza en un punto de la porción lineal de la grafica fuerza-deflexión.

d' es la deflexión lograda en el mismo instante que se leyó F'.

La máquina universal de pruebas mecánicas proporcionó los valores de fuerza en Newtons (N).



4.- PRUEBA DE COLOR¹²

Condiciones de prueba. Las preparaciones de las pruebas se llevaron a cabo en el área de temperatura controlada del laboratorio ($23\pm 2^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa mayor a 30%. Las pruebas se llevaron a cabo a la temperatura del área de prueba.¹²

Seguridad: Usar bata del laboratorio, lentes y guantes.

4.1.- MATERIAL:

Resinas.

Cinta Mylar.

Aceite de silicón.

Pañuelos (Kleenex).

4.2.- EQUIPO:

Higrómetro.

Vidrios.

Lámpara de curado.

Espátula para resinas.

Vernier (Mitutoyo, Tokio Japón).

Radiómetro de curado (modelo 200 Heat/ Glare Demetron Research Corporation. Danbury, Ct. USA).

Moldes de acero inoxidable (15 x 22 mm).

Instrumento para medir el color (colorímetro): ChinSpec, China.



Antes de preparar las muestras se verificó que:

- El área de temperatura controlada se encontrara a $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.
- La lámpara de curado presentara al menos 600 mW/cm^2 .
- El vernier se encuentre calibrado.
- El aparato para medir el color se encuentre en perfecto estado para ser utilizado.

4.3.- PROCEDIMIENTO

Preparación de las muestras:

Atendiendo al método de prueba de la norma ISO4049, se prepararon 27 muestras con las resinas, bajo las condiciones de humedad y temperatura controladas.

Se midió con la ayuda de un vernier el espesor del molde de acero inoxidable a $1.0\pm 0.1\text{mm}$, para el espesor de la muestra. Figura 15. Se cortaron círculos de cinta mylar para colocarlos en el fondo del molde. Se aplicó con un pincel una ligera capa de aceite de silicón en el fondo del molde de acero después se colocó el círculo de cinta mylar y también se le puso una pequeña capa de aceite de silicón. Figura 16. Se procedió a colocar la resina procurando no introducir burbujas de aire y sobrellenando el molde ligeramente. Figura 17.



Figura 15. Medición del molde de acero inoxidable.

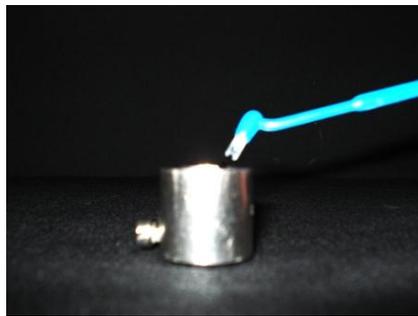


Figura 16. Aplicación de aceite de silicón.



Figura 17. Colocación de la resina.

Posteriormente se le coloca encima cinta mylar y con la ayuda de un vidrio se presiona para eliminar el excedente de resina. Se coloca la punta de la lámpara en el centro de la muestra presionando el vidrio y se fotopolimeriza a 40 segundos en 5 puntos de la muestra. Figura 18.

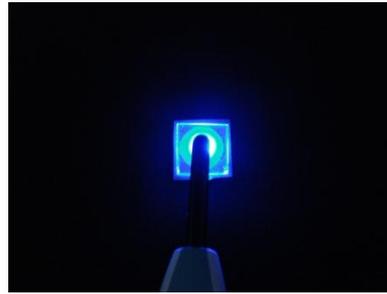


Figura 18. Polimerización de la muestra.

Una vez terminada la polimerización se quita el vidrio y la cinta mylar, se retira el excedente de la resina con la ayuda de una espátula, se destornilla el molde para poder sacar la muestra, se retira la muestra y se le quita el círculo de cinta mylar, se limpia con un pañuelo (kleenex) para no ensuciar la muestra y no interferir en el resultado del color de la muestra. Figura 19.

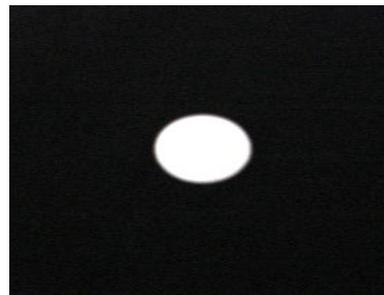


Figura 19. Muestra obtenida.

Por último se midió el color de la muestra con la ayuda del colorímetro y se guardaron las muestras en compartimentos individuales. Figura 20.



Figura 20. Medición de la muestra.



VIII.- RESULTADOS

Profundidad de curado:

Los valores de profundidad de curado obtenidos en cada grupo (10 muestras) se promediaron y obtuvieron sus desviaciones estándar y se muestran en las Tablas 1a 3.

Tabla 1. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono B2.

MUESTRA	B2 BAJO	B2 MEDIO	B2 ALTO
1	3.55	2.77	2.27
2	3.51	2.92	2.26
3	3.52	2.82	2.25
4	3.48	2.83	2.32
5	3.49	2.75	2.29
6	3.53	2.76	2.33
7	3.56	2.76	2.25
8	3.56	2.62	2.30
9	3.64	2.72	2.32
10	3.37	2.77	2.26
Promedio	3.52	2.77	2.29
Desviación	0.07	0.08	0.03

El análisis de varianza de los valores de profundidad de curado de las resinas tono B2 en sus niveles bajo, medio y alto, encontró diferencias estadísticamente significativas, $P < 0.050$.



Tabla 2. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono A3.

MUESTRA	A3 BAJO	A3 MEDIO	A3 ALTO
1	3.42	2.60	1.75
2	3.49	2.50	1.92
3	3.44	2.37	2.00
4	3.33	2.47	1.75
5	3.50	2.37	2.17
6	3.27	2.47	1.78
7	3.54	2.54	1.84
8	3.53	2.47	1.84
9	3.77	2.53	1.87
10	3.62	2.30	1.85
Promedio	3.49	2.46	1.88
Desviación	0.14	0.09	0.13

El análisis de varianza de los valores de profundidad de curado de las resinas tono A3 en sus niveles bajo, medio y alto, encontró diferencias estadísticamente significativas, $P < 0.050$.

Tabla 3. Valores obtenidos de profundidad de curado del tono A3.5

MUESTRA	A3.5 BAJO	A3.5 MEDIO	A3.5 ALTO
1	3.49	2.64	2.20
2	3.50	2.64	2.30
3	3.48	2.94	2.29
4	3.41	2.76	2.25
5	3.50	2.80	2.26
6	3.40	2.74	2.20
7	3.55	2.64	2.12
8	3.55	2.70	2.32
9	3.71	2.65	2.21
10	3.50	2.81	2.38
Promedio	3.51	2.73	2.25
Desviación	0.09	0.10	0.07



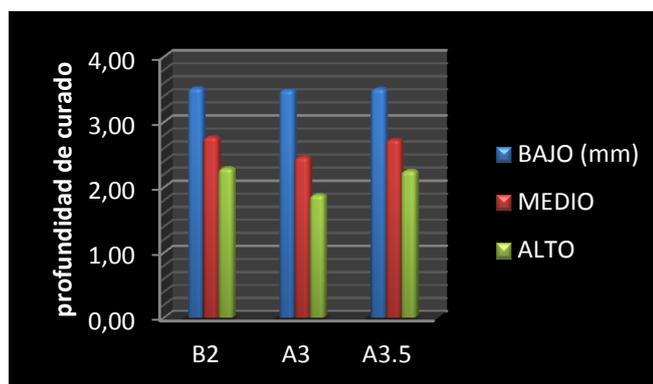
El análisis de varianza de los valores de profundidad de curado de las resinas tono A3.5 en sus niveles bajo, medio y alto, encontró diferencias estadísticamente significativas, $P < 0.050$.

La Tabla 4 muestra el resumen de los promedios de los tonos en función del porcentaje de pigmento agregado a la resina para restauración experimental.

Tabla 4. Promedios de profundidad de curado en función de la concentración de pigmento.

Concentración porcentual en peso del pigmento			
	0%	0.05%	0.10%
Nivel	BAJO	MEDIO	ALTO
Tono	Profundidad de Curado, mm		
B2	3.52	2.77	2.29
A3	3.49	2.46	1.88
A3.5	3.51	2.73	2.25

La Gráfica 1, presenta los valores promedio de profundidad de curado en función de los niveles de concentración del pigmento. Se observa que al aumentar el nivel de pigmento, la profundidad de curado disminuye 35% para B2, 46% para A3 y 36% para A3.5. El primer requerimiento de la especificación ADA27 establece que la profundidad de curado mínima debe ser de 2 mm; de acuerdo a la Tabla 2 y la Gráfica 1 a excepción del nivel alto en A3, el resto de los niveles en los tres tonos, cumplen.



Gráfica 1. Comparación de las resinas en sus tres tonos de profundidad de curado.

Resistencia a la Flexión:

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos en cada grupo (6 muestras), se promediaron y obtuvieron sus desviaciones estándar y se muestran en las Tablas 5 a 7.

Tabla 5. Valores obtenidos en resistencia a la flexión del tono B2 en MPa.

MUESTRA	B2 BAJO	B2 MEDIO	B2 ALTO
1	28.5	31.52	41.92
2	29.99	34.15	36.42
3	26.66	22	33.92
4	33.51	29.75	29.48
5	25.6	30.1	25.77
6	35.68	29.77	27.08
promedio	30.0	29.5	32.4
d s	3.9	4.1	6.2
c v	13	14	19

Las pruebas realizadas a las resinas de color B2 bajo, medio y alto en RF. NO se encontraron diferencias estadísticamente significativas. (P=0.276).



Tabla 6. Valores en MPa obtenidos de resistencia a la flexión del tono A3.

MUESTRA	A3 BAJO	A3MEDIO	A3 ALTO
1	37.62	32.7	27
2	35.3	33.99	41.28
3	36.42	37.97	25.66
4	34.98	33.08	32.35
5	30.53	30.34	35.73
6	35.65	29.99	25.44
promedio	35.1	33.0	31.2
d s	2.4	2.9	6.4
c v	7	9	20

Las pruebas realizadas a las resinas de color A3 bajo, medio y alto en RF. NO se encontraron diferencias estadísticamente significativas. ($P < 0.050$).

Tabla 7. Valores obtenidos en resistencia a la flexión del tono A3.5 en MPa.

MUESTRA	A3.5 BAJO	A3.5 MEDIO	A3.5 ALTO
1	33	36.87	30.65
2	33	32.94	33.78
3	32	34.1	30.9
4	34	28.72	31.51
5	28	33.39	31.23
6	36	27.35	30.33
PROMEDIO	32.5	32.2	31.4
D s	2.35	3.5	1.2
C v	7	11	4

Las pruebas realizadas a las resinas de color A3.5 bajo, medio y alto en RF. NO se encontraron diferencias estadísticamente significativas. ($P = 0.262$).



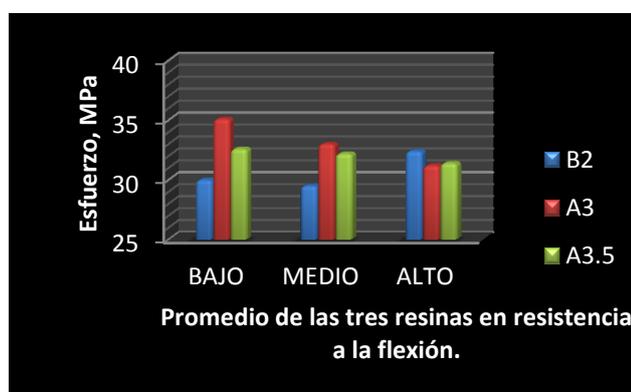
La Tabla 8 muestra el resumen de los promedios de los tonos en función del porcentaje de pigmento agregado a la resina para restauración experimental.

Tabla 8. Promedios de resistencia a la flexión en función de la concentración de pigmento.

Concentración porcentual en peso del pigmento			
	0%	0.05%	0.10%
Nivel	BAJO	MEDIO	ALTO
Tono	Resistencia a la flexión, MPa		
B2	30.0	29.5	32.4
A3	35.1	33.0	31.2
A3.5	32.6	32.2	31.4

La Gráfica 2, presenta los valores promedio de resistencia a la flexión en función de los niveles de concentración del pigmento. Se observa que al aumentar el nivel de pigmento, la resistencia a la flexión disminuye en los tonos MEDIOS, pero en los tonos ALTOS aumentan la resistencia.

Uno de los requisitos establecidos, en el apartado 4.2.6 de la norma ISO 4049 es que los resultados de la resistencia a la flexión deben tener un mínimo de 50 Mpa. Por esta razón nuestras muestras NO cumplen con el requisito que la norma establece.



Gráfica 2. Comparación promedio de las muestras en resistencia a la flexión.



Se realizó un análisis de varianza comparativo, con los promedios de resistencia a la flexión de las resinas con la prueba de Tukey.

Módulo elástico:

Los valores de módulo elástico obtenidos en cada grupo (6 muestras), se promediaron y obtuvieron sus desviaciones estándar y se muestran en las Tablas 9 a 11.

Tabla 9. Valores obtenidos en módulo elástico del tono B2 en MPa.

MUESTRA	B2 BAJO	B2 MEDIO	B2 ALTO
1	4005	5309	6988
2	4020	5466	5192
3	4874	5079	8860
4	4507	4500	8722
5	4943	5920	8551
6	7110	5101	7901
promedio	4910	5229	7702
d s	1150	471	1411

Se realizó un análisis de varianza, comparando los promedios del módulo elástico de las resinas de color B2 bajo, medio y alto. En comparación entre B2 alto vs B2 bajo y B2 alto vs B2 medio **SI** se encontraron diferencias estadísticamente significativas, $P < 0.050$.

En la comparación entre B2 medio y B2 bajo, **NO** se encontraron diferencias estadísticamente significativas. $P < 0.050$.



Tabla10 valores obtenidos en módulo elástico del tono A3 en MPa.

MUESTRA	A3 BAJO	A3 MEDIO	A3 ALTO
1	5147	4841	3644
2	4445	4906	5571
3	5213	5526	3030
4	6312	5123	4331
5	4718	5261	4364
6	4861	3813	3421
promedio	5116	4912	4060
d s	650	593	905

Se realizó un análisis de varianza, comparando los promedios del módulo elástico de las resinas del tono A3, y **NO** se encontraron diferencias estadísticamente comparativas. ($P=0.485$).

Tabla 11. Valores obtenidos en módulo elástico del tono A3.5 en MPa.

MUESTRA	A3.5 BAJO	A3.5 MEDIO	A3.5 ALTO
1	4576	5989	5764
2	4233	5172	6056
3	5044	5968	6583
4	5410	6224	6099
5	4831	5534	7052
6	5986	6137	5856
promedio	5013	5837	6235
d s		404	491

Se realizó un análisis de varianza, comparando los promedios del módulo elástico de las resinas del tono A3.5 bajo, medio y alto. En comparación entre A3.5 alto vs A3.5 bajo y A3.5 alto vs A3.5 medio **SI** se encontraron diferencias estadísticamente significativas, $P<0.050$.



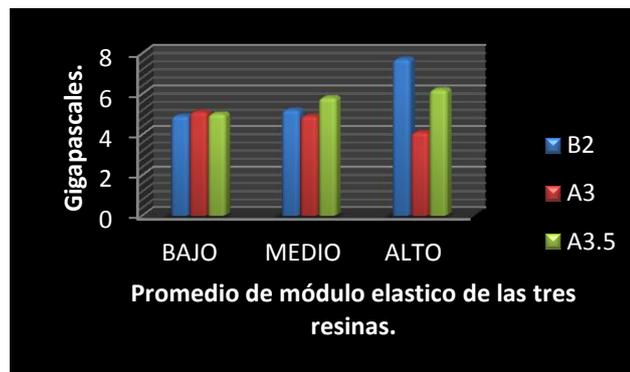
En la comparación entre A3.5 medio y A3.5 bajo, **NO** se encontraron diferencias estadísticamente significativas. $P < 0.050$.

La Tabla 12 muestra el resumen de los promedios de los tonos en función del porcentaje de pigmento agregado a la resina para restauración experimental.

Tabla 12. Valores promedio del módulo elástico (GPa) en función de la concentración de pigmento.

Concentración porcentual en peso del pigmento			
	0%	0.05%	0.10%
Nivel	BAJO	MEDIO	ALTO
Tono	Módulo elástico, GPa		
B2	4.9	5.2	7.7
A3	5.1	4.9	4.1
A3.5	5.0	5.8	6.2

La Gráfica 3, presenta los valores promedio del módulo elástico en función de los niveles de concentración del pigmento. Se observa que al aumentar el nivel de pigmento, el módulo elástico aumenta en los tonos B2 Y A3.5 . Notese que para el tono A3 el módulo elástico disminuye.



Gráfica 3. Comparación de los promedios del módulo elástico de las diferentes resinas.



Prueba de Color:

Los valores de las coordenadas de color obtenidos en cada grupo (3 muestras), se promediaron y obtuvieron sus desviaciones estándar y se muestran en las Tablas 13 a 15.

Tabla 13. Valores de L* obtenidos.

L*	BAJO	MEDIO	ALTO
B2	78.1	78.5	79.7
A3	78.1	77.1	75.5
A3.5	78.1	78.7	79.6

Tabla 14. Valores de a* obtenidos.

a*	BAJO	MEDIO	ALTO
B2	-2.7	-2.8	-3.2
A3	-2.7	-2.6	-1.8
A3.5	-2.7	-3.0	-3.0

Tabla 15. Valores de b* obtenidos.

b*	BAJO	MEDIO	ALTO
B2	8.0	12.7	17.3
A3	8.0	14.0	14.7
A3.5	8.0	13.6	17.0

Tabla 16. Valores obtenidos del colorímetro VITA.

VITA	L*	a*	b*
B2	67.2	-1.8	8.4
A3	67.7	-1.3	8.3
A3.5	65.3	-0.8	8.2



IX.- DISCUSIÓN

El uso de pigmentos en polímeros o en materiales compuestos se ha extendido ampliamente en la industria manufacturera para mejorar la estética o con propósitos de hacer funcional algún material.

Las resinas para restauración no escapan a este hecho. Los pigmentos usados para entonar la gran gama de tonos dentales son usados en dos formas: inorgánicos y orgánicos. Usualmente se pueden emplear en dos formas: usando una mezcla maestra, denominada master batch en la industria química, o en polvo.¹³

Es bien conocido que los pigmentos orgánicos o inorgánicos, afectan las propiedades físicas y químicas de los materiales que pigmentan como el comportamiento reológico, mecánico, óptico, eléctrico, magnético, corrosión por mencionar algunos.^{13,14}

En particular, los pigmentos orgánicos generan cargas eléctricas durante la irradiación de ellos cuando son usados en materiales que son fotopolimerizados;^{15,16} este movimiento eléctrico hace que los radicales libres de los pigmentos reaccionen con monómeros y aditivos capaces de formar radicales libres disminuyendo el crecimiento de las cadenas poliméricas.

La Tabla 8 indica que los valores promedio de la resistencia a la flexión disminuyen conforme aumenta el porcentaje de pigmento. Este comportamiento es congruente con los resultados presentados por Bishay¹⁴ en donde la resistencia a la tensión así como la elongación a la ruptura disminuyen cuando incrementa el contenido de pigmento a base



de óxido de aluminio, un pigmento inorgánico; igual comportamiento experimentan las muestras de master batch a base de pigmentos orgánicos del estudio de Sahin¹³ donde la deformación a la cedencia disminuye al aumentar la concentración de la mezcla maestra (master batch).

La Tabla 12 muestra los valores en GPa del módulo elástico a la flexión. Se aprecia que al aumentar el contenido del pigmento, el módulo aumenta en los tonos B2 y A3.5; mientras que A3 disminuyó su módulo elástico. Este comportamiento es similar a los resultados presentados por Kenig¹⁶ donde su material compuesto sin pigmentar (1.4 GPa) aumentó su módulo elástico (entre 1.7 y 1.8 GPa) al emplear 0.1% de pigmento orgánico.

Cabe mencionar que los pigmentos orgánicos al absorber luz generan tal cantidad de radicales libres, estos hacen que la polimerización sea rápida y las cadenas poliméricas no terminen su proceso de polimerización, debido a esto las muestras de resinas al ponerlas a una temperatura de 37° C, ayuda a que el proceso de polimerización continúe pero con poca propagación. Este podría ser uno de los factores por el cual el tono A3 disminuya su módulo elástico y no lo aumente como es el caso de los tonos B2 Y A3.5.

La Tabla 4 muestra que al aumentar el nivel de pigmento, la profundidad de curado de los tres pigmentos empleados (B2, A3 y A3.5) disminuye lo que implica que el porcentaje de conversión se redujo explicando el comportamiento de las propiedades mecánicas en flexión de las muestras experimentales de las resinas para restauración.



Igualar el color de una restauración dental con el color de un diente es un proceso difícil debido a las características ópticas de los dientes. La igualación de las restauraciones estéticas requieren la integración de varios factores críticos que incluyen la percepción del color por parte de un individuo, de la fuente de luz utilizada para la evaluación del color, de la superficie y características estructurales tanto del diente como de los materiales restaurativos utilizados y del conocimiento de algunos principios básicos del color.

El concepto de color es difícil de entender, no es fácil de definir y con frecuencia se relaciona más con un arte que con una ciencia. Dentro de la odontología, el ajuste de los colores entre dientes naturales y materiales de restauración, es a menudo un procedimiento mal entendido e impredecible.

En 1976 la Commission Internationale de l'Eclairage (Comisión Internacional del Alumbrado), CIE, desarrolló un sistema, llamado CIELab* en el que por primera vez fue posible expresar el color usando números (coordenadas) para calcular las diferencias entre dos colores para eliminar la percepción visual. En este sistema, que es considerado como el punto de referencia para fines científicos, el color se expresa mediante tres coordenadas: L^* que es el grado de luminosidad de un objeto y se mueve entre el color blanco y el color negro; a^* que es el grado de enrojecimiento y se mueve entre el rojo y el verde, y b^* que representa el amarillamiento del objeto y se mueve entre el azul y el amarillo.

Las Tablas 13 a 15 presentan los valores de las coordenadas L^* , a^* y b^* de los tres diferentes tonos de las muestras. Analizando la coordenada



b^* que representa el cambio entre amarillo y azul (a mayor valor, más amarillo) se nota que al aumentar la concentración de pigmento, las muestras se hicieron más amarillas. Analizando la coordenada L^* que representa el cambio entre el blanco y el negro, se nota que las muestras se hicieron más blancas a excepción del color A3 que se hicieron más negras.

La Tabla 16 muestra las coordenadas de un colorímetro VITA. Si se comparan las coordenadas del colorímetro VITA con las coordenadas de las muestras experimentales, se llega a la conclusión de que no es necesario añadir pigmento alguno a las muestras experimentales ya que los valores de L^* , a^* y b^* son superiores a los valores VITA. El nivel bajo (0%) de pigmento está por encima de los valores de L^* y de a^* , mientras que b^* son similares. Este análisis propone que el pigmento usado para lograr los tonos estudiados no es el adecuado ya que la cantidad de camforoquinona que la resina experimental usa es suficiente para lograr la profundidad de curado pero el color amarillo propio del fotoiniciador, hace que la coordenada b^* esté cercana al valor del colorímetro VITA, no así en L^* y a^* .

Para lograr una igualdad o cercanía al parámetro de VITA de B2, por ejemplo, implicaría que a la resina experimental sin pigmentar (0 %) debe añadirse un pigmento negro en proporción tal que descienda L^* desde 78.1 hasta 67.2. También se observa que la resina experimental tiene un valor de a^* de -2.7, es decir, tiende a ser muy verde en comparación con el valor de VITA que es de -1.8. Recordar que a^* representa el movimiento entre el color verde y el color rojo; por lo que para disminuir el verde de la resina experimental, se debe agregar un pigmento rojo en tal cantidad que permita el movimiento hacia ese color.



X.- CONCLUSIONES

Dentro del marco de este estudio, se puede concluir que la profundidad de curado confirma la hipótesis planteada ya que al aumentar los niveles de concentración del pigmento, la profundidad de curado disminuyó.

En la propiedad de Resistencia a la Flexión también es confirmada la hipótesis, ya que el aumento del porcentaje del pigmento en las resinas experimentales disminuyó la resistencia a la flexión.

La hipótesis planteada (a mayor cantidad de pigmento, menor valor) para el módulo elástico quedó confirmada para las resinas experimentales tono A3. En los tonos A3.5 y B2, la hipótesis queda descartada debido a que el módulo elástico aumentó, conforme aumentó el nivel de concentración del pigmento.

Con este estudio queda demostrado que la cantidad de pigmento orgánico afecta el comportamiento de las resinas compuestas en las propiedades de profundidad de curado, resistencia a la flexión y módulo elástico.

Se dedujo que los pigmentos orgánicos proporcionados para lograr los tonos propuestos no cubren los requerimientos esperados. Por lo que es necesario encontrar el tipo y cantidad de pigmentos apropiados para pigmentar las diferentes relaciones de fase orgánica-fase inorgánica



XI.- REFERENCIAS

- 1.- Hervas García A, Martínez Lozan M.A. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. Med Oral Patol Oral Cir bucal. 2006 Mar 1:11 (2); E215-20.

- 2.- Saleh A. Influencia de la fuente de fotoactivación y del espesor sobre la variación del color y la translucidez de nuevos composites. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, España. 2006.

- 3.- Roth F. Los composites. Ed. Masson, 1994:1-11.

- 4.- Anusavice KJ. Phillips. Ciencia de los materiales dentales. 11^a ed. Editorial Elsevier, España, 2004. Capítulo 15.

- 5.- Morrison, R. Química Organica, 5^a ed., Editorial Addison Wesley Logman de México, México; 1998.

- 6.- Steenbeck J. Principios y bases de los biomateriales en operatoria dental estética adhesiva: Editorial Universidad del Valparaiso, Chile, 2006.

- 7.- Keogh T.P. Polimerización iniciada mediante luz: claros y oscuros de las nuevas técnicas. Ideas y trabajos odontoestomatológico. 2001; 2: 29-37.



8.- Chimello F.G. Fotopolimerización iniciada por tioxantona u otros iniciadores- Estudos fundamentais e aplicacoes. Instituto de Química, Universidad de Sau Paulo, Brazil. 2006.

9.- Rodríguez G. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas; Acta Odontológica Venezolana; 2008, Volumen 46 N°3. 2.

10.- Sinval A. Zanchill C. Varella de Carvalhol R. Demarcoll F. Resistencia a la flexión y módulo de elasticidad de los diferentes tipos de resinas; Departamento de Odontología Restauradora de la Facultad de Odontología. Universidad Federal de Pelotas.

11.- Steenbecker O. Principios y bases de los materiales en operatoria dental estética adhesiva. Editorial Universidad de Valparaíso, Chile. 2006: 235-246.

12.- Álvarez C. Baeza T. Hernández R. Moran A. Resinas de restauración. Manual de operación de métodos de prueba conforme a ADA N° 27; UNAM, Facultad de Odontología. Proyecto PAPIME-PE205009. 2009.

13.- Sahin S. Yaila P. Effects of processing parameters on the mechanical properties of polypropylene random copolymer. Polymer Testing, 2005 (24): 1012-1021.



14.- Bishay I.K, Abd-El-Messieh S.L. Mansour S.H. Electrical, mechanical and thermal properties of polyvinyl chloride composites filled with aluminum powder. *Materials and Design* 2011, 32:62-68.

15.- Roche K. Decker C. Gunter I. Fouassier JP. Pigment polymer layers as sensitizers for the photopolymerization of trimethylolpropane triacrylate. *Eur Polym J.* 1997 (33): 849-856.

16.- Kenig S. Silberman A. Dolgopolsky I. The effect of pigments on the crystallization and properties of polypropylene. *Coloring Technology for Plastics*. Edited by: R.M. Harris. Ed. Williams Andres Publishing. *Plastics Design Library.* 1999: 239-247.