



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR ALTO PROMEDIO (TAP)

PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESINAS DENTALES
CON BASE BISGMA/TEGDMA MEZCLADAS CON ATAPULGITA

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANA DENTISTA

P R E S E N T A:

JIMENA MACOUZET GARDUÑO

TUTOR: Mtro. CARLOS ALBERTO MORALES ZAVALA

ASESOR: 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.

JIMENA MACOUZET

PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESINAS DENTALES
CON BASE BISGMA/TEGDMA MEZCLADAS CON ATAPULGITA

AGRADECIMIENTOS

A la primera persona que le quiero agradecer es a mi mamá por apoyarme incondicionalmente, ser mi confidente, amiga y haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida. En especial a mi papá por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

A mi tutor Carlos Alberto Morales Zavala y mi asesor Carlos Andres Álvares Gayosso que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A Jonathan EcheGARAY por su amor, apoyo constante y a siempre impulsarme para realizar mis sueños. A Patricia Guevara por su apoyo incondicional y aconsejarme cuando más lo he necesitado.

En especial a la doctora Irma Andrea Villa Blanco y al doctor José Manuel Morales Hassanille por compartir sus conocimientos y tener siempre su apoyo.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado y aprender de ellos. Y a todos aquellos que siguen estando cerca de mi y que le regalan a mi vida algo de ellos.

¡Muchas gracias!



ÍNDICE GENERAL

I

INTRODUCCIÓN

01

1. Márco teórico

- 1.1 Características de la resina compuesta
- 1.2 Fase orgánica
- 1.3 Fase inorgánica

2. Clasificación de las resinas compuestas

- 2.1 Resinas de microrelleno
- 2.2 Resinas híbridas
- 2.3 Híbridos modernos
- 2.4 Resinas de nanorrelleno

3. Nanofibras

4. Atapulgita

5. Sistema Iniciador Activador de Polimerización

- 5.1 Fotoiniciadores
- 5.2 Co- iniciadores
- 5.3 Amina

II

EXPERIMENTACIÓN

11

6. Fase experimental

- 6.1 Planteamiento del problema
- 6.2 Justificación
- 6.3 Hipótesis
- 6.4 Objetivo particular
- 6.5 Objetivo general
- 6.6 Procedimiento experimental
 - 6.6.1 Materiales
 - 6.6.2 Silanización de partículas (micro y nano)

6.6.3 Preparación del material compuesto.

- 6.7 Pruebas físicas y Mecánicas
 - 6.7.1 Sorción acuosa
 - 6.7.2 Solubilidad
 - 6.7.3 Encogimiento y rapidez de
polimerización
 - 6.7.4 Pruebas mecánicas en flexión
 - 6.7.5 Fluidéz

III

LOS RESULTADOS

21

7. Resultados

- 7.1 Sorción
- 7.2 Solubilidad
- 7.3 Rapidez de polimerización
- 7.4 Encogimiento
- 7.5 Módulo de Flexión
- 7.6 Esfuerzo a la flexión.
- 7.7 Fluidéz
- 7.8 Profundidad de curado

IV

LA DISCUSIÓN

27

8. Discusión

- 8.1 Propiedades mecánicas
 - 8.1.1 Sorción y solubilidad
 - 8.1.2 Rapidez de fotopolimerización
 - 8.1.3 Encogimiento
 - 8.1.4 Modulo y esfuerzo de flexión
 - 8.1.5 Fluidéz
 - 8.1.6 Profundidad de curado

CONCLUSIONES

43

BIBLIOGRAFÍA

45

Resumen

Se modificaron las propiedades de una resina compuesta de uso dental agregando nanopartículas de atapulgita silanizada, modificando la composición para evaluar el comportamiento de la resina en las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Las propiedades a determinar serán: propiedades físicas (fluidez, profundidad de curado, sorción y solubilidad), mecánicas (resistencia y módulo elástico a la flexión) y químicas (encogimiento y rapidez de polimerización). Se silanizó la atapulgita para después preparar un material compuesto con BisGMA/TEGDMA, canforoquinona y 4EDMAB. Posteriormente, se incorporó dióxido de silicio silanizado micrométrico para después polimerizar con una lámpara de fotocurado durante 20 segundos. Los métodos de prueba de ADA 27 se usaron para obtener los valores. Se espera que al adicionar la atapulgita silanizada a la fase orgánica, las propiedades mecánicas, físicas y químicas de la resina se modifiquen en comparación con una resina que no tenga atapulgita silanizada.

I

Introducción

1. Marco Teórico

1.1 Características de la resina compuesta

Las resinas compuestas son polímeros compuestos por moléculas dispuestas tridimensionalmente de por lo menos dos materiales químicamente diferentes, con una interfase distinta, obteniéndose propiedades superiores a las que presentan sus constituyentes de manera individual.

Los componentes estructurales básicos de las resinas compuestas son: la matriz orgánica o fase orgánica, la matriz inorgánica (materiales de relleno o fase dispersa) y un compuesto silano o agente de unión entre la resina orgánica y el relleno cuya molécula posee grupos silánicos en un extremo (unión iónica), y grupos metacrilato en el otro extremo (unión covalente con la resina).

1.2 Fase orgánica

Esta constituida por un monómero de dimetacrilato alifático o aromático. El monómero más usado es el BisGMA (Bisfenol- A- Glicidil Metacrilato). Sin embargo, su alto peso molecular es una característica limitante, ya que aumenta su viscosidad, pegajosidad y conlleva a una reología indeseable que comprometen las características de manipulación. Además, en condiciones comunes de polimerización, el grado de conversión del BisGMA es bajo¹.

Para superar estas deficiencias, se añaden monómeros de baja viscosidad tales como el TEGDMA (trietilenglicol dimetacrilato). Actualmente el sistema BisGMA/TEGDMA es uno de los más usados en las resinas compuestas². En general este sistema muestra resultados clínicos relativamente satisfactorios, pero aún hay propiedades que necesitan mejorarse, como la resistencia a la abrasión³.

Por otro lado, la molécula de BisGMA, tiene dos grupos hidroxilos los cuales promueven la sorción de agua. Un exceso de sorción acuosa en la resina tiene efectos negativos en sus propiedades y promueve una posible degradación hidrolítica⁴.

Otro monómero ampliamente utilizado, acompañado o no de BisGMA, es el UDMA (dimetacrilato de uretano), su ventaja es que posee menor viscosidad y mayor flexibilidad, lo que mejora la resistencia de la resina⁵⁻¹⁵. Las resinas compuestas basadas en UDMA pueden polimerizar más que las basadas en BisGMA⁶, sin embargo, Soderholm y col.⁷ indicaron que la profundidad de curado era menor en ciertas resinas compuestas basadas en UDMA debido a una diferencia entre el índice de refracción de luz entre el monómero y el relleno.

1.3 Fase inorgánica

Este componente de la resina compuesta lo conforma lo que se denomina partículas de carga. Estas partículas de carga ofrecen estabilidad dimensional a la inestable matriz orgánica, con la finalidad de mejorar sus propiedades. Si la presencia de resina es menor, la contracción de polimerización se reduce en comparación con las resinas sin relleno. La sorción de agua y el coeficiente de expansión térmica también son menores; las propiedades mecánicas, como resistencia a la compresión, a la tracción y módulo de elasticidad, resultan mejoradas, así como también lo es la resistencia a la abrasión.

Las partículas de carga más utilizadas para el relleno son cuarzo o vidrio de diversos tamaños.

2. Clasificación de resinas compuestas

Actualmente se pueden reunir las resinas compuestas en cinco categorías principales:

2.1 Resinas de macrorelleno o convencionales:

Tienen partículas de relleno con un tamaño que oscila entre 10 y 50 μm (10000 y 50000 nm)⁸. La rugosidad tiene influencia en el poco brillo superficial y produce una mayor susceptibilidad a la pigmentación⁹. Los rellenos más utilizados en este tipo de resinas fueron el cuarzo y el vidrio de estroncio o bario¹⁰. El relleno de cuarzo tiene buena estética y durabilidad pero carece de radiopacidad y produce un alto desgaste al diente antagonista. El vidrio de estroncio o bario son radiopacos pero desafortunadamente son menos estables que el cuarzo¹¹.

2.2 Resinas de microrelleno

Estas contienen relleno de sílice coloidal con un tamaño de partícula entre 0.01 y 0.05 μm ¹². Clínicamente estas resinas se comportan mejor en la región anterior, donde las ondas y la tensión masticatoria son relativamente pequeñas, proporcionan un alto pulido y brillo superficial, confiriendo alta estética a la restauración¹³. Entre tanto, cuando se aplican en la región posterior muestran algunas desventajas, debido a sus inferiores propiedades mecánicas y físicas, ya que, presentan mayor porcentaje de sorción acuosa, alto coeficiente

de expansión térmica y menor módulo de elasticidad¹⁴.

2.3 Resinas híbridas

Se denominan así por estar reforzados por una fase inorgánica de vidrios de diferente composición y tamaño en un porcentaje en peso de 60% o más, con tamaños de partículas que oscilan entre 0,6 y 1 mm, incorporando sílice coloidal con tamaño de 0,04 mm, corresponden a la gran mayoría de los materiales compuestos actualmente aplicados al campo de la Odontología¹². Los aspectos que caracterizan a estos materiales son: disponer de gran variedad de colores y capacidad de mimetización con la estructura dental, menor contracción de polimerización, baja sorción acuosa, excelentes características de pulido y texturización, abrasión, desgaste y coeficiente de expansión térmica muy similar al experimentado por las estructuras dentarias, formulas de uso universal tanto en el sector anterior como en el posterior, diferentes grados de opacidad y translucidez en diferentes matices y fluorescencia¹⁵⁻¹⁷.

2.4 Híbridos Modernos

Este tipo de resinas tienen un alto porcentaje de relleno de partículas sub-micrométricas (más del 60% en volumen). Su tamaño de partícula reducida (desde 0.4µm a 1.0µm), unido al porcentaje de relleno provee una óptima resistencia al desgaste y otras propiedades mecánicas adecuadas. Sin embargo, estas resinas son difíciles de pulir y el brillo superficial se pierde con rapidez¹⁸.

2.5 Resinas de Nanorelleno

Este tipo de resinas son un desarrollo reciente, contienen partículas con tamaños menores a 10 nm (0.01 μ m), este relleno se dispone de forma individual o agrupados en “nanoclusters” o nanoagregados de aproximadamente 75 nm¹³. El uso de la nanotecnología en las resinas compuestas ofrece alta translucidez, pulido superior, similar a las resinas de microrelleno pero manteniendo propiedades físicas y resistencia al desgaste equivalente a las resinas híbridas¹⁹⁻²⁰. Por estas razones, tienen aplicaciones tanto en el sector anterior como en el posterior.

3. Nanofibra

Una nanofibra es una fibra con diámetros menores de 100 nm⁹⁻¹⁰ delgada y alargada. Las ventajas que presentan las nanofibras frente a sus equivalentes de mayor tamaño (como las microfibras) están marcadas por la elevada razón superficie/volumen que presentan que se traduce en mejoras sobre ciertas propiedades asociadas a su morfología (que define su propiedad hidrofóbica), estructura molecular (que define su comportamiento óptico, mecánico y térmico) y propiedades mecánicas (estabilidad, flexibilidad, etc.) y químicas, lo que ha difundido su aplicación en áreas tan variadas como la defensa y seguridad, la ingeniería ambiental, la biotecnología, la bioingeniería, entre otros²¹. Para la obtención de nanofibras, existen numerosos procesos de producción tales como: el jalado, la

separación de fases, la síntesis por copiado, el auto ensamblaje y el electrospinning.

El proceso de electrospinning permitir la obtención de diámetros uniformes en una escala por debajo de los micrómetros (nanofibras), ofrece una mayor eficiencia en la formación de fibras, con un esfuerzo mucho menor a través de la acción de fuerzas electrostáticas, siendo el único con potencial para ser desarrollado en la producción en masa de nanofibras.

4. Atapulgita

La atapulgita es un mineral que puede encontrarse en yacimientos en forma de fibras alargadas suficientemente grandes para poder apreciarse a simple vista, o tan pequeñas, que son detectables únicamente con microscopía óptica o electrónica, en cuyo caso aparecen en forma de capas de aspecto terroso que pueden presentar coloraciones más o menos blancas, ligeramente teñidas de color pardo, o de color verdoso. Son silicatos alumínicos-magnésicos, poseen estructuras diferentes²².

Son materiales ceramicos formados por elementos metálicos y no metálicos, constituidos principalmente por enlaces iónicos y/o covalentes; en general son frágiles, con baja ductibilidad y elevado poder de adsorción que le hace aplicable en numerosos procesos industriales. Se comportan usualmente como buenos aislantes eléctricos y térmicos debido a la ausencia de electrones conductores a temperatura ambiente,

poseen altas temperaturas de fusión y una estabilidad relativamente alta, en la mayoría de los medios agresivos, debido a la estabilidad de sus enlaces fuertes²²⁻²³.

5. Sistema Iniciador-Activador de Polimerización

El proceso de polimerización de los monómeros en las resinas compuestas se puede lograr de varias formas. En cualquiera de sus formas es necesaria la acción de los radicales libres para iniciar la reacción. Para que estos radicales libres se generen es necesario un estímulo externo.

En el caso de los sistemas fotocurados, la energía de la luz visible provee el estímulo que activa un iniciador en la resina (canforoquinonas, lucerinas u otras dicetonas). Es necesario que la resina sea expuesta a una fuente de luz con la adecuada longitud de onda entre 420 y 500 nanómetros en el espectro de luz visible²¹.

5.1 Fotoiniciadores

Los fotoiniciadores son moléculas capaces de absorber luz. Producto de la absorción genera un reactivo, de manera directa o indirecta, capaz de iniciar la polimerización.

La canforoquinona es una alfa-dicetona, usada en combinación con un agente reductor, que es una amina alifática terciaria (4-N,N-dimetilaminofetil alcohol, DMAPE), la cual tiene un promedio de absorción entre 400 y 500 nm, que se encuentra en la región azul

del espectro de luz visible.

5.2 Co- iniciadores

Los co-iniciadores son moléculas que van a ayudar a iniciar la reacción de la polimerización. Etil-4-dimetilaminobenzoato es un ejemplo.

5.3 Amina

En los sistemas de resinas compuestas, es necesario utilizar una amina terciaria aromática que actúe como donador de electrón, para que actúe con el agente iniciador para producir los radicales libres necesarios, con el fin de iniciar la reacción de polimerización de la matriz orgánica. Algunas otras aminas como la dimetil-p-toluidina ha demostrado tener la ventaja de producir un compuesto con mayor estabilidad de color²³.

II

Experimentación

6. Fase experimental

6.1 Planteamiento del problema

La odontología ha intentado mejorar los materiales dentales alterando su composición (híbridos) y forma de la partícula (partículas esféricas, arcillas y nano fibras), para mejorar las propiedades de los materiales utilizados a nivel clínico y así obtener mejores resultados en su aplicación.

Sin embargo, en las últimas décadas se han realizado diversas modificaciones a las resinas tanto en su composición como en su forma pero no se han logrado obtener mejores propiedades y así mismo observar un beneficio en la clínica.

Una forma efectiva de resolver este problema es modificando los componentes de la resina mediante la inserción de un relleno con características diferentes, tanto en forma,

tamaño de partícula y composición.

Tales compuestos pueden tener una aplicación en diversas áreas de la industria como sensores, adsorbentes, catalizadores, así como en bioquímica, medicina y odontología.

En el caso particular de la resina experimental, es la adición de nanofibras de atapulgita, la cual puede modificar tanto la propiedad física que es la fluidez, así como el uso clínico que se le puede dar.

6.2 Justificación

Se propone usar en diferentes concentraciones (1 al 5% en peso) nanofibras modificadas superficialmente para evaluar su influencia en las propiedades de: resistencia y módulo elástico a la flexión, profundidad de curado, sorción y solubilidad, encogimiento y rapidez de polimerización así como en la viscosidad. Determinar como se altera favorablemente así como conocer el uso que se le puede dar a esta resina como un material de restauración, sellador de foseas y fisuras o un adhesivo, dependiendo las características físicas, mecánicas y químicas que estas presenten y requieran para su uso clínico.

6.3 Hipótesis

Sí se agrega nanofibras de atapulgita silanizada en la matriz inorgánica de la resina, entonces las propiedades físicas, químicas y mecánicas van a ser alteradas.

6.4 Objetivo general

Determinar la influencia de la nanofibra de atapulgita silanizada en las propiedades físicas, químicas y mecánicas de la resina experimental.

6.5 Objetivo particular

- Determinar el comportamiento del módulo elástico de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar la resistencia a la flexión de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar la profundidad de curado de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar la sorción y solubilidad de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar el encogimiento de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar la rapidez de la polimerización de la resina adicionada con nanofibra de atapulgita.
- Determinar la fluidez de la resina experimental adicionada con nanofibra de atapulgita.

6.6 Procedimiento experimental.

6.6.1 Materiales:

- Bisglicidimetacrilato: BisGMA
- Trietilenglicoldimetacrilato: TEGDMA
- Canforoquinona: CQ
- 4-etil dimetilaminobenzoato: 4EDMAB
- 3-(trimetoxisilil)propilmetacrilato): MPS.
- Agua
- Etanol
- Nanopartículas (Atapulgita: ATA, y Dióxido de silicio silanizado: R972)
- Partículas micro: Dióxido de silicio DOS.

6.6.2 Silanización de las partículas (micro y nano)²⁴

Se colocó en un vaso agua, etanol y silano. Se mezcló. El pH de la mezcla deberá encontrarse entre 3.67 y 3.63. Si es diferente ajustar con ácido acético o hidróxido de sodio. Se añadió la partícula a silanizar poco a poco con agitación constante. Se continuó agitando durante 4 horas. Al final de las cuatro horas, se dejó en reposo durante 24 horas. Se decantó y colocó en la estufa a 75°C hasta sequedad total. Se tamizó y envasó.

6.6.3 Preparación del material compuesto:

Las nanopartículas silanizadas (0 a 10%w/w) se añadió a una mezcla (99% BisGMA/TEGDMA (BisGMA/TEGDMA: 7/3), 0.2% CQ, y 0.8% 4EDMAB). Una mezcla BisGMA/TEGDMA/nanopartícula silanizada (40%w/w) se incorporó a dióxido de silicio silanizado micrométrico (60%w/w) que se polimerizará con una lámpara de fotocurado (irradiancia: 800mW/cm²) durante 20 segundos.

6.7 Pruebas físicas y mecánicas

Se prepararon muestras para determinar las siguientes pruebas:

6.7.1 Sorción acuosa²⁵

Se preparó el material y llenó el molde en forma de disco (diámetro: 15±1 mm y 0.5±0.1 mm de espesor), con el material. Se colocó la punta de la fuente de energía contra la loseta de vidrio. Se irradió esa sección de la muestra durante 30 s. Se movió la punta de la fuente de energía y se irradió la sección de la muestra que está a un lado de la sección previamente irradiada. Se continuó este procedimiento hasta que toda la muestra haya sido irradiada usando el mismo tiempo de exposición establecido. Después de retirar las muestras del molde, se llevaron a un desecador (37±1 °C). Transcurridas 24 h, se almacenaron en otro

deseCADador durante 1 hora (23 ± 1 °C) para después pesarlas con una precisi3n de ± 0.2 mg. Se repiti3 este ciclo hasta obtener una masa constante, m_1 , es decir, hasta que la masa perdida para cada muestra no sea mayor a 0.2 mg en cada periodo de 24 h. Se sumergi3 las muestras en agua y se mantentuvieron a 37 ± 1 °C durante 7 d3as. Después de ese tiempo, se removieron las muestras y se lavaron con agua, se secaron hasta que est3n libres de cualquier humedad visible, se agitaron cada una en el aire durante 15 s, se esper3 1 minuto después de haber retirado el agua. Se pes3 y registr3 este peso como m_2 . Después de pesarlas, se reacondicionaron las muestras en los desecadores hasta el peso constante utilizando el ciclo descrito. Se registr3 este peso como m_3 . Se midi3 el diámetro y el espesor de la muestra; se calcul3 el volumen V , en mil3metros cúbicos. Se calcul3 los valores para sorci3n acuosa (wsp), en $\mu\text{g}/\text{mm}^3$, para cada uno de las muestras utilizando la siguiente ecuaci3n:

$$wsp = (m_2 - m_3) / V$$

Donde m_2 es la masa de la muestra expresada en microgramos.

Después de su inmersi3n en agua durante 7 d3as; m_3 es la masa reacondicionada de la muestra expresada en microgramos; V es el volumen de la muestra expresado en mil3metros cúbicos.

6.7.2 Solubilidad²⁵

Se calcularon los valores para solubilidad (wsl), en microgramos por mil3metro cúbico, para cada uno de las muestras utilizando la siguiente ecuaci3n y continuando con la

metodología de sorción acuosa:

$$wsl=(m1-m3)/V$$

Donde, m1 es la masa acondicionada expresada en microgramos, antes de su inmersión en agua.

6.7.3 Encogimiento y rapidez de polimerización²⁶

Se empleó un instrumento que mide la deflexión de un vidrio delgado aprovechando la adhesión que presentan los adhesivos a éste. Se colocó entre 0.16 ± 0.01 g del material conforme a la Tabla 1, sobre un portaobjetos que tiene adherido un anillo de bronce de 19 mm de diámetro y espesor de 1 mm. El material deberá estar aproximadamente en el centro del anillo. Se colocó sobre el material el vidrio delgado (cubreobjetos). Se colocó sobre el cubreobjetos otro portaobjetos y oprimirlo con cuidado hasta que el segundo portaobjetos no pueda descender porque el anillo se lo impidió y formar un espesor constante en el material. Se colocó el transductor sobre el vidrio flexible adherido a la muestra preparada. Se inició la prueba cuando el valor del voltaje leído por el transductor, no presente demasiada variación en sus valores usando una irradiancia de 800 mW/cm^2 durante 20 s, se apagó la lámpara y se continuó capturando datos durante 580 s más. Se transformaron los valores de la señal eléctrica en función del tiempo, en valores de medición (longitud) mediante una curva de calibración voltaje-longitud. Con los valores de longitud se calculó el encogimiento que experimenta la muestra por efectos de la polimerización usando la siguiente ecuación:

$$\%S=(100\Delta L)/L0$$

donde ΔL es la contracción que experimenta la muestra; L_0 es la longitud inicial de la muestra antes que ésta sea irradiada.

Se calculó la rapidez de endurecimiento del material (cinética de polimerización) usando las mediciones de ΔL en función del tiempo. La pendiente de la gráfica ΔL , tiempo representará la rapidez de polimerización.

6.7.4 Pruebas mecánicas en flexión²⁵

Se prepararon muestras para flexión de $25 \pm 2 \times 2 \pm 0.1 \times 2 \pm 0.1$ mm que fueron fotocuradas (800 mW/cm^2) con una lámpara (Bluephase 16i) durante 20 s. Las muestras se almacenaron en agua destilada a $37 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 h. Ensayos de flexión de tres puntos se llevaron a cabo a temperatura ambiente usando una máquina universal de pruebas mecánicas (Instron 5567) con una velocidad de carga de 1 mm/min. El módulo elástico, el esfuerzo de cedencia y la resistencia a la flexión se calcularon usando las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo de flexión (σ):

$$\sigma = 3FL/2bh^2$$

Módulo elástico en flexión (E):

$$E = F'L^3/4bh^3d'$$

Donde F es la fuerza en Newton aplicada a la muestra; L es el claro entre puntos de apoyo de la muestra (20 mm); b es el ancho en mm de la muestra; h es el espesor de la muestra en mm; F' es la fuerza en Newton dentro de la zona elástica de la muestra; y d' es la deflexión en mm correspondiente al valor de F' . Los resultados de ambas propiedades fueron el valor medio de 6 probetas por grupo.

6.7.5 Fluidez²⁷

Se colocó una hoja de papel milimétrico bajo una placa de vidrio (30x30x5mm) y sobre ella se depositaron 0.15 ± 0.01 g de muestra. Se colocó otra placa de vidrio de las mismas dimensiones con masa de 17.90g (peso: 0.18N). Se esperaron 60s y se medieron los diámetros mayor y menor. Se reportará el diámetro medio (d) de cada medición (n= 3) por grupo como valor de fluidez en mm. Se usó la ecuación de Stefan para determinar la viscosidad aparente de las mezclas.

III

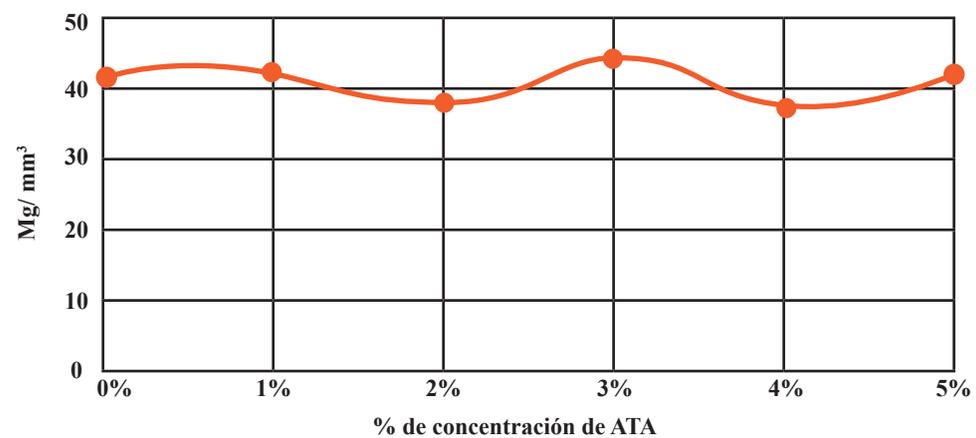
Los Resultados

7. Resultados.

7.1 Sorción

En el gráfico 1 se muestra el comportamiento de la sorción en las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que en la mezcla con el 1%, 3% y 5% aumenta la sorción y en el 2% y 4% disminuye considerablemente.

Gráfico 1.
Comportamiento de la sorción ante el porcentaje de Atapulgita.



No hay diferencias significativas entre las otras mezclas ($P= 0.639$)

7.2 Solubilidad

En el gráfico 2 se muestra el comportamiento de la solubilidad de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que solamente la mezcla con el 4% de atapulgita disminuye su solubilidad.

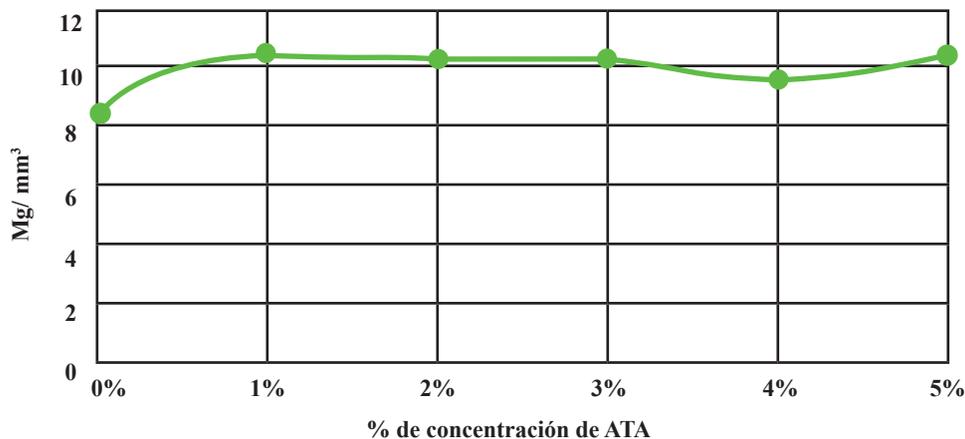


Gráfico 2.
Comportamiento de las mezclas a diferentes contenido de nanofibra.

No hay diferencias significativas entre las mezclas (P= 0.460).

7.3 Rapidez de polimerización

En el gráfico 3 se muestra el comportamiento de la rapidez de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que la mezcla con el 5% de atapulgita disminuye considerablemente en su rapidez de polimerización. Se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre la mezcla del 5% con el resto de las mismas (P= 0.041).

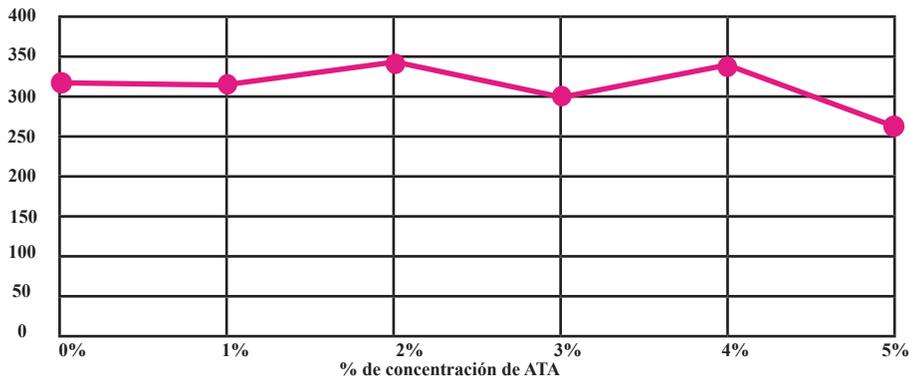


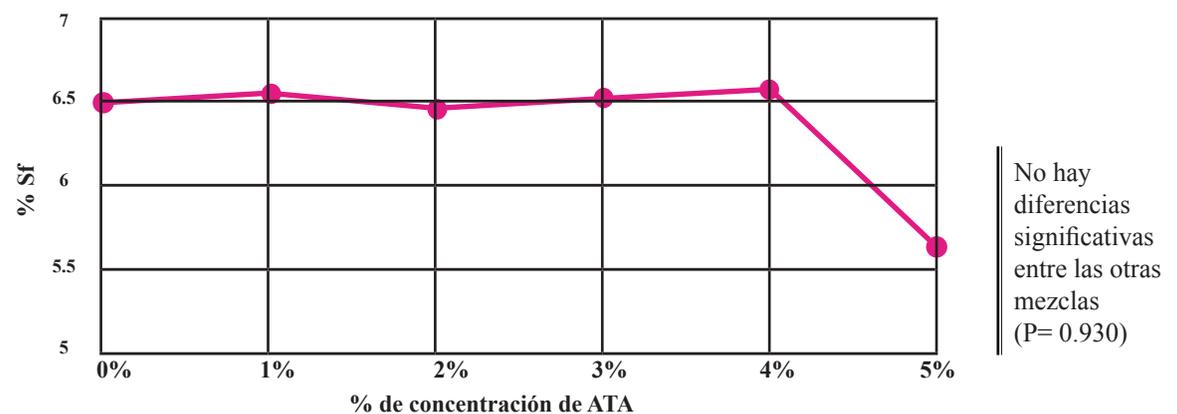
Gráfico 3.
Comportamiento de la rapidez de polimerización de las mezclas estudiadas.

No hay diferencias significativas entre las otras mezclas (P= 0.323).

7.4 Encogimiento

En el gráfico 4 se muestra el comportamiento del encogimiento de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que la mezcla con el 5% de atapulgita disminuye considerablemente en su encogimiento. Se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre la mezcla del 5% con el resto de las mismas ($P < 0.001$).

Gráfico 4.
Comportamiento del encogimiento ante la concentración porcentual de Atapulgita.



7.5 Módulo de Flexión

En el gráfico 5 se muestra el comportamiento del módulo de flexión de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que solamente la mezcla con el 2% de atapulgita aumenta considerablemente su módulo de flexión.

No hay diferencias significativas entre las otras mezclas (P= 0.571)

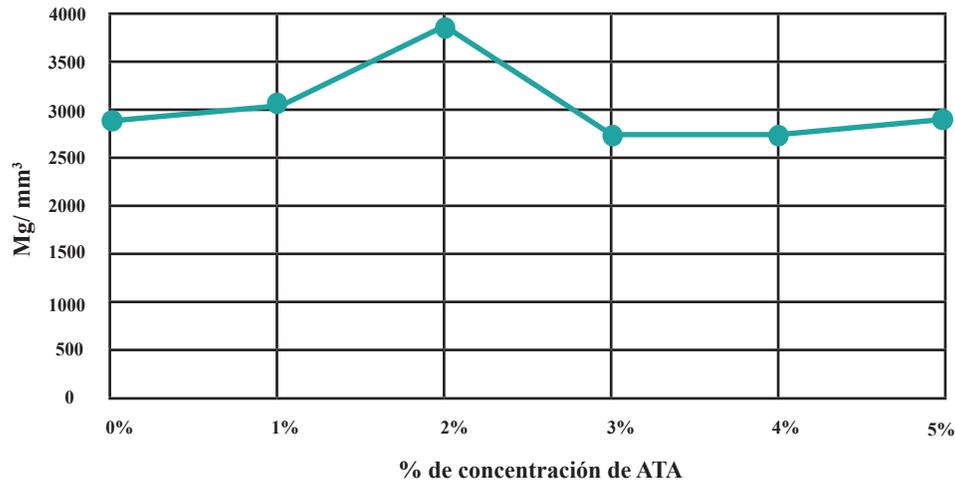


Gráfico 5. Comportamiento del módulo elástico en flexión de las mezclas polimerizadas estudiadas.

7.6 Esfuerzo a la flexión.

En el gráfico 6 se muestra el comportamiento del esfuerzo a la flexión de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que la mezcla con el 2% de atapulgita aumenta considerablemente y la del 5% disminuye en su esfuerzo a la flexión. Se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre la mezcla del 5% con el resto de las mismas (P= 0.007).

No hay diferencias significativas entre las otras mezclas (P= 0.525)

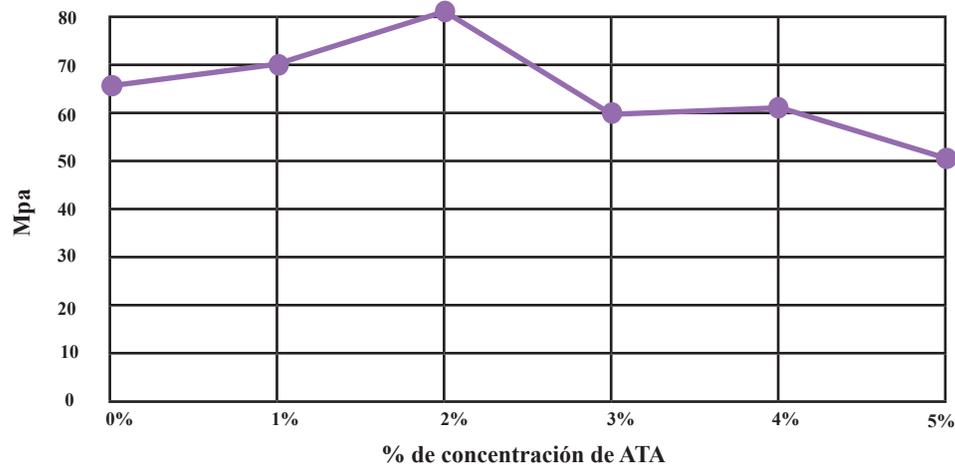
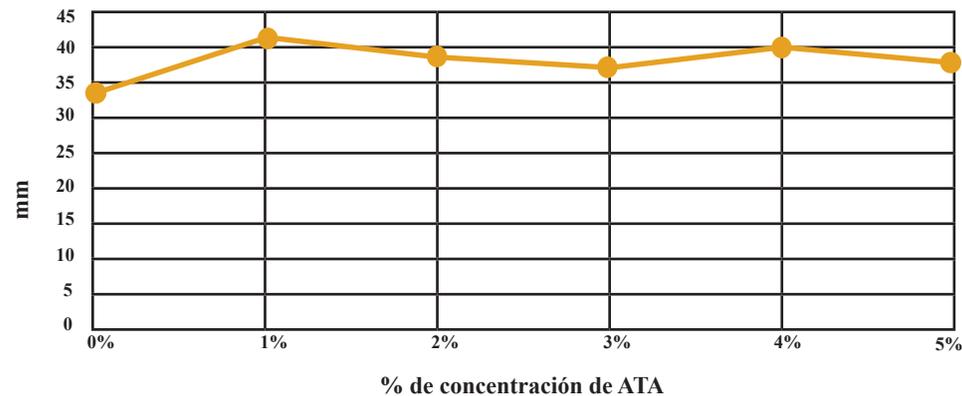


Gráfico 6. Comportamiento del esfuerzo máximo de flexión o resistencia a la flexión del contenido de Atapulgita.

7.7 Fluidez

En el gráfico 7 se muestra el comportamiento de la fluidez en las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que solamente la mezcla con el 0% y 5% de atapulgita disminuye considerablemente su fluidez.

Gráfico 7.
Comportamiento de la fluidez ante la cantidad de nanofibra.

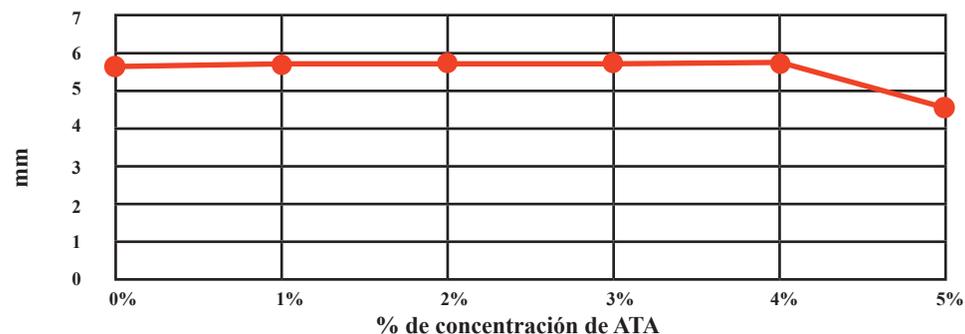


No hay diferencias significativas entre las otras mezclas (P= 0.423)

7.8 Profundidad de curado

En el gráfico 8 se muestra el comportamiento de la profundidad de curado de las mezclas con y sin atapulgita. Se aprecia que solamente la mezcla con el 5% de atapulgita disminuye considerablemente su profundidad de curado. Se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre la mezcla del 5% con el con el resto de las mismas (P<0.001).

Gráfico 8.
Comportamiento de la profundidad de curado de las mezclas estudiadas.



No hay diferencias significativas entre las otras mezclas (P= 0.29)

IV

La discusión

8. Discusión

Los materiales compuestos, al contrario de lo que ocurre con el resto de los materiales (metales, polímeros y cerámicos), no se pueden definir mediante una frase que resuma aquello que les caracteriza. Surgen de combinar entre sí materiales de las tres familias (metales, cerámicos y polímeros) con el impulso de encontrar nuevos materiales que se adapten mejor a usos ya existentes posibiliten el acceso a nuevas tecnologías que requieren de propiedades que los materiales ya existentes, por sí solos, no proporcionan. Establece la característica constitutiva fundamental de un material compuesto, en donde al menos deben encontrarse dos constituyentes básicos, matriz y refuerzo, y un tercero fruto de la interacción entre los dos primeros, la interfase.

La matriz: es el constituyente continuo del material; mantiene al refuerzo en su sitio; transfiere la fuerza aplicada a la interfase y suele tener un papel relevante ante las fuerzas. Es responsable de las propiedades químicas y funcionales del material y, frecuentemente limita la temperatura de trabajo del material compuesto. Se utilizan como matrices metales, polímeros o cerámicas, dando así lugar a tres grandes familias de materiales compuestos en función de la naturaleza de la matriz. Es, precisamente, la naturaleza de la matriz la que condiciona el objeto de la incorporación de un refuerzo y, en muchos casos, su naturaleza: materiales compuestos de matriz metálica, materiales compuestos de matriz cerámica y materiales compuestos de matriz polimérica.

El refuerzo: es el constituyente discontinuo del material, su misión es mejorar o complementar las propiedades de la matriz en determinadas direcciones prefijadas o de forma aleatoria. Al igual que en el caso de la matriz, su naturaleza puede ser metálica, cerámica o polimérica. Los refuerzos se suelen clasificar en función de su geometría: partículas, monofilamentos, fibra corta o fibra larga. Normalmente se le considera, dada su importancia, como el tercer constituyente básico de todo material compuesto. Su papel es fundamental en la constitución de un material compuesto, ya que es quien proporciona continuidad al material. Sus propiedades condicionan fuertemente las propiedades finales del material compuesto. De hecho, es la encargada de la transferencia de fuerzas mecánica desde la matriz al refuerzo, establece la continuidad eléctrica y térmica entre los constituyentes, establece la compatibilidad química entre éstos y, en gran medida, es la responsable de las sinergias que surgen de la combinación de dos materiales. Por ello, es necesario controlar las propiedades de la interfase para que las propiedades globales del material compuesto sean las deseadas. Este control puede

llevar a modificar la superficie del refuerzo, ya sea física o químicamente. Surgen así dos tipos básicos de interfase . Cuando la interfase es fruto de una interacción de tipo físico (rugosidad superficial del refuerzo, presencia de esfuerzo sobre la interfase, presencia de cargas electrostáticas), ésta se limita a una superficie de contacto entre matriz y refuerzo. Cuando la interfase es fruto de una interacción química, aparecen productos de reacción (interfases) que proporcionan cierto espesor a la interfase.

Fruto del desarrollo tecnológico de las dos últimas décadas del siglo XX y la primera del siglo XXI, al día de hoy existe un buen número de materiales caracterizados por poseer, en alguna de sus dimensiones, tamaños en el orden de los nanómetros. Estos materiales nanométricos se caracterizan por una relación superficie/volumen muy elevada, tanto que sus propiedades están controladas por sus características superficiales en vez de las volumétricas. Según su geometría se pueden identificar tres tipos de materiales nanométricos o nanomateriales:

Materiales nanométricos laminares o nanoláminas

Materiales nanométricos fibrosos o nanofibras

Materiales nanométricos pulverulentos o nanopartículas

Chaos²⁸ se plantea dos retos básicos a la hora de usar nanoestructuras como refuerzo de matrices de tipo polimérico:

1ero. Evitar la aglomeración del refuerzo para controlar su distribución en la matriz e intentar generar direcciones de orientación preferentes (en el caso de nanorefuerzos con direcciones preferentes).

2do. Mejorar la interacción química y física del nanorefuerzo con la matriz para obtener propiedades controladas, que no fomenten su aglomeración.

Los resultados de esta tesis ponen de manifiesto la enorme influencia del tipo de material en cuanto a su tamaño²⁸.

8.1 Sorción y solubilidad

La solubilidad de los materiales compuestos que contienen 1, 2, 3, 4 y 5% de nanofibras de atapulgita, así como el control (0%) se muestran en la gráfica 1 y 2.

Cada punto representa el valor medio de seis mediciones de solubilidad de los compuestos resultantes. Se observan incrementos en todos los valores de composición entre 1 y 5% de atapulgita con respecto al control. Existe un descenso en las muestras preparadas con el 4% de nanofibra.

Para las muestras preparadas con el 1, 2, 3 y 5% de atapulgita, los valores de solubilidad oscilaron entre 10.6 y 10.4 mg/mm³, en otras palabras 10.5 mg/mm³ en promedio general. La solubilidad de la muestra control fue de 8.2 mg/mm³. Esto indica que la solubilidad en términos generales, aumentó 28% en comparación con el material compuesto sin atapulgita. La solubilidad de las muestras preparadas con el 4% de nanofibra (9.5 mg/mm³) aumentó con respecto al control 16% pero disminuyó con respecto al resto de las mezclas 10%.

La sorción de los materiales compuestos que contienen 1, 2, 3, 4 y 5% de nanofibras de atapulgita, así como el control (0%) se muestran en la gráfica. 1.

Cada punto representa el valor medio de seis mediciones de sorción de los compuestos resultantes. Se observan incrementos en los valores de composición de 1, 3 y 5% de atapulgita con respecto al control. Existe disminución en las muestras preparadas con 2 y 4% de nanofibra.

Para las muestras preparadas con 1, 3 y 5% de atapulgita, los valores de sorción oscilaron entre 45 y 44 mg/mm³ o sea en promedio general 44.5 mg/mm³. La sorción de la muestra control fue de (41.2±3.2) mg/mm³. Esto indica que esta propiedad en términos generales, aumentó 8% en comparación con el material compuesto sin atapulgita. La sorción de las muestras preparadas con 2 y 4% de nanofibra (38.0 mg/mm³) disminuyó con respecto al control 8% y más aún con respecto al resto de las preparaciones 17%.

Vaca³¹ comenta que los materiales formulados con monómeros tipo dimetacrilato como el BisGMA y el TEGDMA, una vez expuestos al medio acuoso, sufren procesos de sorción y solubilidad en mayor o menor grado, que provocan una degradación de los mismos y afectan la calidad y longevidad de los materiales.

La sorción de agua es un proceso de difusión controlada por la matriz orgánica que puede con llevar a su degradación y a la ruptura de la unión entre el relleno y la matriz. También, puede producir liberación o disolución de partículas del relleno y sustancias orgánicas, por ejemplo, monómeros residuales; este fenómeno produce una disminución del peso, y se denomina solubilidad.

Los procesos de sorción y solubilidad pueden provocar cambios dimensionales en los materiales que afectan sus propiedades mecánicas, pueden producir cambios en el color de las restauraciones afectando su aspecto estético, o alterar la biocompatibilidad ya que los

componentes liberados podrían afectar a las células pulpares.

Los resultados de esta tesis ponen de manifiesto la enorme influencia del tipo de material utilizado en los procesos de sorción y solubilidad que acontecen en condiciones de humedad.

El fenómeno de sorción se produce fundamentalmente en la matriz orgánica además de la hidratación de los núcleos inorgánicos sensibles a la acción del agua, así como la disolución de la matriz hidrofílica.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en la sorción determinada para las diferentes resinas evaluadas. Estas variaciones en la sorción pueden atribuirse a múltiples factores como son la composición química de la matriz orgánica: BisGMA/TEGDMA. TEGDMA es el monómero que crea una red polimérica más densa y flexible, pero también la que más cantidad de agua absorbe. Además, el relleno también absorbe agua, su composición química, proporción, tamaño y forma de las partículas del mismo influyen en la sorción puesto que el agua absorbida se aloja en la interfase relleno-matriz polimérica, y una vez allí reacciona con el relleno o con el agente de unión (silano). Por lo tanto, la silanización del relleno también influye, puesto que cuanto más efectiva sea la unión entre las partículas de relleno y la matriz orgánica, mayor será la sorción producida ³².

8.2 Rapidez de fotopolimerización

El encogimiento de polimerización de compuestos dentales es el resultado de la conversión de distancias intermoleculares tipo van der Waals de monómeros a enlaces covalentes durante la fotopolimerización. Como el encogimiento es una consecuencia de la reacción

de polimerización se debe seguir un patrón de reacción de polimerización. La gráfica 3 muestra el comportamiento de la rapidez de polimerización de los monómeros en función de la concentración de nanofibras de atapulgita. Se aprecia un aumento (8%) de la rapidez de polimerización en la mezcla del 2% y un descenso (18%) en la mezcla del 5% con respecto al 0%. Apparently the atapulgita acts as a catalyst of the reaction up to 2% and then decreases which can be due to the fact that there is not enough mixture of monomers and the nanofibers can be humidified.

8.3 Encogimiento

Las resinas compuestas que se usan y polimerizan en boca son, probablemente, el conjunto de materiales más utilizado en la clínica dental desde que se introdujeron a mediados de la década de los 60. Se utilizan para la restauración de defectos dentales producidos por caries, erosiones, resorciones o fracturas; en el cementado adhesivo de restauraciones estéticas parciales o totales de porcelana o de resina; en el cementado adhesivo de estructuras metálicas protésicas y en bracketts ortodónticos. Su composición orgánica hace que tengan, dependiendo de los monómeros, una característica común: la contracción durante el proceso de polimerización. Las resinas compuestas de uso en boca tienen tres componentes principales:

- Una matriz orgánica.
- Un sistema de monómeros mono, di o trifuncionales.
- Un sistema iniciador de la polimerización por radicales libres.

- Estabilizadores para maximizar la capacidad de almacenamiento antes de polimerizar, y la estabilidad química una vez polimerizada.
- Una matriz inorgánica a base de vidrio, cuarzo o sílice.
- Un agente de unión, normalmente un silano, para unir entre sí a las matrices anteriores.

Su polimerización se produce gracias a la unión de las moléculas (monómeros) para formar una red (polímero) mayor, realizándose esta unión gracias a grupos específicos distribuidos típicamente en cada monómero. Inevitablemente contraen al polimerizar porque en el estado inicial, las unidades de monómero están separadas entre sí por distancias correspondientes a fuerzas de van der Waals, mientras que en el polímero final las unidades de monómero (que ya están unidas formando el polímero) están a distancias de enlace covalente, es decir, menores. Esto hace que la matriz, finalmente, tenga un volumen menor del que tenían sus componentes al principio.

Macorra³³ menciona que en el laboratorio, las resinas compuestas tienen un buen comportamiento mecánico, estudiadas aisladamente. Pero en la clínica se detectan problemas con consecuencias negativas. La mayor parte de estos fracasos se debe al encogimiento por polimerización. En volumen, esta cifra oscila entre un 1.35 y 7.1% para los materiales de restauración.³³

Garoushi y Vallittu³⁴ mencionan que se han hecho intentos para cambiar el tipo de materiales de carga o tamaño de relleno. El refuerzo de la resina ha sido con fibras de vidrio, con fibras o cargas cerámicas. Sin embargo, todavía se necesitan más mejoras significativas. La contracción lineal de resina compuesta actual que permite la formación de caries secundaria

es un problema importante en la odontología restauradora. Muchos factores afectan la contracción de materiales compuestos, incluyen la composición de la matriz, el contenido de material de relleno, y el método de polimerización. La tecnología de relleno ha llevado al desarrollo de resinas compuestas caracterizadas por contener nanopartículas de diferentes elementos químicos y tamaños. La eficacia del refuerzo de la nanofibra depende de muchas variables, como la cantidad de fibras en la matriz de resina, la longitud de las fibras, la forma de las fibras, la orientación de las fibras, la adhesión de las fibras a la matriz del polímero y la impregnación de las fibras con la fase orgánica.³⁴

Esta tesis revela el efecto de las partículas nanométricas añadidas a la fase orgánica BisGMA/TEGDMA en el encogimiento por polimerización de una resina compuesta. Los datos muestran que el encogimiento de polimerización se mantiene razonablemente constante al aumentar la cantidad de nanofibras hasta 4% para después disminuir significativamente en 5%. Como es evidente en la gráfica 4, no hubo diferencia significativa proporcional entre la conversión de monómero de los materiales compuestos que contienen diferentes cantidades de nanocarga ($p < 0,05$). El resultado del 5% de esta tesis está de acuerdo con los hallazgos de Halvorson como lo comenta Garoushi³⁵ que encontró que la conversión disminuyó con el aumento de relleno debido a que la movilidad de los monómeros se restringe y resultó en menor conversión de monómero.

8.4 Propiedades mecánicas

8.4.1 Modulo y esfuerzo de flexión

Las propiedades mecánicas (módulo y esfuerzo de flexión) de los materiales compuestos que contienen 1, 2, 3, 4 y 5% de nanofibras de atapulgita, así como el comportamiento mecánico de las muestras control (0%) se muestran en las gráficas 5 y 6.

Cada punto representa el valor medio de seis mediciones del esfuerzo a la flexión (EF) en la gráfica 6 y del módulo de elasticidad (ME) en la gráfica 5 de los compuestos resultantes. Se observan incrementos en las composiciones de 1 y 2% de atapulgita para después disminuir.

Para las muestras preparadas con el 2% de atapulgita, los valores de EF y ME fueron (82 ± 7) MPa y (3806 ± 198) MPa respectivamente. Los valores de EF y ME de la muestra control fueron (65 ± 12) MPa y (2826 ± 533) MPa respectivamente. Esto indica que el EF incrementó 26% y ME, 35%, en comparación con el material compuesto sin atapulgita. Ming Tian²⁹ y Guangqing Guo³⁰ indican que este comportamiento sugiere que la impregnación de pequeñas fracciones de masa de nanofibras (1 y 2%) se pueda deber a:

(1) Las nanofibras, que fueron fuertemente unidos a la matriz orgánica de BisGMA/TEGDMA, efectivamente refuerzan el material compuesto y causaron el incremento de ambas propiedades;

(2) El módulo elástico de la atapulgita fue mayor que el módulo elástico de la resina, y provocó el aumento.

(3) Las nanofibras, que se unen débilmente a la matriz orgánica, podían separarse de ella cuando se aplica la fuerza; y la fuerza de fricción creada al momento de desprenderse permitiría que las fuerzas de transferencia a través de grietas formadas en la matriz orgánica de BisGMA/TEGDMA aumenten la resistencia del material.

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos con mayores proporciones de atapulgita (4 y 5%) disminuyeron. Ming Tian²⁹ y Guangqing Guo³⁰ indican que este comportamiento sugiere tres posibles explicaciones:

(1) Con una creciente cantidad de nanofibras que presentan área de superficie muy grande, la matriz orgánica puede no ser capaz de mojar la superficie de las nanofibras y por ende, aumentar la viscosidad de la mezcla, lo que hace más difícil la dispersión de las nanofibras de manera uniforme en la matriz orgánica. Esta alta concentración de fibra podría conducir a la formación de huecos en los materiales compuestos, debido a la aglomeración de nanofibra-nanofibra que también contribuye a la transferencia de fuerzas no uniforme y resultó en una reducción en las propiedades mecánicas.

(2) El aumento de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos puede estar limitada por las propiedades mecánicas de las nanofibras y la resistencia de unión interfacial entre las nanofibras y la matriz orgánica.

Debido al incremento de la cantidad de nanopartículas y a la alta probabilidad de cargas eléctricas estáticas puede hacer que se rompa la dispersión y vuelvan a aglomerarse creando grandes espacios de fase orgánica sin distribución homogénea de nanofibras produciendo regiones débiles por lo que disminuyeron las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

8.4.2 Fluidez

Las resinas compuestas se utilizan todos los días en casi todas las clínicas dentales para crear restauraciones permanentes. Las propiedades de manejo favorable de tales materiales deben incluir facilidad de colocación, dar forma en el sitio restaurado, adhesión a la superficie del diente pero no a un instrumento, y mantener la forma o no desprenderse del diente antes de la fotopolimerización. Estas características son indispensables en los procedimientos de restauración antes de encender la lámpara.

Una de las principales características es la consistencia, ya que afecta la aplicación y la manipulación del material. Las resinas para restauración están disponibles en amplia gama de consistencias o viscosidades. Los más fluidos se denominan resinas fluidas, las más viscosas, resinas empacables o para posteriores. En general, los materiales compuestos se clasifican como materiales visco elásticos posicionados de forma intermedia entre los materiales elásticos (cerámicas) y los materiales viscosos (aceites). El efecto de cualquier fuerza externa en cualquier material de restauración dental directa se rige por los valores absolutos de su elasticidad y viscosidad, y su relación entre la viscosidad y la elasticidad. Las propiedades de flujo o propiedades reológicas de materiales no curados gobiernan la fluidez que a su vez afecta a la manipulación del material. Las resinas compuestas se componen de gran número de partículas inorgánicas dentro de una matriz orgánica. Tienen tanto los comportamientos de tipo líquido y como de sólido. Tales mezclas normalmente muestran propiedades reológicas complejas como disminuir la viscosidad a medida que aumenta la rapidez de corte (al momento de hacer la aplicación dentro de la cavidad ,compactación), tixotropía, es decir, la viscosidad depende del tiempo o poca fluidez o sea que el material no fluye si la

fuerza aplicada no es suficiente.

La clasificación de los materiales compuestos a menudo se ha basado en el tamaño de partícula de relleno: macrorelleno, microrelleno, e híbridos. Hoy en día, también pueden ser clasificados como de baja viscosidad, de viscosidad media y viscosidad alta sobre la base de su fluidez³⁶. Uno de los objetivos de la tesis fue evaluar la influencia del contenido de nanofibra de atapulgita sobre la viscosidad de las resinas compuestas, usando mediciones de fluidez. La hipótesis nula fue que no hay efectos significativos del contenido de carga sobre la fluidez de los materiales compuestos de resina.

La fluidez medida no fue estadísticamente significativamente influenciada por la formulación. De este modo se acepta la hipótesis nula. La formulación sin atapulgita mostró la fluidez más baja (33 mm) entre todos los compuestos. Las mezclas con atapulgita aumentaron su fluidez, es decir, disminuyeron su viscosidad; donde agregar 1% (42 mm) de nanofibra incrementa 21% la fluidez y por ende disminuye la viscosidad. Del 2 al 5% de nanofibra existe una disminución de fluidez de aproximadamente 7% con respecto al 1% de nanorelleno. La fluidez de materiales compuestos se ve afectada por la incorporación de materiales de relleno inorgánicos de diferentes tamaños, formas y cargas. Esto se puede atribuir directamente a la alta área superficial que presentan las nanofibras de atapulgita. Esta tesis mostró la influencia de las variables de composición de los materiales compuestos de resina en la viscoelasticidad de compuestos de resina.

8.4.3 Profundidad de curado

Uno de los problemas relacionados con compuestos de resina fotopolimerizados es la

limitación de la profundidad de curado y la posibilidad de insuficiente conversión de monómero en polímero. Desde que se introdujeron las resinas compuestas fotopolimerizadas, el grado de conversión fue reconocido como vital para el éxito clínico de estos materiales ya que polimerizan solamente hasta cierta profundidad. Esto depende de la penetración de la luz visible a través de la mayor parte del material. Se ha demostrado que la polimerización insuficiente puede dar lugar a una disminución en las propiedades de compuestos de resina.³⁷ Para la polimerización suficiente, tres características vitales son esenciales para la unidad de fotocurado: salida de luz adecuada (mW/cm^2), intervalo de longitud de onda apropiada (nm) y del tiempo de exposición (segundos). Otros factores que afectan a la profundidad de curado incluyen el tipo de resina compuesta (monómero y relleno), la translucidez de la resina, el espesor mínimo de resina aplicada, la distancia desde la punta de la unidad de fotocurado a la resina, el período posterior a la irradiación y el tamaño y distribución de partículas de relleno.

En esa tesis se estudió, la profundidad de curado de diferentes compuestos de resina con nanorelleno. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de 0 y 4%, no así en 5% donde el valor disminuyó significativamente (25%).

Erickson y Barkmeiera³⁸ demostraron en diversos estudios que la transmisión de luz a través de mezclas con nanofibras (atapulgita) puede ser mayor. Sin embargo, durante el proceso de curado, la resina se encuentra entre dos estados físicos (polimerizado y no polimerizado) dependiendo de la profundidad en la resina. Esto es particularmente pertinente para los primeros segundos de curado donde la profundidad de curado es amplia sobre todo si la resina no contiene material de relleno. Cambios espacio-temporales en la transmisión de luz se pueden producir por el consumo de la molécula de fotoiniciador, o por cambios en el

índice de refracción de la resina. Cuando la luz inicialmente incide sobre la resina, la transmisión es controlada por las propiedades ópticas del material no curado y la polimerización se inicia rápidamente con mayor eficacia en la parte superior, donde la irradiancia es mayor. Con el tiempo, las propiedades ópticas que gobiernan la profundidad de curado son ahora las del material curado. Sin embargo, como las partes superiores se hacen más transparentes, la energía de la luz se transmite a mayor profundidad de manera más eficiente. Este proceso continúa hasta que la luz se apague.³⁸

9. Conclusiones

La hipótesis se cumple ya que las propiedades tanto físicas, mecánicas y químicas de la resina adicionada con nanofibras de atapulgita se vieron modificadas con respecto a la resina control que no contenía nanofibras de atapulgita.

Añadir entre 1 y 3% en peso de atapulgita contribuye a que las propiedades de la resina aumenten, lo que hace suponer que sería una alternativa para preparar un sellador de fosetas y fisuras o un adhesivo dental.

10. Referencias bibliográficas

1. Bayne, S. Heymann, H and Swift, E. Update on dental composite restorations. J Am Dent Assoc. (1994); 125(6): 687-701.
2. Fortin, D. Vargas, M. The spectrum of composites: New techniques and materials. J AM Dent Assoc. (2000); 131(1). 26-37.
3. Combe, E., Burke F. Contemporary Resin-based Composites Materials for Direct Placement Restorations: Packables, Flowables and Others. Dent Update. (2000); 27: 326-336.
4. Sarrett, D. Clinical Challenges and the relevance of materials testing for posterior composites restorations. Dental Materials. (2005). 21: 9-20.
5. Chain M. Camargo C. Andriani O. Estética: Dominando os desejos e controlando as expectativas. En: Estética. Capítulo cuatro. Alves, R. Nogueira, E. Volumen tres. Editorial Arte y Ciencia Médica Latinoamericana. São Paulo. Brasil. (2002).
6. Ferracane, J. Condon, J. Suh, B. Effect of filler on degree of conversion (DC) of resins. J Dent Res. (1992); 72:598.
7. Soderholm, K. Achanta, S. Olsson, S. Variables affecting the depth of cure of composites. J. Dent Res. (1993); 72: 138
8. Bayne S., Taylor D. Arte y ciencia Operatoria dental, tercera edición. Harcourt Brace. Madrid, (1999).
9. Phillips, R., Avery, D., Mehra, R., Swatz, M., McCone, R. Observations on a composite resin for class II restorations: Three-years report. J Prost Dent (1973); 30(6):891-897.
10. Belvedere, P. Posterior composites experiencing growth trend. Dentistry Today (1999); 18(3). 44, 46-47.

11. Tveit, A., Espelid, I. Radiographic diagnosis of caries and marginal defect in connection with radiopaque composite fillings. *Dent Mater* (1986); 2: 159-162.
12. Lang, B., Jaarda, M., Wang, R. Filler particle size and composite resin classification systems. *J Oral Rehabil* (1992); 19: 569-584.
13. Bayne, C. Perspective: Our future in restorative dental materials. *J Esthetic Dent* (2000); 12:175-183.
14. Miyasaka, T. Effects of shape and size of silanated fillers on mechanical properties of experimental photo cure composite resins. *J. Dent materials* (1996); 15: 98-110.
15. Braga R., Ballester R., Ferracane J. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater* (2005); 21:962-70.
16. Wakefield C., Kofford K. Advances in restorative materials. *Dent Clin North Am.* 2001; 45:7-29.
17. Lutz F., Krejci I., Oldenburg T. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: A new restorative technique. *Quintessence Int* (1986); 17: 777-784.
18. Dietschi D, Magne P, Holz J. Recent trends in esthetic restorations for posterior teeth. *Quintessence Int* (1994);10:659-677.
19. Yin R., Heiss M., Sharp L., Suh B. Development and physical properties of a new low shrinkage composite. *J Dent Res* (2002); 80: 514.
20. Geraldi, S., Perdigão, J. Microleakage of a New Restorative System in Posterior Teeth. *J Dent Res* (2003); 81:127-65.
21. Seeram RamaNrishna, Kazutoshi Fujihara, WeeYEong Teo, TeiNYcheng LimZuwei Ma. *Ian Introduction to Electrospinning and Nanofibers*” (World Scientific, 2005)

22. W.F. Smith, Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales, 2da Edición, McGraw Hill, (1993).
23. Anseth, K. Goodnerl, M. Reill, M. Kannurpattil, A. Newman S, and Bowmanl, C. The Influence of Comonomer Composition on Dimethacrylate Resin Properties for Dental Composites. J Dent Res August, (1996); 75(8): 1607-1612
24. Investigation on the physical–mechanical properties of dental resin composites reinforced with novel bimodal silica nanostructures. RuiliWang, Maolin Zhang, Fengwei Liu, Shuang Bao, TiantianWu, Xiaoze Jiang, Qinghong Zhang, Meifang Zhu. Materials Science and Engineering C 50 (2015) 266–273.
25. Manual de operación de métodos de prueba. Resinas de restauración. Conforme a la Asociación Dental Americana No. 27. Carlos Andrés Alvarez Gayosso, Teresa Baeza Kingston, Rodrigo Daniel Hernández Medina, Alejandra Morán Reyes. Dirección General de Asuntos del Personal Académico. Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME). PROYECTO PE205009, 2009-2010.
26. C. Alvarez-Gayosso, F. Barceló-Santana, J. Guerrero-Ibarra, G. Sáez-Espínola, MA. Canseco-Martinez. Calculation of contraction rates due to shrinkage in light-cured composites. Dental Materials (2004);20:228-235.
27. Manual de operación de métodos de prueba. Cementos dentales base acuosa. Conforme a la Asociación Dental Americana No. 96. Carlos Andrés Alvarez Gayosso, Teresa Baeza Kingston, Alejandra Morán Reyes, Rodrigo Daniel Hernández Medina. Dirección General de Asuntos del Personal Académico. Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME). PROYECTO PE205009, 2009-2010.
28. Rubén Chaos Morán. Fabricación y caracterización de materiales compuestos de

matriz polimérica reforzada con nanofibras de carbono. Tesis doctoral. Universidad Rey Juan Carlos. Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología. Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales, 2011; .Xiaoming Li, Wei Liu, Lianwen Sun, Katerina E. Aifantis, Bo Yu, Yubo Fan, Qingling Feng, Fuzhai Cui, and Fumio Watari. Resin Composites Reinforced by Nanoscaled Fibers or Tubes for Dental Regeneration. Bio Med Research International, 2014, Article ID 542958, 13 pages.

29. Ming Tian, Yi Gao, Yi Liu, Yiliang Liao, Riwei Xu, Nyle E. Hedin, and Hao Fong. Bis-GMA/TEGDMA Dental Composites Reinforced with Electrospun Nylon 6 Nanocomposite Nanofibers Containing Highly Aligned Fibrillar Silicate Single Crystals. Polymer (Guildf). 2007, April 24; 48(9): 2720–2728.)

30. (Guangqing Guo, Yuwei Fan, Jian-Feng Zhang, Joseph Hagan, and Xiaoming Xu. Novel Dental Composites Reinforced with Zirconia-Silica Ceramic Nanofibers. Dent Mater. 2012 April; 28(4): 360–368)

31. MJ. Vaca, L. CebaBas, MV. Fuentes, R. Osario, M. Toledano, F. García-Godoy. Sorción y solubilidad de materiales formulados con resina. Av. Odontoestomatol 2003; 19-6: 283-289.

32. Vaca MJ, CebaBas L, Fuentes MV, Osario R, Toledano M, García-Godoy F. Sorción y solubilidad de materiales formulados con resina. Av. Odontoestomatol 2003; 19-6: 283-289,

.D. Alvarez-Estrada, C. Sánchez Conde. Estudio y caracterización de una Atapulgita, Bol. Soc. Esp. Cerám., nov-dic 1967, vol. 6 – No. 6, 717-730

33. J.C. de la Macorra García. La contracción de polimerización de los materiales restauradores a base de resinas compuestas. Odontología Conservadora, enero-marzo 1999, vol. 2, No 1, 24-35

34. Sufyan Garoushi, Pekka K. Vallittu, David C. Watts, Lippo V.J. Lassila. Effect of na-

nanofiller fractions and temperature on polymerization shrinkage on glass fiber reinforced filling material. *Dental Materials*, 2008, 24: 606–610)

35. Sufyan Garoushi, Pekka K. Vallittu, David C. Watts, Lippo V.J. Lassila. Effect of nanofiller fractions and temperature on polymerization shrinkage on glass fiber reinforced filling material. *Dental Materials*, 2008, 24: 606–610)

36. Khold Al-Ahdala, Nick Silikas, David C. Watts. Rheological properties of resin composites according to variations in composition and temperature. *Dental Materials*, 2014, 30:517–524.

37. A. Alrahlaha, N. Silikas, D.C. Watts. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. *Dental Materials*, 2014, 30:149–154.

38. Robert L. Erickson, Wayne W. Barkmeiera, Rolf H. Halvorson. Curing characteristics of a composite – Part 1: Cure depth relationship to conversion, hardness and radiant exposure. *Dental Materials*, 2014, 30:e125–e133

