



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE ODONTOLOGÍA

| INFLUENCIA DE TRES ARCILLAS SILANIZADAS EN LAS PROPIEDADES FÍSICO
MECÁNICAS DE UNA RESINA EXPERIMENTAL A BASE DE BIS-GMA/TEGDMA |

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE CIRUJANO DENTISTA

Presenta:

MARIA STELLA PACHECO HERNÁNDEZ

Director: Dr. José Alejandro Rivera Gonzaga

Co director: Dr. Juan Eliezer Zamarripa Calderón

Pachuca de Soto, Hgo. Diciembre 2018



MTRO. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIPO
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR

Head of the General Department of Admissions and Enrollment Services

Por medio de la presente, manifiesto a usted que se autoriza la impresión del trabajo de investigación del pasante de la Licenciatura en Cirujano Dentista **María Stella Pacheco Hernández**, bajo la modalidad de **Tesis** cuyo título es **Influencia de tres arcillas silanizadas en las propiedades físico mecánicas de una resina experimental a base de Bis-GMA/TEGDMA**, debido a que reúne los requisitos de decoro académico a que obligan los reglamentos en vigor, para ser discutido por los miembros del jurado.

Nombre de los Docentes Jurados	Función	Firma de aceptación del trabajo escrito para su impresión
Dr. Juan Eliezer Zamarripa Calderón	Presidente	
Dra. Ana Josefina Monjarás Ávila	Secretaria	
Dr. José Alejandro Rivera Gonzaga.	Primer Vocal	
Mtra. Carmen Balderas Delgadillo.	Segundo vocal	
Mtra. Adriana Leticia Ancona Meza.	Tercer vocal	
ESP. CD. Raúl Parra Castañeda	Suplente	
Dr. Carlos A. Álvarez Gayosso	Suplente	

ATENTAMENTE
 "AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 2 de diciembre 2018

ICSA
 Instituto de Ciencias de la Salud
 Odontología

M.C. ESP. ADRIAN MOYA ESCALERA
 Director del instituto de Ciencias de la Salud
 Dean

C.D. ESP. Fernando Barrera Hernández
 JEFE DEL ÁREA ACADÉMICA DE ODONTOLOGIA
 chair of the Department odontology



Circuito Ex Hacienda La Concepción S/N
 Carretera Pachuca Actopan
 San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México; C.P. 42160
 Teléfono: 52 (771) 71 720-00 Ext.5103 y 5112
 odontologia@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

ÁREA ACADÉMICA DE ODONTOLOGÍA

Advertencias

Cualquier trabajo de investigación no publicado postulado para el grado de Licenciatura y depositado en la modalidad de Tesis en las Bibliotecas de esta Universidad, queda abierta para inspección, y solo podrá ser usado con la debida autorización. Las referencias bibliográficas pueden ser utilizadas, sin embargo, para ser copiadas se requerirá el permiso del autor y el crédito se dará a la escritura y publicación del trabajo.

Esta tesis ha sido usada por las siguientes personas, que firman y aceptan las restricciones señaladas.

La biblioteca que presta esta tesis se asegurará de recoger los datos de cada persona que la utilice.

Nombre	Dirección	Fecha

Tabla de contenidos

LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.1 Descripción del problema.....	10
1.2 Pregunta de investigación.....	10
1.3 Justificación	11
1.4 Objetivo general.....	12
1.5 Objetivos específicos	12
1.6 Hipótesis.....	12
1.7 Definición espacial y temporal.....	13
2. MARCO CONTEXTUAL	14
2.1 Introducción	14
2.2 Marco conceptual.....	15
2.2.1 Resinas compuestas.....	15
2.2.2 Polimerización	15
2.2.3 Tipos de resinas según su polimerización.....	16
2.2.4 Tipos de arcillas.....	17
2.2.5 Propiedades mecánicas de los materiales	19
2.3 Marco referencial	23
2.3.1 Historia	23
2.3.2 Propiedades de las resinas compuestas.....	24
2.3.3 Composición de las resinas compuestas	29
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	34
3.1 Tipo de investigación	34
3.2 Diseño de investigación	34
3.3 Variables.....	34

3.4	Definición de grupos	36
3.5	Metodología.....	37
3.5.1	Materiales y Equipo	37
3.5.2	Método.....	38
4.	RESULTADOS	42
4.1	Resistencia a la flexión (σ).....	42
4.2	Módulo de flexión (E)	46
4.3	Grado de conversión (GC)	51
4.4	Profundidad de Curado (PC).....	55
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	61
5.1	Resistencia a la flexión (σ).....	61
5.2	Módulo de flexión (E)	61
5.3	Grado de conversión (GC)	62
5.4	Profundidad de curado (PC)	63
6.	CONCLUSIONES.....	65
	REFERENCIAS.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Grado de conversión de diferentes monómeros	33
Tabla 2 Grado de conversión	34
Tabla 3 Descripción de variables	35
Tabla 4 Grupos de estudio	36
Tabla 5 Datos descriptivos de σ para ATAsil	42
Tabla 6 Prueba ANOVA de una vía para σ (ATAsil)	42
Tabla 7 Datos descriptivos de σ para BENSil adicionada.	43
Tabla 8 Prueba ANOVA de una vía para σ (BENSil)	43
Tabla 9 Subconjuntos homogéneos para σ de los grupos con BENSil adicionada	44
Tabla 10 Datos descriptivos de σ para MMTsil	45
Tabla 11 Prueba ANOVA de una vía para σ (MMTsil)	45
Tabla 12 Subconjuntos homogéneos para σ de los grupos con MMTsil	46
Tabla 13 Datos descriptivos de E para ATAsil	47
Tabla 14 Prueba ANOVA de una vía para E (ATAsil)	47
Tabla 15 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con ATAsil	48
Tabla 16 Datos descriptivos de E para BENSil	48
Tabla 17 Prueba ANOVA de una vía para E (BENSil)	49
Tabla 18 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con BENSil	49
Tabla 19 Datos descriptivos de E para MMTsil	50
Tabla 20 Prueba ANOVA de una vía para E (MMTsil)	50
Tabla 21 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con MMTsil	51
Tabla 22 Datos descriptivos de GC para ATAsil	52
Tabla 23 Prueba ANOVA de una vía para GC (ATAsil)	52
Tabla 24 Datos descriptivos de GC para BENSil	53
Tabla 25 Prueba ANOVA de una vía para GC (BENSil)	53
Tabla 26 Datos descriptivos de GC para MMTsil	54
Tabla 27 Prueba ANOVA de una vía para GC (MMTsil)	54
Tabla 28 Datos descriptivos de PC para ATAsil	55
Tabla 29 Prueba ANOVA de una vía para PC (ATAsil)	55
Tabla 30 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con ATAsil	56
Tabla 31 Datos descriptivos de PC para BENSil	56
Tabla 32 Prueba ANOVA de una vía para PC (BENSil)	57
Tabla 33 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con BENSil	57
Tabla 34 Datos descriptivos de PC para MMTsil	58
Tabla 35 Prueba ANOVA de una vía para PC (MMTsil)	58

Tabla 36 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con MMTsil 59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Pares de fuerzas que inducen tensiones	19
Figura 2 Deformación plástica	21
Figura 4 Módulo de elasticidad	22
Figura 3 Rigidez y flexibilidad	22
Figura 5 Composición de una resina compuesta	26
Figura 6 Prueba de flexión de tres puntos	38
Figura 7 Determinación de la línea base para grado de conversión	40

RESUMEN

Los monómeros Bis-GMA y TEGDMA han sido utilizados por mucho tiempo como matriz polimérica para la elaboración de resinas compuestas de restauración dental, junto con rellenos inorgánicos tales como SiO_2 silanizado que les confiere una mayor resistencia mecánica. Se ha comprobado en diversas investigaciones que uno de los factores que contribuyen a la falla de las resinas compuestas para restauración dental, es el tipo de relleno. Debido a que el tamaño de partícula del relleno por lo general es del orden de micrómetros, este puede ser desalojado al estar sometido a las fuerzas masticatorias debilitando la resistencia del material, por tal razón, se han utilizado partículas nanométricas como la montmorillonita y la atapulgita como material de refuerzo obteniéndose buenos resultados en las propiedades físico-mecánicas, entre otras. El objetivo principal de este trabajo es el desarrollo de resinas compuestas experimentales a base de monómeros dentales Bis-GMA/TEGDMA y arcillas silanizadas. Se prepararon tres grupos diferentes: Bis-GMA/TEGDMA y atapulgita silanizada (ATAsil), BisGMA/TEGDMA y montmorillonita silanizada (MMTsil) y Bis-GMA/TEGDMA y bentonita silanizada (BENsil), y se compararon con el grupo control, Bis-GMA/TEGDMA sin arcilla (C), utilizando cinco concentraciones para cada grupo (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, y 0.5 phr). En este procedimiento, la arcilla silanizada se mezcló primero con Bis-GMA y el sistema fotoiniciador se disolvió por agitación magnética en TEGDMA, después se añadió la mezcla de TEGDMA y fotoiniciadores a la mezcla de Bis-GMA y arcilla silanizada. Posteriormente se agregó SiO_2 nanométrico para aumentar la viscosidad y poder elaborar las respectivas probetas. Se evaluaron la resistencia a la flexión (σ), el módulo de flexión (E), el grado de conversión (GC) y la profundidad de curado (PC) de los tres grupos y se compararon con respecto a las del grupo control (C), Bis-GMA / TEGDMA sin arcilla. Se obtuvieron diferencias significativas en los valores de las propiedades evaluadas de los grupos antes mencionados con respecto a las del control, lo que demuestra que la incorporación de una arcilla silanizada a una matriz polimérica que posee grupos vinilo, conduce a la formación de materiales compuestos con mejores propiedades físicas y mecánicas, que son factibles de utilizarse como resinas compuestas para restauración dental.

ABSTRACT

The monomers Bis-GMA and TEGDMA have been used for a long time as a polymeric matrix to produce dental restorative composites, together with inorganic fillers such as silanized SiO₂, which give them greater mechanical strength. It has proven that one of factors that contribute to failure, is the type of inorganic filler. Because the particle size of the filling is usually of the order of micrometers, it can be dislodged by being subjected to chewing forces, weakening the strength of the material. For this reason, nano-sized particles such as montmorillonite and attapulgite have been used as reinforcement material obtaining good results in physical-mechanical properties, among other properties. The main objective of this work is the development of experimental composites based on dental monomers Bis-GMA/TEGDMA and silanized clays. Three different groups were prepared: Bis-GMA/TEGDMA and silanized attapulgite (ATAsil), Bis-GMA/TEGDMA and silanized bentonite (BENSil) and Bis-GMA/TEGDMA and silanized montmorillonite (MMTsil), which were compared with the control group Bis-GMA/TEGDMA without clay (C), using five concentrations for each group (0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5 phr). In this procedure, the silanized clay was first mixed with Bis-GMA and the photoinitiator system was dissolved by magnetic stirring in TEGDMA, then the mixture of TEGDMA and photoinitiators was added to the mixture of Bis-GMA and silanized clay. The flexural strength (σ), the flexural modulus (E), the degree of conversion (GC) and the depth of curing (PC) were evaluated and compared with the control group (Bis-GMA / TEGDMA without clay). Significant differences were obtained respect control, which demonstrated that by adding a silanized clay to polymeric matrix that has vinyl groups, leads to the formation of composites with better physical and mechanical properties, which are feasible to be used as dental restorative material.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Las resinas que actualmente existen en el mercado poseen buenas propiedades mecánicas que les permite tener un buen desempeño en cualquier zona de la cavidad bucal. Pero este hecho puede no cumplirse cuando la restauración se coloca en zonas que están sometidas a grandes esfuerzos, como en las zonas oclusales, en donde las fuerzas masticatorias, así como las fuerzas implicadas en pacientes que padecen bruxismo, afectarán la resistencia mecánica de la restauración. Estos factores pueden provocar que el material falle de forma prematura y se fracture, por lo que se hace necesario el reemplazo de la restauración dental, disminuyendo así su vida útil y el tiempo de permanencia en la cavidad oral.

La resistencia a la fractura, entre otras propiedades mecánicas, ha sido estudiada, analizada y evaluada por diferentes investigadores, que coinciden en que esta propiedad mecánica se encuentra estrechamente relacionada con el tipo de relleno que posee la resina compuesta. Se ha demostrado que este relleno determina principalmente la resistencia, rigidez y tenacidad del material de restauración dental. Las resinas con microrelleno, nanohíbrido y minirelleno tienen valores de resistencia a la flexión muy parecidos, que cubren los requisitos para la restauración dental, sin embargo, el módulo elástico mostrado es más bajo en comparación con la amalgama. Un módulo bajo provoca una deformación y un cambio dimensional en las superficies oclusales por la constante tensión a la que se encuentran sometidas, lo que se refleja en un mayor desgaste de las piezas dentales (1).

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué influencia tiene el tipo de arcilla silanizada sobre el módulo a la flexión, la resistencia a la flexión, el grado de conversión y la profundidad de curado de una resina dental con base en Bis-GMA/TEGDMA?

¿Qué influencia tiene la concentración de las arcillas silanizadas sobre el módulo a la flexión, la resistencia a la flexión, el grado de conversión y la profundidad de curado de una resina dental con base en Bis-GMA/TEGDMA?

1.3 *Justificación*

Las restauraciones directas han sido empleadas por mucho tiempo en zonas oclusales, es decir, en molares y premolares, porque causan una menor destrucción del diente sano, en comparación con la restauración indirecta. Además, tienen un buen desempeño clínico en la cavidad oral. Las resinas compuestas tienen ciertas ventajas en relación a las amalgamas, por ejemplo: tienen mejor estética porque tienen un color parecido al diente y se adhieren mejor a las paredes de la cavidad reforzando la estructura dental. Se ha comprobado que una pieza dental que se restauró con una amalgama y posteriormente se fracturó, puede volver a ser funcional si esa restauración se sustituye por una resina compuesta.

La caries secundaria y la fractura del material son dos de las fallas más comunes que presentan las resinas compuestas para restauración dental. Una vez que fracasa el material, se hace indispensable su reemplazo (2). El desarrollo de avances que permitan mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las mismas representa un tema de interés científico a nivel internacional ya que, en muchos países, incluyendo el nuestro, el uso de las resinas compuestas ha ido ganando popularidad en los últimos años debido a la gran similitud que tienen en color con las piezas dentales, entre otras características.

La investigación se realiza porque existe la posibilidad de desarrollar nuevos y mejores materiales que permanezcan más tiempo en la cavidad oral sin la necesidad de ser reemplazados, lo que representa un gran ahorro para los pacientes, que son los beneficiarios directos, ya que se evitan la necesidad de estar pagando, durante tiempos más prolongados, por nuevas restauraciones.

La propuesta puede ser empleada para mejorar el desarrollo de nuevos rellenos inorgánicos debido a que los problemas con estos materiales aún persisten. Es necesario probar con nuevos sistemas de refuerzos y de rellenos para saber si podemos obtener materiales más resistentes con los cuales se pueda facilitar la labor del odontólogo.

1.4 *Objetivo general*

Valorar la influencia que tiene el tipo de arcilla, y su concentración, como material de relleno, en una matriz de Bis-GMA/TEGDMA, sobre las propiedades físico – mecánicas y químicas.

1.5 *Objetivos específicos*

- a) Valorar la resistencia a la flexión, en probetas elaboradas con Bis-GMA/TEGDMA y diferentes tipos de arcilla como relleno inorgánico.
- b) Determinar el módulo de flexión, en probetas elaboradas con Bis-GMA/TEGDMA y diferentes tipos de arcilla como relleno inorgánico.
- c) Medir el grado de conversión, en probetas elaboradas con Bis-GMA/TEGDMA y diferentes tipos de arcilla como relleno inorgánico.
- d) Analizar la profundidad de curado, en probetas elaboradas con Bis-GMA/TEGDMA y diferentes tipos de arcilla como relleno inorgánico.
- e) Discutir la influencia de la concentración del tipo de arcilla como relleno inorgánico en la resistencia a la flexión.
- f) Evaluar la influencia de la concentración del tipo de arcilla como relleno inorgánico en el módulo elástico.
- g) Determinar la influencia de la concentración del tipo de arcilla como relleno inorgánico en el grado de conversión.
- h) Analizar la influencia de la concentración del tipo de arcilla como relleno inorgánico en la profundidad de curado.

1.6 *Hipótesis*

Hipótesis Nula (H₀)

La incorporación del tipo de arcilla a una resina formulada con Bis-GMA/TEGDMA, no influye en sus propiedades químicas y físicas-mecánicas.

Hipótesis Nula (H₀)

Las concentraciones utilizadas de arcilla, no influyen en las propiedades químicas y físicas-mecánicas de una resina dental con base en Bis-GMA/TEGDMA.

Hipótesis Alterna (Ha)

La incorporación de arcilla, a una resina formulada con Bis-GMA/TEGDMA, influye en sus propiedades químicas y físico-mecánicas.

Hipótesis Alterna (Ha)

Las concentraciones utilizadas de arcilla, influyen en las propiedades químicas, físicomecánicas de una resina dental con base en Bis-GMA/TEGDMA.

1.7 Definición espacial y temporal

La presente propuesta se desarrolla en el Laboratorio de Materiales Dentales, que se encuentra ubicado en las Clínicas de Odontología, del Área Académica de Odontología; en el Laboratorio de Polímeros ubicado en el Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, en Ciudad del Conocimiento, dentro en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, así como en el Laboratorio de Investigación de Materiales Dentales y Biomateriales de la Facultad de Odontología en Ciudad Universitaria, ubicado dentro de las instalaciones de División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPeI) de la Facultad de Odontología, de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La propuesta forma parte de un proyecto de investigación enmarcado en un nivel educativo de Licenciatura, en la carrera de Cirujano Dentista.

Los participantes de esta propuesta son profesores-investigadores que forman parte del Grupo de Investigación de Biomateriales en Odontología, así como una prestadora de servicio social de la licenciatura de Cirujano Dentista. Cabe hacer mención que la prestadora de servicio social realiza su trabajo de tesis como parte de esta propuesta de investigación, para que, una vez que se haya concluido, obtenga el respectivo grado.

Como se mencionó anteriormente, la propuesta de investigación tendrá lugar en el Laboratorio de Materiales Dentales que cuenta con una máquina universal de pruebas, principal instrumento para la determinación de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos obtenidos con base en Bis-GMA/TEGDMA y un relleno inorgánico constituido por arcilla silanizada; Bis-GMA/TEGDMA y atapulgita silanizada (ATAsil), Bis-GMA/TEGDMA y montmorillonita silanizada (MMTsil) y Bis-GMA/TEGDMA y bentonita silanizada (BENSil).

El tiempo en el cual se pretende llevar a cabo la propuesta de investigación es el primer y segundo semestre del año 2018.

2. MARCO CONTEXTUAL

2.1 Introducción

Los materiales compuestos o composites, que consisten en matrices de resina polimérica y rellenos inorgánicos, han estado disponibles en el mercado por más de cuatro décadas. En comparación con las amalgamas dentales, los composites poseen una mejor propiedad estética, tienen menos problemas de seguridad y han mostrado resultados clínicos razonablemente satisfactorios. Han sido ampliamente adoptados por la profesión dental como el material restaurador de primera elección(3).

En comparación con las amalgamas dentales, los compuestos dentales reforzados con cargas inorgánicas (por ejemplo, partículas de vidrio o cerámica silanizadas) tienen una resistencia y durabilidad relativamente bajas, lo que limita sus aplicaciones. Actualmente, los compuestos dentales disponibles en el mercado tienen valores de resistencia a la flexión que varían de 80 a 140 MPa, que pueden cumplir los requisitos básicos de restauración de pequeñas cavidades dentales, pero no pueden utilizarse para restauraciones con grandes tensiones. Además, el tiempo de servicio de los composites dentales es generalmente inferior a 5 años. Las investigaciones sobre los fallos en las resinas compuestas han revelado que, irónicamente, las partículas de relleno inorgánico que se agregan a las resinas dentales para reforzar los materiales son en realidad responsables, al menos en parte, de su fracaso. Por otro lado, muchas de las partículas de relleno inorgánico tienen forma esférica o irregular por lo que, durante su función, la tensión masticatoria puede desalojarlas de la resina dental. Dado que las partículas de relleno son considerablemente más duras que las matrices de resina, gran parte de la tensión se transmite a través de estas partículas a las resinas. Debido a que las partículas inorgánicas poseen una forma regular o irregular, la concentración de la tensión podría llegar a ser excesivamente alta. Tal condición tiende a generar pequeñas grietas alrededor de las partículas, debilitando los compuestos localmente (3).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Resinas compuestas

El término resina compuesta se refiere a las combinaciones tridimensionales de por lo menos dos materiales químicamente diferentes, con una interfase distinta, obteniéndose propiedades diferentes superiores a las que presentan sus constituyentes de manera individual. (4)

Las resinas dentales o composites, son restauraciones estéticas de los dientes, que se pueden utilizar en dientes dañados o cariados. Este material se trabaja al color del diente por lo que el resultado es una restauración estética. Las resinas utilizadas para restauración dental endurecen a través de una reacción de polimerización por adición.

2.2.2 Polimerización

Se les llama polímeros a las moléculas formadas de muchos monómeros en conexión y repetición, pueden ser producto de un solo tipo de monómeros o la mezcla de diferentes monómeros.

En las resinas compuestas todos los monómeros contienen por lo menos un carbono de doble unión y se transforma en polímeros y copolímeros por el uso de sistemas de iniciación.

La polimerización es la conversión de oligómeros y monómeros a una matriz de polímeros que puede ser iniciada por diferentes medios para formar radicales libres que la inician (5).

Polimerización por adición

Como resultado de esta polimerización se obtiene el polímero y ningún tipo de subproducto. Se da en las sustancias con moléculas no saturadas, aquellas con dobles ligaduras entre átomos de carbono, o sea, las que derivan de la química de los alquenos (6)

Los sistemas de resinas en su conversión de monómero a polímero pasan por 4 etapas importantes:

Iniciación de la reacción. Involucra la iniciación y la activación de un agente que se prepara para formar un radical libre. Los radicales libres se pueden generar por activación de las moléculas, empleando una segunda sustancia química, calor, luz visible, luz ultravioleta o transferencia de energía de otro compuesto que actúa como radical libre.

Un compuesto polimerizable por adición debe contar con la presencia de un grupo no saturado, es decir, un doble enlace, así como una fuente de radicales libres. Un radical libre es un átomo o grupo de átomos que poseen un electrón impar, este confiere a los radicales libres la capacidad de liberar electrones. Cuando se generan los radicales libres se acercan a un monómero con un doble enlace y con alta densidad de electrones, se extrae un electrón y se empareja con el electrón impar del radical libre para formar un enlace entre el radical y la molécula de monómero, formando un radical libre nuevo en el otro extremo. Este proceso es conocido como iniciación de la reacción.

La iniciación es el periodo en el cual las moléculas del iniciador se energizan y rompen formando radicales libres para posteriormente reaccionar con las moléculas del monómero y así iniciar el crecimiento de la cadena.

Propagación. Después del periodo de iniciación la molécula resultante actúa como un centro de radicales libres al cual se le pueden añadir sucesivamente un gran número de moléculas, de manera que el proceso de polimerización continúa a través de la propagación del centro reactivo, dando lugar a la formación de grandes moléculas de polímeros en pocos segundos. El proceso continúa hasta completar la formación del polímero deseado. La cadena de polímero deja de crecer cuando se destruye el centro reactivo a causa de una de las posibles reacciones de terminación.

Terminación. Puede ser resultado de la transferencia de la cadena pero las reacciones de terminación adicionales concluyen con más frecuencia al emparejar directamente los extremos de dos cadenas con radicales libres o al intercambiar un átomo de hidrógeno entre una cadena de crecimiento y otra.

2.2.3 Tipos de resinas según su polimerización

Fotopolimerizables: La polimerización es un proceso complejo de reacciones por el cual moléculas más pequeñas se unen y forman una molécula mayor.

Autopolimerizables: Las resinas de auto curado constan de dos partes, la base, que tiene un iniciador, el peróxido de benzoilo y el catalizador que tiene el activador (la amina terciaria). Su inconveniente es el tiempo prolongado de trabajo y la estética, ya que cambian de color.

En 1962, el doctor estadounidense Rafael L. Bowen, desarrolló una molécula orgánica polimérica que tiene menores cambios dimensionales llamada bisfenol A glicil dimetacrilato

(Bis-GMA); con el agregado de partículas inorgánicas se redujo aún más el cambio dimensional, aumentando su resistencia. (7)

En la foto activación de las resinas compuestas, la energía se obtiene por medio de la absorción de una radiación por una sustancia apropiada. Esta, así activada, produce el desdoblamiento de dobles ligaduras de moléculas (monómeros) presentes en un material.

Entre ambos extremos se encuentra el espectro de la llamada luz visible constituido por las radiaciones que el ser humano es capaz de reconocer con su sentido de la visión.

En el caso de materiales en los que la reacción de polimerización debe ser activada en la cavidad bucal de un paciente, la radiación a emplear debe reunir ciertas características básicas. No debe tener una longitud de onda reducida ya que éstas son incompatibles con la seguridad biológica que el trabajo requiere.

La tecnología del fotocurado se basa en la fotoquímica, vale decir, en la producción de trabajo a través de la energía radiante para desencadenar una reacción química. Para que se produzca el fotocurado es necesaria que la radiación lumínica sea absorbida por el material. La absorción se produce en función de la longitud de onda de la radiación incidente y de las características de la estructura sobre la que incide.

2.2.4 Tipos de arcillas

Uno de los rellenos inorgánicos que ha sido poco utilizado en resinas compuestas de restauración dental, son las arcillas minerales. Una característica importante de este material es su enorme área superficial, lo que le permite que haya una mayor superficie de contacto con la matriz resinosa; otra característica igual de importante es que se puede intercambiar el catión inorgánico que tiene entre sus láminas por otro orgánico, lo que la hace organofílica y compatible con los monómeros. El intercambio de un catión inorgánico por uno orgánico permite abrir el espacio entre las láminas e introducir los monómeros, fenómeno que se conoce como intercalación. La expansión de la arcilla podría contribuir a una reducción de los esfuerzos residuales y del encogimiento. Entre los diferentes tipos de relleno inorgánico se encuentran las siguientes arcillas:

Atapulgita

La palygorskita o atapulgita es un mineral. Fue descubierta en 1862 en una mina en los montes Urales cerca de la localidad de Palygorskaya, en la región económica del Ural (Rusia), siendo nombrada así por esta localidad.

Es ligeramente porosa y puede flotar en el agua. Su densidad fluctúa entre 2.1 a 2.3 g/ml y su dureza tiene un índice de 2 a 2.5, de color variable, puede ser blanco, amarillento o verdoso, con un índice de refracción de 1.53 nm. (8)

Montmorillonita

Es un mineral del grupo de los silicatos, subgrupo filosilicatos y dentro de ellos pertenece a las llamadas arcillas. Es un hidroxisilicato de magnesio y aluminio, con otros posibles elementos.

Recibe su nombre de la localidad francesa de Montmorillon. Se caracteriza por una composición química inconstante. Es soluble en ácidos y se expande al contacto con agua. Estructuralmente se compone por una capa central que contiene aluminio y magnesio coordinados octaédricamente en forma de óxidos e hidróxidos. Dicha capa central está rodeada por otras dos capas. Las capas externas están formadas por óxidos de silicio coordinados tetraédricamente.

Bentonita

La bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales y las que le confieren sus propiedades características.

Su definición parte de 1888 en que fueron descubiertas y clasificadas como tales en FortBenton, Wyoming, U.S.A., a causa de una bentonita que poseía propiedades muy especiales, particularmente la de hincharse en el agua, dando una masa voluminosa y gelatinosa.

Es una arcilla formada por la descomposición de la ceniza volcánica, es capaz de absorber una enorme cantidad de agua y multiplicar su volumen proporcionalmente.

2.2.5 Propiedades mecánicas de los materiales

Tipos de tensiones (fuerzas)

Las fuerzas externas pueden actuar sobre un cuerpo (y, por tanto, sobre el material que lo compone) en distinta dirección, esto permite clasificar las tensiones, deformaciones y resistencias. Los tres tipos principales de fuerzas se esquematizan en la figura 1.

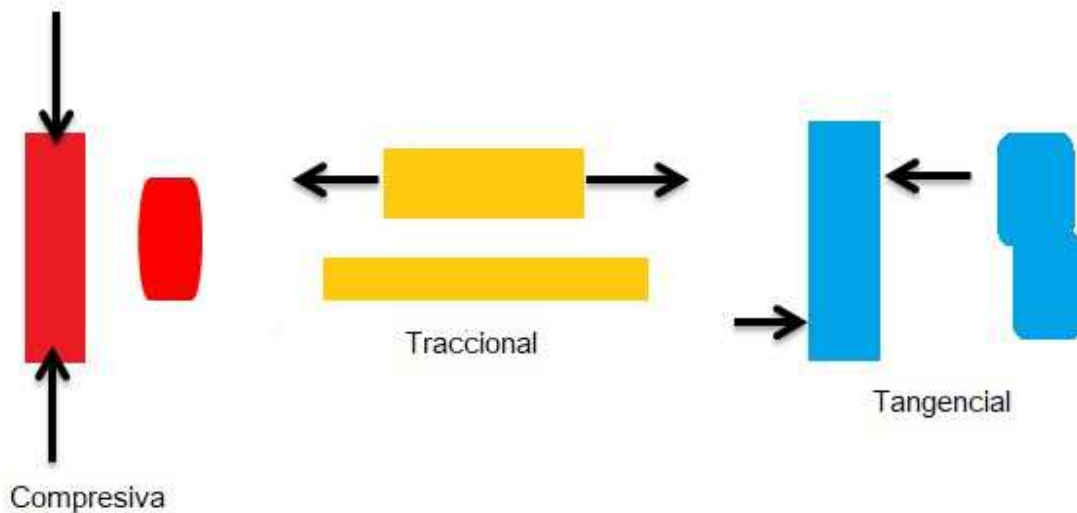


Figura 1 Pares de fuerzas que inducen tensiones

Cuando la situación es de dos fuerzas de igual dirección (actuando sobre una misma recta) y en sentido contrario la tendencia es a disminuir la longitud del cuerpo (aplastarlo, comprimirlo), se inducen dentro de él tensiones que se denominan compresivas. Simultáneamente se produce una deformación en compresión y, si se estudia la tensión máxima que se puede llegar a inducir, se hablara de resistencia compresiva o a la compresión" Si, en cambio, las dos fuerzas de igual dirección y sentido contrario tienden a aumentar la longitud del cuerpo (estirarlo, traccionarlo), se inducen tensiones y se producen deformaciones traccionales. La resistencia estudiada en esas condiciones se denomina resistencia "traccional o a la tracción".

Cuando el tipo de tensiones es inducido por la aplicación de fuerzas de sentido contrario, pero no actuando en la misma dirección sino en direcciones próximas y paralelas, lo que esta carga tiende a producir es un desplazamiento de un sector del cuerpo con respecto al otro, es decir, un corte. Precisamente esta es la forma de actuar de una tijera: sus dos hojas actúan en sentido contrario (una sube cuando la otra baja) y las rectas de acción (dirección)

no son las mismas (una hoja pasa próximo a la otra) pero son paralelas, produciendo el corte buscado. Las tensiones y deformaciones que acompañan el proceso se denominan de corte o tangenciales y la resistencia en esas condiciones es la resistencia al corte o tangencial.

De la misma manera, fuerzas compresivas inducen tensiones traccionales y también de corte, en la que se muestra cómo se fractura un cilindro en compresión.

Medición de tensión, deformación y resistencia

Medir la resistencia de un material representa medir cuál es la carga externa necesaria para romper un cuerpo construido con ese material. Para ello se confecciona un cuerpo denominado probeta y se lo somete a fuerzas progresivamente en aumento, hasta su ruptura.

Para poder obtener un valor que permita comparar resultados obtenidos con cualquier tamaño de probeta, se expresa la tensión y, por lo tanto, la resistencia en función de la superficie (medida, por ejemplo, en metros cuadrados) sobre la cual actúa.

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}}$$

Las correspondientes unidades y símbolos utilizados serán:

$$\text{Pascal (Pa)} : \frac{\text{Newton (N)}}{\text{metro cuadrado (m}^2\text{)}}$$

Como en realidad esta unidad resulta pequeña para las tensiones y resistencias que se encuentran en el estudio de materiales, por lo común se utiliza un múltiplo de ella, el megapascal (MPa), que es un millón de veces mayor, o sea que equivale a un millón de Newton (1 MN) por metro cuadrado.

$$\text{Mega Pascal (MPa)} : \frac{\text{Newton (N)}}{\text{milímetro cuadrado (mm}^2\text{)}}$$

Es posible realizar una serie de mediciones de fuerza y modificaciones de longitud progresivamente en aumento. A partir de ellas se pueden calcular los respectivos valores de tensiones (fuerza/superficie) y de deformación (variación de longitud/longitud inicial).

Deformación elástica y deformación permanente

Establecer la curva tensión/deformación de un material tiene interés no sólo académico o teórico. La división en dos partes -recta y curva o zonas con proporcionalidad o sin ella- indica un comportamiento netamente distinto. Si se induce una tensión dentro de la primera zona (inferior o igual al límite proporcional), el material experimenta una deformación. Si esa tensión se retira (se deja de aplicar la fuerza), puede observarse que la deformación también desaparece, es decir que el material se ha comportado elásticamente.

Si la tensión inducida, en cambio, supera el valor del límite proporcional puede observarse, al retirarla que, si bien el material se recupera elásticamente, no lo hace en forma total y queda con una deformación permanente. Se ha deformado plásticamente. En la figura 2, puede verse ese comportamiento y cómo la recuperación (línea cortada paralela a la parte recta) se hace a expensas de una deformación plástica o permanente.

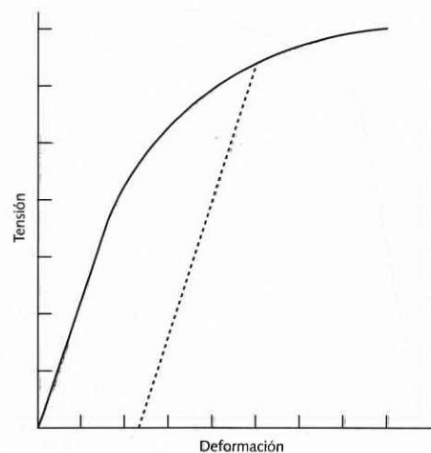


Figura 2 Deformación plástica

A la luz de estas observaciones el gráfico tensión vs deformación y el valor del límite proporcional adquieren otra importancia. Si se desea que una estructura permanezca dimensionalmente estable después de aplicarle fuerzas, será necesario diseñarla de forma tal que ellas no induzcan tensiones superiores al límite proporcional.

Rigidez y flexibilidad

El análisis del gráfico tensión vs deformación permite hacer deducciones sobre las propiedades de un material y realizar comparaciones entre varios de ellos. En la figura 3 pueden encontrarse los gráficos tensión vs deformación bajo la tracción de dos materiales, A y B. Puede verse que el valor máximo de ordenadas que alcanzan ambos es igual. Es

decir que ambos materiales son capaces de soportar las mismas tensiones sin romperse, tienen igual resistencia, en este caso traccional (800 MPa). El valor del límite proporcional es también igual en ambos (600 MPa), o sea que en los dos puede inducirse la misma tensión sin producir deformación permanente. Sin embargo, en el B esa tensión límite proporcional produce una deformación 0,03 mientras que en el A produce una deformación 0,01 (1%). El B se deforma elásticamente con más facilidad, o sea que es más flexible que el A, que resulta más rígido.

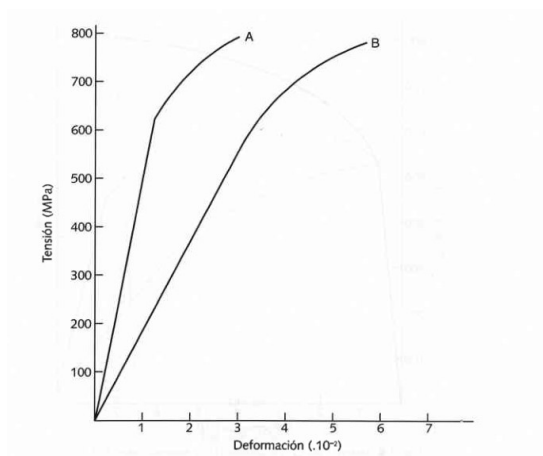


Figura 4 Rigidez y flexibilidad

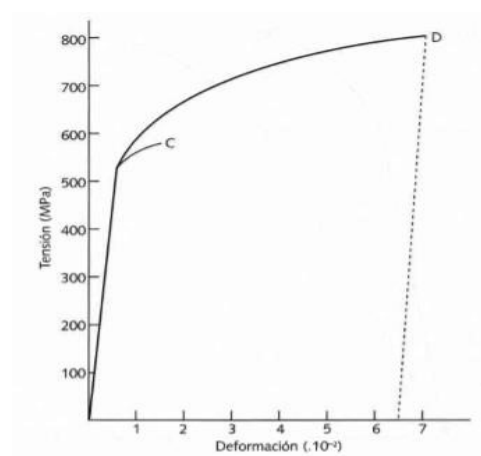


Figura 3 Módulo de elasticidad

Esa mayor rigidez del material, puede también cuantificarse calculando los respectivos valores para el módulo de elasticidad (tensión/deformación). Como la deformación es el denominador en el cálculo, el módulo constituye una medida de la dificultad con que se deforma el material en estudio, es decir, una medida de su rigidez (Figura 4).

$$\text{Módulo de Young (MPa)} = \frac{\text{Tensión (MPa)}}{\text{Deformación}}$$

Fragilidad, ductilidad y maleabilidad

El concepto fragilidad indica escasez de deformación permanente. Con un material de este tipo no puede obtenerse un cuerpo deformándolo, ya que al intentar deformarlo lo único que se logra es romperlo.

Maleabilidad es la capacidad que tiene un material de deformarse permanentemente bajo cargas compresivas.

Ductilidad es la capacidad que tiene un material de deformarse permanentemente bajo cargas traccionales. Esta última propiedad es frecuente evaluarla determinando el porcentaje de alargamiento, es decir, hasta qué porcentaje de la longitud inicial se deforma cuando se lo rompe bajo tracción.

Tenacidad y resiliencia

Romper o deformar una estructura representa gastar una cierta energía o realizar un cierto trabajo, desde el punto de vista físico. Efectivamente, representa aplicar una fuerza (para inducir una tensión) y desplazar su punto de aplicación, lo que se traduce en deformación (se produce un trabajo cuando una fuerza desplaza su punto de aplicación).

La tenacidad y la resiliencia de un material representan también la capacidad de absorber la energía dada por un impacto o golpe (fuerza aplicada súbitamente y que llega al cuerpo con velocidad) está representada por el área total debajo de la línea de la relacionada entre tensión/deformación y a su vez representa la energía que es necesaria para romper el material.

2.3 Marco referencial

2.3.1 Historia

La rica historia asociada al desarrollo de las resinas compuestas tuvo sus inicios durante la primera mitad del siglo XX. En ese entonces, los únicos materiales que tenían color del diente y que podían ser empleados como material de restauración estética eran los silicatos. Estos materiales tenían grandes desventajas siendo la principal el desgaste que sufrían al poco tiempo de ser colocados. A finales de los años 40, las resinas acrílicas de polimetilmetacrilato (PMMA) reemplazaron a los silicatos. Estas resinas tenían un color parecido al de los dientes, eran insolubles a los fluidos orales, fáciles de manipular y tenían bajo costo. Lamentablemente, estas resinas acrílicas presentaban baja resistencia al

desgaste y contracción de polimerización muy elevada y en consecuencia mucha filtración marginal.

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. En 1955 Buonocore utilizó el ácido ortofosfórico para incrementar la adhesión de las resinas acrílicas en la superficie adamantina. En 1962 Bowen desarrolló el monómero del Bis-GMA, tratando de mejorar las propiedades físicas de las resinas acrílicas, cuyos monómeros permitían solamente la formación de polímeros de cadenas lineales. Estos primeros composites de curado químico exigían mezclar la pasta base con el catalizador con los consiguientes problemas derivados de la proporción, batido y estabilidad de color.

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 y desarrollo. El desarrollo de los composites ha sido y es incesante, lo que obliga a una continua actualización (9).

2.3.2 Propiedades de las resinas compuestas

a) Resinas compuestas para restauración dental

Las propiedades físicas, mecánicas, estéticas y el comportamiento clínico dependen de la estructura del material. Básicamente, los composites dentales están compuestos por tres materiales químicamente diferentes: la matriz orgánica o fase orgánica; la matriz inorgánica, material de relleno o fase dispersa; y un órgano-silano o agente de unión entre la resina orgánica y el relleno cuya molécula posee grupos silano en un extremo (unión iónica con SiO₂), y grupos metacrilatos en el otro extremo (unión covalente con la resina).

El sistema de monómeros puede ser considerado como la columna vertebral que constituye a la resina compuesta. El Bis-GMA, sigue siendo el monómero más utilizado en la fabricación de los composites actuales. Esta resina es altamente viscosa, por lo que para facilitar el proceso de fabricación y su manipulación clínica, se diluye con otros monómeros de baja viscosidad (bajo peso molecular como el dimetacrilato de bisfenol A (Bis-MA), el etilenglicol-dimetacrilato (EGDMA) o el trietilenglicol-dimetacrilato (TEGDMA).

Por su parte, la fase dispersa de las resinas compuestas está integrada por un material de relleno inorgánico del que dependen, fundamentalmente, las propiedades físicas y mecánicas del composite (ver figura 5). La naturaleza del relleno, su modo de obtención y la cantidad incorporada determinarán en gran medida las propiedades mecánicas del material restaurador. Las partículas de relleno son incorporadas a la fase orgánica para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la matriz orgánica, de ahí que la incorporación del mayor porcentaje de relleno posible sea un objetivo fundamental. Gracias al relleno se consigue reducir el coeficiente de expansión térmica, disminuir la contracción final de la polimerización, proporcionar radiopacidad, mejorar la manipulación e incrementar la estética (7).

Los materiales compuestos están formados principalmente por moléculas llamadas diacrilatos, es decir moléculas con dos dobles ligaduras para que puedan polimerizar por adición generando un polímero de cadenas cruzadas. Su peso molecular (tamaño) es relativamente elevado para que la contracción que se produce como consecuencia de su polimerización no sea muy alta. Sin embargo, es común que también contengan alguna cantidad de moléculas con un peso molecular algo más reducido (diluyentes) para conseguir la fluidez suficiente en el líquido como para poder trabajarlo. Para lograr la transformación (polimerización) en una situación clínica existen dos opciones: 1.) utilizar un sistema de activación constituido por dos sustancias químicas que al reaccionar producen radicales libres capaces de iniciar el proceso (peróxido y amina) o 2) emplear sustancias capaces de generar esa misma situación frente a la acción de una radiación de luz (dicetona y amina).

Al sellador o a un líquido de composición bastante similar se le incorpora algo que lo refuerza (que lo hace fundamentalmente más rígido, con mayor módulo elástico) y le disminuye su coeficiente de variación dimensional térmica. Se le agrega una fase (otro material) de alta rigidez. Ese otro material es cerámico ya que de ser metálico las propiedades ópticas de éste impedirían lograr armonía óptica en la restauración. El resultado es una resina reforzada que es un tipo de material compuesto o composite (nombre muy común en odontología como referencia a este material). El composite, tiene entonces, los componentes de un sellador (por lo general el líquido contiene una proporción de diluyente menor que la de un sellador) y partículas cerámicas que permiten lograr rigidez elevada (puede llegarse, con suficiente cantidad, a valores de módulo elástico equivalentes a los de la dentina). Además el contenido cerámico permite disminuir el coeficiente de variación dimensional térmico.

Es fundamental, para obtener el refuerzo buscado, que las dos fases (orgánica y cerámica) estén adheridas, unidas. Sólo de esta manera las tensiones son transferidas de una a otra y el comportamiento mecánico resultante es intermedio entre la de ambas

Para generar esa unión entre ambas fases, las partículas cerámicas son preparadas industrialmente tratándolas con un agente de enlace (molécula bifuncional capaz de reaccionar con dos sustancias diferentes). Este agente de enlace es, en este caso, un vinilsilano (generalmente el gamma-metacriloxietiltrimetoxisilano) sustancia que tiene en su molécula grupos silano y grupos vinílicos. Los grupos silano contienen átomos de silicio con lo que se puede lograr, al hacer el tratamiento industrial, una unión química a la parte cerámica que incluye esos mismos átomos. Los grupos vinílicos, es decir con dobles ligaduras, permiten una reacción y unión con la fase orgánica cuando las moléculas de ésta polimerizan por adición. (4)

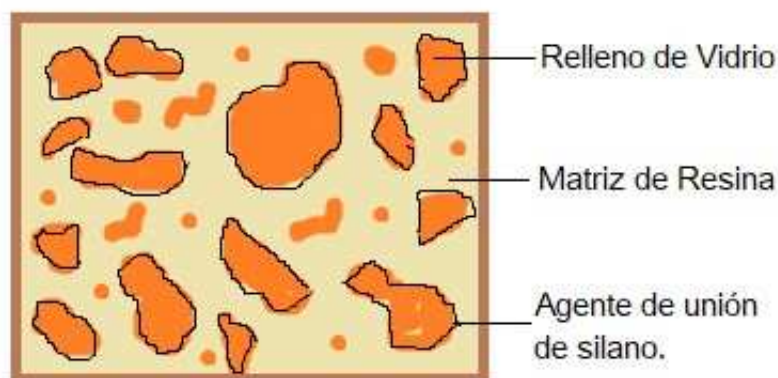


Figura 5 Composición de una resina compuesta

b) Propiedades físico – mecánicas

Diferenciar las propiedades de los distintos materiales dentales es imprescindible para seleccionar el más adecuado al momento de encarar un tratamiento odontológico, cuanto más preciso sea el profesional en este sentido, será capaz de obtener mejores resultados en su trabajo. Existen normas y especificaciones para determinar los valores de las propiedades físicas y mecánicas, que deben emplearse para obtener resultados comprobables en cualquier laboratorio, de esta manera será posible determinar si el

material será útil, sobre todo si se obtienen resultados superiores a los observados en otros materiales ya conocidos. Las principales propiedades de las resinas compuestas se enlistan a continuación.

Resistencia al desgaste

Es la capacidad que poseen las resinas compuestas de oponerse a la pérdida superficial, como consecuencia del roce con la estructura dental, el bolo alimenticio o elementos tales como cerdas de cepillos y palillos de dientes. Esta deficiencia no tiene efecto perjudicial inmediato, pero lleva a la pérdida de la forma anatómica de las restauraciones disminuyendo la longevidad de estas. Tal propiedad depende del tamaño, la forma y el contenido de las partículas de relleno, así como de la localización de la restauración en la arcada dental y las relaciones de contacto oclusales. Cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, menor el tamaño y mayor la dureza de sus partículas, la resina tendrá menor abrasividad.

Algunos autores explican el fenómeno de la siguiente manera: Dado que el módulo elástico de la resina es menor que el de las partículas de relleno, las partículas que conforman el relleno son más resistentes al desgaste, comprimen la matriz en los momentos de presión (como las cargas cíclicas) y esto causa el desprendimiento de partículas de relleno y del agente de conexión silano, exponiéndose la matriz, la cual es más susceptible al desgaste. Este fenómeno por pérdida de partículas de la superficie es conocido como "plucking out".

Textura Superficial

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

Coefficiente de expansión térmica

Es la velocidad de cambio dimensional por unidad de cambio de temperatura. Cuanto más se aproxime el coeficiente de expansión térmica de la resina al coeficiente de expansión

térmica de los tejidos dentarios, habrá menos probabilidades de formación de brechas marginales entre el diente y la restauración, al cambiar la temperatura. Un bajo coeficiente de expansión térmica está asociado a una mejor adaptación marginal. Las resinas compuestas tienen un coeficiente de expansión térmica unas tres veces mayor que la estructura dental, lo cual es significativo, ya que, las restauraciones pueden estar sometidas a temperaturas que van desde los 0° C hasta los 60° C. *Sorción Acuosa (adsorción y absorción) y Expansión Higroscópica*

Esta propiedad está relacionada con la cantidad de agua adsorbida por la superficie y absorbida por la masa de una resina en un tiempo y la expansión relacionada a esa sorción. La incorporación de agua en la resina puede causar solubilidad de la matriz afectando negativamente las propiedades de la resina fenómeno conocido como degradación hidrolítica. Dado que la sorción es una propiedad de la fase orgánica, a mayor porcentaje de relleno, menor será la sorción de agua. Algunos autores, refieren que la expansión relacionada a la sorción acuosa es capaz de compensar la contracción de polimerización.

Estabilidad del color

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

Radiopacidad

Un requisito de los materiales de restauración de resina es la incorporación de elementos radio opacos, tales como, bario, estroncio, circonio, zinc, iterbio, itrio y lantano, los cuales permiten interpretar con mayor facilidad a través de radiografías la presencia de caries alrededor o debajo de la restauración.

Contracción de Polimerización

La contracción de polimerización es el mayor inconveniente de estos materiales de restauración. Las moléculas de la matriz de una resina compuesta (monómeros) se encuentran separadas antes de polimerizar por una distancia promedio de 4 nm. (Distancia

de unión secundaria), al polimerizar y establecer uniones covalentes entre sí, esa distancia se reduce a 1.5 nm (distancia de unión covalente). Ese "acercamiento" o reordenamiento espacial de los monómeros (polímeros) provoca la reducción volumétrica del material.

La contracción de polimerización de las resinas es un proceso complejo en el cual se generan fuerzas internas en la estructura del material que se transforman en tensiones cuando el material está adherido a las superficies dentarias.

Resistencia a la fractura

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

Resistencia a la compresión y a la tracción

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

Módulo de elasticidad

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

2.3.3 Composición de las resinas compuestas

Constituyentes de las resinas dentales

La matriz orgánica de las resinas compuestas, está constituida básicamente por: un sistema de monómeros mono, di o tri funcionales; un sistema iniciador de la polimerización de los radicales libres, que en las resinas compuestas fotopolimerizables es una alfa-dicetona (canforoquinona), usada en combinación con una agente reductor, que es una amina alifática terciaria (4-n,n-dimetilaminofenil), y en las quimiopolimerizables es un per-compuesto, el peróxido de benzoilo, usado en combinación con una amina terciaria

aromática (n,n-dihidroxietil-p-toluidina); un sistema acelerador que actúa sobre el iniciador y permite la polimerización en un intervalo clínicamente aceptable (el dimetilamino etilmetacrilato DMAEM, el etil-4-dimetilaminobenzoato EDMAB o el N,N-cianoetilmetilanilina CEMA); un sistema de estabilizadores o inhibidores, como el éter monometílico de hidroquinona, para maximizar la durabilidad del producto durante el almacenamiento antes de la polimerización y su estabilidad química tras la misma; por último, los absorbentes de la luz ultravioleta por debajo de los 350 nm, como la 2-hidroxi-4-metoxibenzofenona, para proveer estabilidad del color y eliminar sus efectos sobre los compuestos amínicos del sistema iniciador capaces de generar decoloraciones a mediano o largo plazo.

Sistema de activación de la polimerización.

El fotocurado permite alcanzar la situación favorable de disponer de prolongado tiempo de trabajo y corto tiempo de endurecimiento o fraguado. Cuando el trabajo de dar forma a la pasta se ha completado, la transformación (polimerización) se hace de manera rápida al actuar la luz activadora conveniente, permitiendo continuar con los pasos de terminación y pulido sin demora

En resinas compuestas activadas por luz visible, el componente iniciador son las dicetonas como la canforoquinona (CQ), en una cantidad entre 0.2% al 0.6% y son utilizadas en combinación de una amina orgánica terciaria no aromática presente en cantidades de 0.1% o menor.

La dicetona absorbe la luz en un rango de 420 a 470 nm, esto produce un estado triple de excitación para generar la separación de esta molécula a una amina terciaria alifática, que funciona como agente reductor, generando como resultado dos radicales libres reactivos.

(10)

Aspectos relacionados con el relleno inorgánico

Las últimas consideraciones parecerían orientar hacia la selección de composites con tamaño reducido en sus partículas cerámicas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que una reducción extrema de ese tamaño, como la que se da al utilizar exclusivamente sílice coloidal (micropartículas) como refuerzo, puede llevar a la imposibilidad de incorporación de grandes cantidades de esas partículas a la masa total. Esta última situación se produce porque una gran cantidad de partículas muy pequeñas representa una gran superficie expuesta por todas ellas. Para obtenerse una pasta conveniente para el trabajo

odontológico se hace necesario utilizar gran cantidad de líquido (monómero) para mojar toda esa superficie y el contenido cerámico final disminuye (y con él los valores de propiedades como rigidez y resistencia mecánica)(11).

Contracción de polimerización

La contracción de polimerización es uno de los factores que más contribuye para el fracaso de las resinas compuestas, principalmente con relación a la integridad marginal y a la sensibilidad post-operatoria (12). Para entender mejor el proceso de contracción de polimerización, es preciso recordar que todas las resinas compuestas son formadas a partir de metacrilato de metilo, el cual genera contracción en la medida que este polimeriza. La contracción de polimerización es el resultado del movimiento y aproximación de los monómeros entre sí, durante la formación de la cadena polimérica. Cuanto mayor es el grado de conversión del monómero en polímero, mayor será la contracción de la polimerización. Con la incorporación de partículas de carga por los fabricantes, esta contracción de polimerización es reducida a 1.5-3.0%, además la adición de monómeros multifuncionales (con más de un punto de reacción) y monómeros con alto peso molecular (oligómeros) ha permitido la formación de una estructura en red, en la cual se necesita un número menor de uniones de carbono, enlaces convertidos en uniones de carbono simple, reduciendo el potencial de unión. La conversión máxima de monómeros en polímeros en las resinas actuales queda en torno del 60 a 70%. Las ligaduras de carbono quedan presas en la red polimérica (13). La contracción de polimerización es inherente a las resinas compuestas, y persistirá hasta que existan resinas sin contracción o portadoras de monómeros que se expandan durante la reacción de polimerización.(14), verificaron que la formulación de la resina compuesta es más importante en la contracción de polimerización que los factores relacionados a la fotoactivación, encontrando diferencias significativas entre diferentes marcas comerciales. Conforme a Shu , el estrés de la contracción de la polimerización es el resultado de la cantidad de contracción o módulo de elasticidad de las resinas compuestas. De esta forma, cuanto mayor sea el módulo de elasticidad, mayor será el estrés generado.

El estrés residual es transferido para la interfase de unión y puede resultar clínicamente en la aparición de fracturas en el esmalte, líneas blancas o gap marginales (12). De acuerdo con Versluis (16), la reducción del estrés parece ser la mejor forma de empezar una buena adaptación generando así un mayor control o disminución a la fractura durante el proceso

de masticación y oclusión teniendo en cuenta la presión generada por las fuerzas de oclusión.

Grado de conversión

En la literatura odontológica, en ocasiones se utiliza el término “Grado de Polimerización” en lugar de “Grado de Conversión” (GC), siendo que el primero se define como el número de las unidades monoméricas en una molécula de polímero, y el segundo es la medida en porcentaje de enlaces dobles de carbono-carbono que se convierten en sencillos al polimerizar el material.

El GC es un factor importante, que está relacionado con las características físicas y mecánicas de la restauración final, que a su vez depende de la calidad y cantidad de energía entregada al sistema a la hora de polimerizar; por esta razón ha sido ampliamente estudiado. En la Tabla 1 se muestra el grado de conversión para el Bis-GMA y TEGDMA, entre otros monómeros dentales (17).

Tabla 1 Grado de conversión de diferentes monómeros

Monómero	Funcionalidad	% de enlaces c:c formados.
Metil-Metacrilato (MMA)	1	99.5
Dimetacrilato de Decanodiol	2	78.0
TEGDMA	2	68.2
Bis-GMA	2	56.0
Trimethylolpropano Trimetacrilato	3	41.7

El grado de conversión indica el porcentaje de dobles enlaces que se han convertido en enlaces simples. Indica la proporción de oligómeros que han reaccionado formando polímeros. El grado de conversión de los composites suele oscilar entre el 35% y 80% en la capa híbrida.

Una conversión incompleta aporta a los composites una cierta elasticidad y reduce la tensión que se genera a nivel de la interfase adhesivo-diente. Un mayor grado de conversión

genera mejores propiedades mecánicas, pero se acompaña de una mayor contracción de polimerización.

Ferracane y colaboradores determinaron que un adecuado grado de conversión debería ser superior a 55%.

Existen diferentes consecuencias de una conversión ineficiente como lo son el cambio de color del composite, mayor riesgo de microfiltración, menores propiedades mecánicas disminuyendo así la resistencia al desgaste; el monómero libre puede ser tóxico para la pulpa (18) . Así mismo, también existen diferentes aspectos que influyen la polimerización de los dimetacrilatos y, en consecuencia, el grado de polimerización (ver Tabla 2).

Tabla 2 Grado de conversión

Factor	Repercusión Clínica
Tiempo de polimerización	Depende de: Color del composite, potencia de la lámpara, profundidad de la cavidad, espesor de la capa, estructuras dentales interpuestas, cantidad de relleno del composite
Color del composite	Los tonos más oscuros requieren mayor tiempo de polimerización (60 segundos a profundidad máxima de 0.5mm)
Temperatura	El composite a temperatura ambiente polimeriza en menos tiempo y con mayor rapidez
Espesor de la capa de composite	Se recomienda no polimerizar capas mayores de 2mm de espesor
Tipo de relleno	Los composites microfinos polimerizan peor que los de mayor carga
Distancia entre foco de luz y composite	Distancia optima: < 1mm, con la luz perpendicular al material
Calidad del foco de iluminación	Longitud de onda entre 400 y 500 nm. La intensidad de la luz debe ser igual o mayor de 600mW/cm ² para asegurar un mínimo de 400 en el primer incremento de composite en cavidades posteriores
Contracción de polimerización	Depende de la cantidad de fase orgánica

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Estudio experimental, con elección no probabilística por conveniencia de la muestra. Enfoque cuantitativo debido a que la evaluación de los resultados se basa en representar con números los datos obtenidos.

3.2 Diseño de investigación

El diseño de estudio es cuasi experimental, transversal ya que a pesar de que se tiene control sobre las variables a evaluar y existe un grupo control, la elección de la muestra no es aleatoria, siendo esta última característica decisiva en la clasificación de este tipo de estudios.

3.3 Variables

Las variables se encuentran descritas en la Tabla 3

Tabla 3 Descripción de variables

Nombre	Tipo	Definición operacional	Escala de medición	Unidad de medición
Tipo de arcilla	Independiente	Arcilla laminar o fibrilar	Nominal	Nombre
Concentración	Independiente	Cantidad de arcilla adicionada al sistema matriz-relleno	Numérica	Partes por cien de resina (phr)
Grado de conversión	Dependiente	Porcentaje de dobles ligaduras que se transforman a ligaduras sencillas	Numérico	Porcentaje (%)
Profundidad de curado	Dependiente	Cantidad en mm de resina polimerizada según la norma ISO 4049	Numérico	Mm
Resistencia a la flexión	Dependiente	Relación esfuerzo deformación en el punto de fractura, derivada de la aplicación de fuerzas de flexión	Numérico	MPa

Módulo elástico	Dependiente	Relación esfuerzo deformación en la zona elástica, derivada de la aplicación de fuerzas de flexión	Numérico	MPa
-----------------	-------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------	-----

3.4 Definición de grupos

Para este trabajo se utilizaron tres tipos de arcillas, de las cuales se conformaron cinco grupos con diferentes concentraciones y un grupo control el cual no incluye arcilla. De cada grupo de resistencia a la flexión, módulo elástico y profundidad de curado se elaboraron 5 probetas, mientras que en grado de conversión se elaboraron tres probetas, en apego a lo descrito en las normas ISO 4049 y ANSI / ADA 27 Tabla 4. A continuación, se da un ejemplo de la manera en que se nombraron los grupos: A1 corresponde al grupo que tiene una concentración de 0.1 phr de ATAsil, A2 al que tiene 0.2 phr de ATAsil, A3 al que tiene 0.4 phr de ATAsil y A5 al que tiene 0.5 phr de ATAsil.

Tabla 4 Grupos de estudio

Concentración (phr)	ATAsil Grupo A	BENsil Grupo B	MMTsil Grupo M	Total de probetas
0.0 (Grupo Control)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15
	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
0.1	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15
	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
0.2	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15
	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
0.3	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15
	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
0.4	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15
	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
0.5	5 (σ , E)	5 (σ , E)	5 (σ , E)	15
	5 (PC)	5 (PC)	5 (PC)	15

	3 (GC)	3 (GC)	3 (GC)	9
Total de probetas	78	78	78	234

3.5 Metodología

3.5.1 Materiales y Equipo

Los monómeros dimetacrílicos 2,2-bis-[4-(methacriloxipropoxi)-fenil]propano (Bis-GMA) con un peso molecular de 512.6 g/mol y una viscosidad entre 5×10^5 y 8×10^5 mPa·s, y tri (etilenglicol) dimetacrilato, (TEGDMA) con un peso molecular 286.3 g/mol, y una viscosidad 100 mPa·s, fueron adquiridos de Sigma-Aldrich, USA y fueron usados como se recibieron, sin ningún tratamiento posterior. La proporción Bis-GMA/TEGDMA fue de 70/30 en peso. La camforoquinona (CQ) con un peso molecular de 166.2 g/mol, y el etil-4(N,N'-dimetilamino) benzoato (4EDMAB) con un peso molecular de 193.2 g/mol, fueron adquiridos de Sigma-Aldrich, USA, y fueron usados como el fotoiniciador y el co-iniciador en una concentración de 0.2 y 0.8 phr, respectivamente. Se utilizaron dos arcillas laminares (bentonita y montmorillonita) y una arcilla fibrilar (atapulgita), las cuales fueron sometidas a un proceso de silanización con trimetoxisililpropilmetacrilato. En este procedimiento, la arcilla silanizada se mezcló primero con Bis-GMA y el sistema fotoiniciador se disolvió por agitación magnética en TEGDMA, después se añadió la mezcla de TEGDMA y fotoiniciadores a la mezcla de Bis-GMA y arcilla silanizada. Se utilizaron concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 phr de arcilla silanizada. Posteriormente se agregaron 25 phr de SiO₂ nanométrico a la mezcla de monómeros y sistema fotoiniciador, para aumentar la viscosidad y elaborar las respectivas probetas. Se utilizó un equipo de ultrasonido marca Gnatus (Brasil), modelo BIO, 35 kHz, 290 W para lograr una mejor dispersión de la arcilla silanizada en la mezcla de monómeros dimetacrílicos Bis-GMA/TEGDMA. Las mezclas fueron fotopolimerizadas con una unidad LED Bluephase 16i de IvoclarVivadent (USA), con una irradiancia de 890 W/cm² durante 60 s por la parte superior e inferior del molde. La intensidad de la irradiación fue monitoreada usando un radiómetro digital Bluephase-meter de IvoclarVivadent (USA), para mantener constante este parámetro. Para el ensayo de flexión se usó una máquina universal de pruebas mecánicas marca Instron modelo 4465, USA, utilizando una celda de carga de 1 kN y con una velocidad de cruzeta de 1 mm/minuto. Para medir el grado de conversión de dobles enlaces se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo Perkin Elmer modelo Frontier.

3.5.2 Método

Ensayo de flexión de tres puntos

La resistencia a la flexión fue evaluada acorde con lo establecido en el punto 7.11 de la norma ISO 4049, mientras que el módulo de flexión fue evaluado acorde con lo establecido en la especificación 27 ANSI/ADA. Se elaboraron probetas de 2 x 2 x 25 mm en un conformador de acero inoxidable sobre una tira de celuloide y un portaobjetos de vidrio de 1 mm de espesor. Sobre el material se coloca otra banda de celuloide que fue mantenida durante la polimerización al igual que otro portaobjetos de vidrio. Se aplica una ligera presión manual para eliminar excedentes y se procede a la fotopolimerización de acuerdo con los parámetros establecidos en las normas antes mencionadas.

La polimerización se inicia en el centro de la probeta y alternadamente a cada lado, sobreponiendo zonas ya irradiadas (tres sobreposiciones) hasta completar la longitud total por ambos lados de la probeta. Una vez obtenidas las probetas, los excedentes de éstas se retiran con papel abrasivo grano 600. Se miden las dimensiones de las probetas con una exactitud de 0.01 mm utilizando un calibrador digital (Digital Caliper, Mitutoyo, Serie 500 – 177, DC – 6C) y se sumergen en agua destilada y se mantienen en un horno a una temperatura de 37 °C hasta el momento de la prueba (24 horas después).

Para realizar el ensayo de flexión en tres puntos, las probetas fueron colocadas sobre dos soportes cilíndricos de 2 mm de diámetro paralelos entre sí y a una distancia entre sus centros de 20 mm en una máquina de pruebas mecánicas (Instron modelo 4465 Mas USA), utilizando una celda de carga de 1 kN, con una velocidad del cabezal de 1 mm por minuto (ver Figura 6).

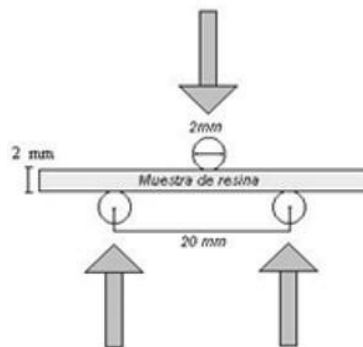


Figura 6 Prueba de flexión de tres puntos

La resistencia a la flexión (σ) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{Fl}{2bh^2}$$

Donde:

σ = Resistencia a la flexión [MPa]. F =
Fuerza al momento de la fractura [N]. l =
Distancia entre soportes [mm].

b = ancho de la probeta [mm].

h = altura de la probeta [mm].

El módulo de flexión (E) se calcula con la fórmula:

$$E = \frac{F_1 l^3}{4bh^3d}$$

Donde:

E = Módulo a la flexión [MPa].

b = ancho de la probeta [mm].

F₁ = Fuerza registrada en la zona plástica [N]. h = altura de la probeta [mm]. l =
Distancia entre soportes [mm]. d = deflexión de la probeta [mm] La resistencia a la
flexión fue evaluada acorde con lo establecido en el punto 7.11 de la norma ISO 4049,
mientras que el módulo de flexión fue evaluado acorde con lo establecido en la
especificación 27 ANSI/ADA.

Las probetas fueron colocadas sobre dos soportes cilíndricos de 2 mm de diámetro
paralelos entre sí y a una distancia entre sus centros de 20 mm en una máquina universal
de pruebas mecánicas (Instron modelo 4465, USA), utilizando una celda de carga de 1
kN, con una velocidad de cruzeta de 1 mm/minuto.

Ensayo de Grado de Conversión

Para la valoración de grado de conversión de las resinas compuestas experimentales, se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo Perkin Elmer modelo Frontier. El grado de conversión se obtuvo de la relación entre la altura de los picos que emitieron los espectros de las dobles ligaduras de carbonos alifáticos (1639 cm^{-1}) y un estándar interno que es la señal emitida por los dobles enlaces entre carbonos aromáticos (1609 cm^{-1}).

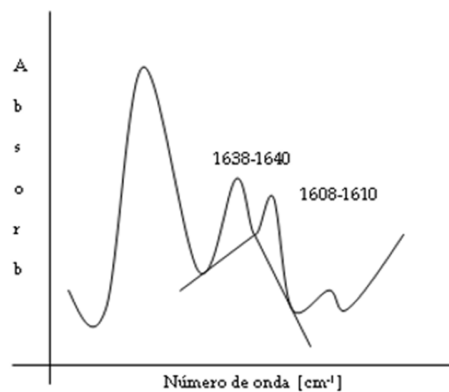


Figura 7 Determinación de la línea base para grado de conversión

Utilizando la siguiente fórmula:

$$GC(\%) = 100 \frac{A}{B} \frac{mon}{pol} \times 100$$

Donde:

A = altura del pico a 1639 cm^{-1}

B = altura del pico a 1609 cm^{-1} o 1750 cm^{-1} pol = material polimerizado mon= material sin polimerizar Ensayo de Profundidad de curado

La determinación de la profundidad de curado se realizó según la norma ISO 4049. Se prepararon tres probetas de las resinas compuestas experimentales en moldes metálicos

de 4 mm de diámetro x 6 mm de altura. Las muestras se irradiaron 40 segundos por una de las caras, se retiraron del molde eliminando con ayuda de una espátula plástica la pasta que no polimerizó. Se midió la altura con un micrómetro (0.01 mm de precisión) y se dividió por dos el valor obtenido.

La profundidad de curado es una medida de la eficiencia de la polimerización, ya que el material que quede sin polimerizar puede migrar al medio bucal y producir reacciones alérgicas en algunos pacientes, así como estimular el crecimiento de bacterias alrededor de la restauración. La norma ISO 4049 exige que estos materiales deben tener profundidad de curado mayor de 2 mm y la pérdida del material sin polimerizar debe ser inferior a 0.5 mm.

A los datos obtenidos de las pruebas antes descritas se les aplicaron un análisis de varianza (ANOVA) para ver si existían diferencias estadísticamente significativas y, una vez encontradas, se les realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples para determinar entre cuáles grupos existían esas diferencias significativas. Para tal efecto se utilizó el software IBM SPSS Statistics.

4. RESULTADOS

4.1 Resistencia a la flexión (σ)

Atapulgita

Los datos descriptivos de σ en probetas de ATAsil se pueden observar en la Tabla 5. Los valores promedio de resistencia a la flexión son superiores al control cuando se utiliza una concentración de 0.1, 0.2 y 0.3 phr de Atapulgita.

Tabla 5 Datos descriptivos de σ para ATAsil

Grupo	Media	Desviación estándar	n
A1	92.78	10.16	5
A2	90.22	5.34	5
A3	90.53	13.81	5
A4	79.81	10.61	5
A5	75.55	12.18	5
C	83.27	4.43	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA se muestran en la Tabla 6. Como se puede apreciar la significancia que se obtuvo fue de 0.071, un valor mayor a 0.05 lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 6 Prueba ANOVA de una vía para σ (ATAsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia a la flexión (σ , MPa)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1184.135 ^a	5	236.827	2.355	.071
Interceptación	218605.253	1	218605.253	2173.501	.000
Grupo	1184.135	5	236.827	2.355	.071
Error	2413.860	24	100.578		
Total	222203.249	30			

a. R al cuadrado = .329 (R al cuadrado ajustada = .189)

Bentonita

Los datos descriptivos de σ en probetas de BENSil se pueden observar en la Tabla 7. En este caso, los valores promedio son mayores, en todas las concentraciones, que el grupo control.

Tabla 7 Datos descriptivos de σ para BENSil adicionada.

Grupo	Media	Desviación estándar	N
B1	85.69	11.51	5
B2	86.09	1.99	5
B3	99.06	7.94	5
B4	97.58	3.87	5
B5	94.29	10.05	5
C	83.27	4.43	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 8. Para dicha prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 8 Prueba ANOVA de una vía para σ (BENSil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia a la flexión (σ , MPa)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	1155.414 ^a	5	231.083	4.131	.008
Interceptación	248424.540	1	248424.540	4441.535	.000
Grupo	1155.414	5	231.083	4.131	.008
Error	1342.371	24	55.932		
Total	250922.326	30			
Total corregido	2497.785	29			

a. R al cuadrado = .463 (R al cuadrado ajustada = .351)

Para determinar entre cuáles grupos existen diferencias significativas se realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples. Dicha prueba se muestra en el cuadro de subconjuntos homogéneos (Ver Tabla 9).

Tabla 9 Subconjuntos homogéneos para σ de los grupos con BENSil adicionada

Resistencia a la flexión (σ, MPa)			
HSD Tukey^{a,b}			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	83.27	
B1	5	85.69	85.69
B2	5	86.09	86.09
B5	5	94.29	94.29
B4	5	97.58	97.58
B3	5		99.06
Sig.		.058	.087
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 55.932. a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000. b. Alfa = .05			

Los valores de σ muestran que el grupo con una concentración de 0.3 phr (B3) es el único que presenta diferencias estadísticamente significativas en comparación con el grupo control.

Montmorillonita

Los datos descriptivos de resistencia a la flexión en probetas de MMTsil se pueden observar en la Tabla 10. Como se aprecia, los valores promedio de σ , en todas las concentraciones son mayores que el grupo control.

Tabla 10 Datos descriptivos de σ para MMTsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
M1	91.32	12.21	5
M2	105.76	8.70	5
M3	101.06	12.81	5
M4	111.26	4.91	5
M5	108.37	11.10	5
C	83.27	4.43	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 11. Para dicha prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 11 Prueba ANOVA de una vía para σ (MMTsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Resistencia a la flexión (σ , MPa)					
Origen	Tipo III de Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	2930.122 ^a	5	586.024	6.319	.001
Interceptación	301052.922	1	301052.922	3246.071	.000
Grupo	2930.122	5	586.024	6.319	.001
Error	2225.851				
	306208.895	24	92.744		
Total		30			
Total	5155.973	29	corregido		

a. R al cuadrado = .568 (R al cuadrado ajustada = .478)

Al igual que con los grupos a los cuales se les adicionó ATAsi, se realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples para determinar entre cuáles grupos existen diferencias significativas. Dicha prueba se muestra en la Tabla 12 (cuadro de subconjuntos homogéneos).

Tabla 12 Subconjuntos homogéneos para σ de los grupos con MMTsil

Resistencia a la flexión (σ, MPa)				
HSD Tukey^{a,b}				
Grupo	N	Subconjuntos		
		1	2	3
C	5	83.27		
M1	5	91.32	91.32	
M3	5	101.06	101.06	101.06
M2	5		105.76	105.76
M5	5		108.37	108.37
M4	5			111.26
Sig.		.072	.092	.560
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 92.744. a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000. b. Alfa = .05.				

Como se puede observar, para σ , existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo con una concentración de 0.4 phr (M4) en relación el grupo control y con el grupo que tiene una concentración de 0.1 phr (M1). Por otro lado, en los grupos M3, M2 y M5 no existen diferencias estadísticamente significativas entre sí.

4.2 Módulo de flexión (E)

Atapulgita

Los datos descriptivos de E en probetas de ATAsil se pueden observar en la Tabla 13.

Los valores promedio del módulo de flexión para los grupos en los cuales se adicionó ATAsil, son superiores con respecto al grupo control.

Tabla 13 Datos descriptivos de E para ATAsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
A1	3599	137	5
A2	3678	191	5
A3	3823	140	5
A4	3471	181	5
A5	3641	345	5
C	3306	218	5

Al aplicar el análisis de varianza a los grupos que contienen ATAsil, se obtuvo una significancia menor a 0.05, indicativo de la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (Ver Tabla 14).

Tabla 14 Prueba ANOVA de una vía para E (ATAsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Módulo de flexión (E, MPa)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	797489.867 ^a	5	159497.973	3.483	.017
Interceptación	385939680.133	1	385939680.133	8427.888	.000
Grupo	797489.867	5	159497.973	3.483	.017
Error	1099036.000	24	45793.167		
Total	387836206.000	30			
Total corregido	1896525.867	29			

a. R al cuadrado = .421 (R al cuadrado ajustada = .300)

En la Tabla 15 se muestran los resultados obtenidos para la prueba post hoc de Tukey. Se puede observar que, respecto al módulo de flexión, el grupo con una concentración de 0.3 phr (A3) presenta diferencias estadísticamente significativas en comparación con el grupo control. En relación con los grupos A4, A1, A5, A2 y C, no presentan diferencias significativas entre ellos

Tabla 15 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con ATAsil

Módulo de flexión (E, MPa) HSD Tukey^{a,b}.			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	3306	
A4	5	3471	3471
A1	5	3599	3599
A5	5	3641	3641
A2	5	3678	3678
A3	5		3823
Sig.		.101	.136

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática (Error) = 45793.167.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000. b.
Alfa = .05.

Bentonita

Los datos descriptivos de E en probetas de BENSil se pueden mostrar en la Tabla 16. Como se puede observar, los valores obtenidos para el módulo de flexión, son superiores cuando se adicionó BENSil, en todas las concentraciones, que el grupo control.

Tabla 16 Datos descriptivos de E para BENSil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
B1	4075	184	5
B2	4268	83	5
B3	4222	88	5
B4	4276	136	5
B5	4152	200	5
C	3306	218	5

La prueba ANOVA que se aplicó, muestra que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos a los que se les adicionó BENSil ($p < 0.05$). Ver Tabla 17.

Tabla 17 Prueba ANOVA de una vía para E (BENSil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Módulo de flexión (E, MPa)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3464019.467 ^a	5	692803.893	26.748	.000
Interceptación	492156003.333	1	492156003.333	19001.575	.000
Grupo	3464019.467	5	692803.893	26.748	.000
Error	621619.200	24	25900.800		
Total	496241642.000	30			
Total corregido	4085638.667	29			
a. R al cuadrado = .848 (R al cuadrado ajustada = .816)					

En la Tabla 18, en la cual se muestran los subconjuntos homogéneos para E, se observa que todos los grupos conteniendo BENSil presentan diferencias estadísticamente significativas en comparación con el grupo control.

Tabla 18 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con BENSil

Módulo de flexión (E, MPa)			
HSD Tukey^{a,b}			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	3306	
B1	5		4075
B5	5		4152
B3	5		4222
B2	5		4268
B4	5		4276
Sig.		1.000	.386

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática (Error) = 25900.800.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.
 b. Alfa = .05

Montmorillonita

Los datos descriptivos de E en probetas que contienen MMTsil se muestran en la Tabla 19. Se puede apreciar que todos los valores promedio son mayores que el del grupo control excepto cuando se adicionó 0.1 phr de MMTsil (M1).

Tabla 19 Datos descriptivos de E para MMTsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
M1	3855	236	5
M2	4203	280	5
M3	4237	132	5
M4	4265	75	5
M5	4214	145	5
C	3306	218	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 20. Para dicha prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Tabla 20 Prueba ANOVA de una vía para E (MMTsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Módulo de flexión (MPa)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3574565.500 ^a	5	714913.100	18.935	.000
Interceptación	483293630.700	1	483293630.700	12800.208	.000
Grupo	3574565.500	5	714913.100	18.935	.000
Error	906160.800	24	37756.700		
Total	487774357.000	30			
Total corregido	4480726.300	29			

a. R al cuadrado = .798 (R al cuadrado ajustada = .756)

Para determinar entre cuáles existe esta diferencia se realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples. Dicha prueba puede resumirse en el cuadro de subconjuntos homogéneos de la Tabla 21.

Tabla 21 Subconjuntos homogéneos para E de los grupos con MMTsil

Módulo de flexión (MPa)				
HSD Tukey^{a,b}				
Grupo	N	Subconjunto		
		1	2	3
C	5	3306		
M1	5		3855	
M2	5		4203	4203
M5	5		4214	4214
M3	5			4237
M4	5			4265
Sig.		1.000	.072	.996

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática (Error) = 37756.700.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.
 b. Alfa = .05.

En esta prueba se observa que todos los grupos a los cuales se les adicionaron MMTsil, presentan diferencias estadísticamente significativas con relación al grupo control. En cuanto a los grupos M1, M2 y M3 no existen diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Los grupos M2, M5, M3 y M4 presentan la misma característica.

4.3 Grado de conversión (GC)

Atapulgita

La media aritmética y la desviación estándar de los valores obtenidos para GC de las probetas elaboradas con ATAsil, se muestran en la Tabla 22. El resultado obtenido del

análisis de varianza, que se observa en la Tabla 23, muestra que no la significancia es mayor a 0.05 por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos que contienen ATAsil y el grupo control.

Tabla
22 Datos descriptivos de GC para ATAsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
A1	56.70	2.33	3
A2	58.57	0.72	3
A3	59.03	0.31	3
A4	57.06	3.70	3
A5	58.67	0.53	3
C	58.00	0.78	3

Tabla 23 Prueba ANOVA de una vía para GC (ATAsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: Grado de conversión (%)						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	GI	Cuadrático promedio	F	Sig.	
Modelo corregido	13.239 ^a	5	2.648	.763	.594	
Interceptación	60570.980	1	60570.980	17452.433	.000	
Grupo	13.239	5	2.648	.763	.594	
Error	41.648	12	3.471			
Total	60625.867	18				
Total corregido	54.887	17				
a. R al cuadrado = .241 (R al cuadrado ajustada = -.075)						

Bentonita

La media aritmética y la desviación estándar de los valores obtenidos para GC de las probetas elaboradas con BENSil, se muestran en la Tabla 24. Al igual que cuando se adicionó ATAsil, el resultado obtenido del análisis de varianza, que se observa en la Tabla 25, muestra que la significancia es mayor a 0.05 por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos que contienen BENSil y el grupo control.

Tabla

24 Datos descriptivos de GC para BENSil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
B1	53.20	0.21	3
B2	55.07	1.34	3
B3	57.76	4.11	3
B4	54.87	0.65	3
B5	54.95	1.45	3
C	58.00	0.78	3

Tabla 25 Prueba ANOVA de una vía para GC (BENSil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Grado de conversión (%)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	52.193 ^a	5	10.439	2.860	.063
Interceptación	55740.019	1	55740.019	15274.293	.000
Grupo	52.193	5	10.439	2.860	.063
Error	43.791	12	3.649		
Total	55836.003	18			
Total corregido	95.984	17			

a. R al cuadrado = .544 (R al cuadrado ajustada = .354)

Montmorillonita

La media aritmética y la desviación estándar de los valores obtenidos para GC de las probetas elaboradas con MMTsil, se muestran en la Tabla 26. Al igual que cuando se adicionó ATAsil y BENSil, el resultado obtenido del análisis de varianza, que se observa en la Tabla 27, muestra que la significancia es mayor a 0.05 por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos que contienen BENSil y el grupo control.

Tabla
26 Datos descriptivos de GC para MMTsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
C	58.00	0.78	3
M1	56.89	0.76	3
M2	57.62	0.26	3
M3	56.86	0.29	3
M4	57.81	0.85	3
M5	57.07	1.60	3

Tabla 27 Prueba ANOVA de una vía para GC (MMTsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Grado de conversión (%)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	3.703 ^a	5	.741	.952	.483
Interceptación	59264.159	1	59264.159	76198.289	.000
Grupo	3.703	5	.741	.952	.483
Error	59277.195	12	.778		
Total	1.333	18			
Total corregido	13.036	17			

a. R al cuadrado = .284 (R al cuadrado ajustada = -.014)

4.4 Profundidad de Curado (PC)

Atapulgita

Como se puede observar en la Tabla 28, los valores promedio para PC de todos los grupos en los cuales se adicionó ATAsil, son mayores que el grupo control.

Tabla 28 Datos descriptivos de PC para ATAsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
A1	5.97	0.04	5
A2	5.98	0.00	5
A3	5.97	0.01	5
A4	5.96	0.01	5
A5	5.96	0.01	5
C	5.80	0.04	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 29. Para esta prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, por lo cual se realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples, que se resume en el cuadro de subconjuntos homogéneos de la Tabla 30.

Tabla 29 Prueba ANOVA de una vía para PC (ATAsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: Profundidad de curado						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.	
Modelo corregido	.127 ^a	5	.025	36.153	.000	
Interceptación	1060.053	1	1060.053	1514361.376	.000	
Grupo	.127	5	.025	36.153	.000	
Error	.017	24	.001			
Total	1060.196	30				
Total corregido	.143	29				
a. R al cuadrado = .883 (R al cuadrado ajustada = .858)						

Como se puede observar con relación a la profundidad de curado, todos los grupos que contienen ATAsil presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control.

Tabla 30 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con ATAsil

Profundidad de curado (mm)			
HSD Tukey^{a,b}			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	5.8000	
A5	5	5.96	
A4	5	5.96	
A1	5	5.97	
A3	5	5.97	
A2	5	5.98	
Sig.		1.000	.774
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = .001. a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000. b. Alfa = .05.			

BENTONITA

Se realizó un análisis estadístico a los resultados obtenidos en la prueba de profundidad de curado obteniendo valores promedio superiores al control (ver Tabla 31).

Tabla 31 Datos descriptivos de PC para BENSil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
B1	5.85	0.04	5
B2	5.85	0.02	5
B3	5.89	0.02	5
B4	5.92	0.02	5
B5	5.91	0.06	5
C	5.80	0.04	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 32. Para esta prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, por lo cual se realizó una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples, la cual se resume en el cuadro de subconjuntos homogéneos (ver Tabla 33).

Tabla 32 Prueba ANOVA de una vía para PC (BENSil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Profundidad de curado (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	.053 ^a	5	.011	6.081	.001
Interceptación	1034.999	1	1034.999	590865.159	.000
Grupo	.053	5	.011	6.081	.001
Error	.042	24	.002		
Total	1035.094	30			
Total corregido	.095	29			

a. R al cuadrado = .559 (R al cuadrado ajustada = .467)

Como se puede observar, con relación a la profundidad de curado, los grupos B3, B5 y B4 no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos, pero si con respecto al grupo control.

Tabla 33 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con BENSil

Profundidad de curado (mm)			
HSD Tukey^{a,b}			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	5.80	
B1	5	5.85	5.85
B2	5	5.85	5.85
B3	5		5.89
B5	5		5.91
B4	5		5.92
Sig.		.313	.166

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática (Error) = .002.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000. b. Alfa = .05.

MONTMORILLONITA

Se realizó un análisis estadístico a los resultados obtenidos en la prueba de profundidad de curado, obteniendo valores promedio superiores al control (ver Tabla 34).

Tabla 34 Datos descriptivos de PC para MMTsil

Grupo	Media	Desviación estándar	N
C	5.80	0.04	5
M1	5.97	0.01	5
M2	5.99	0.01	5
M3	5.96	0.01	5
M4	5.99	0.01	5
M5	5.99	0.01	5

Los resultados de la prueba estadística ANOVA, se presentan en la Tabla 35. Para esta prueba la significancia obtenida fue menor a 0.05, lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, por lo cual se procedió a realizar una prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples, la cual se resume en el cuadro de subconjuntos homogéneos que se muestra en la Tabla 36.

Tabla 35 Prueba ANOVA de una vía para PC (MMTsil)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Profundidad de curado (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	.144 ^a	5	.029	67.419	.000
Interceptación	1063.265	1		2492028.125 67.419	.000
Grupo	.144	5			.000
Error	.010	24	.000		
Total	1063.419	30			
Total corregido	.154	29			

a. R al cuadrado = .934 (R al cuadrado ajustada = .920)

Como se puede observar, con relación a la profundidad de curado, todos los grupos que contienen MMTsil presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control.

Tabla 36 Subconjuntos homogéneos para PC de los grupos con MMTsil

Profundidad de curado (mm)			
HSD Tukey^{a,b}			
Grupo	N	Subconjunto	
		1	2
C	5	5.80	
M3	5		5.96
M1	5		5.97
M2	5		5.99
M4	5		5.99
M5	5		5.99
Sig.		1.000	.376

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática (Error) = .000.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5.000.
 b. Alfa = .05

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Resistencia a la flexión (σ)

Como puede observarse en la Tabla 9 y Tabla 12 (cuadro de subconjuntos homogéneos), se encontró un aumento de casi el 19 % en la resistencia a la flexión antes de la fractura, cuando se adicionó 0.3 phr de BENSil (B3, 99.06 MPa) a la mezcla de BisGMA/TEGDMA, y de 34 % cuando se utilizaron 0.4 phr de MMTsil (M4, 111.26 MPa) con relación al grupo control (C, 83.27 MPa). Los valores de resistencia a la flexión previos a la fractura se encuentran muy relacionados con la interacción que existe entre las diferentes partículas de arcilla (ATAsil; BENSil y MMTsil) y la matriz orgánica (BisGMA/TEGDMA). La afinidad química entre una matriz polimérica que posee grupos hidroxilo y un relleno inorgánico silanizado que a su vez también posee grupos hidroxilo en su estructura, pueden jugar un papel decisivo en los valores obtenidos para la resistencia a la flexión. El tratamiento químico (silanización) al que se sometió la arcilla provocó que hubiera interacción de las láminas de arcilla con la mezcla de monómeros a través de la reacción efectuada entre el doble enlace presente en la arcilla silanizada y los dobles enlaces que tienen los monómeros Bis-GMA y TEGDMA. De acuerdo con lo reportado por otros investigadores, los grupos vinilo provenientes de una matriz polimérica con arcilla montmorillonita laminar incorporada, conduce a la formación de fuertes enlaces covalentes entre las láminas de montmorillonita lo que a su vez resulta en la formación de nanocompuestos intercalados (19). Adicionalmente, existen fuerzas electrostáticas entre los grupos hidroxilo presentes en la matriz polimérica constituida por el BisGMA/TEGDMA, y los grupos hidroxilo que hay en la superficie de la arcilla montmorillonita, este fenómeno aumenta aún más la interacción polímero-arcilla. Este tipo de interacción, los enlaces formados entre la arcilla y el Bis-GMA/TEGDMA, así como la gran área superficial de la arcilla contribuyeron a que hubiera una buena transferencia de esfuerzos de la matriz polimérica hacia el relleno inorgánico y, en consecuencia, un aumento de la resistencia mecánica de la resina compuesta experimental.

5.2 Módulo de flexión (E)

En cuanto al módulo de flexión y de acuerdo con los resultados mostrados en la Tabla 15, 18 y 21, hubo un aumento del 17 % cuando se adicionó 0.3 phr de ATAsil (A3, 3823 MPa),

un incremento del 28 % cuando se utilizó 0.3 phr de BENSil (B3, 4222 MPa) y del 29 % cuando se utilizó 0.4 phr de MMTsil (M4, 4265 MPa) con respecto al grupo control (C, 3306 MPa). El módulo elástico describe la rigidez del material y es medido por la máxima deformación que sufre un material en la zona elástica, representada en una gráfica esfuerzo-deformación. Por otro lado, la magnitud del módulo elástico afecta el esfuerzo generado durante el curado de la resina compuesta, este hecho, en combinación con la adhesión de la resina al diente, juegan un papel importante en la inhibición de la microfiltración y, por ende, de la caries secundaria. Como se mencionó con anterioridad, las partículas de arcilla tienen una superficie de contacto muy grande con la fase orgánica lo cual puede resultar en un aumento de las propiedades mecánicas tales como el módulo elástico y la resistencia a la flexión. Los valores obtenidos en la experimentación, superiores con relación al grupo control, demuestran que, efectivamente, existe una interacción entre la arcilla y la matriz polimérica. Esto reviste una gran importancia si se toma en cuenta que el módulo de flexión para cavidades ocluso-proximales debe ser alto para resistir fracturas de cúspide y deformaciones (20). Adicionalmente, se ha comprobado que la intercalación del polímero en arcillas laminares como la montmorillonita, puede resistir la deformación en flexión de manera más efectiva conduciendo a un nanocompuesto más rígido (21). Cabe destacar que estos valores de módulo de flexión son mayores a los reportados por otros investigadores que utilizaron concentraciones muy superiores de relleno inorgánico (40%-50% en volumen)(20), en comparación a las utilizadas en esta investigación. Del mismo modo, se ha encontrado que el módulo de flexión no presenta una mejoría significativa en sistemas basados en Bis-EMA (1250 MPa control, 1330 MPa resina-arcilla al 5% en peso), aun utilizando arcilla montmorillonita modificada orgánicamente (22). En este caso, para los grupos que contenían BENSil y MMTsil tanto los valores de resistencia a la flexión como del módulo de flexión aumentaron. Esto se puede deber, posiblemente, a la concentración utilizada, así como a la intercalación del polímero en el espacio interlaminar de la arcilla.

5.3 *Grado de conversión (GC)*

Los resultados de la prueba post hoc Tukey de comparaciones múltiples demuestran que, al no haber diferencias estadísticamente significativas entre los grupos que contenían ATAsil, BENSil y MMTsil, en cualquiera de sus concentraciones, con respecto al grupo control, la presencia de arcilla silanizada no interfiere en la reacción de fotopolimerización del material compuesto (ver Tablas 23, 25 y 27). Es bien conocido que la opacidad de las partículas de arcilla Na⁺Mt pueden tener un efecto negativo en el grado de conversión del

doble enlace durante el proceso de polimerización, lo que a su vez puede causar una disminución en las propiedades mecánicas de la resina compuesta. Sin embargo, en este caso se observa que la presencia de las láminas de las arcillas no interfirió en la reacción de fotopolimerización de la resina compuesta experimental. Los valores de porcentaje de grado de conversión obtenidos para los grupos utilizados indican que las láminas de arcilla se encuentran intercaladas y no exfoliadas. Si las láminas de arcilla se encontraran separadas individualmente y considerando su gran área superficial, el efecto atenuante de la irradiación sería muy notorio produciendo porcentajes de grados de conversión más bajos que el control (21). Debido a las bajas concentraciones de arcilla que fueron utilizadas, el Bis-GMA/TEGDMA pudo introducirse y producir una estructura intercalada. Adicionalmente, el índice de refracción, tamaño y concentración de las arcillas dentro de la matriz polimérica Bis-GMA/TEGDMA, no representa ningún obstáculo en la dispersión de la luz y consecuente polimerización de la matriz orgánica. Y, por tanto, el grado de conversión no resulta afectado por el tipo de interacción entre las arcillas silanizadas y la matriz polimérica en casi todas las concentraciones que fueron utilizadas, es decir, no hubo alteración en el rompimiento de los dobles enlaces responsables de la conversión del monómero (23). Esto quiere decir que las partículas no son capaces de alterar la transmisión de la luz a través del material antes de fotopolimerizar (24).

5.4 Profundidad de curado (PC)

Los resultados registrados en las Tablas 30, 33 y 36 muestran que los valores obtenidos cuando se adicionó ATAsil (A3, 5.97 mm), BENSil (B3, 5.89 mm) y MMTsil (M4, 5.99 mm) fueron mayores que para el grupo control (C, 5.80 mm). Estos resultados están en concordancia con el porcentaje de grado de conversión anteriormente discutido. Aunque las cavidades rellenas con resina compuesta tipo “bulk” facilita y sujeta el procedimiento restaurador, la contracción por polimerización y el esfuerzo asociado aumenta conforme aumenta el espesor del material restaurador, lo cual puede afectar la integridad marginal y su desempeño clínico. Por tanto, las resinas compuestas de este tipo deberían tener un curado efectivo en zonas más profundas, considerando que la transmisión de la luz a través de una capa más gruesa será sustancialmente atenuada. Los valores de profundidad de curado que se obtuvieron para cada una de las arcillas silanizadas utilizadas, muestran que los rellenos inorgánicos utilizados no interfirieron en la transmisión de la luz proveniente de la lámpara de fotopolimerización. Incluso cuando se utilizó MMTsil en una concentración de 0.4 phr, la profundidad de curado obtenida tuvo casi la misma longitud del molde, esto

significa que la luz fue transmitida hasta la parte más profunda del molde. La transmisión de la luz se encuentra íntimamente ligada a la traslucidez del material, y esta a su vez a la cantidad de relleno inorgánico. Las bajas cantidades de arcilla, así como de SiO_2 que se utilizaron, produjeron un material con una alta traslucidez. Esta baja carga de relleno inorgánico contribuyó a una irradiancia de luz transmitida más grande y, por lo tanto, a una mayor eficiencia de la polimerización (25).

6. CONCLUSIONES

- ✓ La hipótesis alterna de investigación es aceptada debido a que tanto el tipo de arcilla silanizada como la concentración utilizada producen diferencias estadísticamente significativas en los valores de resistencia a la flexión, módulo de flexión, grado de conversión y profundidad de curado de la resina compuesta experimental con respecto a la resina experimental sin arcilla silanizada.
- ✓ La adición de arcillas silanizadas, por separado, influye de manera favorable en las propiedades químicas y físico-mecánicas de una matriz polimérica formada por los monómeros dimetacrílicos Bis-GMA/TEGDMA
- ✓ La adición de arcillas silanizadas produjeron incrementos en la resistencia a la flexión de la matriz polimérica: del 19% cuando se utilizó B3 y del 34% cuando se usó M4, lo que indica que existe una interacción entre el polímero y la arcilla silanizada.
- ✓ Los valores que se obtuvieron en la resistencia a la flexión (B3, 99 MPa; M4, 111 MPa) están por arriba de lo que pide la norma ISO 4049 para este tipo de materiales (80 MPa).
- ✓ Los valores obtenidos para el módulo de flexión cuando se utilizó B3 (4222 MPa) y cuando se utilizó M4 (4265 MPa) demuestran que la resina compuesta experimental puede resistir la deformación producida por cargas, de manera más efectiva.
- ✓ Los resultados del análisis estadístico para el grado de conversión demuestran que ni el tipo ni la concentración de las arcillas silanizadas, interfieren en la reacción de fotopolimerización de la resina compuesta experimental.
- ✓ Los valores de profundidad de curado que se obtuvieron para cada una de las arcillas silanizadas utilizadas, muestran que los rellenos inorgánicos utilizados no interfirieron en la transmisión de la luz proveniente de la lámpara de fotopolimerización. El mayor valor que se registró fue aquel en el cual se utilizó M4.

REFERENCIAS

1. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dent Mater* [Internet]. Elsevier; 2011 Jan 1 [cited 2018 Dec 5];27(1):29–38. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S010956411000463X>
2. Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJM. Longevity of posterior composite restorations: Not only a matter of materials. *Dent Mater*. 2012 Jan;28(1):87–101.
3. Chen Q, Zhao Y, Wu W, Xu T, Fong H. Fabrication and evaluation of BisGMA/TEGDMA dental resins/composites containing halloysite nanotubes. *Dent Mater*. 2012 Oct;28(10):1071–9.
4. García AH, Angel M, Lozano M, Vila JC, Escribano AB, Galve PF, et al. Composite resins . A review of the materials and clinical indications. 2006;215–20.
5. Carrillo Sánchez C, Monroy Pedraza M. Materiales de resinas compuestas y su polimerización. *Rev ADM* [Internet]. 2009 [cited 2018 Nov 19];LXV(5):10–7. Available from: <http://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2009/od094b.pdf>
6. Macchi R. Materiales dentales. Editorial Panamericana. 2007. 19-25 p.
7. Wang R, Habib E, Zhu XX. Evaluation of the filler packing structures in dental resin composites: From theory to practice. *Dent Mater*. 2018 Jul;34(7):1014–23.
8. Hernández J. Estudio del efecto de Nano Partículas de arcilla Atapulguita en compuestos a base de PET. Tesis de licenciatura. México: UNAM; 2011.
9. Rodríguez D, Pereira N. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontológica Venez* [Internet]. Facultad de Odontología de la Universidad Central de Venezuela; 2008 [cited 2018 Dec 5];46(3):381–92. Available from: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0001-63652008000300026&script=sci_arttext
10. Ortiz JF, Molina AC, Yáñez AE, Luna LE. Profundidad de curado de resinas con diferentes fotoiniciadores polimerizadas con dos lámparas LED. *Universitas Odontológica*. 2008 Ene-Dic;27(59): 15-22

11. Hervás García A, Martínez Lozano MA, Cabanes Vila J, Barjau Escribano A, Fos Galve P. Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. *Med Oral, Patol Oral y Cirugía Bucal* [Internet]. Medicina Oral Place of publication not identified; 2004 [cited 2018 Aug 12];11(2):215–20. Available from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1698-69462006000200023&lang=es
12. Lim B-S, Ferracane J., Sakaguchi R., Condon J. Reduction of polymerization contraction stress for dental composites by two-step light-activation. *Dent Mater.* Elsevier; 2002 Sep;18(6):436–44.
13. AlShaafi MM. Factors affecting polymerization of resin-based composites: A literature review. *Saudi Dent J.* Elsevier; 2017 Apr;29(2):48–58.
14. Xu HHK. Long-term Water-aging of Whisker-reinforced Polymer-Matrix Composites. *J Dent Res* [Internet]. SAGE Publications; 2003 Jan 1 [cited 2018 Dec 5];82(1):48–52. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/154405910308200111>
15. Suh BI. Oxygen-inhibited layer in adhesion dentistry. *J Esthet Restor Dent.* Wiley/Blackwell (10.1111); 2004 Sep;16(5):316–23.
16. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do Dental Composites Always Shrink Toward the Light? *J Dent Res.* SAGE PublicationsSage CA: Los Angeles, CA; 1998 Jun;77(6):1435–45.
17. Cuevas C, Zamarripa E, Herrera AM, D'Accorso N. Resinas fotopolimerizables por apertura de anillos [Internet]. 2009 [cited 2018 Dec 5]. Available from: https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icsa/licenciatura/documentos/Resina_Polimerizada_.pdf
18. Mallat T. Book Review: Handbook of Heterogeneous Catalytic Hydrogenation for Organic Synthesis. By Shigeo Nishimura. *Angew Chemie Int Ed.* Wiley-Blackwell; 2002 Aug;41(16):3066.
19. de Paiva Campos LM, Lugão AB, Vasconcelos MR, Parra DF. Polymerization shrinkage evaluation on nanoscale-layered silicates: Bis-GMA/TEGMA nanocomposites, in photo-activated polymeric matrices. *J Appl Polym Sci* [Internet].

John Wiley & Sons, Ltd; 2014 Mar 15 [cited 2018 Dec 5];131(6):n/a-n/a. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.40010>

20. Campos LM, Boaro LC, Santos TM, Marques PA, Almeida SR, Braga RR, et al. Evaluation of flexural modulus, flexural strength and degree of conversion in BISGMA/TEGDMA resin filled with montmorillonite nanoparticles. *J Compos Mater* [Internet]. SAGE PublicationsSage UK: London, England; 2017 Mar 28 [cited 2018 Dec 5];51(7):927–37. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0021998316656925>
21. Mahmoodian M, Pourabbas B, Amirhosein Baghaee Arya AB. Preparation and Characterization of Bis-GMA/TEGDMA/Clay Nanocomposites at Low Filler Content Regimes. *J Compos Mater* [Internet]. SAGE PublicationsSage UK: London, England; 2010 Jun 10 [cited 2018 Dec 5];44(11):1379–95. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0021998309353675>
22. Mucci V, Pérez J, Vallo CI. Preparation and characterization of light-cured methacrylate/montmorillonite nanocomposites. *Polym Int* [Internet]. 2011 Feb [cited 2018 Dec 5];60(2):247–54. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/pi.2935>
23. Campos LM de P, Boaro LC, Ferreira HP, dos Santos LKG, dos Santos TR, Parra DF. Evaluation of polymerization shrinkage in dental restorative experimental composites based: BisGMA/TEGDMA, filled with MMT. *J Appl Polym Sci* [Internet]. Wiley-Blackwell; 2016 Jun 20 [cited 2018 Dec 5];133(24):n/a-n/a. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/app.43543>
24. Menezes LR de, Silva EO da, Menezes LR de, Silva EO da. The Use of Montmorillonite Clays as Reinforcing Fillers for Dental Adhesives. *Mater Res* [Internet]. Materials Research; 2016 Feb 12 [cited 2018 Dec 5];19(1):236–42. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151614392016000100236&lng=en&tlng=en
25. Li X, Pongprueksa P, Van Meerbeek B, De Munck J. Curing profile of bulk-fill resinbased composites. *J Dent* [Internet]. 2015 Jun [cited 2018 Dec 5];43(6):664–72. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25597265>