



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

ÁREA ACADÉMICA DE ODONTOLOGÍA

PROTOCOLOS DE REPARACIÓN DE RESINAS COMPUESTAS PARA USO DIRECTO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE CIRUJANO DENTISTA

Presenta:

JUSUE ESPARZA GUSTAVO

Director: Dr. Carlos Enrique Cuevas Suárez

Co director: Dra. Ana Josefina Monjarás Ávila

Co director: Dr. Juan Eliezer Zamarripa Calderón

Asesor: Dr. José Alejandro Rivera Gonzaga

Pachuca de Soto, Hgo. Abril de 2020



**MTRO. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
**DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR**

*Head of the General Department of Admissions and Enrollment Services*

**PRESENTE**

Por medio de la presente, manifiesto a usted que se autoriza la impresión del trabajo de investigación del pasante de la Licenciatura de Cirujano Dentista, **Gustavo Jusué Esparza**, bajo la modalidad de Tesis cuyo título es **Protocolos de reparación de resinas compuestas para uso directo**, 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. José Alejandro Rivera Gonzaga	Presidente	
Dra. Ana Josefina Monjarás Ávila	Secretaria	
Dr. Carlos Enrique Cuevas Suárez	1° vocal	
Dr. J. Eliezer Zamarripa Calderón	2° vocal	
Mtro. José de Jesús Navarrete Hernández	3° vocal	
Dra. Carmen Balderas Delgadillo	Suplente	
Mtra. Adriana Leticia Ancona Meza	Suplente	

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 28 de Enero de 2020

**M.C. Esp. Adrián Moya Escalera**  
 Director del ICSa  
 Dean

**C.D. Esp. Fernando Herrera Hernández**  
 Jefe del Área Académica de Odontología  
 Chair of Department of Dentistry



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

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia que siempre me brindó apoyo incondicionalmente.

Al Doctor Carlos Enrique Cuevas Suárez por el apoyo en este trabajo, además en toda la licenciatura y por su valiosa amistad.

A todas aquellas personas que me brindaron apoyo en cualquier momento:  
amigos, doctores, pacientes y familiares.

Agradecerle a Dios por haberme puesto en este camino, por darme tolerancia, paciencia, salud, sabiduría y mucha perseverancia para poder hoy culminar una importante etapa en la formación de mi vida profesional.

## DEDICATORIA

A mis padres

A mi hermana

Gracias por su apoyo invaluable, por su guía, amor y paciencia.

Gracias por enseñarme sus logros a lo largo de su paso por la vida y por haberme dado la libertad de elegir mi futuro.

Gracias por brindarme con las manos abiertas su apoyo y su confianza en mi preparación.

Hoy he plasmado su más valiosa herencia, mi profesión, por ustedes la obtuve y a ustedes se las dedico.

Con amor, admiración e infinito respeto.

# CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ABREVIATURAS .....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
1. Introducción .....	11
2. Marco Teórico .....	13
2.1 Resinas Compuestas.....	13
2.2 Características de los composites actuales .....	14
2.3 Formulación.....	14
2.3.1 Matriz de Resina.....	14
2.3.2 Partículas de relleno .....	15
2.3.4 Sistema Iniciador-Activador de Polimerización .....	17
2.4 Clasificación de resinas compuestas .....	18
2.4.1 Resinas de macro relleno o convencionales .....	18
2.4.2 Resinas de microrelleno .....	19
2.4.3 Resinas híbridas .....	20
2.4.4 Híbridos Modernos .....	21
2.4.5 Resinas de nanorelleno.....	21
2.4.6 Resinas compuestas de baja viscosidad o fluidas.....	22
2.4.7 Composites condensables .....	22
2.5 Propiedades de las resinas compuestas.....	23
2.5.1 Resistencia al desgaste.....	23
2.5.2 Textura Superficial .....	23
2.6 Consideraciones clínicas.....	23
2.7 Colocación de resinas compuestas.....	24
2.8 Pulido, acabamiento y reparación .....	25
3. Antecedentes .....	27

3.1 Métodos de reparación físicos .....	29
3.1 Métodos de reparación químicos.....	30
4. Justificación .....	33
5. Hipótesis .....	34
6. Objetivos .....	34
7. Material y Métodos.....	35
7.1 Diseño Experimental.....	35
7.2 Fabricación de los especímenes y procedimientos de envejecimiento.....	38
7.3 Procedimientos de reparación y prueba de resistencia de unión al cizallamiento .....	39
7.4 Análisis estadístico.....	43
8. Resultados.....	44
9. Discusión .....	47
10. Conclusiones .....	51
Bibliografía .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes principales de las resinas compuestas para uso dental ...	13
Figura 2 Estructura molecular del Bis GMA.....	14
Figura 3 Estructura molecular del TEGDMA .....	15
Figura 4 Resinas de macro relleno.....	19
Figura 5 Resinas de micro relleno.....	20
Figura 6 Resinas híbridas.....	21
Figura 7 Diseño experimental.....	36
Figura 8 Especímenes de resina incluidos en tubos de PVC con resina acrílica. .	39
Figura 9 Aplicación del sistema adhesivo.....	40
Figura 10 Fijación de la matriz de silicón.....	41
Figura 11 Compactación de la resina compuesta y fotoactivación .....	41
Figura 12 Remoción de la matriz de silicón.....	41
Figura 13 Almacenamiento de los especímenes en agua destilada .....	42
Figura 14 Ensayo de resistencia de unión.....	43
Figura 15 Resistencia de unión al cizallamiento de los procedimientos de reparación realizados.....	44
Figura 16 Distribución del modo de falla entre los diferentes grupos. ....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales utilizados en el estudio.....	37
--	----

## ABREVIATURAS

Bis GMA: Bisfenol-A-Glicidil Metacrilato

TEGDMA: Trietilenglicol dimetacrilato

MPS:  $\gamma$  - Metacril-Oxipropil Trimetoxi-Silano

PMP: 4- metoxifenol

BHT: Butil hidroxitolueno

HQ: Hidroquinona

CQ: Canforquinona

EDMAB: Etil-4-dimetilaminobenzoato

UDMA: Dimetacrilato de uretano

DMAEMA: 2-dimetilaminoetil metacrilato

RC: Resinas compuestas

SBU: Single Bond Universal

TBU: Tetric N-Bond Universal

S: Silano

CSB: Clearfil SE Bond

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes protocolos de tratamiento de superficie en la resistencia de unión al cizallamiento de reparaciones realizadas a sustratos de resinas compuestas envejecidas. Ochenta especímenes cilíndricos de resina compuesta (IPS Empress Direct, Ivoclar-Vivadent) fueron preparados, envejecidos y divididos de manera aleatoria en 2 grupos principales: en el grupo 1 se utilizó un agente silano antes de la aplicación del sistema adhesivo, mientras que en el grupo 2, el agente silano no fue aplicado como paso previo. Luego, cada grupo fue subdividido en 4 grupos de acuerdo con el sistema adhesivo utilizado: Control, donde no fue utilizado un protocolo adhesivo, Single Bond Universal (SBU), Tetric Bond Universal (TBU) y Clearfil SE Bond (CSB). De igual forma, se utilizó un grupo de referencia para determinar la resistencia cohesiva de la resina compuesta. Luego de aplicado el sistema adhesivo, las superficies tratadas fueron restauradas con cilindros de resina compuesta. Los especímenes fueron almacenados en agua destilada por 24 h a 37 °C y sometidos a un ensayo de resistencia de unión al cizallamiento (RU) en una máquina de ensayos universales. Los datos fueron evaluados utilizando una prueba de ANOVA de dos vías seguida de una prueba complementaria de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). De acuerdo al análisis estadístico, la aplicación previa de silano no afectó significativamente la resistencia de unión ( $p = 0.504$ ), por el contrario, el tipo de agente de adhesivo utilizado sí impactó significativamente ( $p < 0.001$ ). La resistencia de unión al cizallamiento fue significativamente mayor cuando se utilizó el adhesivo Clearfil SE Bond ( $p < 0.05$ ), siendo que los valores alcanzados por este grupo fueron similares a los obtenidos con el grupo de referencia ( $p > 0.05$ ). El uso de un agente silanizante previo a la aplicación de un adhesivo no afecta significativamente el proceso de adhesión a una resina envejecida. Por otro lado, la aplicación de un sistema adhesivo libre de solventes consiguió reestablecer los valores originales de resistencia cohesiva del material.

### **Palabras clave:**

Adhesión, resina compuesta, reparación de resinas, resistencia de unión, agente de acoplamiento silano

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different surface treatment protocols on shear bond strength of repairs made to aged composite resin substrates. Eighty cylindrical composite resin specimens (IPS Empress Direct, Ivoclar-Vivadent) were prepared, aged and randomly divided into 2 main groups: in group 1 a silane agent was used before the application of the adhesive system, while in the group 2, the silane agent was not applied as a previous step. Each group was then subdivided into 4 groups according to the adhesive system used: Control, where an adhesive protocol, Universal Single Bond (SBU), Universal Tetric Bond (TBU) and Clearfil SE Bond (CSB) were not used. Similarly, a reference group was used to determine the cohesive strength of the composite resin. After applying the adhesive system, the treated surfaces were restored with composite resin cylinders. The specimens were stored in distilled water for 24 h at 37 ° C and subjected to a shear bond strength (RU) test in a universal testing machine. The data were evaluated using a two-way ANOVA test followed by a complementary Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ). According to the statistical analysis, the previous application of silane did not significantly affect the bond strength ( $p = 0.504$ ), on the contrary, the type of adhesive agent used if it impacted significantly ( $p < 0.001$ ). Shear bond strength was significantly higher when Clearfil SE Bond adhesive was used ( $p < 0.05$ ), with the values achieved by this group being similar to those obtained with the reference group ( $p > 0.05$ ). The use of a silanizing agent prior to the application of an adhesive does not significantly affect the process of adhesion to an aged resin. On the other hand, the application of a solvent-free adhesive system was able to restore the original cohesive strength values of the material.

### **Keywords:**

Adhesion, composite resin, composite repair, bond strength, silane coupling agent.

## 1. Introducción

En la práctica clínica diaria, el fracaso de las restauraciones de realizadas con resina compuesta es una preocupación importante. Normalmente, cuando una restauración de este tipo falla, ésta es reemplazada; sin embargo, durante la remoción de la restauración antigua se puede provocar una remoción excesiva de tejido sano, lo que puede llevar a una debilitación de la estructura dental remanente y, a veces, provocar una exposición de la pulpa (1).

Para evitar estas complicaciones, se ha recomendado llevar a cabo la técnica de reparación del material antiguo en lugar de su reemplazo. La reparación de resinas compuestas es un método mínimamente invasivo que ayuda a preservar la estructura dental y a mejorar la longevidad de la restauración. Esta técnica generalmente se prefiere sobre el reemplazo total, ya que es más rentable y mejora significativamente la longevidad tanto del diente como de la restauración (2).

Para lograr un proceso de reparación exitoso, lograr una fuerte adhesión a la restauración existente es un factor importante. La unión a restauraciones de resinas compuestas envejecidas es un gran desafío, principalmente debido a la disminución de los enlaces C=C disponibles para reaccionar con el nuevo material. Considerando esto, se recomienda realizar un tratamiento de la superficie de la restauración envejecida que sirve como sustrato de unión, esto con el propósito de mejorar la resistencia de la reparación de las resinas compuestas. Para este fin, se han desarrollado varios métodos de acondicionamiento de superficies basados en principios de adhesión físicos, fisicoquímicos o químicos (3).

De entre los tratamientos citados, la literatura menciona que el uso de tratamientos de tipo químico consigue mejores resultados. De manera general, los tratamientos de superficie químicos para la reparación de resinas compuestas involucran la aplicación de un agente adhesivo previo al material que será utilizado como adherente. Considerando que en el mercado existen un sinnúmero de

diferentes tipos de sistemas adhesivos, no hay consenso sobre cuales son aquellos que pueden aumentar el éxito de la reparación, lo que hace necesario la realización de estudios científicos que permitan comprobarlo (1).

De igual forma, si se toma en cuenta que las resinas compuestas contienen óxido de silicio en su composición, es posible considerar la posibilidad de que la aplicación de un agente de acoplamiento silano como paso previo tendría una influencia positiva en la resistencia de unión de las reparaciones. De este modo, evaluar el efecto que este compuesto tiene resulta de gran interés para los clínicos.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Resinas Compuestas

Las resinas compuestas son una mezcla compleja de resinas polimerizables, y de partículas inorgánicas como relleno (4). El término de material compuesto, se refiere a una combinación tridimensional de por lo menos dos sustancias diferentes químicamente entre sí con una interfase bien definida que separa y une a la vez a los componentes. Esta combinación proporciona un material con propiedades que son muy superiores a las que podrían obtenerse en cualquiera de los componentes actuando por separado (5).

Las resinas compuestas para uso dental, consisten en partículas inorgánicas inmersas en una matriz orgánica de polímeros recubiertas con un compuesto de silano activo que une químicamente a las partículas de relleno con la resina (5), proporcionando así la unión de esta fase inorgánica a la fase orgánica (Figura 1).

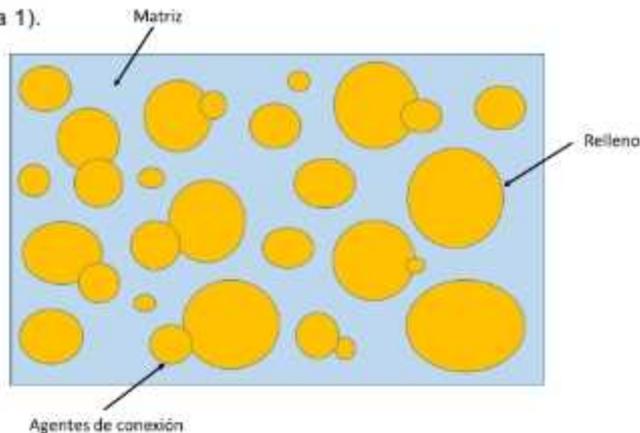


Figura 1 Componentes principales de las resinas compuestas para uso dental.

El monómero Bisfenol-A-Glicidil Metacrilato (Bis GMA, Figura 2) ha sido el monómero más utilizado hasta la actualidad (6) debido a que presenta una

estructura aromática que aumenta su rigidez, su fuerza compresiva y disminuye la absorción de agua. Otros compuestos que se han desarrollado como matriz orgánica y que se han utilizado más últimamente o en combinación entre sí, son el dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA), y el Bis GMA modificado, que presentan una mayor dureza, baja viscosidad y baja absorción de agua (4,5,7).

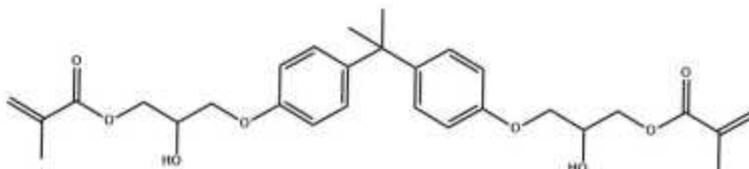


Figura 2 Estructura molecular del Bis GMA

Las resinas compuestas se modifican para obtener color, translucidez y opacidad, de esa forma se imita el color de los dientes naturales, haciendo de ellas el material más estético de restauración directa.(4)

## 2.2 Composición de las resinas compuestas

Los compuestos de resina dental contienen típicamente una mezcla de matriz de resina orgánica suave (polímero) y relleno inorgánico (cerámica). La matriz de resina consiste en monómeros, un sistema iniciador-activador, estabilizadores y pigmentos. El relleno inorgánico consiste en partículas de vidrio, cuarzo y sílice coloidal. La matriz de resina y los rellenos están unidos entre sí con la ayuda del agente de acoplamiento.(6,8)

## 2.3 Composición

### 2.3.1 Matriz de Resina

Se constituye por monómeros de dimetacrilato alifáticos u aromáticos, el monómero base más utilizado es el Bis-GMA (Bisfenol-A- Glicidil Metacrilato). Comparado con el metilmetacrilato, el Bis-GMA tiene mayor peso molecular lo que implica que su contracción durante la polimerización es mucho menor. El monómero Bis-GMA es extremadamente viscoso a temperatura ambiente debido a

los puentes de hidrógeno formador entre los átomos de hidrógeno de los grupos hidroxilo; esta viscosidad representa algunos inconvenientes, tales como, pegajosidad y reología indeseable que comprometen las características de manipulación, además en condiciones comunes de polimerización, el grado de conversión del Bis-GMA es bajo, lo que altera las propiedades mecánicas y biológicas del material. Para superar estas deficiencias, se añaden monómeros de baja viscosidad tales como el TEGDMA (triethylenglicol dimetacrilato, Figura 3). La adición de los diluyentes permite que se produzca un mayor grado de conversión y se produzca una reticulación más extensa.(8)

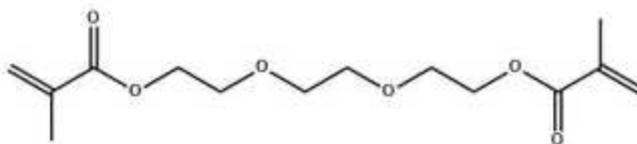


Figura 3 Estructura molecular del TEGDMA

Actualmente el sistema Bis-GMA/TEGDMA es uno de los más usados en las resinas compuestas.(4) En general este sistema muestra resultados clínicos relativamente satisfactorios, pero aún hay propiedades que necesitan mejorarse, como la resistencia a la abrasión. (4) Todas estas alternativas han demostrado una reducción de la contracción volumétrica y un aumento de las conversiones de doble enlace. Sin embargo, la velocidad de reacción es significativamente menor para estos compuestos funcionales tradicionales.

### 2.3.2 Partículas de relleno

Las partículas de relleno pueden ser orgánicas e inorgánicas y proporcionan estabilidad dimensional a la matriz resinosa y mejorar sus propiedades. La adición de estas partículas a la matriz reduce la contracción de polimerización, la sorción acuosa y el coeficiente de expansión térmica y proporcionan un aumento de la resistencia a la tracción, a la compresión, a la abrasión, radiopacidad y estética.(8)

Las partículas de relleno más utilizadas son las de cuarzo o vidrio de bario y se obtienen en varios tamaños a través de diferentes procesos de fabricación (pulverización, trituración, molido). Las partículas de cuarzo son dos veces más duras y menos susceptible a la erosión que el vidrio, además de que proporcionan mejor adhesión con los agentes de conexión (Silano). También son utilizadas partículas de sílice de un tamaño aproximado de 0.4  $\mu\text{m}$  (micropartículas), las cuales son obtenidas a través de procesos pirolíticos (quema) o de precipitación (sílice coloidal).(4)

El tipo de relleno influye directamente en la radiopacidad, que normalmente se logra a través de la inclusión de elementos de alto número atómico. El bario y el estroncio son los elementos más comunes utilizados en las partículas de relleno para aumentar la radiopacidad.(8)

### **2.3.3 Agentes de acoplamiento**

Es importante que la partícula de relleno se adhiera a la matriz de resina a través de un agente de acoplamiento para mejorar la resistencia mecánica y propiedades físicas.(8) Los agentes de acoplamiento son bien conocidos por su capacidad para permitir la transferencia de estrés de la matriz de resina a los rellenos, lo que favorece el refuerzo mecánico y la estabilidad química del material. (9) Las resinas compuestas tempranas carecían de una unión adecuada entre la matriz de resina y las partículas de relleno, lo que resultó en una disminución de las propiedades mecánicas durante un período de tiempo. La presencia de un agente de acoplamiento aumenta la capacidad para aliviar el estrés del material; y probablemente debido a una mayor capacidad de traslación y rotación de los rellenos dentro de la resina, este mecanismo también puede aumentar el desempeño del sistema, disipando la mayor parte del estrés producido durante la contracción de la polimerización.(9)

El silano que se utiliza con mayor frecuencia es el  $\gamma$ - metacril-oxipropil trimetoxi-silano (MPS), éste es una molécula bipolar que se une a las partículas de relleno cuando son hidrolizados a través de puentes de hidrógeno y a su vez, posee grupos metacrilatos, los cuales forman uniones covalentes con la resina

durante el proceso de polimerización ofreciendo una adecuada interfase resina / partícula de relleno.(4) Asimismo, el silano mejora las propiedades físicas y mecánicas de la resina compuesta, pues establece una transferencia de tensiones de la fase que se deforma fácilmente (matriz resinosa), para la fase más rígida (partículas de relleno). Además, estos agentes de acoplamiento previenen la penetración de agua en la interfase BisGMA / Partículas de relleno, promoviendo una estabilidad hidrolítica en el interior de la resina. (4)

#### **2.3.4 Sistema Iniciador-Activador de Polimerización**

La fase orgánica de las resinas compuestas presenta otros componentes que se le añaden para mejorar y favorecer sus propiedades, entre ellos, tenemos a los inhibidores, y al sistema iniciador de la polimerización.

Los inhibidores son compuestos incluidos para prevenir la polimerización prematura de la resina. Los componentes más comúnmente utilizados son el 4-metoxifenol (PMP), el butil hidroxitolueno (BHT) y la hidroquinona (HQ), y son generalmente utilizados en cantidades del 0.1%. De entre ellos, el más utilizado es el BHT, porque puede proporcionar restauraciones con resultados más satisfactorios por tener una estabilidad de color más aceptable. (5)

Por otro lado, la reacción de polimerización en las resinas compuestas es iniciada por medio de una radiación electromagnética en forma de luz visible. Para estos sistemas de activación, se requiere que la resina presente un componente orgánico que pueda generar radicales libres. (10) En las resinas compuestas activadas por luz visible, el componente iniciador son las dicetonas, tal como: la Canforquinona (CQ), que está presente en una cantidad de 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.(5,9) La canforquinona es un fotoiniciador que se activa con luz azul, se usa comúnmente en las formulaciones de resina dental y tiene pico de absorción de alrededor de 469 nm. La CQ es un fotoiniciador 'Tipo II' donde, tras la fotoexcitación, extrae un hidrógeno de la amina terciaria donante para producir una especie reactiva que iniciará el proceso de polimerización.(10,11) Es necesario que la resina sea expuesta a una fuente de

luz con la adecuada longitud de onda entre 420 y 500 nanómetros en el espectro de luz visible. Sin embargo, se debe ser cuidadoso en minimizar la exposición de luz hasta que el material esté listo para curar, de otra forma puede comenzar una polimerización prematura y el tiempo de trabajo se puede reducir considerablemente. (12–14)

Se pueden adicionar otros agentes pueden para controlar la cinética de curado, como un sistema acelerador que actúa sobre el iniciador y permite la polimerización en un intervalo clínicamente aceptable como el etil-4-dimetilaminobenzoato EDMAB.(15)

Otra forma común de polimerizar las resinas es a través de la aplicación de calor solo o en conjunto con fotocurado. Este procedimiento es bastante común en las resinas usadas en laboratorio para la fabricación de inlays y onlays. Para los materiales termo-curados, se necesitan temperaturas de 100 °C o más para activar el iniciador. El termo curado luego del fotocurado mejora las propiedades de la resina sobre todo la resistencia al desgaste y la resistencia a la degradación marginal. (4,5,8)

## **2.4 Clasificación de resinas compuestas**

Esta clasificación divide las resinas basado en el tamaño y distribución de las partículas de relleno en: convencionales o macro relleno (partículas de 0,1 a 100µm), micro relleno (partículas de 0,04 µm) y resinas híbridas (con rellenos de diferentes tamaños).(7)

### **2.4.1 Resinas de macro relleno o convencionales**

Tienen partículas de relleno con un tamaño promedio entre 10 y 50 µm (Figura 4). Su desempeño clínico es deficiente y el acabado superficial es pobre, debido a que hay un desgaste preferencial de matriz resinosa, propiciando la prominencia de grandes partículas de relleno las cuales son más resistentes. Además, la rugosidad influencia el poco brillo superficial y produce una mayor susceptibilidad a la pigmentación. (7) Los rellenos más utilizados en este tipo de resinas fueron el cuarzo y el vidrio de estroncio o bario. El relleno de cuarzo tiene buena estética y

durabilidad, pero carece de radiopacidad y produce un alto desgaste al diente antagonista. El vidrio de estroncio o bario son radiopacos pero desafortunadamente son menos estables que el cuarzo.(4)

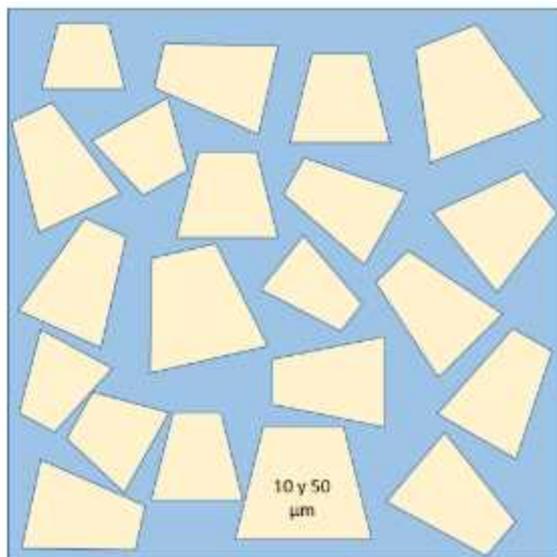


Figura 4 Resinas de macro relleno

#### 2.4.2 Resinas de micro relleno

Estas contienen relleno de sílice coloidal con un tamaño de partícula entre 0.01 y 0.05  $\mu\text{m}$ .(6) Clínicamente estas resinas se comportan mejor en la región anterior, donde las ondas y la tensión masticatoria son relativamente pequeñas, proporcionan un alto pulimento y brillo superficial, confiriendo alta estética a la restauración. (7) Entre tanto, cuando se aplican en la región posterior muestran algunas desventajas, debido a sus inferiores propiedades mecánicas y físicas, ya que, presentan mayor porcentaje de sorción acuosa, alto coeficiente de expansión térmica y menor módulo de elasticidad.

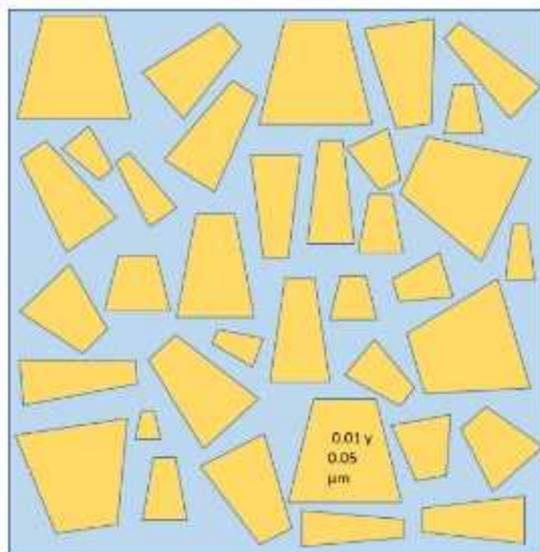
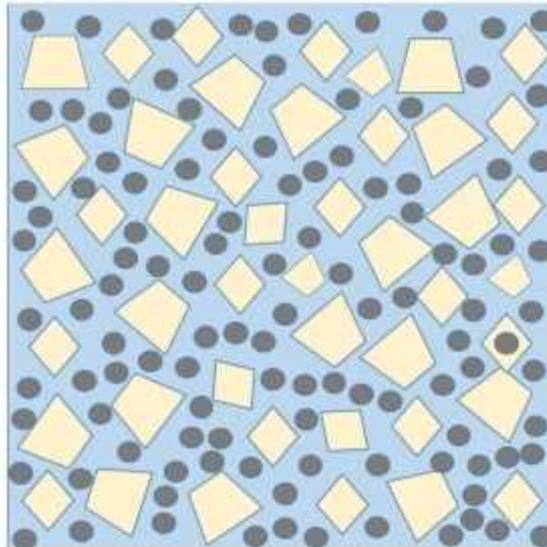


Figura 5 Resinas de micro relleno

### 2.4.3 Resinas híbridas

Este tipo de resinas están reforzadas por una fase inorgánica de vidrios de diferente composición y tamaño en un porcentaje en peso de 60% o más, con tamaños de partículas que oscilan entre 0.6 y 1  $\mu\text{m}$ , incorporando sílice coloidal con tamaño de 0.04  $\mu\text{m}$ . Corresponden a la gran mayoría de los materiales compuestos actualmente aplicados al campo de la Odontología.(4,8)

Los aspectos que caracterizan a estos materiales son: disponer de gran variedad de colores y capacidad de mimetización con la estructura dental, menor contracción de polimerización, baja sorción acuosa, excelentes características de pulido y textura la cual dará uniformidad de la superficie del material de restauración, (9) abrasión, desgaste y coeficiente de expansión térmica muy similar al experimentado por las estructuras dentarias, uso universal tanto en el sector anterior como en el posterior, diferentes grados de opacidad y translucidez en diferentes matices, y fluorescencia.(6,12)



0.6 y 1  $\mu\text{m}$ ,  
incorporando silice  
coloidal con  
tamaño de 0.04  $\mu\text{m}$

Figura 6 Resinas híbridas

#### 2.4.4 Híbridos Modernos

Este tipo de resinas tienen un alto porcentaje de relleno de partículas submicrométricas (más del 60% en volumen). Su tamaño de partícula reducida (desde 0.4 $\mu\text{m}$  a 1.0 $\mu\text{m}$ ), unido al alto porcentaje de relleno provee una óptima resistencia al desgaste y otras propiedades mecánicas adecuadas. Sin embargo, estas resinas son difíciles de pulir y el brillo superficial se pierde con rapidez. (4)

#### 2.4.5 Resinas de nanorelleno

Contienen partículas con tamaños menores a 10 nm (0.01 $\mu\text{m}$ ), este relleno se dispone de forma individual o agrupados en "nanoclusters" o nano agregados de aproximadamente 75 nm. El uso de la nanotecnología en las resinas compuestas ofrece alta translucidez, pulido superior, similar a las resinas de micro relleno, pero manteniendo propiedades físicas y resistencia al desgaste equivalente a las resinas híbridas. (7) Por estas razones, tienen aplicaciones tanto en el sector anterior como en el posterior. (8)

#### **2.4.6 Resinas compuestas de baja viscosidad o fluidas**

En ellas está disminuido el porcentaje de relleno inorgánico y se han eliminado de su composición algunas sustancias o modificadores reológicos cuyo principal objetivo es mejorar las características de manipulación. Entre sus ventajas destacan: la alta humectabilidad de la superficie dental, lo que se traduce en el aseguramiento de penetración en todas las irregularidades de la misma, puede formar espesores de capa mínimos que mejora o elimina el atrapamiento o inclusiones de aire, poseen alta flexibilidad por lo que tiene menos posibilidad de desalajo en áreas de concentración de estrés (procesos consuntivos cervicales y áreas dentinales socavadas), son radiopacas y se encuentran disponibles en diferentes colores. Como inconvenientes, estas resinas poseen una alta contracción de polimerización debido a la disminución del relleno, así como propiedades mecánicas inferiores.(6,8)

Estos materiales son utilizados para restauraciones de clase V, las restauraciones oclusales mínimas o bien como materiales de base en cavidades de clase I o II en zonas con esmalte socavado (7)

#### **2.4.7 Resinas compuestas condensables**

Son las resinas compuestas con alto porcentaje de relleno. En ellas podemos encontrar ventajas y desventajas, por ejemplo:

- Ventajas: la posibilidad de ser condensadas. Mayor facilidad para obtener un buen punto de contacto y una mejor reproducción de la anatomía oclusal.
- Desventajas: difícil adaptación entre una capa de resina compuesta y otra, la dificultad de manipulación y la poca estética en los dientes anteriores, debido a la poca adaptación entre una capa de resina y otra. (6) Su principal indicación es para la restauración de cavidades de clase II con el fin de lograr, gracias a la técnica de condensación, un mejor punto de contacto.(7,8)

## **2.5 Propiedades de las resinas compuestas**

### **2.5.1 Resistencia al desgaste**

Capacidad que poseen de reducir al máximo la pérdida superficial. Esta deficiencia no tiene efecto perjudicial inmediato, pero lleva a la pérdida de la forma anatómica de las restauraciones disminuyendo la longevidad de éstas. Esta 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 y menor el tamaño, será mayor la dureza de sus partículas por lo que la resina tendrá menor abrasividad. (7)

### **2.5.2 Textura Superficial**

Se define 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. (7) 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. (2) Las resinas compuestas de nanorelleno proporcionan un alto brillo superficial.

## **2.6 Consideraciones clínicas**

La razón principal para el reemplazo clínico de los compuestos dentales es la caries secundaria, seguida de fractura. Se propone que el primero esté relacionado con la contracción de la polimerización y el esfuerzo de contracción creado en el enlace interfacial, así como con la durabilidad de este enlace y con la calidad de la colocación de la restauración. La fractura se debe a las limitaciones de las propiedades mecánicas de los materiales, así como a cuestiones relacionadas con el diseño de la cavidad, la cantidad y la calidad de la estructura

dental de apoyo y la oclusión específica. En preparaciones muy profundas se recomienda colocar bloques de 2 mm de espesor, este procedimiento se basa en el deseo de garantizar un curado lo más completo posible, así como para reducir el estrés de contracción generado por la contracción de polimerización del material. (7)

## **2.7 Colocación de resinas compuestas**

Existen diferentes técnicas para la colocación de restauraciones de resina compuesta, entre las que encontramos la técnica directa e indirecta. La selección entre técnica directa e indirecta es un proceso de toma de decisiones desafiante. Las restauraciones compuestas posteriores directas de una sola visita permiten la preservación de la estructura dental. En esta técnica, después del grabado y la aplicación del agente de unión a la cavidad preparada, la restauración con resina compuesta se realiza en incrementos, curando una capa a la vez, lo que permite al profesional esculpir la restauración.(3,16)

Las ventajas de la técnica directa incluyen una mayor resistencia de la estructura dental restante y su posible reparación. Sin embargo, la resistencia mecánica de estas restauraciones es inferior a la de las restauraciones compuestas indirectas. Otras desventajas incluyen el desgaste oclusal y proximal, la rugosidad de la superficie, la decoloración marginal, la pérdida de integridad marginal, la sensibilidad postoperatoria, la caries secundaria, la flexión de la cúspide, la técnica sensible, la unión menos que ideal a la dentina y la baja tenacidad a la fractura.(16)

La técnica indirecta se refiere a la fabricación de la restauración fuera de la cavidad bucal en el laboratorio, luego de lo cual se une al diente con cemento de resina. El proceso de fabricación difiere para las incrustaciones compuestas semidirectas y las incrustaciones indirectas. Para las incrustaciones compuestas semidirectas, primero se aplica un medio de separación al diente preparado. Luego se forma el patrón de resina, se cura a la luz y se retira de la preparación. Luego, la capa rugosa se expone a luz adicional durante aproximadamente 4–6 minutos o se activa por calor a 110 ° C durante 7 minutos, después de lo cual la

preparación se graba, la capa se cementa en su lugar con una resina de doble curado y luego se pule. Esta técnica se puede completar en una sola sesión, ya que elimina la necesidad de tener una impresión de la cavidad.

El sistema de incrustación indirecta requiere una impresión para fabricar la incrustación en el laboratorio. Además del curado por luz convencional y el curado por calor para la polimerización, el procesamiento de laboratorio puede usar calor (140 ° C), presión (0.6 MPa por 10 min) y atmósfera de nitrógeno. Estos materiales tienen propiedades físicas mejoradas, resistencia al desgaste y logran un mayor grado de polimerización. La contracción de la polimerización no se produce en el diente preparado, por lo que se reducen las tensiones inducidas, lo que reduce al máximo la microfiltración.(16)

## **2.8 Pulido, acabado y reparación**

El acabado y pulido que se puede obtener en los materiales compuestos de resina dental es, en cierta medida, una función de su composición, y algunos materiales demuestran una preferencia por ciertos métodos de pulido, en el pasado, los discos de partículas finas proporcionaban el mejor acabado y brillo de la superficie en general para la mayoría de los materiales compuestos, pero estudios más recientes sugieren que si bien el uso de discos sucesivamente más finos sigue siendo muy efectivo, los sistemas de dos pasos y uno, desarrollados recientemente, pueden ser ligeramente mejores. (7)

Una directriz sugiere que un nivel de brillo el 40% es el mínimo clínicamente aceptable. Todos los compuestos se liberan con el tiempo a medida que la superficie se expone a los efectos erosivos y abrasivos de los alimentos, bebidas y otras cosas. Los estudios que examinan la retención del pulimento muestran una diferencia en el mantenimiento de la calidad de la superficie basada en el tipo de partícula de relleno utilizada. (7)

La reparación de resinas compuestas dentales es de suma importancia ya que estudios clínicos recientes han mostrado un aumento en la longevidad clínica

después de la reparación o el resellado de defectos marginales en restauraciones defectuosas. (7)

La mayoría de los odontólogos considerarían reparar una restauración compuesta con un margen defectuoso en el esmalte, aunque la mayoría reemplazaría la restauración si el margen defectuoso estuviera en la dentina. Estos resultados sugieren que la reparación de restauraciones compuestas con márgenes defectuosos en el esmalte se considera de vanguardia y que puede convertirse en el estándar de atención. (7)

El método de reparación ha mejorado poco a lo largo de los años, siendo predominantemente un ejercicio para lograr una fuerte adhesión mecánica a la superficie envejecida. Se han presentado intentos de exposición y unión con grupos de metacrilato residual, pero hay poca evidencia de que este aspecto de la unión sea significativo o superior. (7)

La unión mecánica se logra mediante el desbaste de la superficie intraoral a través de la abrasión por aire, la aplicación de ácido fosfórico para limpiar la superficie de los residuos y el grabado del esmalte disponible, la aplicación de una capa delgada de resina sin relleno para una mejor adaptación a la superficie rugosa, seguida de la colocación del compuesto de resina de elección.(7)

### 3. Antecedentes

Los materiales a base de resina se han utilizado ampliamente en odontología como materiales de restauración (por ejemplo, compuestos de resina, cementos de resina, adhesivos de resina), especialmente debido a su versatilidad y facilidad de aplicación. Los compuestos dentales a base de resina son los materiales de elección para restauración de los dientes anteriores y posteriores. Los fallos anuales de las restauraciones compuestas anteriores y posteriores suelen variar entre el 1% y el 4%. Las características del paciente, la técnica y la experiencia profesional, y la selección de materiales son factores conocidos que pueden afectar el rendimiento clínico de las restauraciones dentales (17).

Las restauraciones dentales de resinas compuestas presentan vida útil limitada en el tiempo, siendo la presencia de lesiones de caries en sus márgenes la principal causa de fracaso, en menor proporción, las fracturas dentarias o de las restauraciones, deterioros marginales, sensibilidades dentarias, pérdidas de relaciones de contacto, manchas o modificaciones de color entre otras.

En caso de fallas en la restauración de materiales compuestos, el dentista tiene tres principales opciones para hacer frente a la restauración defectuosa: reacondicionar, reparar, o reemplazar el material compuesto. En el caso de reacondicionar, esto significa que el material de restauración se ha desalojado por completo, por lo que la restauración se llevará a cabo nuevamente, lo que implica que probablemente será removida estructura sana (17). La reparación es un procedimiento que implica la remoción parcial de la parte defectuosa del diente o de la restauración, que luego será reparada con nuevo material para completar la restauración. En contraste con el reacondicionamiento y la reparación, que podrían considerarse enfoques más conservadores, el reemplazo de una restauración por completo permite eliminar el material de restauración (incluso las partes que pueden parecer clínicamente aceptables) para la colocación de nuevo material. En este enfoque, es prácticamente imposible evitar remover una estructura dental sana durante la preparación de la cavidad, lo que aumenta el

riesgo de lesión de la pulpa, fractura de los dientes e incluso la necesidad de un tratamiento endodóntico(3,17)

La reparación es definida como la remoción de parte de la restauración adyacente al defecto, como cavidad exploratoria, permitiendo el adecuado diagnóstico y la evaluación de la extensión además de la eliminación del defecto y recomendándose la ejecución de retenciones mecánicas que se efectúan al interior de la restauración preexistente, se recomienda el aislamiento absoluto con dique de goma.

Las ventajas de la reparación se resumen como la menor pérdida y preservación de estructura dentaria sana, reducción potencial de daño a la pulpa dental, reducción del dolor, la mayoría de las veces se efectúa sin anestesia, frecuentemente se observa menor daño iatrogénico a los dientes vecinos, acompañado de la reducción del tiempo de tratamiento, reducción de los costos del tratamiento, buena aceptación por parte del paciente e incremento de la longevidad de las restauraciones.(3,17)

La unión entre la resina compuesta envejecida y la resina compuesta nueva agregada se ve afectada por varios factores, como la rugosidad de la superficie, el material intermedio utilizado, el material de reparación utilizado y el tiempo después de la reparación. Cuando una restauración se repara en una cavidad bucal, es probable que la restauración haya estado envejeciendo durante mucho tiempo en un ambiente húmedo. Esto significa que se ha alcanzado la saturación de agua de la resina compuesta y que la actividad de los radicales libres ha terminado. El agua absorbida provoca el ablandamiento de la matriz, la formación de microretenciones, la degradación de la resina y la separación de las interfaces de relleno-matriz. Sin embargo, no hay consenso para los regímenes de envejecimiento que simulan las condiciones orales. (17)

Los estudios han demostrado que las reparaciones de resinas compuestas pueden mejorar la longevidad clínica de las restauraciones dentales. Sin embargo, no existe un protocolo o material estándar establecido para tratar las superficies compuestas envejecidas antes de la reparación. A pesar del hecho de que los

tratamientos de superficie antes de la reparación no son el foco de los estudios clínicos, la literatura es abundante con evidencias de laboratorio sobre diferentes enfoques para mejorar el potencial de reparación de las resinas compuestas. Estos estudios generalmente incluyen la evaluación de tratamientos físicos, químicos o de asociación entre los tratamientos físicos y químicos en la superficie de la resina compuesta para buscar una mejor unión con el material de reparación. (17)

### **3.1 Métodos de reparación físicos**

Establecer una unión fuerte y duradera de compuesto a compuesto no es tan trivial como puede parecer en el aspecto de que la composición química del material compuesto de resina que sirve como sustrato y el material compuesto de resina adherida es básicamente idéntica. Como resultado del número limitado de grupos de metacrilato reactivos después de la polimerización y la absorción de agua en el compuesto preexistente, el compuesto de reparación no se puede unir eficazmente a restauraciones antiguas sin un tratamiento de superficie adecuado. Se ha rechazado la suposición de que la preparación adicional de macro retención mejora la reparación del compuesto, lo que indica que la producción de una superficie micro retentiva en el compuesto antiguo es un factor importante en para lograr altas fuerzas de unión de reparación. Se han propuesto una serie de protocolos de tratamiento de superficie para mejorar la resistencia de la unión de reparación a compuestos tanto envejecidos como no envejecidos con resultados contradictorios, que incluyen trituración, grabado ácido y arenado con diferentes tipos y tamaños de partículas. (17,18)

En la mayoría de las situaciones clínicas, la remoción mecánica de algunas porciones del material de restauración preexistente es el paso inicial de la reparación. Este procedimiento es generalmente realizado mediante el uso de fresas o abrasión de aire. (18)

Algunos estudios han evaluado el efecto de tratamiento de superficie puramente mecánicos, que consisten en el arenado con partículas de óxido de aluminio u óxido de silicio. (18) Se ha informado que la rugosidad mecánica con

dispositivos que producen más micro retenciones mejora la resistencia de la unión de reparación, tales como el arenado y el pulido o desgaste con fresas diamantadas. (18)

El arenado es un procedimiento complejo que siempre ha sido problemático y puede causar daños en la superficie de la resina y ocasionar el crecimiento de fisuras. (19) Diversos estudios han comprobado que el arenado de las superficies provoca valores más altos de rugosidad comparado con procedimientos de fresado.(19) En el caso del arenado, se anticipa una remoción severa, aleatoria o localizada, debido al impacto de las partículas de arena con la superficie, lo que podría crear fracturas en el lugar del impacto, y varios surcos profundos y, en consecuencia, un aumento de los valores de rugosidad. Además, durante el arenado, pueden generarse calor, agrietamiento, astillado y tensiones residuales, a partir de las cuales se inician fallas de reducción de la resistencia. (19) Por otro lado, el pulido con una fresa gruesa recubierta de diamante seguida de un grabado con ácido fosfórico tiende a producir fuerzas de unión de reparación más bajas que la limpieza con arena con óxido de aluminio, lo que confirma que el tratamiento con fresas revestidas con diamante produce menos micro retenciones que la limpieza con arena.

En resumen, los tratamientos físicos de superficie son capaces de disolver o eliminar la matriz de polímero que cubre las fibras de vidrio o partículas, creando un escenario adecuado para que los agentes de acoplamiento de silano interactúen con la sílice. Para el agente adhesivo, la mayor rugosidad de la superficie contribuye a la retención mecánica, mejorando la resistencia de unión de los materiales de reparación. (17)

### **3.2 Métodos de reparación químicos**

Recientemente, se han introducido primers de adhesión para mejorar la unión a los compuestos. Se debe determinar la resistencia de la unión al cizallamiento de la nueva resina compuesta al compuesto envejecido, utilizando varios primers de adhesión. (20)

El tratamiento adhesivo llevado a cabo después del desbaste mecánico también tuvo un efecto significativo en la resistencia de la unión de reparación. La tendencia general fue que los tratamientos adhesivos mejoraron la resistencia de la unión de reparación. Esto está de acuerdo con los resultados de estudios previos y puede atribuirse a los adhesivos que se filtran y nivelan el micro relieve producido por la rugosidad mecánica (1).

La falta de una zona de interdifusión de resina o una capa híbrida comparable a la observada en la unión del esmalte y la dentina sugiere que el contacto entre el adhesivo y el compuesto reparado está limitado a la superficie. (18) El tratamiento adhesivo llevado a cabo después del desbaste mecánico también tuvo un efecto significativo en la resistencia de la unión de reparación. La tendencia general fue que los tratamientos adhesivos mejoraron la resistencia de la unión de reparación. (18)

Cuando una restauración se repara en una cavidad bucal, es probable que la restauración haya estado envejeciendo durante mucho tiempo en un ambiente húmedo. Esto significa que se ha alcanzado la saturación de agua de la resina compuesta y la actividad de los radicales libres ha terminado. El agua absorbida provoca el reblandecimiento de la matriz, la formación de micro irregularidades, la degradación de la resina y la separación de las interfaces de relleno-matriz (21).

Existen tres posibles mecanismos para la reparación de las resinas compuestas: la formación de enlaces químicos a la matriz, los enlaces químicos a las partículas de relleno expuestas y la retención micromecánica causada por la penetración de los componentes monoméricos a las micro irregularidades en la matriz. Estudios previos demostraron que el uso de resina intermedia a base de dimetacrilato de baja viscosidad sin relleno puede mejorar la unión, independientemente de la textura de la superficie creada por los diferentes tratamientos de superficie. La aplicación de una combinación de imprimación de silano y monómero, seguido de la aplicación de resina adhesiva sin relleno, mostró los valores más altos de resistencia de la unión al cizallamiento. De igual forma, la aplicación de un agente de acoplamiento de silano sobre la superficie de una

resina compuesta favorece la interacción de una resina adhesiva. De hecho, el tratamiento con silano de partículas de relleno expuestas en el material compuesto resulta en la formación de enlaces de siloxano entre las partículas de relleno y la matriz polimérica. (20)

## 4. Justificación

El reto de crear restauraciones hechas a base de resina que resistan por mucho más tiempo ha hecho que en la odontología se modifique la manera de brindar cuidados a dichas restauraciones. Un concepto que ha tomado fuerza es la reparación de las resinas compuestas; pues con esto buscamos que las restauraciones que llegan a sufrir algún daño sean más factibles de poder restaurarlas sin utilizar una técnica invasiva como lo es el reemplazo total de la restauración.

Con la reparación se busca que solo la sección de restauración que presente algún daño sea reparada sin intervenir en la porción que este en buen estado, ya que al reemplazar toda se pone en riesgo el estado de los tejidos dentales remanentes, con la reparación buscamos una manera de preservar aún más la salud del órgano dentario.

Debemos tomar en cuenta que la reparación es un método complicado, debido a la naturaleza de los sustratos. En este trabajo de investigación se experimentará con diversos sustratos para así determinar cuáles son los más efectivos a usarse y que muestran mejor biocompatibilidad tanto con el tejido dental remanente como con la restauración anterior garantizando así un mayor éxito en dicha restauración y mejor funcionabilidad del órgano dentario.

## **5. Hipótesis**

En este estudio, la hipótesis nula a ser evaluada es que los diferentes protocolos de adhesión utilizados no tendrán un efecto significativo en la resistencia de unión al cizallamiento de las reparaciones hechas a un sustrato de resina compuesta envejecida.

## **6. Objetivo General**

Evaluar el efecto de diferentes protocolos de tratamiento de superficie en la resistencia de unión al cizallamiento de resinas compuestas utilizadas como material de reparación a sustratos de resinas compuestas envejecidas.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar la resistencia de unión al cizallamiento de reparaciones realizadas con resina compuesta a un sustrato envejecido de resina compuesta fotopolimerizable utilizando diferentes protocolos de reparación.
- Evaluar el modo de falla de los diferentes protocolos de reparación ejecutados.

## 7. Material y Métodos

### 7.1 Diseño Experimental

En este estudio, la resistencia de unión al cizallamiento de reparaciones realizadas a un sustrato envejecido de resina compuesta (IPS Empress Direct, Ivoclar-Vivadent), fue evaluada de acuerdo con diferentes protocolos de tratamiento de superficie en siete niveles (Figura 7): (1) aplicación de agente silano (Silano®, Ultradent); (2) aplicación de sistema adhesivo universal sin silano en su composición (Tetric Bond Universal, Ivoclar-Vivadent); (3) aplicación de agente silano + adhesivo universal sin silano en su composición; (4) aplicación de sistema adhesivo universal con silano en su composición (Single Bond Universal, 3M ESPE); (5) aplicación de agente silano + sistema adhesivo universal con silano en su composición; (6) aplicación de adhesivo sin solventes (Clearfil SE Bond, Kuraray); y (7) aplicación de agente silano + adhesivo sin solventes (Clearfil SE Bond, Kuraray). Un grupo sin la aplicación de agentes de tratamiento de superficie fue utilizado como control. De igual forma, se utilizó un grupo de referencia para determinar la resistencia cohesiva de la resina compuesta (17). Los materiales utilizados y su composición, se resumen en la Tabla 1.

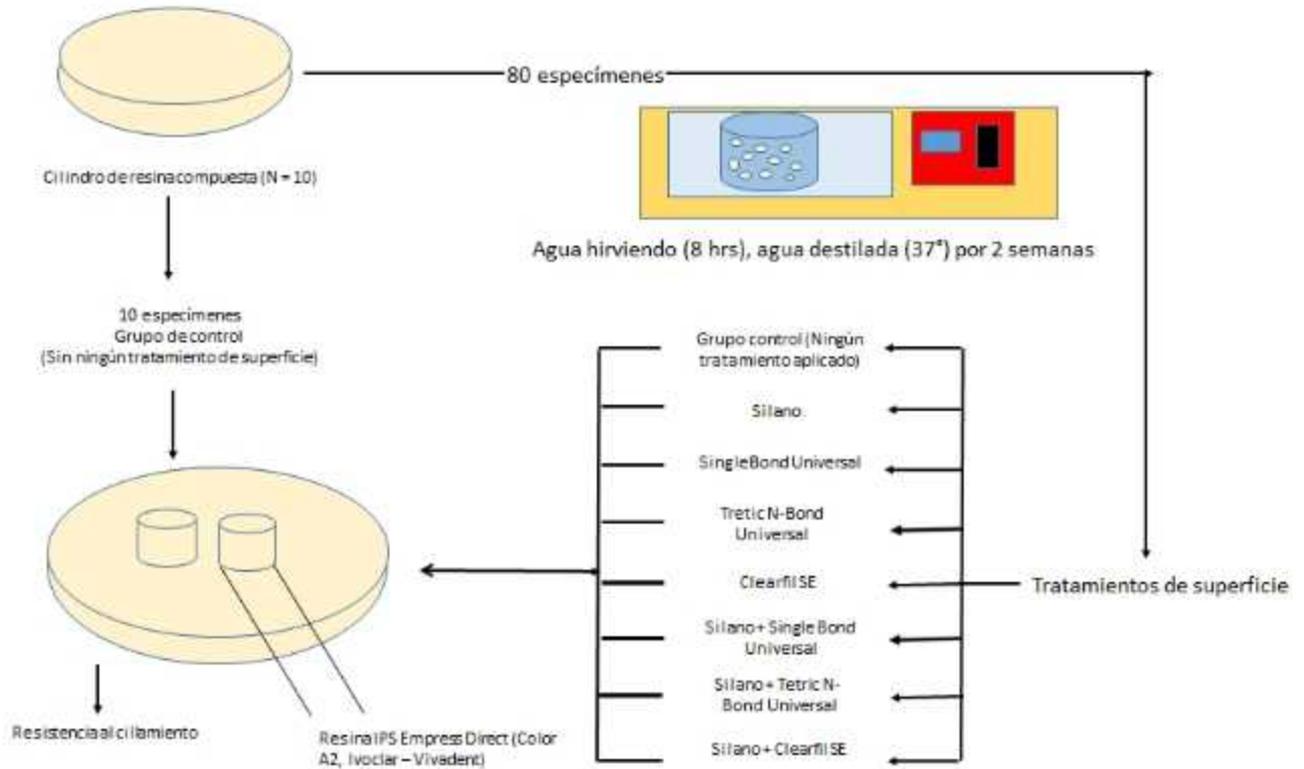


Figura 7 Diseño experimental

Tabla 1 Materiales utilizados en el estudio

Nombre	Fabricante	Composición**	Modo de aplicación
<b>IPS Empress Direct</b>	Ivoclar-Vivadent	dimetacrilato de uretano, trifluoruro de iterbio, dimetacrilato de dimetanol triciclodocano, Bis-GMA	Aplicar en capas de 2 mm de grosor. Fotopolimerizar por 10 segundos.
<b>Silano</b>	Ultradent	Metacriloxi propil trimetoxisilano, alcohol isopropílico	Aplicación con un microbrush por 5 segundos. Permitir evaporación por 60 segundos. Secar con aire.
<b>Tetric N-Bond Universal</b>	Ivoclar-Vivadent	2-hidroxietil metacrilato, Bis-GMA, etanol, 1,10-decandiol dimetacrilato, éster de ácido fosfórico metacrilato, CQ, DMAEMA	Dispensar la cantidad deseada en un microbrush. Frotar el adhesivo sobre la superficie durante 20 segundos. Dispersar con aire comprimido Fotopolimerizar durante 10 segundos.
<b>Single Bond Universal</b>	3M ESPE	alcohol etílico, bisfenol a diglicidil éter, dimetacrilato (Bis-GMA), sílice tratada con silano, 2-hidroxietil metacrilato (HEMA), 2-hidroxi-1,3-dimetacriloxipropano, copolímero de acrílico e itacónico ácidos, dimetacrilato de diuretano (UDMA), agua, hexafluorofosfato de difenilodonio	Aplicar adhesivo con un microbrush durante 20 segundos. Aplicación de aire por 5 segundos. Fotocurar por 10 segundos.
<b>Clearfil SE Bond</b>	Kuraray	Bis-GMA, HEMA, 10-MDP, dimetacrilato alifático hidrofóbico, sílica coloidal, canforquinona.	Aplicar el material a las superficies preparadas del esmalte/dentina con un movimiento de frotación ligero durante 15 segundos. Secar con aire 5 segundos

Bis-GMA: bisfenol glicidil metacrilato; HEMA: 2-Hidroxietil metacrilato; UDMA: Dimetacrilato de uretano; CQ: Canforquinona; DMAEMA: 2-dimetilaminocetil metacrilato; 10-MDP: 10-metacriloxideciloftato dihidrogenado.

## **7.2 Fabricación de los especímenes y procedimientos de envejecimiento**

Se fabricaron 80 probetas cilíndricas ( $n = 10$ ; 5 mm de diámetro y 2 mm de grosor), para las cuales se utilizó resina IPS Empress Direct (Color A2; Ivoclar-Vivadent). Se colocó un portaobjetos como base, encima de este una tira de celuloide para evitar que la resina se adhiriera al portaobjetos, y sobre la tira de celuloide se puso un molde cilíndrico de silicón por adición. Enseguida, el molde fue llenado con la resina sin polimerizar, y posteriormente fueron colocados otra tira de celuloide y encima otro portaobjetos, a fin de hacer presión para obtener una muestra de resina cilíndrica y uniforme, así como para eliminar los excedentes.

Posterior a este paso y siguiendo las indicaciones del fabricante, el material fue fotocurado por cada lado de la resina por un tiempo de 10 segundos, utilizando una unidad de fotopolimerización tipo LED Bluephase I® (Ivoclar-Vivadent) a una irradiancia de  $1400 \text{ mW/mm}^2$ . La intensidad de la unidad de fotopolimerización fue monitoreada periódicamente utilizando un radiómetro Bluehill meter (Ivoclar-Vivadent).

Una vez polimerizadas, las probetas fueron retiradas de los moldes y todas las irregularidades fueron eliminadas con una lija de carburo de silicio grano 600 y almacenadas en frascos de vidrio color ámbar. Posteriormente, las probetas fueron sometidas a un proceso de envejecimiento artificial sumergiéndolas en agua hirviendo durante 8 horas y luego almacenadas en agua destilada a  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  durante dos semanas (20).

Una vez terminado el proceso de envejecimiento, las probetas fueron embebidas en tubos de PVC, utilizando resina acrílica de autocurado. Para dicho procedimiento, las probetas fueron colocadas en una loseta de vidrio cubierta con una tira de cinta adhesiva, sobre la cual se colocó un cilindro de PVC, de manera que la probeta quedaba posicionada en el centro del mismo. Posteriormente, se realizó una mezcla de acrílico autocurable transparente la cual fue vertido dentro de los tubos de PVC. Una vez polimerizada, el conjunto PVC, resina acrílica y probeta fue separada de la cinta y las superficies expuestas fueron tratadas con

una lija de carburo de silicio con granulometría 600 para obtener superficies planas y estandarizadas (Figura 8).



Figura 8 Especímenes de resina compuesta embebidas en resina acrílica dentro de tubos de PVC.

### **7.3 Procedimientos de reparación y prueba de resistencia de unión al cizallamiento**

Los especímenes envejecidos fueron divididos aleatoriamente en 8 grupos ( $n=10$ ) y asignados a los siguientes protocolos adhesivos (Tabla 1 y Figura 9):

1. Grupo control: Ningún tratamiento fue aplicado en la superficie del disco.
2. Grupo silano: Con la ayuda de un microbrush, colocar el silano en la superficie siguiendo las instrucciones del fabricante.
3. Grupo SBU: Con la ayuda de un microbrush, el adhesivo Single Bond Universal fue aplicado en la superficie del substrato siguiendo las instrucciones del fabricante.
4. Grupo TBU: Con la ayuda de un microbrush el adhesivo Tetric N-Bond Universal fue aplicado en la superficie del substrato siguiendo las instrucciones del fabricante.
5. Grupo CSB: Con la ayuda de un microbrush se colocó el adhesivo Clearfil SE sobre la superficie de la resina siguiendo las indicaciones del fabricante.
6. Grupo S+SBU: Con la ayuda de un microbrush se colocó silano sobre la superficie del substrato siguiendo las instrucciones del fabricante, posterior a

esto se colocó el adhesivo Single Bond Universal, siguiendo sus respectivas indicaciones.

7. Grupo S+TBU: Con la ayuda de un microbrush se colocó silano sobre la superficie del substrato siguiendo las indicaciones del fabricante, posteriormente se colocó adhesivo Tetric Bond Universal, siguiendo sus respectivas indicaciones.
8. Grupo S+CSB: Con la ayuda de un microbrush se colocó silano sobre la superficie del substrato siguiendo las indicaciones del fabricante, posteriormente se colocó adhesivo Clearfil SE Bond, siguiendo sus respectivas indicaciones.

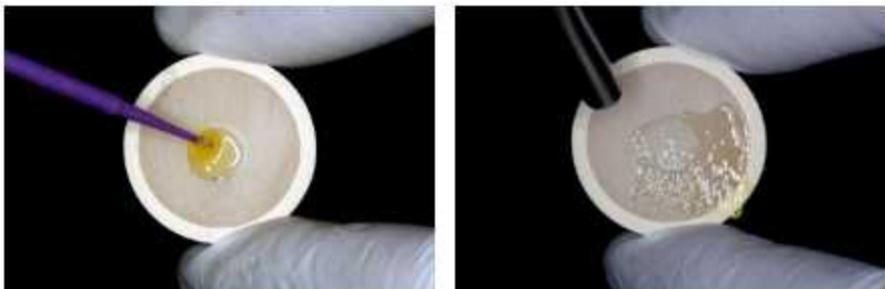


Figura 9. Aplicación del sistema adhesivo (izquierda) y evaporación de solventes con chorro de aire (derecha).

Una vez aplicados los diferentes tratamientos de superficie, un molde de silicón por adición con dos orificios cilíndricos (1.5 mm de diámetro y 1 mm de grosor) fue fijado en la superficie de la resina envejecida (Figura 10). En cada uno de los orificios fue colocada resina (IPS Empress Direct) con ayuda de una espátula. Una vez compactada dentro de los orificios, se colocó encima una tira de celuloide y sobre esta un portaobjetos y todo el conjunto fue fotocurado por 20 segundos (Figura 11). Una vez completada la polimerización, el conjunto portaobjetos, tira de poliéster y molde de silicón fue removido cuidadosamente, dejando al descubierto dos cilindros de resina compuesta adheridos a la superficie de resina envejecida (Figura 12).

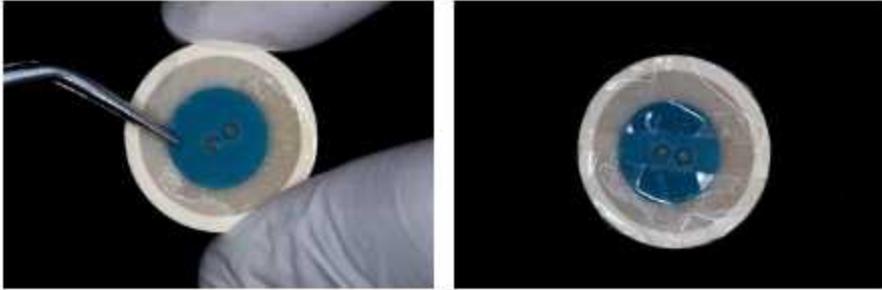


Figura 10 Fijación de la matriz de silicón.

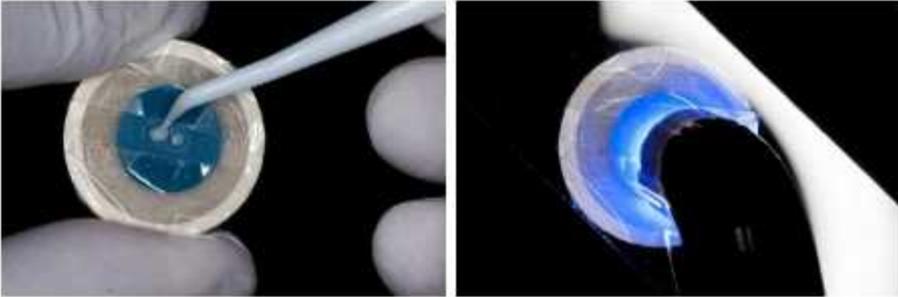


Figura 11 Compactación de la resina compuesta (izquierda) y foto activación (derecha).



Figura 12 Remoción de la matriz de silicón.

Todos los especímenes fueron almacenados en agua destilada a 37 °C antes de la prueba de cizallamiento (Figura 13). Para la prueba de cizallamiento, un alambre de ortodoncia de acero inoxidable (0.2 mm de diámetro) fue adaptado alrededor de cada uno de los cilindros y alineado con la superficie de unión. La prueba de resistencia de unión al cizallamiento fue realizada en una máquina universal de ensayos mecánicos Instron 4465 a una velocidad de 1 mm/min hasta la falla (Figura 14).



Figura 13 Almacenamiento de los especímenes en agua destilada.

La resistencia de unión fue calculada considerando la fuerza necesaria para el desprendimiento del espécimen (N) y el área de unión de las reparaciones (1.77 mm<sup>2</sup>). Posterior al ensayo de cizallamiento, los especímenes fueron observados en un estereomicroscopio para determinar el modo de falla y clasificarlo en adhesivo, mixto o cohesivo. Se observaron especímenes representativos de cada modo de falla en un microscopio electrónico de barrido JSM-IT300 (JEOL, Tokio, Japón).



Figura 14 Ensayo de resistencia de unión por cizallamiento.

#### **7.4 Análisis estadístico**

Las pruebas estadísticas se realizaron con el software Sigma Plot 12.0. Los datos se analizaron para verificar la distribución normal y la homogeneidad de la varianza. Se realizó una prueba ANOVA de dos vías para analizar el efecto de la aplicación del agente silano y del agente adhesivo utilizado para la reparación en la resistencia de unión al cizallamiento. El modo de falla fue analizado utilizando la prueba de chi-cuadrada. Para todas las pruebas, el nivel de significancia se estableció en  $\alpha < 0.05$ .

## 8. Resultados

En la Figura 15 se muestran los valores de la resistencia de unión al cizallamiento de las reparaciones hechas en las resinas envejecidas. De acuerdo al análisis estadístico, la aplicación previa de silano no afectó significativamente la resistencia de unión ( $p = 0.504$ ), por el contrario, el tipo de agente de adhesivo utilizado sí impactó significativamente ( $p < 0.001$ ). El análisis de la interacción de ambos factores no demostró significancia estadística ( $p = 0.770$ ). El grupo control mostró los valores más bajos de resistencia de unión. Por otro lado, la resistencia de unión al cizallamiento fue significativamente mayor cuando se utilizó el adhesivo Clearfil SE Bond ( $p < 0.05$ ), siendo que los valores alcanzados fueron similares a los obtenidos con el grupo de referencia ( $p > 0.05$ ).

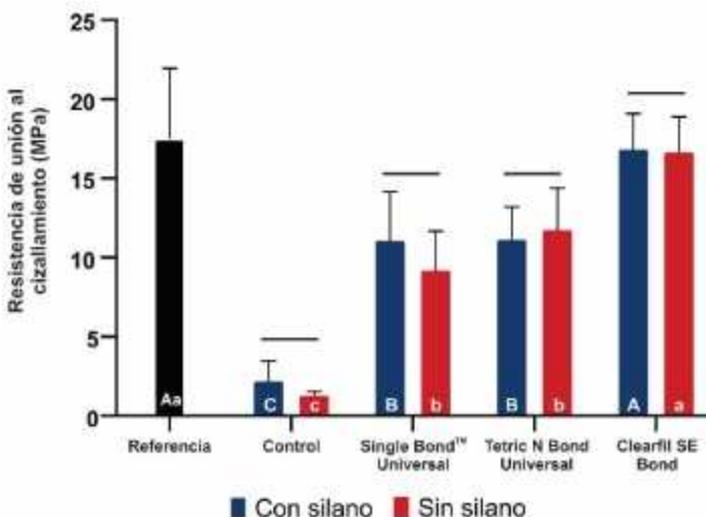


Figura 15 Resistencia de unión al cizallamiento de los procedimientos de reparación realizados. Letras mayúsculas iguales, indican la ausencia de diferencias estadísticamente significativas cuando la técnica de reparación involucró el uso de un agente silano como paso previo. Letras minúsculas iguales, indican la ausencia de diferencias estadísticamente significativas cuando no se usó agente silano previo a los procedimientos de reparación. Las columnas debajo de la misma línea horizontal indican la ausencia de diferencias entre el uso o no de silano como paso previo para cada agente adhesivo utilizado.

La Figura 16 muestran las frecuencias de los modos de falla observados después del ensayo de resistencia de unión. De acuerdo con la prueba de chi-cuadrada, independiente a la aplicación de silano como paso previo, la variabilidad en la distribución de los diferentes modos de falla fue estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ). El grupo control presentó una mayoría de modos de falla de tipo adhesiva, mientras que el grupo reparado con Clearfil SE Bond presentó un 100% de fallas cohesivas. En lo que respecta a los grupos evaluados con los adhesivos universales, la mayoría de las fallas observadas fueron cohesivas y mixtas.

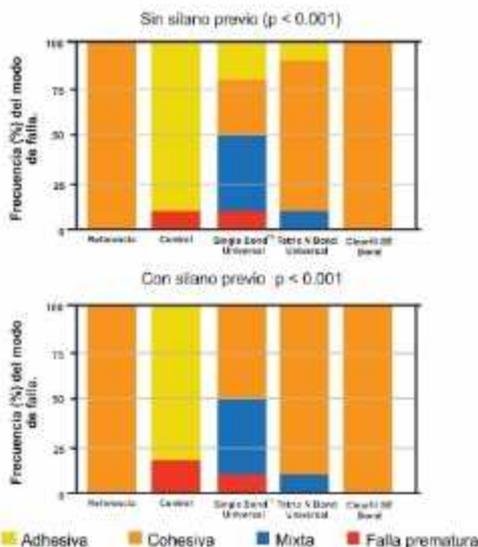


Figura 16 Distribución del modo de falla entre los diferentes grupos.

La Figura 17 muestra las imágenes representativas para cada modo de falla obtenidas a través de la técnica de microscopía electrónica de barrido.

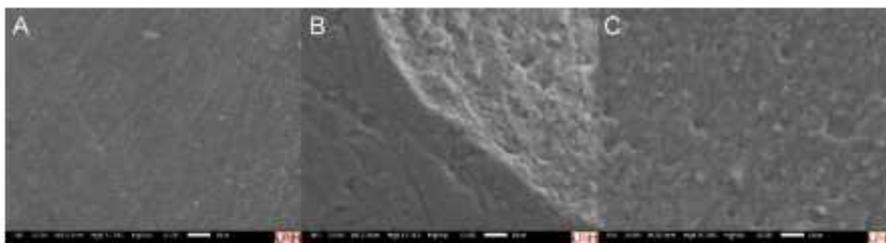


Figura 17 Imágenes representativas de los diferentes modos de falla. (A) falla adhesiva; (B) falla mixta; (C) falla cohesiva.

La Figura 18 muestra los espectros de dispersión de energía de rayos X de las superficies del modo de falla adhesivo (izquierda) y el modo de falla cohesivo (derecha). En ambos casos, la concentración aparente de silicio determinada fue de entre 35.73% y 36.76%.

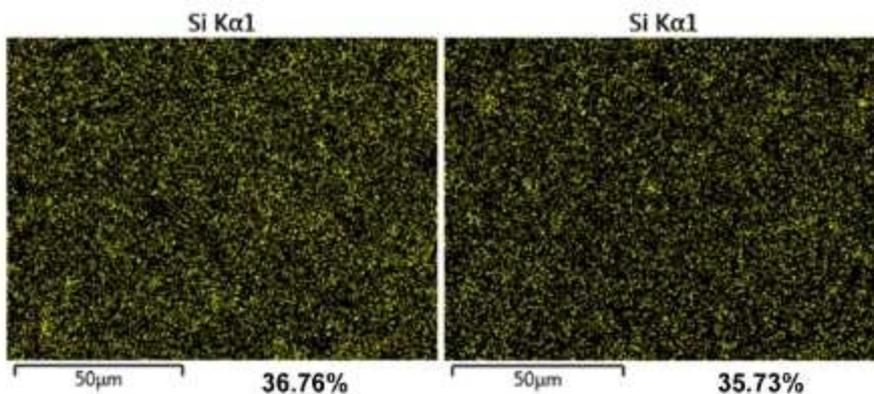


Figura 18 Espectros de EDS de las superficies de resina de una falla adhesiva (izquierda) y falla cohesiva (derecha).

## 9. Discusión

Para la realización exitosa de un procedimiento de reparación de una resina, algo que se debe tener muy en cuenta es la capacidad de adhesión que la reparación tendrá a la restauración previa ya existente. Establecer una adecuada adhesión entre los dos sustratos poliméricos es el objetivo ideal a cumplir en los protocolos de reparación(22). La reparación siempre generará un enorme desafío clínico, esto debido a que en las superficies de las resinas compuestas que están envejecidas, no existen una cantidad apreciable de metacrilatos con dobles enlaces que faciliten la unión del nuevo material. Debido a esto, la elección de un agente intermediario que promueva una interacción química es un factor que beneficia en gran medida la resistencia de la reparación, generando mayores valores de la fuerza adhesiva y sugiriendo un patrón más efectivo para la retención mecánica(23,24).

En el presente estudio, se realizó un análisis utilizando diversos sistemas adhesivos como agente intermediario a los procedimientos de reparación, de igual forma, se comprobó si la aplicación previa de un agente silano podía ofrecer una mayor resistencia de unión. De acuerdo con los resultados obtenidos, el grupo en donde no fue utilizado un sistema adhesivo como agente intermediario obtuvo los valores más bajos. Este comportamiento fue independiente a la aplicación previa o no de agente silano.

Los bajos valores obtenidos con el grupo control eran esperados, y confirman que el protocolo de envejecimiento utilizado en este trabajo fue adecuado para conseguir una máxima polimerización de la resina compuesta, promoviendo la ausencia de dobles enlaces disponibles para la copolimerización con el nuevo material. De igual forma, y analizando que el modo de falla predominante en este grupo fue de tipo adhesivo, queda demostrado que, con la ausencia de un agente intermediario, existe poca o muy nula interacción física o química entre los materiales evaluados.

En este estudio, dos sistemas adhesivos universales fueron utilizados como tratamientos químicos de superficie antes de los procedimientos de reparación. La

elección de estos sistemas adhesivos se basó en el hecho de que, según el fabricante, están indicados para promover la unión entre resinas compuestas y diferentes sustratos, incluyendo resinas compuestas, cerámicas dentales y aleaciones (15). Los adhesivos universales utilizados fueron Tetric N Bond Universal y Single Bond Universal, cuya principal diferencia entre ellos radica en que este último contiene un agente organosilano en su composición, que según el fabricante permite la eliminación del paso previo de la silanización cuando se usa para la cementación de cerámicas vítreas y resinas compuestas.

Los resultados obtenidos para este grupo demostraron que la efectividad de estos materiales para promover unión entre resinas compuestas es independiente de la presencia del agente silano. La ausencia de cualquier efecto positivo del silano contenido en el adhesivo universal podría explicarse debido a la baja estabilidad que este compuesto tiene dentro del frasco, donde, debido a la solución adhesiva ácida presente en estos materiales, los grupos silanol formados por hidrólisis pueden sufrir deshidroxilación y condensación, formando oligómeros que no son capaces de unirse al vidrio. (22,25,26)

Por otro lado, es importante mencionar que los valores de resistencia de unión alcanzados con estos adhesivos no fueron suficientes para igualar los valores obtenidos por el grupo de referencia. A pesar de esto, un gran número de fallas de tipo cohesiva fueron observadas, lo que nos permite identificar que el uso de este tipo de sistemas adhesivos provee una adecuada interacción entre el sustrato y el material de reparación.

El análisis estadístico reveló que los especímenes restaurados utilizando como agente intermediario al adhesivo Clearfil SE Bond obtuvieron los mayores valores de resistencia de unión al cizallamiento, los cuales fueron significativamente superiores a los valores conseguidos con los adhesivos universales. De igual forma, todas las fallas observadas fueron de tipo cohesiva, lo que nos hace suponer que el uso de este agente intermediario promueve una excelente interacción entre los sustratos evaluados. A diferencia de los otros adhesivos utilizados en este estudio, Clearfil SE Bond es un adhesivo que no

contiene solventes en su composición, lo que garantiza una eficiencia máxima en el proceso de polimerización del material. Como ya es conocido, la incompleta evaporación de solventes en un sistema adhesivo puede provocar una polimerización deficiente en el material, comprometiendo las propiedades mecánicas del polímero y, por lo tanto, la calidad de la interfase de unión (17).

Así mismo, es importante destacar que el grupo restaurado utilizando el adhesivo Clearfil SE consiguió igualar a los valores obtenidos por el grupo de referencia. Los valores del grupo de referencia fueron obtenidos calculando la resistencia cohesiva de la resina compuesta y representan el valor máximo que puede obtenerse en un ensayo de este tipo. En este sentido, el objetivo final de un procedimiento de reparación es reestablecer los valores originales de resistencia cohesiva del material, hecho que fue conseguido con este sistema adhesivo (1).

Finalmente, este estudio evaluó si la aplicación de un agente silano como paso previo podría ofrecer un aumento en los valores de la resistencia de unión. De acuerdo con el análisis estadístico, en ninguno de los casos la aplicación del agente silano aumentó significativamente los resultados. A pesar de que se conoce que el agente silano mejora la humectabilidad de la superficie, haciéndola más susceptible a la difusión del agente de unión en el sustrato, (24) el resultado obtenido en el presente trabajo puede explicarse por el hecho de que la unión química de este compuesto con la superficie de la resina compuesta depende de la disponibilidad de sílica (17). De acuerdo con los espectros de dispersión de energía de rayos X obtenidos, la concentración aparente de silicio en la superficie fue de apenas 36%, en las condiciones que se probaron en el presente estudio es probable que la mayoría de las partículas inorgánicas de la resina compuesta estén aun recubiertas por el polímero que compone la matriz orgánica del material, lo que impediría la formación de enlaces de tipo siloxano entre el agente silano y el óxido de silicio.

Considerando también que el uso del agente silano no perjudicó a la resistencia de unión de los materiales, se puede deducir que la aplicación de este agente no puede ser necesaria o, si se realiza, no se pone en riesgo la interfaz de

unión(22,26), lo que hace interesante evaluar los resultados que se tendrían después de cierto tiempo de envejecimiento de la interfaz adhesiva.

Por último, es importante mencionar que los mismos protocolos evaluados para los procedimientos de reparación de resinas compuestas pueden aplicarse en la cementación de restauraciones indirectas hechas a base de resina. En este sentido, la aplicación de un agente adhesivo sin solventes previo a la cementación con un cemento resinoso podría garantizar una adecuada unión entre ambos materiales adherentes.

## 10. Conclusiones

Dentro de las limitaciones de este estudio *in-vitro*, es posible concluir que el uso de un agente adhesivo sin solventes aumenta la resistencia de unión de reparaciones hechas a substratos de resina compuesta envejecidas artificialmente. De igual forma, la aplicación de un agente de acoplamiento silano previo a las reparaciones no mejoró la resistencia de unión, y este efecto fue observado cuando el silano es incorporado dentro de la formulación de un sistema adhesivo universal.

## Bibliografía

1. Valente LL, Sarkis-Onofre R, Gonçalves AP, Fernández E, Loomans B, Moraes RR. Repair bond strength of dental composites: systematic review and meta-analysis. *Int J Adhes Adhes* [Internet]. 2016;69:15–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.03.020>
2. G. Moncada, P. Vildósola, E. Fernández, J. Estay JM. Aumento de longevidad de restauraciones de resinas compuestas y de su unión adhesiva. Revisión de tema. *Rev Fac Odontol*. 2015;27(1):127–53.
3. P. Baldión, D. Vaca, C. Álvarez DA. Estudio Comparativo De Las Propiedades Mecanicas De Diferentes Tipos De Resina Compuesta. *Rev Colomb Investig en Odontol*. 2010;1(3):51–9.
4. D. Rodriguez NP. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta odontológica Venez*. 2008;46(3):381–92.
5. C. Carrillo MM. Materiales de resinas compuestas y su polimerización Parte I. *Rev la Asoc Dent Mex*. 2009;65(4):10–7.
6. A. Hervás, M. Martínez, J. Cabanes , A. Barjau PFG. Resina compuesta. Revisión de los materiales e indicación clínica. *Med Oral* [Internet]. 2006;215–20. Available from: <http://www.medicinaoral.com/medoralfree01/v11i2/medoralv11i2p215e.pdf>
7. Ferracane JL. Resin composite - State of the art. *Dent Mater*. 2011;27(1):29–38.
8. R. Krishna, M. Shamma AD. Dental Composites - A Versatile Restorative Material: An Overview. *Indian J Dent Sci*. 2013;5(5):111–5.
9. C. Meereis, E. Münchow, W. da Rosa, A. da Silva EP. Polymerization shrinkage stress of resin-based dental materials: A systematic review and meta-analyses of composition strategies. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2018;82:268–81. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.03.019>
10. S. Singh, B. Rajkumar, V. Gupta AA. Current photo-initiators in dental materials. *Int J Appl Dent Sci* [Internet]. 2017;3(1):17–20. Available from: [www.oraljournal.com](http://www.oraljournal.com)
11. A. Santini, I. Torres CF. Photoinitiators in Dentistry: A Review. *Prim Dent J*. 2014;2(4):30–3.
12. C. Sanz JB. Rehabilitación de la sonrisa mediante resinas compuestas. *Gaz Dent*. 2013;(1):126–38.
13. G. Lima, A. Moreira, C. Meereis, G. Lima, F. Leal, R. Moraes, F. Ogliari, C. Petzhold EP. Long-term bonding efficacy of adhesives containing benzodioxoles as alternative co-initiators. *Braz Oral Res*. 2018;32(0):1–8.

14. M. Moradas BÁ. Dinámica de polimerización enfocada a reducir o prevenir el estrés de contracción de las resinas compuestas actuales. Revisión bibliográfica. *Av Odontoestomatol.* 2017;33(6):261–72.
15. S. Prolongo, A. Santamaría, M. Campo, R. Morichea, M. Prolongob AU. Resinas fotocurables nanorreforzadas. *Rev AEMAC* [Internet]. 2018;vol2(1):15–9. Available from: <https://ojs.aemac.org/materiales-compuestos/article/view/73/38>
16. R. Abdul NM. Clinical performance of direct versus indirect composite restorations in posterior teeth: A systematic review. *J Conserv Dent.* 2018;21(4):373–7.
17. L. Valente, R. Sarkis, A. Gonçalves EF. Repair bond strength of dental composites: systematic review and meta-analysis. *Int J Adhes Adhes* [Internet]. 2016;69:15–26. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2016.03.020>
18. A. Rathke, Y. Tymina BH. Effect of different surface treatments on the composite-composite repair bond strength. *Clin Oral Investig.* 2009;13(3):317–23.
19. Albakry M, Guazzato M, Swain MV. Effect of sandblasting, grinding, polishing and glazing on the flexural strength of two pressable all-ceramic dental materials. *J Dent.* 2004;32(2):91–9.
20. Tezvergil A, Lassila LVJ, Vallittu PK. Composite-composite repair bond strength: Effect of different adhesion primers. *J Dent.* 2003;31(8):521–5.
21. Ferracane JL. Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* [Internet]. 2006;22(3):211–22. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0109564105001582>
22. Lima AF, Ferreira SFA, Catelan A, Paliolol ARM, Gonçalves LS, Aguiar FHB, et al. The effect of surface treatment and bonding procedures on the bond strength of silorane composite repairs. *Acta Odontol Scand.* 2014;72(1):71–5.
23. Barragán D, González A, Ramírez J. Influencia del silano y adhesivos universales en la adhesión durante la reparación de un cerómero Influence of silane and universal adhesives on adhesion during the repair of a ceromer. *Rev Odontológica Mex* [Internet]. 2018;22:160–4. Available from: [www.medigraphic.org.mx](http://www.medigraphic.org.mx)
24. Cuevas-suárez CE, Nakanishi L, Isolan CP, Ribeiro JS, Moreira AG, Piva E. Repair bond strength of bulk-fill resin composite : Effect of different adhesive protocols. *Dent Mater J.* 2020;1–6.
25. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, Maruo Y, Makita Y, Okihara T, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dent Mater* [Internet]. 2016;32(10):1218–25. Available from:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2016.07.002>

26. Lung CYK, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: An overview. *Dent Mater* [Internet]. 2012;28(5):467–77. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2012.02.009>