



**Universidad
Andrés Bello**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOMATERIALES**

**“Estudio comparativo entre dos sistemas adhesivos y un metal
primer utilizados en la reparación de amalgama con resina
compuesta y su resistencia a la tracción, in vitro”**

Tesis para optar al Título de Cirujano-Dentista

Autor: Jacinta Jamasmie Chávarri y Camila Rosas Muñoz

Tutor: Cristóbal Paredes Peñafiel

SANTIAGO DE CHILE

2017

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de investigación a nuestros Padres y familia por apoyarnos incondicionalmente desde el comienzo de la carrera, entregándonos herramientas y valores necesarios para poder desarrollarnos como profesionales durante estos largos años.

A nuestros amigos por estar presentes en todo momento, apoyándonos para no decaer y finalizar nuestro proyecto.

A nuestro docente tutor, porque esto es fruto del trabajo en conjunto que realizamos durante este año.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro Doctor Tutor Cristóbal Paredes Peñafiel por darnos la oportunidad de participar, apoyarnos y guiarnos durante todo este proceso de investigación y por ayudarnos a terminar de manera exitosa las metas propuestas.

Al Doctor Manuel Gajardo por involucrarse desinteresadamente en parte de la elaboración de este estudio, al igual que Don Marcos Jorquera que estuvo presente de la misma manera.

A todos aquellos que de forma directa o indirecta formaron parte de este proyecto de investigación.

INDICE

I INTRODUCCIÓN.....	6
II MARCO TEORICO.....	9
• A. Amalgama dental:	
➤ A.1 Composición.....	9
➤ A.2 Propiedades.....	11
➤ A.3 Longevidad.....	15
• B. Reemplazo amalgama dental	
➤ B.1 Criterios de evaluación (criterios Ryge).....	16
➤ B.2 Causas de reemplazo.....	17
➤ B.3 Desventajas de reemplazo.....	17
• C. Reparación amalgama dental	
➤ C.1 Indicaciones de reparación.....	18
➤ C.2 Ventajas de reparación.....	18
➤ C.3 Reparación Amalgama con Resina compuesta.....	19
• D. Sistemas adhesivos en la reparación de amalgama	
➤ D.1 Clasificación.....	23
➤ D.2 Composición química.....	26
➤ D.3 Mecanismo de acción.....	30
➤ D.4 Sistemas adhesivos y 10-MDP.....	31
III HIPÓTESIS.....	34
IV OBJETIVOS.....	35
V MATERIALES Y MÉTODOS	
A. Universo y marco muestral.....	36
B. Cálculo del tamaño de la muestra.....	37
C. Variables en estudio.....	38

D. Equipos e insumos.....	38
E. Descripción de la técnica.....	42
F. Recolección de datos.....	48
VI RESULTADOS.....	49
VII DISCUSIÓN.....	52
VII CONCLUSIÓN.....	54

I. INTRODUCCIÓN:

En 1826, el francés Auguste Taveau creó la primera amalgama dental¹. Este material ha sido utilizado en odontología por más de un siglo. A pesar de las escasas características estéticas, su falta de adhesión y los avances en la tecnología basada en resina compuesta, sigue siendo una de las opciones de tratamiento restaurativo en varias prácticas dentales, tal popularidad puede ser atribuible a su buen desempeño clínico, relativo bajo costo y su costo-efectividad a largo plazo².

Durante la segunda mitad del siglo XX y la primera década del siglo XXI, los defensores y detractores de este material dental han recorrido un largo camino, en el que han expuesto sus puntos de vista con respecto a por qué sí o por qué no utilizar la amalgama en odontología.³

En algunos países, desde 1978, esto ha generado la prohibición parcial o total de su uso³. Esta prohibición se debe entre otras cosas a la controversia que existe por su contenido de mercurio y los posibles daños tóxicos que este produciría tanto en el paciente, el operador y al medio ambiente a pesar de que por muchos años la amalgama dental ha sido el material de elección para restauraciones posteriores por su durabilidad y adaptabilidad en cavidades⁴.

En octubre del año 2013, Chile junto a otros 140 países suscribe el convenio de Minamata, tratado mundial impulsado por el programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA) que junto a la OMS establece una serie de compromisos para abordar las emisiones de mercurio. Este tratado tiene como objetivo proteger la salud humana y el medioambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio para el año 2020⁵.

En Chile ya existen varios establecimientos en los que fue eliminado el uso de la amalgama, dentro de ellos destacan:

- Centros prestadores de salud privado como Megasalud y Vidaintegra con un 0% de uso de este material.
- Centro odontológico de las fuerzas armadas como carabineros de Chile con un 10% .

- Caja de Previsión de la Defensa Nacional (CAPREDENA), tanto en odontología adultos y odontopediatría con un 0%.⁶

En base a la disminución del uso de la amalgama, se ha optado por reemplazar o reparar restauraciones defectuosas con otros tipos de materiales dentales⁷.

El reemplazo total es el tratamiento más común para las restauraciones de amalgama en mal estado. Sin embargo, este enfoque contradice la tendencia actual de procedimientos más conservadores para minimizar las posibilidades de lesiones pulpares y para salvar las estructuras dentarias⁸.

La mayoría de los dentistas han sido entrenados para eliminar completamente la restauración defectuosa y sustituirla por una nueva, pero el concepto de reparar mediante mínima invasión ha ganado fuerza en los últimos años⁹.

Según la revisión sistemática del año 2013, Anusavice, llega a la conclusión, de que la mayoría de las restauraciones de amalgama se deben reemplazar debido a la presencia de caries secundarias y fracturas evidentes¹⁰. Alrededor del 70% de los reemplazos serían por estas dos causas.¹¹ Se agrega también a las causas más comunes de reemplazo la pigmentación y corrosión exagerada.¹⁰

Uno de los objetivos principales de la odontología actual es mantener las restauraciones, es decir, trabajar con materiales y técnicas que permitan la reparación de defectos localizados.¹⁰

La reparación es una opción para el tratamiento de restauración de amalgama, lo que implica retirar parte de la obturación y de cualquier tejido defectuoso adyacente a ésta¹², usando entre otros materiales resinas compuestas con distintos sistemas adhesivos y métodos de acondicionamientos de superficie⁷.

En base a esto la reparación podría ser considerada tanto en el sistema público como privado, como una alternativa eficaz debido a distintos aspectos. Dentro de ellos se encuentra la disminución de horas sillón, considerando por ejemplo que en algunos casos pueden realizarse sin la necesidad de anestésicos, disminuyendo el dolor, la ansiedad, la angustia, entre otras cosas. Además, es importante destacar el costo beneficio que conlleva la reparación, ya que, junto con utilizar menos materiales, se preserva mayor tejido dentario remanente.

¿Cómo es la resistencia a la tracción en una reparación de amalgama con resina compuesta utilizando dos sistemas adhesivos y un metal primer?

II. MARCO TEÓRICO:

La finalidad de las restauraciones dentales es mantener la salud, la función y la estética de los dientes y sus tejidos de soporte en armonía con la boca y el organismo en general. Para lograr este objetivo, el odontólogo utiliza materiales de restauración con propiedades físicas, químicas y biológicas que le permiten llevar a cabo este desafío¹³

A. Amalgama dental

Dentro de los materiales más utilizados en la práctica odontológica se destaca la amalgama quien ha perdurado por más de un siglo^{2,13}. Presenta buena biocompatibilidad, longevidad promedio de 10 años, y además una buena resistencia al desgaste y a la fractura¹³

A.1 Composición

La amalgama es un material metálico que se obtiene al mezclar en determinadas proporciones mercurio y una aleación metálica que se denomina "Aleación para amalgama dental". Esta aleación se compone de plata, estaño, cobre, zinc, paladio, indio o selenio y se comercializa principalmente en cápsulas.¹⁰⁻¹⁴

La clasificación de este material se determina por el tipo de partícula que puede ser prismática, esférica, única y mixta; además por el contenido de cobre, ya sea alto o bajo.

Dividiéndose en:

- Aleación mixta con alto contenido de cobre.
- Composición única de alto contenido de cobre.
- Partícula prismática de bajo contenido de cobre.

Para que se produzcan las amalgamas dentales el mercurio se mezcla con el polvo de la aleación de amalgama obteniéndose una masa plástica. Este proceso de mezclado se denomina trituración y permite que el mercurio disuelva las superficies de las partículas de aleación generando fases nuevas.¹⁰

Cuando se realiza la trituración del polvo, la plata y el estaño, las partículas se disuelven en el mercurio y a su vez el mercurio se difunde dentro de estas partículas de aleación. Cuando se excede dicha solubilidad los cristales de los dos compuestos metálicos se precipitan en el mercurio. Esto es lo que se conoce como las fases gamma-1 y gamma-2:

- Fase de cristalización cúbica centrada Ag_2Hg_3 (fase gamma-1)
- Fase de cristalización hexagonal Sn_{7-8}Hg (fase gamma-2)

Debido a que la solubilidad de la plata en el mercurio es mucho menor que la del estaño, primero se precipita la fase gamma-1 y luego la fase gamma-2.¹⁰

Después de la trituración, el polvo de la aleación coexiste con el mercurio líquido y le da a la mezcla una consistencia plástica. Cuando el mercurio desaparece por completo la amalgama endurece.¹⁰

Los porcentajes de cada una de las fases microestructurales influyen en las propiedades físicas de la amalgama endurecida. Si hay más partículas de Ag-Sn sin consumir, la estructura final será más dura y por lo tanto la amalgama más resistente.¹⁰

El componente más débil es la fase gamma-2, su dureza es el 10% de la fase gamma-1. Es la fase menos estable en un ambiente corrosivo y es responsable de la fractura temprana y el fracaso de las restauraciones, por ello se introdujo el cobre en la aleación, evitando la fase gamma-2, sustituyéndose la fase de interacción entre estaño y mercurio, por una fase de interacción entre cobre-estaño.¹⁴

Para el proceso de trituración actualmente se utilizan amalgamadores, estos tienen una acción centrífuga excéntrica, con movimiento de vaivén. Se usan en base a la aleación y contenido de mercurio que contenga la cápsula. El tiempo varía de 6-20 segundos:

- Amalgamas con alto contenido de cobre: 10-15 segundos
- Amalgamas con bajo contenido de cobre: 6-10 segundos

Luego de la trituración hay una transformación de la mezcla mercurio-polvo en una masa plástica que continúa con el fraguado y el final endurecimiento del material.¹⁰

A.2 Propiedades

La amalgama dental presenta buenas características tanto físicas como mecánicas.¹⁴ Por sus excelentes propiedades de resistencia, durabilidad y plasticidad para adaptarse adecuadamente a la forma y tamaño de la cavidad preparada, es que fue ampliamente utilizada, disminuyendo su uso en los últimos años debido a la aparición de materiales más estéticos.¹⁵

a) Propiedades físicas:

Las propiedades físicas que considerar al momento de manipular la amalgama son:

- **Variación dimensional:** Durante el fraguado la amalgama puede expandirse o contraerse alcanzado un valor máximo clínicamente aceptable de 20 μm por cm pasadas las 24 hrs.¹⁵
- **Creep o escurrimiento:** Esta propiedad no debe ser mayor a 3% ya que de lo contrario se produce una deformación de la amalgama y posterior fractura marginal de la restauración, situación que podría dar lugar a lesiones cariosas recidivantes.¹⁵
- **Pigmentación y corrosión:** La pigmentación es un cambio de color superficial secundario a la formación de una película que puede ser placa bacteriana o sulfuro de plata negro la cual se produce con mayor frecuencia en amalgamas mal pulidas. en una cantidad limitada alrededor de los márgenes de la restauración resulta beneficiosa, porque los productos de corrosión sellan los espacios en dichos márgenes evitando así la entrada de fluidos orales y bacterias en ellos.¹⁵
- **Expansión y humedad:** La expansión se produce cuando el material restaurador entra en contacto con la humedad, ya sea proveniente de la cavidad oral o de un medio externo, lo que deteriora las propiedades de la amalgama.¹⁴

Las amalgamas que contienen zinc pueden producir lo que se denomina expansión retardada. Esta expansión se produce luego de 3 a 5 días y continúa a lo largo de meses: Ocurre cuando el material se contamina con humedad durante su trituración o condensación lo que genera la reacción del

zinc en presencia de agua.¹⁰ Es por esta razón que se han impuesto en el mercado las amalgamas dentales exentas de zinc.¹⁴

b) Propiedades mecánicas:

Existen también investigaciones sobre las propiedades mecánicas de la amalgama. La mayoría de las investigaciones se han dirigido hacia la resistencia a la compresión, los cambios dimensionales durante el endurecimiento y su relación con las técnicas clínicas.¹⁶

Las propiedades mecánicas de un material en general son medidas de la resistencia de este a la deformación o a la fractura al aplicarle una fuerza.¹⁰

Las fuerzas que actúan sobre un material pueden producir una modificación interna y para que ésta se produzca deben actuar dos fuerzas opuestas y su acción debe producir una modificación en la posición y en la distancia entre los átomos y las moléculas que exteriormente se traduce en un cambio en el cuerpo.¹⁶

La tensión es la fuerza por unidad de área que actúa sobre los átomos y moléculas en un plano determinado de un material.¹⁰ La tensión máxima que puede soportar un material, se llama resistencia.¹⁰

Cuando actúan dos fuerzas de igual dirección, pero sentido contrario sobre un cuerpo disminuyendo la longitud del cuerpo, se habla de tensión compresiva. En cambio, si las dos fuerzas de igual dirección pero sentido contrario tienden a aumentar la longitud del cuerpo, se inducen tensiones y deformaciones traccionales. Si estas fuerzas en sentido contrario no actúan en la misma dirección, sino que lo hacen en direcciones próximas y paralelas se produce un desplazamiento de un sector del cuerpo con respecto al otro, es decir, un corte (tensiones y deformaciones de corte).¹⁶ (Fig.1)

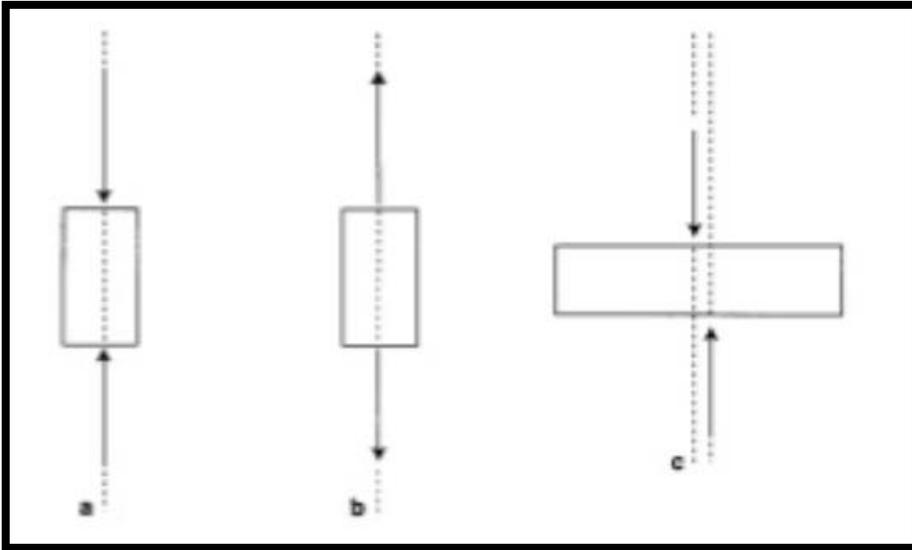


Fig.1: Pares de fuerzas que inducen tensiones compresivas (a), traccionales (b) y de corte (c)

Existe proporción directa entre la tensión y deformación de un material, lo que se refiere a que cada aumento de tensión corresponde a un aumento proporcional en la deformación (si se duplica la tensión, sucede lo mismo con la deformación). Si la tensión es superada, la proporcionalidad se pierde, la deformación aumenta con mayor velocidad, hasta que se produce la ruptura ante la tensión (termina la curva en el gráfico) y esto representa el valor de resistencia del material ante ese tipo de fuerza.¹⁶ (Gráfico 1).

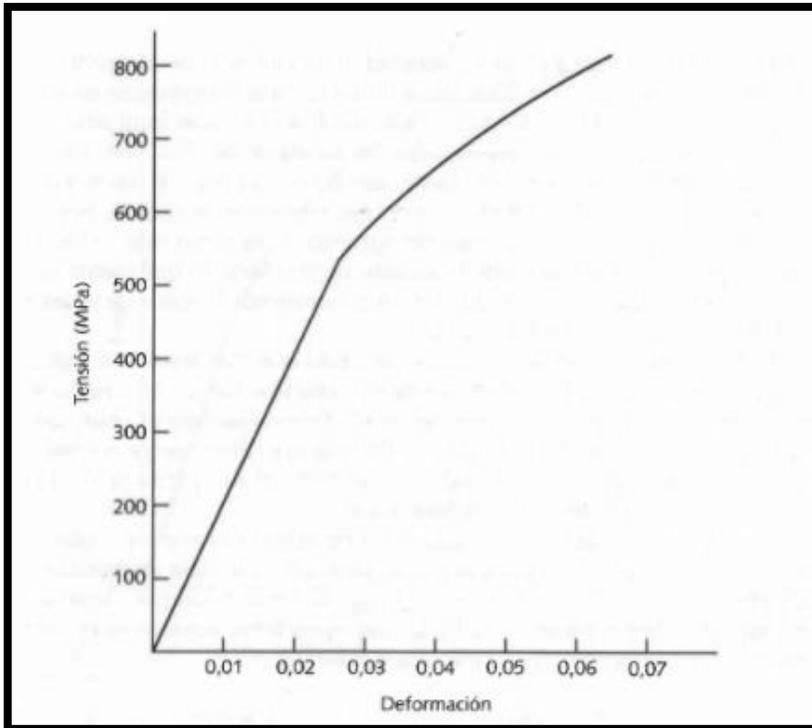


Gráfico 1: Gráfico Tensión/Deformación

La tensión que es de interés para este estudio es la traccional. Las fuerzas traccionales a las que se somete un cuerpo se pueden medir en unidades como newton.

Para determinar la resistencia a la tracción se utiliza la siguiente fórmula.¹⁷

$$\text{Resistencia o tensión (Pa)} = \text{fuerza (N)} / \text{superficie (m}^2\text{)}$$

Para determinar entonces la resistencia a la tracción es necesario conocer la superficie del cuerpo usando la siguiente fórmula:

$$\text{Superficie} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (\text{mm})^2$$

Generalmente la resistencia de la amalgama dental se mide sometiéndola a estas fuerzas compresivas⁴⁴. Debido a que la amalgama es un material visco- elástico, su resistencia a la compresión dependerá de la carga que lleve.¹⁶ La resistencia a la compresión de la amalgama debe ser, al menos, de 310 mega pascales(MPa), variando este valor según si es una amalgama de bajo contenido en cobre, de alto contenido en cobre o de composición única. La resistencia a la compresión de las de alto contenido en cobre es

mayor que la de las amalgamas con bajo contenido de Cu y la resistencia a la compresión de las de composición única es casi el doble que las otras dos.¹⁰

Las propiedades de tracción también son factores importantes en el uso clínico de la amalgama y esta resistencia es mucho menor que la de compresión, por consiguiente, es importante que el diseño de la cavidad reduzca las fuerzas de tracción de la acción masticatoria.²⁵ Las amalgamas con alto y bajo contenido en cobre presentan una resistencia a la tracción similar que va entre los 48 y 70 (MPa).¹⁰

Las fuerzas de tracción se pueden producir con facilidad en las restauraciones de amalgama. Un ejemplo de esto es cuando la cúspide dental adyacente a la restauración es sometida a fuerzas complejas que generan cargas de tracción en la zona del istmo. Por lo que es importante mantener tanta estructura dentaria y zonas de soporte como sea posible para evitar la fractura de la restauración. Aún así las amalgamas no pueden soportar fuerzas elevadas de tracción.¹⁰

A.3 Longevidad

La amalgama es un material de relleno común para los dientes posteriores y como toda restauración tiene una vida útil finita.¹⁸

Las amalgamas con alto contenido en cobre en comparación a las de bajo contenido en cobre, tienen mejores propiedades mecánicas, permiten menor corrosión, mayor integridad marginal y tienen mejores resultados clínicos, por ende mayor durabilidad en el tiempo.¹⁰ Varios estudios clínicos han demostrado que las amalgamas de alto contenido de cobre pueden proporcionar rendimiento por más de 12 años.¹⁹

Moncada *et al*²⁰ afirman que el promedio de longevidad para las restauraciones de Amalgama es de 5,8 años. Por otro lado, se describe que la tasa de supervivencia es un 89,6% a 5 años y 79,2% a 10 años e incluso en condiciones de higiene dental ideal, esta puede durar entre 11 y 20 años.²¹

B. Reemplazo de amalgama dental

Estudios han demostrado que el reemplazo de las restauraciones corresponde entre un 50 a un 78% de la actividad del Odontólogo de práctica general.²² Con frecuencia, los dentistas sustituyen completamente las restauraciones defectuosas que podrían haber sido tratadas de manera menos invasiva, como con sellado de márgenes, pulido o reparación propiamente tal.²¹

B.1 Criterios de evaluación (criterios Ryge)

Los criterios para el reemplazo de restauraciones de amalgama en la práctica dental son subjetivos y no están bien definidos.²¹ Pero sí a lo largo del tiempo se han utilizado diversos criterios para determinar la calidad de las restauraciones, lo que permitiría evaluar el estado de la amalgama de forma objetiva y el tratamiento a seguir. Un ejemplo de esto es el criterio USPHS (UnitedStatePublicHealthService)/ Ryge.²³ (tabla 1)

Este es uno de los sistemas más utilizados y que ha mostrado mejor desempeño y aceptación. Originalmente fueron propuestos en el año 1980 y se emplean de forma universal para establecer criterios preventivos y restauradores, incluso es útil como método de autoevaluación ²⁴.

Características clínicas	Alpha	Bravo	Charlie
Adaptación marginal	A la exploración no hay alteración en la interface diente/restauración	A la exploración presenta fallas entre la interfase restauración/diente	Dentina expuesta
Anatomía	El contorno de la restauración sigue el contorno del diente	El contorno de la restauración no sigue el contorno del diente	La restauración presenta hombro proximal
Rugosidad de la superficie	La superficie de la restauración no tiene defectos	La superficie de la restauración tiene un mínimo defecto	La superficie de la restauración tiene severos defectos
Tinción marginal	No hay cambio de coloración entre la restauración y el diente	Hay decoloración en menos de la mitad del margen de la restauración	Hay decoloración en más de la mitad del margen de la restauración
Contacto oclusal	Normal	Leve	No hay contacto oclusal
Caries secundaria	No hay diagnóstico clínico de caries	No aplica	Presencia de caries
Brillo	La superficie de la restauración es brillante	La superficie de la restauración presenta opacidad	Cambio de coloración total

Tabla 1: Criterios USPHS/Ryge

Si bien existen criterios para determinar la calidad de una restauración, la decisión entre reemplazar o reparar tiende a basarse en lo que se ha enseñado a los clínicos, tanto por la experiencia como su juicio.²⁵

B.2 Causas de reemplazo

Las caries secundarias y fracturas son las fallas más comunes relacionadas con las restauraciones de amalgama y representan razones para el reemplazo². De éstas, la fractura total o parcial de las cúspides en contacto con las restauraciones de amalgama es la segunda causa principal de reemplazo después de la caries secundaria²⁶. También pueden sufrir en boca corrosión o deterioro, disminuyendo así sus propiedades físicas y mecánicas.¹⁴

B.3 Desventajas del reemplazo

El reemplazo de restauraciones implica la eliminación de cantidades significativas de estructura dental sana y afecta negativamente la longevidad del diente. Por lo tanto, los tratamientos que preservan la estructura dental son altamente deseables para la longevidad de las restauraciones y, en consecuencia, aumentan la vida útil del diente.²¹

Esta pérdida de tejido sano incluye áreas lejanas a los defectos localizados, aumentando así el tamaño de la preparación y restauración.²⁷ De hecho, en base a estudios, GordanVV *et al*²⁸ concluyen que el reemplazo de una restauración significa un 0,2 a 0,5 mm de aumento de diámetro en el tamaño de la cavidad y, por tanto, un debilitamiento del remanente dentario significativo.

La sustitución injustificada de una restauración puede resultar no sólo en una pérdida sustancial de tejido dental sano, sino también conducen a un aumento adicional de la cavidad dañando así el tejido pulpar.²⁹

El reemplazo se ha considerado tradicionalmente como la alternativa principal para el tratamiento de las restauraciones defectuosas de amalgama y actualmente puede ser la única opción cuando el defecto es extenso, sin embargo, la reparación ofrece una alternativa más conservadora, siempre y cuando sea factible realizarla.³⁰

C. Reparación de amalgama dental

Se ha considerado que la reparación de las restauraciones de amalgama es un tratamiento alternativo viable para evitar el reemplazo y con ello las desventajas planteadas anteriormente.³¹ La reparación implica la eliminación de la parte de la restauración que es defectuosa, así como cualquier tejido afectado adyacente a la restauración.²¹

C.1 Indicaciones de reparación

Es factible la reparación cuando hay presencia de un defecto marginal extenso, tinción marginal severa (localizada), que es estéticamente inaceptable, caries secundarias no profundas, fractura parcial del material restaurador, pérdida erosiva / abrasiva de la estructura del diente en el margen de restauración, desgaste de la restauración, fractura de cúspides menores y obturación de cavidad de acceso después del tratamiento endodóntico.⁹

C.2 Ventajas de la reparación:

La reparación tiene dentro de sus ventajas la mayor preservación de la estructura dental, reducción de efectos potencialmente dañinos para la pulpa dental, reducción del dolor, sobre todo sin necesidad de anestesia local (reparación no extensa), menor riesgo de daño iatrogénico a los dientes adyacentes, reducción del tiempo de tratamiento y de costos para el paciente, buena aceptación del paciente y mayor longevidad de la restauración.⁹

Este enfoque de tratamiento no sólo es eficaz sino también beneficioso para el paciente, ya que minimiza la eliminación innecesaria de una estructura dental sana, reduciendo así el riesgo de afección pulpar irreversible³².

Sharif *et al*³⁰ llegan a la conclusión que cuando sea factible, la reparación de una restauración de amalgama defectuosa puede ser más beneficiosa y a un costo menor para el paciente que el reemplazo completo de la restauración.

C.3 Reparación amalgama dental con resina compuesta

Diversos estudios in vitro han investigado técnicas de reparación, estas varían desde técnicas de adhesión con resina compuesta hasta procedimientos específicos como tratamientos con grabado con ácido fluorhídrico y aire abrasivo, así como la aplicación de materiales adhesivos especiales, tales como primer metálicos y un agente de acoplamiento de silano.³¹

Aunque la reparación de restauraciones de amalgama con amalgama se sigue considerando posible³⁴, su uso ha ido en descenso debido a que en algunos países, desde 1978, se ha generado la prohibición parcial o total de este material³. Esta prohibición se debe entre otras cosas a la controversia que existe por su contenido de mercurio y los posibles daños tóxicos que este produciría tanto en el paciente, el operador y al medio ambiente a pesar de que por muchos años la amalgama dental ha sido el material de elección para restauraciones posteriores por su durabilidad y adaptabilidad en cavidades⁴.

En octubre del año 2013, Chile junto a otros 140 países suscribe el convenio de Minamata, tratado mundial impulsado por el programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA) que junto a la OMS establece una serie de compromisos para abordar las emisiones de mercurio. Este tratado tiene como objetivo proteger la salud humana y el medioambiente de las emisiones y liberaciones antropógenas de mercurio para el año 2020⁵.

Por lo tanto, la disminución del uso de la amalgama ha llevado a que se opte por reemplazar o reparar restauraciones defectuosas con otros tipos de materiales dentales, entre ellos las resinas compuestas.⁷

a) Resinas compuestas

Las resinas compuestas han tomado un protagonismo indudable entre los materiales de obturación y reparación. Al tratarse de materiales que obtienen retención mediante una técnica adhesiva y no dependen de un diseño cavitario la preservación de la estructura dentaria es mayor.³⁴

Este material es una combinación tridimensional de dos elementos químicamente diferentes, unidos entre sí por un agente de unión. Las resinas compuestas dentales contienen una mezcla de partículas inorgánicas duras unidas por una matriz resinosa suave.³⁶ En su composición se encuentra:

- **Matriz orgánica:** Material de resina plástica que forma una fase continua. Corresponde a una combinación de monómeros junto a un sistema iniciador para generar la polimerización por radicales libres y estabilizadores para maximizar la estabilidad de almacenamiento de la resina compuesta no polimerizada y la estabilidad química de la resina polimerizada.³⁶
- **Relleno:** Partículas que se agregan en forma dispersa a la matriz orgánica con el objetivo de reforzar la resina compuesta y reducir la cantidad de material de la matriz. El relleno mejora las propiedades del material entregándole mayor dureza, resistencia, disminución del desgaste, reducción de la contracción de polimerización, reducción de la expansión y contracción térmica, aumento de la viscosidad (mejorando su manipulación), disminución en la absorción del agua, menor reblandecimiento, menor tinción, aumento de la radiopacidad y sensibilidad diagnóstica.¹⁰
- **Agente acoplante:** Conocido como Silano, es el que favorece la unión del relleno con la matriz. Se han utilizado en forma generalizada silanos órgano-funcionales como agentes de acoplamiento, los cuales cubren el sustrato inorgánico, actuando como un elemento de unión química a la matriz inorgánica, asegurando así la cohesión en las resinas compuestas.³⁶

En los dientes restaurados con amalgama es estéticamente favorable el uso de resina compuesta en la reparación, con la ventaja potencial de unirse al esmalte circundante y a la dentina, ofreciendo reemplazo cuspídeo.³⁷

b) Protocolos de reparación de amalgama con resina compuesta

Para reparaciones duraderas, la superficie de amalgama expuesta con y sin fractura de cúspide necesita ser acondicionada usando métodos de acondicionamiento de superficie, sistemas de adhesión y materiales de resina compuesta.³⁴

La amalgama y el sustrato dental (esmalte y / o dentina) requieren diferentes protocolos de acondicionamiento de superficie, para así no deteriorar la adhesión y, por tanto, la durabilidad de las reparaciones de amalgama. Para esto se usan diversos protocolos de acondicionamiento de superficie y adhesión basado en los informes científicos disponibles.⁷ (Tabla 2)

Procedimiento	Razón
<ul style="list-style-type: none"> • Antes de realizar la reparación verificar que no exista contactos prematuros • Evaluar cuidadosamente el área fracturada y la presencia de fractura de cuspidea con o sin exposición dentinaria. Observar la ubicación de la línea de fractura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las fracturas en dientes con restauraciones de amalgama pueden relacionarse con la inestabilidad oclusal, fatiga durante la masticación, caries secundarias, errores en la técnica, sustrato dental deficiente alrededor de la restauración, o contactos prematuros oclusales. • Fracturas localizadas subgingivalmente requieren aislación absoluta y la presencia de dentina próxima a la amalgama requiere acondicionamiento dentinario para la reparación con resina compuesta.
<ul style="list-style-type: none"> • Aislar el área que será restaurada y limpiar la superficie fracturada usando pasta profiláctica sin flúor • Crear un bisel en esmalte con una fresa de diamante de grano fino 	<ul style="list-style-type: none"> • El aislamiento absoluto evita la posible contaminación de la saliva y la presencia de humedad durante los procedimientos adhesivos. La limpieza mecánica inicial elimina la película u otros contaminantes de la superficie del sustrato para una mejor adhesión de la resina compuesta • El esmalte biselado expone más prismas del esmalte y un patrón de grabado más favorable para la retención micro mecánica, proporcionando mejor calidad y retención marginal, así como una transición suave entre el diente y la resina compuesta.
<ul style="list-style-type: none"> • El aire abrasiona la superficie de amalgama expuesta con partículas de alúmina recubiertas con sílice, usando un dispositivo intraoral de abrasión desde una distancia de aproximadamente 10 mm durante 5 s. Utilizar una punta de succión para eliminar el exceso de polvo durante la abrasión del aire 	<ul style="list-style-type: none"> • El método de recubrimiento de sílice modifica la superficie del metal y proporciona micro rugosidad que es esencial para la unión mecánica. La rugosidad por sí sola no impone la resistencia de unión de la resina compuesta a la amalgama
<ul style="list-style-type: none"> • Grabar el esmalte y la dentina con ácido ortofosfórico, enjuagar con agua y secar con aire. Aplicar un agente de acoplamiento de silano sobre la superficie de la amalgama y dejar reaccionar durante 1 min. A continuación, aplicar primer sobre la dentina durante 15 s, secar suavemente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dado que la reparación de restauraciones de amalgama con amalgama no es confiable, los estudios sugieren que el enfoque adhesivo debe ser considerado.
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar una fina capa de resina opaca sobre la superficie de amalgama silanizada. Fotopolimerizar la resina durante 120 s usando una lámpara de polimerización con una intensidad de luz de al menos 400mW / cm². • Aplicar adhesivo sobre las superficies de esmalte y dentina y fotopolimerizar por 20 s 	<ul style="list-style-type: none"> • La reflexión de la amalgama bajo la reparación puede dar una estética pobre. Enmascarar la superficie de la amalgama con resina opaca evita que el metal se vea. Se necesita fotopolimerización prolongada para tales resinas opacas puesto que contienen pigmentos, algunos de los cuales retardan la polimerización.
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de resina compuesta de forma incremental en el área fracturada y fotopolimerizar durante 40 s. Controlar la oclusión. Realizar acabado y pulido en el área reparada 	<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación incremental de resina compuesta ayuda a controlar la contracción de la polimerización y aumentar la longevidad de la reparación.

Tabla 2: Protocolo de acondicionamiento de superficie.

La resistencia a la tracción de la reparación con resina compuesta varía con el grado de rugosidad de la superficie de la amalgama y el tipo de técnica de acondicionamiento empleada. La rugosidad superficial del sustrato de amalgama parece tener una influencia significativa en su fuerza de unión de reparación.⁷Anusavice, K. J señala que el mecanismo responsable de la unión de la amalgama a la resina es predominantemente mecánico donde la amalgama genera áreas macroretentivas en la resina y los agentes adhesivos actúan como adyuvantes a las medidas convencionales de retención.¹⁰

El arenado y la silicatización con alúmina son tratamientos de superficie que causan "micro" características retentivas, mientras que una fresa de diamante produce "macro" y "micro" características retentivas.³⁷

EwertonNocchi³⁸ plantea una secuencia para la reparación de restauraciones, la cual consta de:

- 1) Determinación de la causa, de la fractura o del problema.
- 2) Elección del material a ser utilizado en la reparación.
- 3) Preparación de la superficie por reparar (de preferencia con microabrasión de óxido de aluminio o piedra diamantada)
- 4) Grabado de la superficie con ácido ortofosfórico 37% por 15 segundos sobre superficie dental y microabrasión con Oxido de aluminio en restauraciones metálicas y resinas compuestas
- 5) Aplicación del sistema adhesivo conforme con las instrucciones del fabricante
- 6) Colocación del material restaurador.
- 7) Pulido final.

Se ha observado en la reparación de amalgama que hay una mejor humectación superficial cuando hay microretenciones en la superficie de la amalgama, debido a una mayor infiltración y encaje físico de las capas del adhesivo dentro de la superficie micro-retentiva de la amalgama.³⁷

D. Sistemas adhesivos en la reparación de amalgama

Los estudios sobre adhesión a los distintos sustratos dentarios y no dentarios constituyen gran parte de las investigaciones realizadas en odontología, donde los principales temas que se abordan son la microfiltración y la resistencia adhesiva.³⁹

D.1 Clasificación de los sistemas adhesivos:

a) Clasificación según evolución:

- **Primera generación:**

Se basó en el uso de dimetacrilatos de ácido glicerofosfórico (GMDP), para mejorar la unión de la resina al esmalte. Luego evolucionaría a la molécula bifuncional N-fenilglicil y glicidil metacrilato (NPG-GMA), sin embargo, la resistencia de unión era muy pobre (1 a 3 MPa).⁴⁰

- **Segunda generación:**

Esta generación buscaba mejorar la unión de los adhesivos incorporando ésteres halofosforados, bisfenol al glicidil metacrilato (bis-GMA) o al hidroxietil metacrilato (HEMA), basando su acción en la unión iónica al calcio por los grupos clorofosfatos, pero la resistencia de unión seguía siendo muy baja (de 5 a 7 MPa).⁴⁰

- **Tercera generación:**

Se introduce el grabado ácido parcial de la dentina para modificar parcialmente el barro dentinario, incrementando la permeabilidad dentinaria. Se utiliza un primer con moléculas de monómeros bifuncionales con un extremo hidrofílico y otro extremo hidrófobo (extremo carboxilo), los que pueden transportar a los monómeros adhesivos a un tejido con humedad relativa como lo es la dentina. Esto permitió el incremento de la fuerza de adhesión a la dentina (8 y 15 MPa) y con ello la eliminación de la necesidad de preparaciones cavitarias retentivas para las restauraciones adhesivas.⁴⁰

- **Cuarta generación:**

Se introduce la técnica de grabado total la que permite remover totalmente el barro dentinario, grabando simultáneamente esmalte y dentina con la utilización de ácido ortofosfórico. Su mecanismo de acción es por medio de 3 pasos (acondicionamiento, primer y adhesivo).⁴⁰

El grabado ácido total permitió incrementar el área de contacto superficial, aumentar la energía superficial para mejorar la humectabilidad sobre la superficie del adherente, facilitar la formación de las interdigitaciones de resina y aumentar la retención micromecánica al formarse la capa híbrida.⁷¹ La fuerza de adhesión obtenida con esta generación fue de 17 a 25 MPa.⁴²

- **Quinta generación:**

Son creados para simplificar la técnica de los adhesivos de tres pasos combinando primer y adhesivo dentro de una sola solución aplicada después del grabado de esmalte y dentina. Su fuerza de retención a dentina es entre 15 a 25 MPa.⁴⁰

- **Sexta generación:**

También conocidos como sistemas autograbadores, fueron desarrollados en la búsqueda hacia la simplificación del procedimiento clínico, el tiempo de trabajo y la sensibilidad de la técnica operatoria. Con ellos se eliminó el paso del grabado ácido.⁴¹

Su resistencia adhesiva es de aproximadamente 26 Mpa y su composición es en base a mezclas acuosas de monómeros funcionales acídicos, hidrofílicos, generalmente ésteres de ácidos fosfóricos.⁴³

Pueden clasificarse de acuerdo con su técnica de aplicación, como sexta generación tipo I que tiene un primer autograbante y otra botella con el adhesivo, y sexta generación tipo II donde se debe mezclar el primer con el adhesivo previo a la aplicación al sustrato.⁴³

- **Séptima generación:**

Son adhesivos autograbantes que se presentan en un frasco y se aplican en un solo paso, en los cuales la técnica ha sido simplificada al máximo permitiendo mantener en una solución los componentes de monómeros acídicos hidrofílicos, solventes orgánicos y agua, indispensables para la activación del proceso de desmineralización de la dentina y

el funcionamiento del sistema. Se reportan valores de resistencia de unión de aproximadamente 20 MPa.⁴¹

Si bien estos adhesivos permitieron la simplificación del procedimiento, la disminución de la sensibilidad de la técnica, desmineralización e infiltración simultánea de la resina, disminución en el tiempo de trabajo y sensibilidad postoperatoria, los resultados de resistencia de unión y nanofiltración ponen en duda su efectividad clínica.⁴⁴

b) Clasificación según número de pasos clínicos:

Los sistemas adhesivos dentales también se pueden clasificar en tres categorías principales de acuerdo con diferentes técnicas de manejo del sustrato, resumiéndose en la cantidad de pasos clínicos:³⁸

- **Tres pasos:**
 - Primero se realiza la técnica de grabado ácido, luego aplicación del primer y finalmente se aplica la resina adhesiva. Esta técnica al tener mayor cantidad de pasos es más sensible.
- **Dos pasos:**
 - Primer y adhesivo en una sola botella y previa técnica de grabado ácido (ácido ortofosfórico) independiente.
 - Primer y ácido (monómeros ácidos) en una sola botella y adhesivo en una botella aparte.
- **Un Paso:**
 - En este caso se une el primer, adhesivo y ácido en una sola botella. Solo requiere una aplicación leve de aire para distribuir de manera uniforme el material.

c) Clasificación contemporánea:⁴⁵

Las estrategias adhesivas contemporáneas dependen de cómo los sistemas adhesivos interactúan con el barro dentinario, disolviéndolo o haciéndolo permeable.

- Adhesivos de grabado y lavado:
 - Tres pasos: grabado ácido, primer y adhesivo
 - Dos pasos: ácido fosfórico, Primer + adhesivo
- Adhesivos autograbantes:
 - Dos pasos: ácido + primer y adhesivo
 - Un paso: Primer ácido y adhesivo se unen en una sola solución de autograbado
- Adhesivos multimodo o universales:

En una sola botella contienen ácido, primer y adhesivo. Se llaman adhesivos multimodo o universales debido a sus versátiles instrucciones de uso:

 - De grabado y lavado: Puede ser grabado ácido total (esmalte y dentina) o grabado ácido selectivo (solo esmalte)
 - Autograbantes

D.2 Composición química de los sistemas adhesivos

Independiente de si el sistema adhesivo es de grabado y lavado, autograbantes o universales contienen componentes básicos similares, la diferencia principal está en la proporción que se presentan en los diferentes sistemas adhesivos. Dentro de estos componentes encontramos monómeros de resina acrílica, solventes orgánicos como agua, etanol y/o acetona, iniciadores, fotoiniciadores como canforquinona o un complejo "amina-peróxido" para el curado químico, además de inhibidores y relleno.⁴⁶

a) Composición química de adhesivos de grabado y lavado:

La estrategia de grabado y lavado implica la aplicación previa de ácido ortofosfórico al 37%. Este está disponible para su uso en tres pasos (grabado ácido, primer y adhesivo) o dos pasos (primer y adhesivo en un solo frasco).⁴⁷

- Adhesivos de tres pasos:

Con este sistema adhesivo, luego del grabado ácido se aplica un primer. Este contiene en su composición monómeros polimerizables con propiedades hidrofílicas disueltos en acetona, agua y/o etanol (solventes que transportan los monómeros a través del tejido grabado), los que permiten transformar la superficie dental hidrofílica en hidrofóbica para conseguir así la unión del adhesivo.⁴⁸

Estos imprimadores solubles en agua contienen fundamentalmente HEMA y ácido polialquenoico, los que basan su mecanismo de acción en que, luego de su aplicación y al secar la superficie con aire, el agua se evapora, aumentando la concentración de HEMA.

El tercer paso consiste en la aplicación de un agente de unión hidrofóbico, el que se unirá químicamente con la resina compuesta.⁴⁸

- Adhesivo de dos pasos:

La composición y el mecanismo de adhesión empleado por estos sistemas no difieren del de los adhesivos de tres pasos. Pero si es necesaria una técnica de adhesión húmeda al no realizarse el paso de imprimación de forma independiente para evitar que el colágeno de la dentina, que fue desmineralizado, colapse impidiendo la infiltración incompleta del adhesivo.⁴⁸

Dentro de los adhesivos de grabado y lavado de dos pasos se encuentra el Single Bond 2[®]. Adhesivo dental de quinta generación activado por luz visible que incorpora un nanorelleno de sílica de 5 nm de diámetro que representa un 10 por ciento de su peso. Sus componentes son BisGMA, HEMA, dimetacrilatos, solvente de etanol-agua, sistema fotoiniciador y un copolímero funcional de metacrilato de ácido poliacrílico y ácido poliacrónico.⁴⁹

Aunque los adhesivos de grabado y lavado siguen siendo el Gold Estándar para la adhesión dental y el más antiguo de los adhesivos comercializados, la tendencia actual es desarrollar materiales de autograbado simplificados.⁴⁷

b) Composición química de los adhesivos autograbantes:

Los adhesivos de autograbado se diferencian de los otros sistemas principalmente por el tipo de monómeros acídicos y su PH siendo su composición en base a mezclas acuosas. Se representa esta composición química en la figura 2:⁵⁰

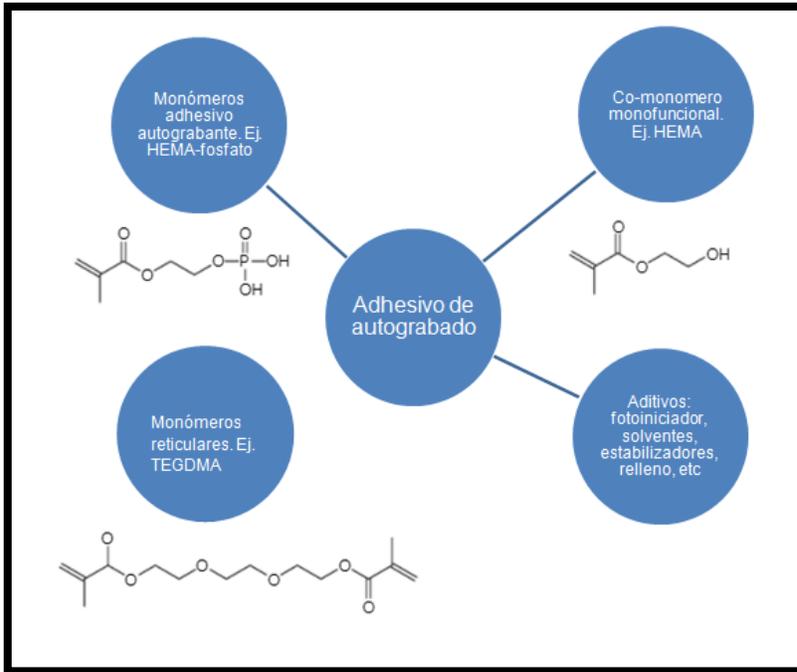


Fig. 2: Estructura química de los componentes de los adhesivos autograbantes.

c) Composición química de los adhesivos universales:

Actualmente, la evolución de la tecnología del adhesivo dental se ha generalizado y busca promover la simplificación de la técnica asociada con una unión efectiva y duradera. Es por ello que se introdujeron sistemas adhesivos universales o multimodo para permitir que se use la misma solución de monómero en métodos adhesivos de dos pasos (grabado y lavado) o de un paso (autograbado). Según los fabricantes, estos productos pueden usarse de manera confiable realizando grabado de esmalte selectivo, grabado total (dentina y esmalte) o autograbado, haciéndolos más atractivos para el odontólogo y reduciendo la sensibilidad de la aplicación técnica.⁵¹

Los adhesivos universales como lo es el Single Bond Universal®, pueden unirse a diferentes sustratos, tanto dentarios como no dentarios, teniendo potencial de adhesión química. Para lograr esto, dentro de su composición incluyen ácido polialquénico, vinyl

silano y monómeros ácidos bifuncionales (ésteres fosfatados principalmente, MDP). El ácido polialquenoico de tipo débil le confiere la característica de formar uniones químicas confiables con la dentina por la unión de los grupos carboxílicos del ácido con los iones de calcio del tejido dentario; En cuanto al Vinyl-silano, es una molécula bifuncional con un extremo órgano funcional y un extremo silico-funcional, lo le da la propiedad de unir químicamente sustratos cerámicos con resinosos. Por último, se encuentran los monómeros ácidos o monómeros bifuncionales (MDP)⁷, que junto al silano le dan la capacidad para adherirse a sustratos directos e indirectos (metales, óxido de zirconio, alúmina y cerámicas de vidrio).⁵²

La unión química de los adhesivos universales entre dentina y resina compuesta se ve representada en la figura 3, donde la capacidad de unión se establece por la reacción entre el fosfato del adhesivo y el calcio de la estructura dental. La unión al esmalte dental es de aproximadamente 5 MPa.⁵³

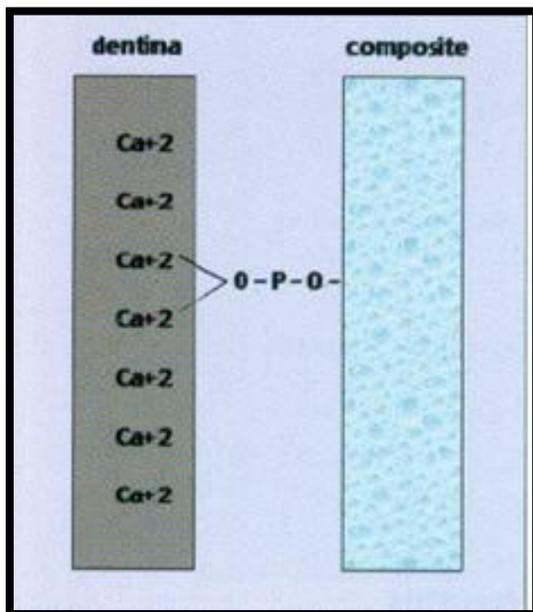


Fig. 3: Unión química de adhesivo universal entre dentina y composite. Representando la unión establecida por la reacción entre el fosfato del adhesivo y el calcio de la estructura dental.

D.3 Mecanismo de acción de sistemas adhesivos

La dentina está compuesta por un 70% de hidroxiapatita, un 18% de colágeno y un 12% de agua. Presenta un comportamiento bastante hidrofílico, a diferencia del esmalte que es mucho menos hidrófilo y está constituido por un 95% de material inorgánico, un 4% de agua y un 1% de material orgánico.⁵³

En esmalte se utilizan agentes acondicionantes que cumplen la función de remover selectivamente los cristales de hidroxiapatita, transforma el área lisa de esmalte en irregular, duplicando así la energía superficial. Dicho fenómeno, permite la difusión de monómeros hidrofílicos de una resina de baja viscosidad, la cual, por capilaridad se ve atraída hacia las micro porosidades, penetrando la resina dentro de los poros micrométricos, creando así una traba micromecánica retentiva.⁵⁴ El grabado ácido remueve cerca de 10 micrómetros de la superficie del esmalte y crea poros en un rango de 5 a 50 micrómetros de profundidad.⁵⁵

La dentina es un sustrato con mayor dificultad de adhesión, principalmente por su alto contenido orgánico.⁵⁵ El mecanismo de unión a la dentina, está basado en la formación de la capa híbrida. En este proceso, las superficies dentinarias son tratadas con agentes ácidos acondicionantes, los cuales remueven o modifican el barro dentinario, el cual es resultado del procedimiento del corte que, junto con remanentes del sustrato seccionado, sangre, saliva, bacterias, fragmentos del abrasivo y aceite, se unen a la dentina intertubular, penetrando en los túbulos dentinarios desmineralizando la dentina subyacente y exponiendo la red de fibras colágenas.⁸⁰

La introducción de sustancias resinosas en este sustrato posibilita la adhesión micromecánica, resultando en una zona de dentina infiltrada por monómeros. Y esto es lo que se conoce como capa híbrida.⁵⁷

Estudios revelan la importancia de la capa híbrida, aceptando el hecho que el sistema adhesivo no difunde completamente dentro de la zona desmineralizada y pueden quedar fibras colágenas expuestas, existiendo así la posibilidad de formación de un espacio nanométrico entre la dentina inalterada y la capa híbrida, produciendo un fenómeno de nanoinfiltración.⁵⁸

La presencia en la clínica de la dentina húmeda es de fundamental importancia para obtener una adecuada capa híbrida, porque la delicada red de fibras colágenas puede colapsar frente a una excesiva desecación, impidiendo la interdifusión de monómeros en su interior.⁵⁹

D.4 Sistemas adhesivos y 10-MDP

El 10-metacriloxidecilfosfato dihidrogenado (10-MDP) es un éster fosfatado con pH ácido. En general los monómeros fosfatados ejercen un papel importante en el desempeño del adhesivo y en sus propiedades fisicoquímicas⁷.

a) Mecanismo de acción 10-MDP:

Este compuesto corresponde a un monómero funcional capaz de interactuar con la hidroxiapatita residual mediante conexiones iónicas primarias. Está formado por un grupo polimerizable de metilmetacrilato, necesario para el endurecimiento del adhesivo, y un grupo funcional ácido (grupo fosfato), que permite la interacción fuerte y estable con el calcio de la hidroxiapatita. Los dos grupos están separados por una cadena de carbono larga (éster fosfatado) (fig.4).⁶⁰

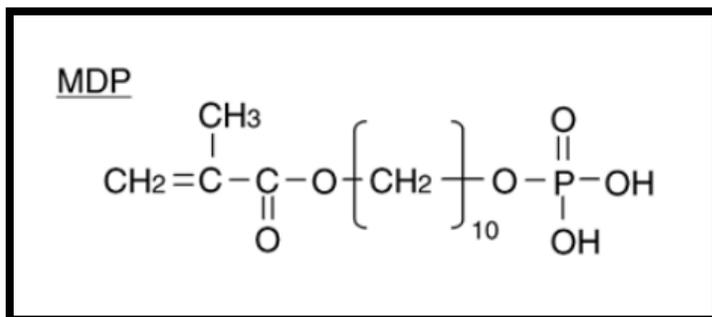


Fig.4: Estructura química MDP

La molécula de 10-MDP interactúa con la dentina superficial produciendo una capa de reacción-integración, alcanzando una profundidad entre 1 μm y 300 nm según su pH (equivalente a la capa híbrida en los adhesivos convencionales de grabado y lavado). Su efectividad clínica se debe a la desmineralización e infiltración simultánea y uniforme de la dentina superficial, creando una capa estable de dentina infiltrada con resina.⁶¹

b) Acción 10-MDP en los adhesivos

El mecanismo de acción de los adhesivos dentarios que contienen 10- MDP se basa en la formación de múltiples nanocapas de calcio unido a 2 moléculas 10-mdp sobre la dentina; estas múltiples capas de 3,5 nm son las que protegerían las fibras colágenas del fenómeno de hidrólisis.⁶²

Estas nanocapas formadas por 2 moléculas de 10-MDP se unen en forma estable al Ca, formando la sal del compuesto Ca-MDP, proporciona mayor resistencia a la biodegradación de la interfase adhesiva y explicaría la longevidad documentada clínicamente para productos que contienen 10-MDP en su formulación adhesiva.⁶³

Recientes estudios evidencian el mecanismo de adhesión involucrado en la unión del 10-MDP a las estructuras dentarias y a los óxidos presentes en la oxidación de la amalgama, lo que forma sales de baja solubilidad y alta resistencia mecánica. Esto explicaría la alta estabilidad presente en la interfase adhesiva cuando se usan estos monómeros ácidos.

Debido a la formación de cristales de Cu_6Sn_5 y óxidos liberados en la superficie de amalgama con alto contenido de cobre, se producen a lo largo del tiempo micro rugosidades provocando una traba micro-mecánica en interacción con 10-MDP.⁷

c) 10-MDP y metal primer

Estos monómeros ácidos además de encontrarlos en los adhesivos universales, están en los metal primer, como lo es el Monobond N[®]. Este proporciona una adhesión química fuerte y duradera con cualquier material restaurador dental, porque combina 3 metacrilatos funcionales diferentes: metacrilato de silano, metacrilato de ácido fosfórico y metacrilato de sulfuro. Permitiendo la unión gracias a esta composición a óxidos metálicos.⁶⁴

Estos primer universales pueden actuar como agentes grabadores e imprimantes o solo como imprimantes, según sea la estrategia adhesiva elegida. Inicialmente formulados como agentes de unión para lograr adhesión química a metales no nobles a través de la unión a sus óxidos⁷.

d) Unión 10-MDP a metales:

Si bien se tiene poca información disponible sobre la unión del 10-MDP y otros monómeros acídicos a estructuras metálicas, se tiene conocimiento que esta molécula es eficaz tanto en aleaciones nobles como no nobles. Además, se sabe que la fuerza de adhesión de los metal primer depende de la estructura química intermedia que une al grupo fosfato del metacrilato, y mientras más larga es la cadena intermedia mayor es la unión adhesiva a los metales.⁷⁻⁶⁵

En base a que los adhesivos universales y los metal primer tienen incorporado monómeros (como 10-MDP) que son capaces de modificar las superficies y producir unión química tanto a los sustratos dentales como a también a los óxidos metálicos⁶⁵ es que podría existir una relación directa entre el uso de un metal primer en la reparación de amalgama con resina compuesta y su aumento en la resistencia a la tracción, versus el uso de una técnica adhesiva convencional.

En este estudio se evaluará la resistencia a la tracción de una reparación de amalgama con resina compuesta con dos sistemas adhesivos y un metal primer, es decir, la tensión máxima que puede soportar la restauración de amalgama reparada al ser traccionada.

III. HIPÓTESIS

Existe una relación directa entre el uso de un metal primer en la reparación de amalgama con resina compuesta y su aumento en la resistencia a la tracción, versus el uso de una técnica adhesiva convencional.

IV. OBJETIVOS

Objetivo general:

Comparar diferentes sistemas de adhesión utilizados en la reparación de amalgama con resina compuesta y su resistencia a la tracción.

Objetivos específicos:

- Determinar la resistencia a la tracción de amalgama reparada con resina compuesta utilizando un Adhesivo Single Bond 2®
- Determinar la resistencia a la tracción de amalgama reparada con resina compuesta utilizando un Adhesivo Single Bond Universal®
- Determinar la resistencia a la tracción de amalgama reparada con resina compuesta utilizando un metal primer Monobond N®, previo al Adhesivo Single Bond 2®

V. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Universo y Marco Muestral:

Esta investigación corresponde a un estudio de tipo analítico, experimental, transversal e in vitro.

El estudio se llevó a cabo en la Facultad de Odontología de la Universidad Andrés Bello, sede Santiago y Viña del Mar y en las dependencias del laboratorio de materiales poliméricos del centro de investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales (idiem) de la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile.

En primer lugar se tienen como criterios de inclusión materiales utilizados en odontología restauradora de una marca específica, los cuales son:

- Resina compuesta *FiltekZ350*[®]
- Amalgama *KerrAlloy*[®] de fase dispersa
- Acido ortofosfórico al 37% *Condac 37*[®]
- Adhesivo *Single Bond 2*[®]
- Adhesivo *Single Bond Universal*[®]
- Metal primer *Monobond*[®]N

En este estudio se trabajó con una matriz de acrílico transparente de 5 mm de diámetro interno y 10 mm de largo, la que permite su apertura. (Fig.1-2-3)

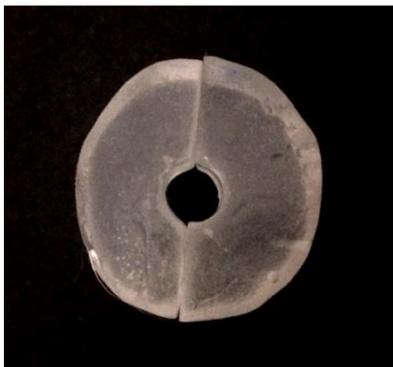


Fig.1

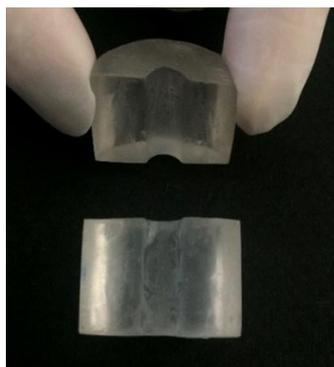


Fig.2



Fig.3

B. Cálculo del tamaño de la muestra:

Para determinar el tamaño muestral se utilizó el programa G power 3.1.9.2 . Este programa arroja un tamaño muestral mínimo de 42. (Fig.4)

F tests – ANOVA: Fixed effects, omnibus, one-way		
Analysis: A priori: Compute required sample size		
Input:	Effect size f	= 0.5
	α err prob	= 0.05
	Power (1- β err prob)	= 0.8
	Number of groups	= 3
Output:	Noncentrality parameter λ	= 10.5000000
	Critical F	= 3.2380961
	Numerator df	= 2
	Denominator df	= 39
	Total sample size	= 42
	Actual power	= 0.8034136

Fig.4: Calculo tamaño muestral

Tomando el tamaño mínimo entregado por el programa G power3.1.9.2, se consideran 20 muestras por grupo con un total de 60.

- 20 muestras de amalgama reparadas con resina compuesta utilizando un Adhesivo Single Bond 2[®].
- 20 muestras de amalgama reparada con resina compuesta utilizando un Adhesivo Single Bond Universal[®].
- 20 muestras de amalgama reparada con resina compuesta utilizando un metal primer Monobond N[®] previo al adhesivo Single Bond 2[®].

C. Variables en estudio:

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN	VALORES DE VARIABLE
<i>TIPO DE ADHESIVO</i>	<i>CUALITATIVA NOMINAL (INDEPENDIENTE)</i>	1	<i>Adhesivo Single Bond 2[®]</i>
		2	<i>Adhesivo Single Bond Universal[®]</i>
		3	<i>Single Bond 2[®] + Mono Bond-N[®]</i>
<i>RESISTENCIA A LA TRACCIÓN</i>	<i>CUANTITATIVA CONTINUA DE RAZÓN (DEPENDIENTE)</i>	<i>NEWTON</i>	<i>0-500</i>

D. Equipos e insumos:

D.1 Equipos:

- Máquina de ensayo universal Tinius Olsen® modelo H5HK-S (Fig.5)
- Máquina de termociclado Mastercycler® Personal Eppendorf (Fig.6)
- Amalgamador Dentomax® Compact (Fig.7)
- Lámpara L.E.D COLTOLUX® (Fig.8)



Fig.5: Máquina de ensayo universal Tinius Olsen® modelo H5HK-S



Fig.6 :Máquina de termociclado Mastercycler® Personal Eppendorf



Fig.7: Amalgamador Dentomax® Compact



Fig.8: Lámpara L.E.D COLTOLUX®

D.2 Insumos:

- Jeringas de Resina compuesta FiltekZ350®(Fig.9)
- Amalgamas KerrAlloy®2 porciones (Fig.10)
- Ácido ortofosfórico al 37% Condac 37® (Fig.11)
- Adhesivos Single Bond 2® (Fig.12)
- Adhesivo Single Bond Universal®(Fig.13)
- Metal primer MonobondN® (Fig.14)
- Tips aplicadores



Fig.9: Jeringa de Resina compuesta FiltekZ350®



Fig. 10: Amalgamas KerrAlloy® 2 porciones



Fig.11: Ácido ortofosfórico al 37% Condac 37®



Fig.12: Adhesivo Single Bond 2®



Fig.13: Adhesivo Single Bond Universal®



Fig.14: Metal primer Monobond N®

E. Descripción de la técnica:

La matriz de acrílico fue obturada 60 veces por un operador calibrado.

En primer lugar, se restauró con amalgama KerrAlloy® de fase dispersa.

En cada muestra se utilizó 1 cápsula de 2 porciones (600mg de polvo, y 720mg de Mercurio), cuya composición es de 100gr de aleación que contiene:

- 46 grs de Ag
- 31,3 grs de Sn
- 22,7grs de Cu

Cada capsula fue sometida a trituración por 15 segundos en amalgamador Dentomax® compact.

Las obturaciones se realizan mediante la técnica convencional de condensación y bruñido. La condensación se llevó a cabo en un incremento(fig.1), con 8 condensaciones manuales, con una presión promedio de 1500 grs, sobre una pesa digital de 5 kg (fig.2). Posterior a la condensación se realizó el bruñido de las restauraciones dejando una superficie plana.

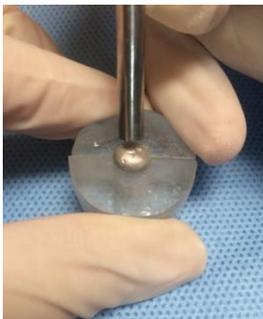


Fig.1

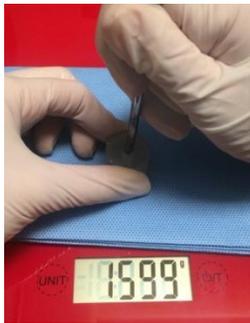


Fig. 2

Se realiza grabado ácido total con ácido ortofosfórico al 37% Condac 37® a cada una de las obturaciones de amalgama (fig.3), dejándolo actuar durante 20 segundos, para posteriormente realizar lavado con agua con jeringa triple por el doble de tiempo (40 segundos). (fig.4)

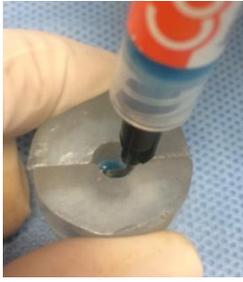


Fig.3



Fig.4

Estas obturaciones de amalgama fueron divididas en 3 grupos de 20:

- 1) El primer grupo, utilizó una técnica adhesiva convencional con Adhesivo Single Bond 2[®]
- 2) El segundo grupo utilizó una técnica adhesiva de autograbado con Adhesivo Single Bond Universal[®]
- 3) El tercer grupo utilizó un metal primer Monobond[®]N previo al Adhesivo Single Bond 2[®]

Estos sistemas adhesivos fueron aplicados según indicaciones del fabricante:

- **Grupo 1: Single Bond 2[®]:**

Técnica adhesiva de grabado total:

Posterior al grabado ácido se aplicó 1 gota de Single Bond 2 (fig.5), se frotó por 20 segundos, se realizó secado con aire por 5 segundos y fotopolimerización por 10 segundos (fig.6).



Fig.5

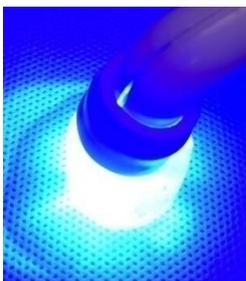


Fig.6

- **Grupo 2 :El Single Bond Universal®:**

Técnica adhesiva de grabado ácido total.

Se aplicó 1 gota de Single Bond Universal® en las superficies grabadas (fig.7), se frotó por 20 segundos, luego se realizó el secado con aire por 5 segundos y fotopolimerización por 10 segundos (fig.8).



Fig.7

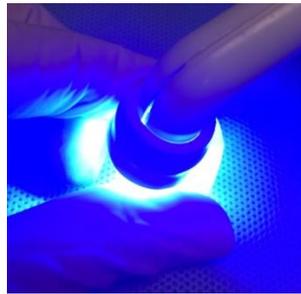


Fig.8

- **Grupo 3: Single Bond 2® + Monobond® N:**

Posterior al grabado ácido se aplicó sobre la superficie adhesivo Single Bond 2® con la misma técnica usada en el grupo 1 (fig.9) y luego de su polimerización (fig.10) se aplicó una fina capa de Monobond® N dejándolo reaccionar durante 60 segundos (fig11). Luego se dispersó el exceso remanente con un fuerte chorro de aire (fig.12)



Fig.9

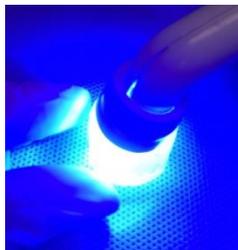


Fig.10



Fig.11

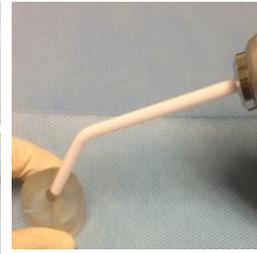


Fig.12

Luego de la aplicación de cada sistema adhesivo se realizan obturaciones de resina compuesta (Filtek Z350, 3M).

En cada una de las 60 muestras, con un condensador recto (fig.13), utilizando una técnica incremental de 2mm a la vez. Cada incremento se fotopolimerizó con una lámpara L.E.D (COLTOLUX®) a una longitud de onda de 1200mW/cm², por 20 segundos (fig.14)



Fig.13

Fig.14

Se procede a abrir el cilindro conformador de las muestras (fig.15), obteniendo 60 patrones de estudio (fig.16) que son sometidos a un proceso de termociclado.

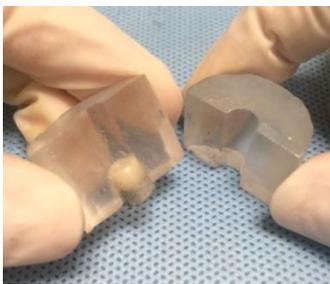


Fig.15

Fig.16

Se usa este sistema de termociclado en base a que los materiales restauradores deben soportar un ambiente severo en cada paciente. Las fuerzas de masticación, los hábitos oclusales, los factores dietéticos, la humedad y las fluctuaciones de temperatura contribuyen a factores incontrolables que pueden afectar la longevidad de los materiales.⁶⁶

Aunque los estudios in vitro no pueden imitar exactamente las condiciones en la cavidad oral pueden, en cierta medida, simularla a través del envejecimiento de los dientes y/o restauraciones. Los estudios experimentales son similares a los resultados obtenidos en situaciones clínicas.⁶⁷

En el termo ciclado se realizan exposiciones cíclicas repetidas de estas restauraciones, en baños de agua a temperaturas frías y calientes, en un intento de reproducir los cambios térmicos que ocurren en la cavidad oral.⁶⁸

Existen tres factores importantes para analizar el proceso de termo ciclado; temperatura, tiempo de permanencia y número de ciclos.⁶⁹

La organización Internacional de Normalización (ISO) propone como extremos de temperatura para simular las fluctuaciones de temperatura in vivo, 5 y 55 °C.⁷⁰

En contraste con este régimen Gale et al, concluyen que estas temperaturas eran demasiado extremas para proporcionar una simulación representativa de las fluctuaciones de temperatura in vivo, por lo que optaron por valores extremos de 15 °C y 45 °C⁷¹

El tiempo de permanencia es el período de tiempo en que la muestra se sumerge en un baño de una temperatura determinada.⁷² Los pacientes no tolerarían el contacto directo de un diente vital con sustancias extremadamente calientes o frías durante un período prolongado de tiempo. Por esta razón, varios estudios propusieron utilizar tiempos de permanencia más cortos (10 s o 15 s), que pueden simular más fielmente los cambios abruptos de temperatura que se producen en la cavidad oral.⁷³

La Organización Internacional de Normalización (ISO): indica que un régimen de termo ciclado que comprende 500 ciclos en agua entre 5 y 55°C por 20 segundos es una prueba de envejecimiento artificial adecuada.⁷⁴

Pero muchos estudios sugieren que 500 ciclos no son representativos para simular este envejecimiento.⁷⁵

Stewardson et al, afirmó que los 500 ciclos sólo corresponden al envejecimiento producido en menos de 2 meses en boca.⁷¹ Y Gale et al. Postulan que aproximadamente 10.000 ciclos térmicos corresponden a 1 año de función en boca.⁷⁶

En base a lo descrito y a que la mayoría de los autores han utilizado sus propios protocolos, sin que exista un consenso establecido es que se decide someter las 60 muestras a un régimen de termo ciclado en Maquina de termociclado Mastercycler® Personal Eppendorf, facilitada por la facultad de odontología de la Universidad Andrés Bello, sede Viña del Mar. (fig. 17 y 18)

Este régimen de termociclado comprendió 10.000 ciclos entre 15° y 45°C por 15 segundos, lo que simularía un año de envejecimiento de las muestras en la cavidad oral.



Fig.17



Fig.18

Finalmente, cada muestra fue sometida a tracción, para evaluar su resistencia. Para llevar a cabo este procedimiento se utilizó la máquina de ensayo universal Tinius Olsen® modelo H5HK-S, la cual fue facilitada por el laboratorio de materiales poliméricos del centro de investigación, desarrollo e innovación de estructuras y materiales (idiem) de la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile.

Esta máquina consta de una mordaza superior y otra inferior las cuales sostienen la muestra desde sus extremos (fig.19). La mordaza superior es la que ejerce la tracción a una velocidad determinada, en este caso se traccionó a 1 mm/seg, hasta lograr la separación de la resina con la amalgama (fig.120), obteniendo la resistencia en Newton.

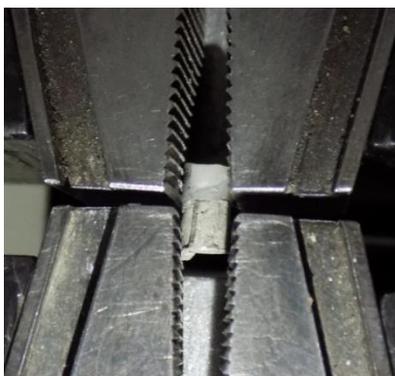


Fig.19

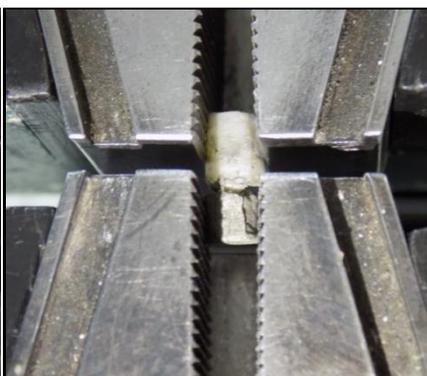


Fig.20

F. Recolección de datos

La recolección de datos se realizó en una plantilla de datos simple en formato de Microsoft Excel. La máquina de tracción Tinius Olsen® modelo H5HK-S utilizada entrega los resultados en Newton.

Al ser un estudio comparativo, se utilizó el test Scheffé y Bonferroni para comparaciones múltiples. Para verificar el estudio comparativo se utiliza el test Shapiro-Wilk, el cual se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos.

Además, se utiliza el test de ANOVA para evaluar si existe diferencia entre los grupos

Implicancias bioéticas y de seguridad

De acuerdo a los principios fundamentales de bioética, este estudio se desarrolló conforme al criterio de no maleficencia. No hubo mala utilización de los datos obtenidos. En este estudio solo se utilizaron materiales dentales, sin tejido vivo o muerto.

Esta investigación se llevó a cabo luego de obtener la autorización y aprobación del proyecto por parte del comité de ética en investigación de la Universidad Andrés Bello.

VI. RESULTADOS

Una vez obtenidas las muestras y llevado a cabo el test de tracción se obtienen los resultados de la resistencia en Newton de los tres grupos de sistemas adhesivos en estudio. (Tabla 1)

En el Grupo 1 (Adhesivo Single Bond 2) se encontró un valor medio de 17,996 N con una desviación estándar de 9,975 siendo el valor mínimo observado de 4,333 y un valor máximo de 38,166.

El Grupo 2 (Adhesivo Single Bond Universal) tuvo un valor medio de 28,513 N \pm 9,062 con un rango de 37,666.

Por otro lado, el Grupo 3 (Adhesivo Single Bond 2 + Monobond N) obtuvo un valor medio de 41,598 N, con una desviación estándar de 20,281, con un valor mínimo de 13,166 y un valor máximo de 63,333.

	N	Media	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo	Prueba Shapiro-Wilk
Single bond 2	20	17,996	9,975	18,416	4,333	38,166	0.293
Single bond Universal	20	28,513	9,062	28,416	13,000	50,666	0.347
Single bond 2 + Monobond N	20	41,598	20,281	43,916	13,166	63,333	0.048

Tabla 1. Medidas descriptivas de los valores observados en la resistencia a la tracción

En el Gráfico N°1 es posible observar la diferencia de los valores medios obtenidos. La media varía entre los grupos al evaluar la resistencia a la tracción, obteniéndose el valor más bajo en el grupo 1, seguido en orden creciente por los grupos 2 y 3, siendo éste último el que obtuvo mayor promedio de resistencia a la tracción.

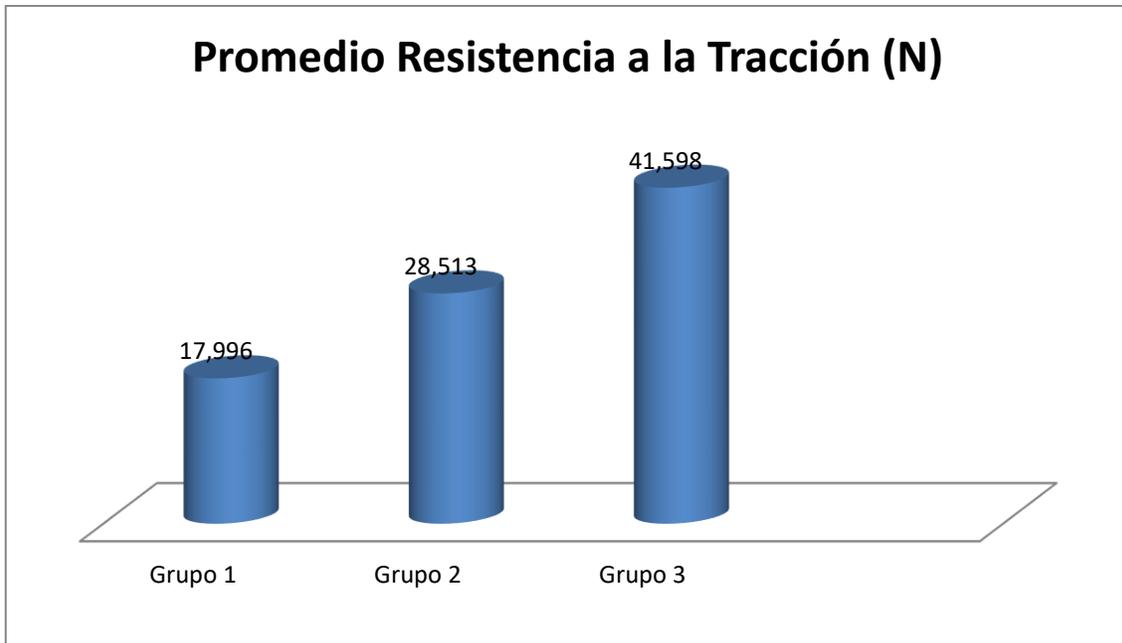


Gráfico 1: Comparación de las medias correspondientes a los valores de resistencia a la tracción por grupos.

La técnica de análisis de la varianza (ANOVA) es una de las técnicas más utilizadas en el análisis de datos de estudios experimentales, permite determinar si los diferentes grupos en estudio muestran diferencias significativas entre ellos o por el contrario los datos obtenidos en cada grupo no difieren considerablemente.

En este estudio la prueba ANOVA para comparación de medias mostró que existen diferencia en al menos un par de estos grupos. En el gráfico N°2 se observa la distribución de los datos mediante un gráfico de caja, existiendo mayor variabilidad en el tercer grupo (Adhesivo Single Bond 2 + Monobond N).

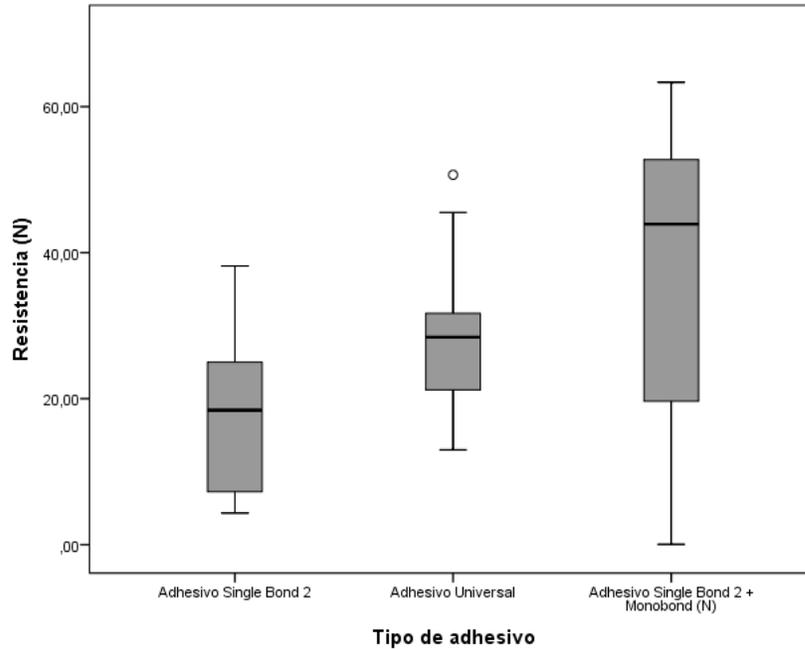


Gráfico 2: Prueba Anova de un factor p-valor <0.001

La tabla N° 2 muestra las comparaciones múltiples entre los sistemas adhesivos utilizando el método de Bonferroni. Se observa diferencia estadística entre los grupos Single Bond 2 y Single Bond 2 + Monobond N.

Bonferroni	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Significancia	Límite inferior	Límite superior
Adhesivo Universal AdhesivoSingle Bond 2	-10,516	4,445	0,064	-21,483	0,4498
Single bond 2 Adhesivo Single Bond 2+ Monobond(N)	-19,446	4,445	0,000	-30,413	-8,480
Adhesivo Universal Adhesivo Single Bond 2 + Monobond (N)	-8,929	4,445	0,148	-19,896	2,036

Tabla 2: Comparaciones múltiples entre los sistemas adhesivos utilizados en este estudio.

VII. DISCUSIÓN

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la resistencia a la tracción de tres sistemas adhesivos utilizados en la reparación de amalgama con resina compuesta.

Las resinas compuestas han tomado un protagonismo indudable entre los materiales de obturación y reparación. Al tratarse de materiales que obtienen retención mediante una técnica adhesiva y no dependen de un diseño cavitario, la preservación de la estructura dentaria es mayor.³⁴

En la reparación de amalgama con resina compuesta se han empleado diversos adhesivos de resina y los informes indican su eficacia como agente de unión a la amalgama.¹⁸

Según los resultados obtenidos en este estudio existe una relación directa entre el uso de un metal primer en la reparación de amalgama con resina compuesta y su aumento en la resistencia a la tracción, versus el uso de una técnica adhesiva convencional.

Esto debido a que se compararon tres sistemas adhesivos y los que presentaron mayor resistencia a la tracción fueron los que tenían incorporado en su composición 10-MDP (Single Bond Universal[®] y Monobond N[®]) que es un monómero acídico eficaz en la unión a los óxidos metálicos de los metales nobles y no nobles.⁶⁵ Los valores medios obtenidos fueron de 28,513N (Single Bond Universal[®]) y de 41,598N (Adhesivo Single Bond 2[®] + Monobond N[®]) a diferencia de una media de 17,996N en el Single Bond 2[®], el cual no tiene 10-MDP en su composición.

Se destaca la diferencia estadística obtenida al comparar la resistencia a la tracción del Grupo 1 (Adhesivo Single Bond 2[®]) con el Grupo 3 (Adhesivo Single bond 2[®] + Monobond N[®]). Esto al igual que las medias obtenidas se explicaría por la presencia de 10-MDP, el que tiene un mecanismo íntimo de adhesión a los óxidos presentes en la oxidación de la amalgama, formando sales de baja solubilidad y alta resistencia mecánica, lo que explicaría la alta estabilidad presente en la interfase adhesiva. Debido a la formación de cristales de Cu₆Sn₅ y óxidos liberados en la superficie de amalgama con alto contenido de cobre, se producen a lo largo del tiempo micro rugosidades provocando una traba

micro-mecánica en interacción con 10-MDP.⁷Es por esto y por la ausencia de 10-MDP en la composición del Adhesivo Single Bond 2[®], que el tercer grupo presentaría una mayor resistencia a la tracción. Además, el Monobond N[®] al ser un metal primer tiene como componente principal el 10- MDP, lo que le proporciona una adhesión química fuerte y duradera con cualquier material restaurador dental, porque combina 3 metacrilatos funcionales diferentes: metacrilato de silano, metacrilato de ácido fosfórico y metacrilato de sulfuro. Permitiendo la unión gracias a esta composición a óxidos metálicos.⁶⁴ A diferencia del Adhesivo Single Bond Universal[®] que a pesar de también tener incorporado 10-MDP, no lo tiene como componente principal y puede unirse a diferentes sustratos, tanto dentarios como no dentarios gracias a diferentes componentes entre ellos el ácido polialquenoico, vinyl silano y monómeros acídicos bifuncionales (esteres fosfatados principalmente, MDP)⁷Lo que podría explicar la menor resistencia a la tracción obtenida con el Adhesivo Single Bond Universal[®] en comparación al Monobond N[®].

Para la práctica clínica el uso de Adhesivo Single Bond Universal[®] en la reparación de amalgama con resina compuesta podría considerarse una alternativa viable para mejorar el rendimiento clínico, por sobre el ya existente. Evaluando costo/beneficio, aplicar Monobond N[®] al sistema adhesivo para obtener mayor resistencia de adhesión, aumenta considerablemente el costo del procedimiento siendo que la resistencia que da el Adhesivo Single Bond Universal[®] es suficiente para una buena reparación, considerando que el valor obtenido fue superior a valores promedios de resistencia a dentina (25 Mpa), incluso la resistencia de unión de este sistema sobre la amalgama es mayor a la resistencia con el esmalte (5 Mpa), debido a la estable unión química entre el 10-MDP y los óxidos metálicos.⁵⁰

En la odontología actual la preservación del tejido dental y la mínima invasión es primordial y este enfoque de tratamiento no sólo es eficaz sino también beneficioso para el paciente, ya que minimiza la eliminación innecesaria de estructura dental sana, reduciendo así el riesgo de afección pulpar irreversible, entre otras cosas.³²

El reemplazo de restauraciones implica la eliminación de cantidades significativas de estructura dental sana y afecta negativamente la longevidad del diente. Por lo tanto, los tratamientos que preservan la estructura dental son altamente deseables para la longevidad de las restauraciones y en consecuencia, aumentan la vida útil del diente.²¹

La reparación de una restauración de amalgama defectuosa puede ser más beneficiosa y a un costo menor para el paciente que el reemplazo completo de la restauración.³⁰

VIII.CONCLUSIÓN

De acuerdo con la bibliografía revisada y junto los resultados obtenidos en este estudio comparativo, se puede concluir que:

1. Se considera que la reparación es una buena opción al momento de decidir el futuro de una restauración de amalgama defectuosa, ya que preserva de mejor manera el remanente biológico dental y permite minimizar los costos del tratamiento.
2. Reparar restauraciones de amalgama defectuosas con resina compuesta es una alternativa que da buenos resultados y junto a un sistema adhesivo adecuado permite una excelente unión a este material, garantizando resistencia optima, dando como resultado en este estudio un valor mínimo medio de 17,996 obtenido por el adhesivo Single Bond 2®, sin embargo, puede ser mejorado este valor de resistencia utilizando un adhesivo que contenga 10-MDP.
3. El uso de un sistema adhesivo que contenga en su composición 10-MDP podría considerarse como una buena opción en el protocolo adhesivo de reparación de amalgama, otorgando mayor resistencia y durabilidad. Esto debido a que los resultados de resistencia obtenidos fueron elevados tanto en el adhesivo Single bond Universal®, como Monobond N®.
4. En base a los resultados obtenidos, y considerando el costo de cada adhesivo utilizado en este estudio, se considera que el uso de un adhesivo universal es suficiente en la práctica odontológica.

5. Si bien, se sabe que los adhesivos con 10-MDP permiten unión química a metales y serían importantes en la reparación de restauraciones de amalgama con resina compuesta, faltan estudios que determinen el porcentaje mínimo de esta molécula, necesario en un sistema adhesivo para permitir esta unión y así aumentar de

6. Si bien, se sabe que los adhesivos con 10-MDP permiten unión química a metales y serían importantes en la reparación de restauraciones de amalgama con resina compuesta, son necesarios nuevos estudios que determinen el porcentaje mínimo necesario de esta molécula en un sistema adhesivo para permitir esta unión y así mejorar la resistencia a la tracción.

REFERENCIAS

- 1) Schulein, T. M. (2005). Significant events in the history of operative dentistry. *JHist Dent*,
- 2) Popoff, D. A. V., Gonçalves, F. S., Ferreira, R. C., Magalhães, C. S., Moreira, A. N., & Mjör, I. A. (2010). Repair of amalgam restorations with conventional and bonded amalgam: an in vitro study. *Revista OdontoCiência*, 25(2),
- 3) Pinzón, Juan Carlos, Mutis, Martha J., Castro, Gonzalo, Las amalgamas dentales: ¿un problema de salud pública y ambiental? Revisión de la literatura *Universitas Odontológica* [en línea] 2011, 30 (Julio-Diciembre)
- 4) Mutis, M. J., Pinzón, J. C., & Castro, G. (2011). Las amalgamas dentales: ¿un problema de salud pública y ambiental? Revisión de la literatura. *UniversitasOdontologica*,
- 5) Gobierno de Chile, Comisión nacional del medio ambiente; " Desarrollo de un inventario y un plan de gestión de riesgos para el mercurio; una contribución a la alianza global sobre el mercurio", Abril 2008
- 6) Gobierno de Chile/Ministerio de salud; " Disminución gradual de la amalgama dental en el programa de salud bucal en Chile"
- 7) Ozcan M, Koolman C, Aiadag A, Dundar M. Effects of different surface conditioning methods on the bond strength of composite resin to amalgam. *Oper Dent* 2011
- 8) Veloso DA, Ramalho LMP. In vitro study of the microleakage on amalgam repairs. *RGO* 2006;
- 9) Hickel R, Brühshaver K, Ilie N. Repair of restorations – criteria for decision-making and clinical recommendations. *Dent Mater* 2013
- 10) Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2013). *Phillips' science of dental materials*. Elsevier HealthSciences.
- 11) Opdam NJ, Bronkhorst EM, Roeters JM, Loomans BA. A retrospective clinical study on longevity of posterior composite and amalgam restorations. *Dent Mater* 2007
- 12) Sharif, M. O., Merry, A., Catleugh, M., Tickle, M., Brunton, P., Dunne, S. M. & Chong, L. Y. (2014). Replacement versus repair of defective restorations in adults: amalgam. *The Cochrane Library*.
- 13) Rodriguez, M.S., & Dickson, G. (1962). Some tensile properties of amalgam. *Journal of dental research*,
- 14) Castaño Rivera, P., Echavarría Velásquez, A. I., Gómez, G. J., & Arismendi, J. (2008). Evaluación de la corrosión galvánica en amalgamas dentales de alto contenido de cobre por medio de técnicas electroquímicas
- 15) Zeballos López, L., & Valdivieso Pérez, Á. (2013). Materiales dentales de restauración. *Revista de Actualización Clínica Investiga*
- 16) Macchi, R.L (2007). *Materiales dentales*. Ed. Médica, Panamericana
- 17) Hervás García, A., Martínez Lozano, M. A., Cabanes Vila, J., Barjau Escribano, A., & FosGalve, P. (2006). Resinas compuestas: Revisión de los materiales e indicaciones clínicas. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal*
- 18) Muniz M, Quioca J, Dolci GS, Reis A, Loguercio AD. Bonded amalgam restorations: Microleakage and tensile bond strength evaluation. *Oper Dent* 2005
- 19) Osborne JW, Norman RD, Gale EN. A 14-year clinical assessment of 12 amalgam alloys. *Quintessence Int* 1991;22:857-64. Mahler DB. The high-copper dental amalgam alloys. *J Dent Res* Bharti, et al.: Dental amalgam: An update 208 *Journal of Conservative Dentistry* | Oct-Dec 2010 | Vol 13 |
- 20) Moncada, G., Fernández, E., Martín, J., Caro, M., Caamaño, C., Mjör, I., & Gordan, V. (2007). Longevity and Reasons of Failure of Amalgam and Resin Based Composite Restorations. *Revista Dental de Chile*
- 21) Gordan, V. V., Riley, J. L., Blaser, P. K., Mondragon, E., Garvan, C. W., & Mjör, I. A. (2011). Alternative treatments to replacement of defective amalgam restorations: results of a seven-year clinical study. *The Journal of the American Dental Association*

- 22) Brunton, P. A., Ghazali, A., Tarif, Z. H., Loch, C., Lynch, C., Wilson, N., & Blum, I. R. (2017). Repair vs replacement of direct composite restorations: a survey of teaching and operative techniques in Oceania. *Journal of Dentistry*
- 23) G, Ryge. "Clinical Criteria". *Int Dent J*. 1980, Vol. 30, págs. 347-358
- 24) MJÖR, I.A. "Placement and replacement of restorations". *Oper. Dent*
- 25) Özcan, M., &Volpato, C. Â. (2016). Repair Protocol for Amalgam Fillings with and Without Cusp Fracture: How and Why?.*The journal of adhesive dentistry*
- 26) Veloso DA, Ramalho LMP. In vitro study of the microleakage on amalgam repairs
- 27) Sharif, M. O., Fedorowicz, Z., Tickle, M., &Brunton, P. A. (2010). Repair or replacement of restorations: do we accept built in obsolescence or do we improve the evidence?. *British dental journal*
- 28) Gordan VV, Shen C &Mjör IA (2004) Marginal gap repair with flowable resin-based composites *General Dentistry*
- 29) Moncada, G., Fernández, E., Martin, J., Arancibia, C., Mjör, I., &Gordan, V. V. (2008). Increasing the longevity of restorations by minimal intervention: a two-year clinical trial. *Operative dentistry*
- 30) Miyazaki M, Tsujimoto A, Tsubota K, Takamizawa T, Kurokawa H, & Platt JA (2014) Important compositional characteristics in the clinical use of adhesive systems *Journal of Oral Science*
- 31) Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. Longevity of repaired restorations: a practice-based study. *J Dent* 2012
- 32) Muniz M, Quioca J, Dolci GS, Reis A, Loguercio AD. Bonded amalgam restorations: microleakage and tensile bond strength evaluation. *Oper Dent* 2005;
- 33) Shen, C., Mondragon, E., &Mjör, I. A. (2007). Effect of size of defect on the repair strength of amalgam. *Quintessence International*
- 34) Roggenkamp CL, Berry FA, Lu H. In vitro bond strengths of amalgam added to existing amalgams. *Operative Dentistry* 2010
- 35) Rodríguez, G., Douglas, R., Pereira, S., & Natalie, A. (2008). Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta odontol. Venez*
- 36) Blum, I. R., Hafiana, K., Curtis, A., Barbour, M. E., Attin, T., Lynch, C. D., &Jagger, D. C. (2012). The effect of surface conditioning on the bond strength of resin composite to amalgam. *Journalofdentistry*
- 37) Nocchi, E. (2008). *Odontología restauradora salud y estética*. 2da. Ed. Buenos Aires–Argentina
- 38) Torres CR, Barcellos DC, Pucci CR, Lima GM, Rodrigues cM, Siviero M. influence of methods of application of self-etching adhesive systems on adhesive bond strength to enamel. *J Adhes dent* 2009
- 39) Kugel G. Ferrari M. the science of bonding: from first to sixth generation. *J Am dent Assoc* 2000; 131: 20-25.
- 40) Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van ende A, neves A et al. Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *dent Mater* 2010
- 41) Colchado, c. o. j. n. (2011). adhesivos dentales aurosrabadores:(vi generación).
- 42) Parra. M. Garzón. H. "Self-etching adhesive systems, bond strength and nanofiltration: A review" , *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, Vol.24 No.1 Medellín Julio/Dic. 2012.
- 43) . Van Landuyt KL, Mine A, De Munck J, Jaecques S, Peumans M, Lambrechts P et al. Are one-step adhesives easier to use and better performing? Multifactorial assessment of contemporary one-step self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 2009
- 44) Sezinando. A. " Looking for the ideal adhesive – A review A procura do adesivo ideal – uma revisão da bibliografía." 3 de julio 2014. Health Sciences Faculty, Rey Juan Carlos University, Alcorcón, Madrid, Spain.
- 45) Giannini, M., Makishi, P., Ayres, A. P. A., Vermelho, P. M., Fronza, B. M., Nikaido, T., & Tagami, J. (2015). Self-etch adhesive systems: a literature review. *Brazilian dental journal*
- 46) Miyazaki M, Tsujimoto A, Tsubota K, Takamizawa T, Kurokawa H, & Platt JA (2014) Important compositional characteristics in the clinical use of adhesive systems *Journal of Oral Science*
- 47) Mandri, M. N., Aguirre Grabre de Prieto, A., & Zamudio, M. E. (2015). Sistemas adhesivos en Odontología Restauradora. *Odontoestomatología*
- 48) Ficha técnica Adper Single Bond 2, 3M,2004

- 49) Moszner, N., Salz, U., & Zimmermann, J. (2005). Chemical aspects of self-etching enamel–dentin adhesives: a systematic review. *Dental Materials*
- 50) Trindade, T. F., Moura, L. K. B., Raucci Neto, W., Messias, D. C. F., & Colucci, V. (2016). Bonding effectiveness of universal adhesive to intracoronal bleached dentin treated with sodium ascorbate. *Brazilian dental journal*
- 51) Kim JH, Chae SY, Lee Y, Han GJ, & Cho BH (2015) Effects of multipurpose, universal adhesives on resin bonding to zirconia ceramic Operative Dentistry
- 52) Camps Alemany, I. (2004). *La evolución de la adhesión a dentina. Avances en Odontoestomatología,*
- 53)** Maya, C., Vallejo, M., & Martínez, N. E. (2011). Citotoxicidad de los adhesivos dentinarios. *CES Odontología*
- 54) Martín Hernández, J. (2004). Aspectos prácticos de la adhesión a dentina. *Avances en odontoestomatología*
- 55) Lostaunau, R. C. H. (2008). Reacción de la dentina a los sistemas adhesivos resinosos: aspectos biológicos relacionados y biodegradación de la capa híbrida. *Revista Estomatológica Herediana, 18(1), 50-64.*
- 56) Loguercio, A. D., & Reis, A. (2006). Sistemas adhesivos. *Revista de Operatoria dental y Biomateriales*
- 57) Barrena, p. u. s. comparación “in vitro” del grado de resistencia adhesiva de los sistemas adhesivos single bond y adper single bond 2.
- 58) Carpena G. et Al., “Dental Adhesión: Present state of the art and futures perspectivas”, *Dental Materials Quintessence Int.*, v. 33: Pág. 213-224, 2002.
- 59) Yoshihara, K., Yoshida, Y., Nagaoka, N., Hayakawa, S., Okihara, T., De Munck, J., ... & Van Meerbeek, B. (2013). Adhesive interfacial interaction affected by different carbon-chain monomers. *Dental Materials*
- 60) Parra lozada, m., & garzón rayo, h. (2012). sistemas adhesivos autograbadores, resistencia de unión y nanofiltración: una revisión. *revista facultad de odontología universidad de Antioquia*
- 61) Moncada, G., Fonseca, R. G., de Oliveira, O. B., Fernández, E., Martín, J., & Vildósola, P. (2014). Rol del 10-metacriloxidecilfosfato dihidrogenado en el cambio de paradigma de los sistemas adhesivos integrados en la dentina. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*
- 62) Y. Yoshida, K. Yoshihara, N. Nagaoka, S. Hayakawa, Y. Torii, T. Ogawa, et al. Self-assembled nano-layering at the adhesive interface *J Dent* (2012)
- 63) Ficha de datos de seguridad según 1907/2006/CE, Artículo 31 fecha de impresión 20.11.2015
- 64) Taira, Y., Kamada, K., & Atsuta, M. (2008). Effects of primers containing thiouracil and phosphate monomers on bonding of resin to Ag-Pd-Au alloy. *Dental materials journal*
- 65) Cavalcanti-Adam, E. A., Volberg, T., Micoulet, A., Kessler, H., Geiger, B., & Spatz, J. P. (2007). Cell spreading and focal adhesion dynamics are regulated by spacing of integrin ligands. *Biophysical journal, 92(8), 2964-2974.*
- 66) Khoroushi, M., & Mansoori, M. (2012). Marginal sealing durability of two contemporary self-etch adhesives. *ISRN dentistry, 2012.*
- 67) El-Araby, A. M., & Talic, Y. F. (2007). The effect of thermocycling on the adhesion of self-etching adhesives on dental enamel and dentin. *J Contemp Dent Pract,*
- 68) Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., & Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*
- 69) ISO TR 11450 International Standards Organization (1994)
- 70) Stewardson, D. A., Shortall, A. C., & Marquis, P. M. (2010). The effect of clinically relevant thermocycling on the flexural properties of endodontic post materials. *Journal of dentistry*
- 71) Schmid-Schwab, M., Rousson, V., Vornwagner, K., & Heintze, S. D. (2009). Wear of two artificial tooth materials in vivo: a 12-month pilot study. *The Journal of prosthetic dentistry*
- 72) Doerr, C. L., Hilton, T. J., & Hermes, C. B. (1996). Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin-modified glass ionomers. *American journal of dentistry*

- 73) De Munck, J., Van Landuyt, K., Coutinho, E., Poitevin, A., Peumans, M., Lambrechts, P., & Van Meerbeek, B. (2005). Micro-tensile bond strength of adhesives bonded to Class-I cavity-bottom dentin after thermo-cycling. *Dental Materials*
- 74) Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., & Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: does a standardized protocol exist in laboratory testing? A literature review. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*
- 75) Gale, M. S., & Darvell, B. W. (1999). Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *Journal of dentistry*