



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**FUNCIÓN DE 10-METACRILOXIDECILFOSFATO
DIHIDROGENADO EN EL DESARROLLO Y EVOLUCIÓN
DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS: REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA.**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

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

P R E S E N T A:

GRECIA SINÁI VILLAVICENCIO REBOLLO

TUTOR: DANTE SERGIO DÍAZ SUÁREZ

14/abril/2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- **Dedicatoria**

A Erick por impulsarme y sostenerme en todo este camino, por su apoyo incondicional, por motivarme, por amarme y comprenderme en toda mi formación académica, le agradezco por brindarme una oportunidad y por crecer junto a mí.

A mis padres Francisco e Isaura por enseñarme que la vida no es fácil, por creer en mí, por confiar en mí, por motivarme, por estar siempre junto a mí y para mí, por los valores que me inculcaron y por siempre hacerme creer que puedo lograr lo que me proponga y que no hay límites.

A mi hermana Alexandra por estar siempre para mí, por amarme incondicionalmente y acompañarme en este camino, siendo siempre parte de él, por ser mi amiga y estar siempre dispuesta a ayudarme.

A mis abuelitos Saturnina y Adolfo, por haber creído tanto en mí y por haberme amado tanto.

A Luna por haber sido mi compañía todos los días y estar siempre a mi lado con amor.

A mi amiga Ariadna por todos esos difíciles y felices momentos, por sus consejos, su incondicional compañía, su incondicional apoyo y por no haberme abandonado nunca en toda la carrera.

Al doctor Dante Díaz porque desde que lo conocí entendí el amor y la pasión por la docencia, porque gracias a sus conocimientos y a su paciencia para instruir a sus alumnos me enamoré de la carrera.

Índice

1	Introducción.....	5
2	Contenido temático.....	7
2.1	Antecedentes.....	7
2.2	Concepto de Adhesión.....	9
2.3	Tipos de adhesión.....	9
2.3.1	Adhesión física o mecánica.....	9
2.3.2	Adhesión química.....	9
2.3.3	Energía superficial.....	10
2.3.4	Tensión superficial.....	11
2.3.5	Humectancia.....	12
2.3.6	Viscosidad.....	13
2.3.7	Capilaridad.....	14
2.4	Esmalte dental.....	15
2.4.1	Composición del esmalte.....	15
2.4.2	Adhesión al esmalte.....	15
2.5	Dentina.....	16
2.5.1	Composición de la dentina.....	16
2.5.2	Adhesión a dentina.....	17
a	Grabado selectivo.....	19
b	Barrillo dentinario smear layer.....	20
2.6	Sistemas adhesivos.....	21
2.6.1	Características químicas de los adhesivos.....	22
a	Formación de capa híbrida.....	23
b	Tags de resina.....	24
c	Microfiltración y nanofiltración.....	24
2.6.2	Clasificación de los sistemas adhesivos.....	24
2.6.2.1	Basados en la técnica de adhesión.....	25
2.6.2.2	Basados en generaciones comerciales.....	26
2.6.3	Mecanismos de degradación de los sistemas adhesivos.....	29
2.6.4	Monómeros funcionales de los adhesivos dentales.....	30
a	Monómeros reticulantes.....	31
b	Monómeros funcionales.....	31

2.6.5	Monómero 10MDP.	32
2.6.5.1	Concepto adhesión desmineralización.	34
2.6.5.2	Formación de nanocapas.	35
2.6.5.3	Efecto inhibitorio.	36
2.6.5.4	Ventajas de 10 MDP.	36
2.6.5.5	Desventajas.	37
2.6.5.6	MDP en esmalte y dentina.	38
2.6.5.7	Fuerza de adhesión de 10 MDP.	38
2.6.5.8	Unión de 10 MDP a circonia.	38
3	Conclusiones.	40
4	Referencias bibliográficas.	41
5	Anexos	47

1 Introducción.

Las investigaciones realizadas a lo largo de los años se han basado en mejoras significativas que permitan a las restauraciones y a la estructura dental funcionar como unidad; para ello se crearon los sistemas adhesivos. En 1951 surge el primer adhesivo llamado Sevitron (1).

A partir de 1955 y gracias a Buonocore se utiliza el término grabado ácido, empleado para hacer modificaciones a la estructura dental mismo que se ha utilizado durante años y que a la fecha sigue siendo un tema importante a la hora de la elección del sistema adhesivo (2).

Más tarde y gracias a las investigaciones de Buonocore se empiezan a fabricar

sistemas adhesivos basados en la técnica de grabado ácido en esmalte y la adhesión por traba mecánica. La adhesión en dentina llevó más tiempo, su consolidación requirió de estudios que ayudaran a comprender que la dentina pertenece a un complejo dentinopulpar con una función y morfología diferente al del esmalte (1).

A través del tiempo y de las investigaciones se hicieron descubrimientos que aportaron información para un mejoramiento en los sistemas adhesivos, como fue el descubrimiento del barrillo dentinario en 1970, mismo que se observó incrustado dentro de los túbulos dentinarios a través de un microscopio, el descubrimiento de la capa híbrida en 1982 por Nakabayashi, que hace mención una zona transicional formada por la infiltración de líquidos en la dentina (3, 4).

Así es como se demostró la importancia del grabado ácido y la importancia del control de este sobre esmalte y dentina, un mal manejo o una exposición prolongada conlleva a una desmineralización excesiva que concluye en el fracaso de la restauración.

La continua modificación de los sistemas adhesivos ha llevado a la utilización de monómeros ácidos como el 10 MDP sintetizado en 1980, su éxito clínico radica en la adhesión física y química que se logra con la molécula gracias a la estabilidad que brindan las sales de MDP- Ca de la hidroxiapatita, el 10 MDP es un monómero muy valorado gracias a la fuerza de adhesión que provee sobre el sustrato dental (5, 6).

El presente trabajo tiene por objetivo dar a conocer la molécula 10 MDP, sus funciones, sus características, sus aplicaciones, así como ventajas y desventajas se han abordado los sistemas adhesivos desde sus inicios y se ha hecho un recorrido a través del tiempo para hablar sobre su evolución para llegar a la síntesis de la molécula 10 MDP.

2 Contenido temático.

2.1 Antecedentes.

A lo largo de la historia el objetivo de la rehabilitación dental se ha basado en la interacción entre el material restaurador y la estructura dentaria, usando sistemas adhesivos que les permiten funcionar como unidad. Se hace llamar era adhesiva a la década de los cincuenta cuando aparece el primer adhesivo desarrollado por Hagger llamado SEVRITION (1951) cuya composición era el ácido glicerofosfóricodimetacrilato el cuál, sometido a un medio húmedo mostraba inestabilidad y se descomponía (1).

En 1955 el Dr. Buonocore identifica y describe el grabado ácido como la modificación y tratamiento de la superficie del esmalte dental, a través de una solución de ácido fosfórico que disuelve los extremos de los prismas del esmalte, consiguiendo así, una superficie irregular y porosa que permitiera la penetración de una resina fluida(1,2).

Sumado al trabajo de Buonocore, Bowen en 1961 se suma obteniendo la resina bisfenol-glicidil-metacrilato (Bis-GMA) cuya capacidad es adherirse al diente utilizando la técnica de grabado ácido (2).

En 1965 Bowen propone el primer adhesivo dentinario que contenía una molécula de NPG-GMA (N-fenilglicina-glicidil Metacrilato) comercializado por Cervident de SS White con propiedades bifuncionales, un extremo del metacrilato tendría unión al material restaurador y el otro extremo a la dentina, más tarde se mostrarían considerables fallas en los primeros meses de su uso como tratamiento(1).

En 1978 aparece Clear Bond System fabricado por Kuraray y es el primer adhesivo dentinario a base de fosfatos, su mecanismo de unión se basaba en la interacción de los fosfatos y el calcio de la dentina y el esmalte sin grabar. Sus propiedades de adhesión eran muy pobres debido a la pobre humectancia hacia la dentina (7).

En 1983 se comercializa Scotchbond (3M) un esterfosfato de BISGMA bajo el concepto de que la capacidad de unión es establecida entre el fosfato del adhesivo y el calcio de la estructura dental, en su mecanismo de acción

también se consideraba el efecto reblandecedor *smear layer*. Durante esa década surgieron diferentes adhesivos a base de fosfatos (1).

En 1985 surge el sistema GLUMA propuesto por Munsksgaard y Asmussen, el mecanismo de acción es el de su unión con el colágeno de la dentina utilizando ácido fosfórico al 37% en el esmalte y EDTA al 17% en dentina para posteriormente imprimir la superficie del diente con glutaraldehído al 5%, produciendo después una reacción con el HEMA, agua y glutaraldehído y finalizar colocando una resina fluida que se polimeriza con luz (1).

En 1981 se presenta la adhesión mediante resinas que contenían 4META y 10-MDP comercializado por Kuraray contenía altos valores adhesivos y longevidad, más tarde por los mismos investigadores se desarrolló el sistema adhesivo Clearfill SE Bond (kuraray) cuya característica inicial era la unión a iones de restauraciones metálicas (8) .

En 2003 otros fabricantes comienzan a explorar las propiedades del monómero 10-MDP y es en 2009 cuando Bisco introduce Z-Prime® el cuál incluyó 10-MDP(1).

Hacia el 2011 3M ESPE introduce el primer adhesivo universal que contiene 10-MDP (1).

2.3 Concepto de Adhesión.

Adhesión del latín *adhaerere* describe la unión de dos sustancias distintas(9). Según la RAE adhesión es la fuerza de atracción que mantiene unidas dos o más moléculas de distinta especie química (10). La adhesión es la propiedad de la materia en la cual dos superficies de igual o diferente naturaleza se mantienen unidas por fuerzas intermoleculares (11).

En odontología la adhesión es la unión entre la superficie dental esmalte o dentina y los materiales restauradores cuyo objetivo es el sellado marginal y evitar la microfiltración (9).

2.4 Tipos de adhesión.

Existen seis tipos de adhesión: física o mecánica, no específica o dispersiva, electrostática, específica, química y adhesión de la difusión (12), para fines prácticos en este trabajo nos basaremos en la revisión de la adhesión física y la química.

2.4.1 Adhesión física o mecánica.

En este tipo de adhesión, los materiales fluyen por las porosidades de los sustratos uniéndose por traba mecánica (12).

Para que el anclaje mecánico se dé entre los dos componentes el adhesivo debe tener baja viscosidad, alta fluidez, para que una vez endurecido haya ese anclaje (13).

Existen dos tipos de adhesión mecánica y esto se clasifica según el tamaño de los poros, la adhesión micromecánica implica tamaños de poro menores a 0.1 μm , en la macromecánica mayor a 0.1 μm (13).

2.4.2 Adhesión química.

Se produce a través de la interacción molecular con la superficie del sustrato, las uniones se producen entre los grupos funcionales del adhesivo y la superficie molecular del sustrato. Es el mecanismo de adhesión más fuerte(14).

2.4.3 Energía superficial.

Se entiende por energía superficial a la fuerza de atracción que existe entre los átomos de la superficie sólida de un mismo material y de materiales diferentes(15).

El comportamiento molecular es diferente en la superficie y en el interior de un material, la cara superficial de un cuerpo recibe el nombre de sustrato, esta cara superficial esta desbalanceada eléctricamente por lo cual, atraerá moléculas que se encuentren libres de un líquido que tenga interacción con el cuerpo sólido (16).

La energía superficial es medida en dinas 1 dina/cm^2 y se puede clasificar en alta media y baja dependiendo su capacidad su fuerza de atracción (17).



Fig 1. Representación de superficie con baja energía superficial (17).

2.4.5 Tensión superficial.

La tensión superficial es la fuerza de atracción que ejercen los átomos y moléculas del centro de un líquido sobre los átomos y moléculas de la superficie de este (16).

En un líquido todas las moléculas se atraen y se repelen en diferentes direcciones excepto las de la superficie que siempre son atraídas hacia el interior confiriéndole a los líquidos la propiedad de ocupar el menor espacio posible, esa atracción en general, lleva a formar esferas en las que la superficie actuará como una membrana elástica, como ejemplo de esto mencionaremos que cuando los insectos se posan sobre una superficie líquida, no se hunden gracias a la membrana elástica formada por la tensión superficial (16).

Las propiedades de la tensión superficial son (16):

- Varía según la superficie donde hace contacto el líquido.
- Si aumenta la temperatura, la tensión superficial disminuye.
- No depende de las características de la membrana.



Fig 2. Formación de gotas de agua gracias a la tensión superficial (43).

2.4.7 Humectancia.

Es la capacidad que tiene un líquido de humectar una superficie, para ello y para evaluar su eficiencia debe haber un íntimo contacto entre ambos y esa eficiencia es determinada por el **ángulo de contacto** mismo que es formado entre la gota del líquido y la superficie donde se ha colocado, mide la capacidad de humectancia de un líquido (15).

En la práctica odontológica es de suma importancia la humectación apropiada para una adhesión eficiente.



Fig 3. Humectancia y ángulo de contacto(16).

2.4.8 Viscosidad.

Es una característica de los fluidos en donde el líquido se opone a fluir gracias a las fuerzas de cohesión y para que fluya se debe ejercer una fuerza (15).

Todos los fluidos presentan viscosidad debido al movimiento de sus moléculas, así, cuando el fluido se pone en movimiento, la interacción de las moléculas fricciona impidiendo que se desplace, existen fluidos ideales que permiten que el flujo sea interminable debido a que no existe fricción, un ejemplo de fluido ideal es el agua (18).



Figura 4. Viscosidad de los líquidos (18).

2.4.10 Capilaridad.

Es un fenómeno en el que un líquido tiene la capacidad de fluir en ascenso o descenso a través de un tubo capilar, dependerá de la tensión superficial del líquido y la energía superficial del tubo (16).

En la práctica odontológica la capilaridad es importante para las técnicas adhesivas ya que permite la penetración del líquido sobre la superficie dental tratada y el desplazamiento de este ya sea por medio de los túbulos dentinarios o el esmalte grabado.

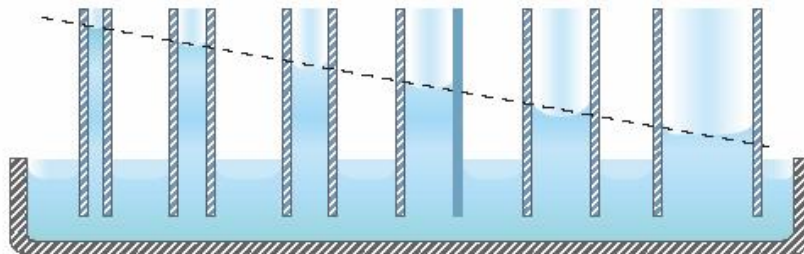


Fig 5. Ascenso de los líquidos según el diámetro del tubo capilar (44).

2.6 Esmalte dental.

2.6.1 Composición del esmalte.

El esmalte está formado por una matriz orgánica 1%, inorgánica 95% y agua 4%, el proceso de formación se denomina amelogénesis llamado así, por la intervención de ameloblastos, caracterizado por producir una matriz orgánica y la agregación de sales minerales dentro de la misma (19).

La materia orgánica está formada por la agregación de sales cálcicas como fosfato y carbonato en la matriz del esmalte que posteriormente cristaliza, formando así, cristales de hidroxiapatita. Estos cristales se alinean sobre la matriz formando esmalte prismático o aprismático según la organización de los mismos (20).

La materia orgánica es mínima y es distribuida entre los prismas del esmalte llamándose así, materia interprismática. Entre sus características esta su alta mineralización y su extremada dureza (3.1-4.7 GPa), misma que decrece hacia el límite amelodentinario, tiene una escasa elasticidad gracias a su mínima cantidad de agua y materia orgánica (módulo elástico de Young entre 72 y 87 GPa) (20).

2.6.2 Adhesión al esmalte.

El mecanismo de extracción de minerales en el acondicionamiento del esmalte dental posibilita la adhesión. En 1955 Buonocore describe el patrón de grabado ácido del esmalte, en el cual se aplica ácido fosfórico del 32-37% en agua, desmineralizando y disolviendo selectivamente la materia orgánica del esmalte extrayendo minerales y sustituyéndolos por monómeros que al polimerizar generan traba micromecánica (20).

Basado en el patrón de grabado ácido existe una clasificación dividida en 3 tipos:

- Tipo I: los cristales de hidroxiapatita se desmineralizan del centro permaneciendo insoluble la periferia.

- Tipo II: se desmineraliza la periferia de los cristales de hidroxiapatita permaneciendo insoluble el centro.
- Tipo III: se logra este patrón de grabado cuando se exceden los 15 segundos de contacto del ácido con la superficie dental, se caracteriza por una degradación de tejido mayor a los patrones I y II.

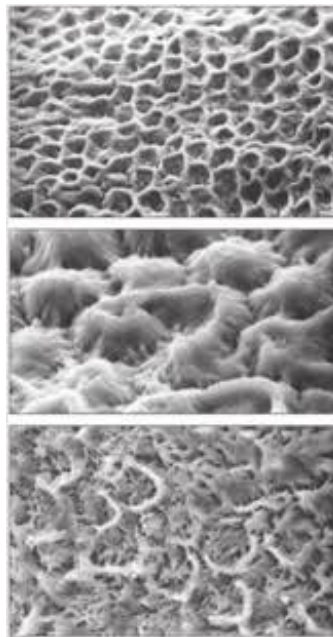


Fig 6. Imagen obtenida por un microscopio, muestra las microporosidades ocasionadas por el patrón de grabado ácido, (a) patrón tipo I, (b) patrón tipo II, (c) patrón tipo III (20).

2.7 Dentina

2.7.1 Composición de la dentina.

Formada por odontoblastos, constituye la mayor cantidad de superficie del diente, es considerada un tejido vivo en comparación de la estructura cristalina del esmalte, su estructura consta de una matriz mineralizada y túbulos dentinarios (9).

Su composición química es de 70% materia inorgánica compuesta por cristales de hidroxiapatita en forma de plato y de menor tamaño que los del esmalte, calcio, fósforo, carbonato y otros oligoelementos, 20% materia

orgánica constituida principalmente por colágeno tipo I en un (90%), proteínas no colágenas (10%) y fosfolípidos y 10% agua. Su relación con la pulpa es íntima por lo que es considerada una prolongación fisiológica de la misma (21).

Los túbulos dentinarios se disponen muy cercanos entre sí, su longitud es de 1,5 y 2mm su pared es llamada dentina peritubular, contienen fluido tisular encontrado en el espacio periprocesal y contienen la prolongación citoplasmática del odontoblasto (20,21).

La dentina intertubular se ubica en las paredes de los túbulos dentinarios cuyo componente es principalmente colágeno dispuesto en forma de red, lugar donde se depositan cristales de hidroxiapatita (9).

Los túbulos dentinarios confieren permeabilidad, son los responsables del estímulo hidrodinámico que produce dolor dental. Su dureza es de 0,57 y 1,13 GPa su modulo elástico de Young oscila entre 18 y 25 GPa (21).

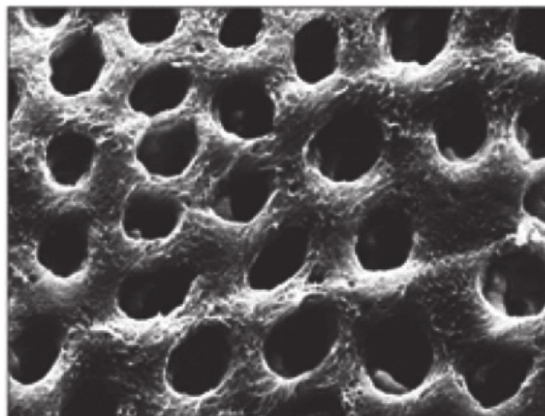


Fig 7. Imagen obtenida a través de un microscopio electrónico donde se muestran túbulos dentinarios con corte transversal (20).

2.7.2 Adhesión a dentina.

La adhesión a dentina es de suma importancia y con mayor complejidad que la adhesión al esmalte debido a que la dentina está en contacto íntimo con la pulpa dental a través de numerosos túbulos dentinarios que desplazan líquido dentro de ellos (20).

Se lleva a cabo por la formación de la capa híbrida, la cual, se forma mediante la infiltración de líquido orgánico que polimeriza entre las fibras

de colágena y la dentina desmineralizada, el material líquido también penetra hacia los túbulos dentinarios generando así, la adhesión micromecánica (20).

El principio de adhesión en dentina se basa en un grabado ácido del 32 a 37% que desmineraliza la superficie, eliminando o disolviendo así el barrillo dentinario también llamado "smear layer" compuesto por fragmentos de túbulos dentinarios, fibras colágenas y bacterias en caso de haber caries. Tal disolución expone a los túbulos dentinarios para permitir la penetración de un material líquido que polimerizará (9).

A lo largo de los años y mediante el desarrollo de sistemas adhesivos se han descrito tres acciones a seguir para tener éxito en la adhesión a dentina:

1. Acondicionamiento: involucra un ácido que permite exponer fibras de colágeno de los túbulos dentinarios
2. Impregnar: exponer las fibras colágenas con sustancias monoméricas hidrofílicas
3. Adherir: colocación de sistemas monoméricos hidrofóbicos (20).

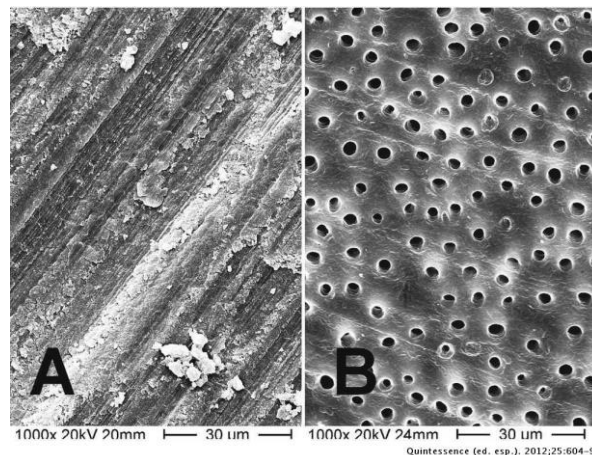


Fig 8. Imagen obtenida mediante microscopio electrónico, (A) dentina con barrillo dentinario. (B) dentina tras la eliminación de barrillo y túbulos dentinarios expuestos (20).

b Grabado selectivo.

En esta técnica solo se graba esmalte, la dentina será tratada con un sistema adhesivo autograbante que sustituye el grabado ácido de manera independiente, el esmalte por otra parte se grabará con ácido ortofosfórico durante 15 segundos lavando profusamente durante 30 segundos para posteriormente secarse (5).

La adaptación del margen del esmalte es un parteaguas para el éxito clínico, cuando existen espacios revelados por tinción marginal es una alerta de falla en la adhesión que ocasionará microfiltración y el fracaso de nuestra restauración, el grabado selectivo se asegura de hacer un buen sellado marginal (5).

c Barrillo dentinario smear layer.

El principal reto en la evolución y el desarrollo de los adhesivos dentinarios se ha basado en lograr una adhesión duradera y eficaz sobre dentina, pero también en la pregunta de si es necesario eliminar el barrillo dentinario “*smear layer*” o no, para lograr la adhesión deseada.

La presencia del barrillo dentinario se reportó en 1970 por Erick y col. quienes lo identificaron por medio de un microscopio, siendo su tamaño aproximado de 0,5-15 μm^7 , en 1974 se reportó que las preparaciones cavitarias contenían barrillo dentinario y este se introducía en los túbulos dentinarios. Goldman y col. en 1981 describieron que el barrillo dentinario está compuesto por materia orgánica con un grosor de 1 μm . Para 1984 Mader y col. describen que el barrillo dentinario está conformado por una capa superficial y otra capa que está compactada dentro de los túbulos dentinarios (3).

El barrillo dentinario está compuesto por fragmentos de dentina resultado del corte con instrumentos, saliva y bacterias que se compactan en dentina intertubular penetrando los túbulos dentinarios y formando los *smear plugs*(22).

El espesor del barrillo dentinario puede variar entre 1-5 μm , para lograr una adhesión eficaz es necesaria la permeabilidad de los túbulos, por lo tanto, si el barrillo dentinario no es eliminado éste no permitirá el flujo de los fluidos (22, 3).

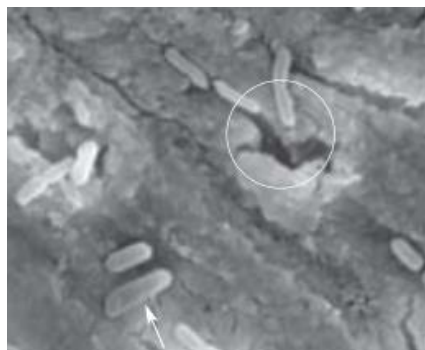


Fig 9. Imagen obtenida mediante microscopio electrónico donde se observan los túbulos dentinarios y presencia de bacterias (22).

2.8 Sistemas adhesivos.

Los sistemas adhesivos son biomateriales utilizados en los protocolos clínicos de restauraciones estéticas, se utilizan para establecer una unión entre los materiales de resina y los tejidos dentarios (9).

Su desarrollo se ha enfocado en el mejoramiento de los componentes, función del material y la simplificación de la técnica con el objetivo de alcanzar excelentes resultados en un tiempo óptimo (23).

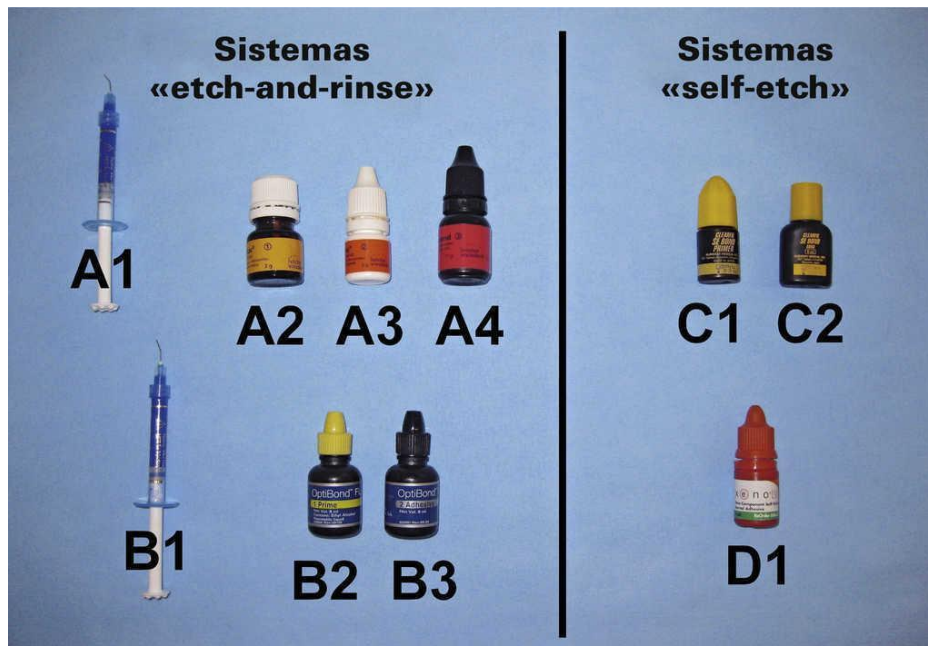
La evolución de los sistemas adhesivos ha buscado tres objetivos para la adhesión dental, mismos que se han utilizado para su desarrollo, los cuales son (23):

- Preservar la mayor cantidad de superficie dentaria.
- Obtener retención duradera y eficaz.
- Evitar microfiltraciones.

Los sistemas adhesivos se conforman de diversos componentes y el número de pasos clínicos utilizados para su colocación y de eso depende su clasificación (23).

La composición de los sistemas adhesivos es muy variada dependerá del tipo de adhesivo basado en su clasificación, pero fundamentalmente debe contener un agente grabador, un primer o imprimante y adhesivo o bonding (24).

- **Agente grabador.** Generalmente son utilizados ácidos fuertes como ácido ortofosfórico en una concentración del 32-37% para grabado total promoviendo las microretenciones en esmalte y dentina eliminando barrillo dentinario para permeabilizar los túbulos dentinarios.
- **Primer.** Transforma la superficie dentinaria en hidrofóbica y permeable favoreciendo la penetración del adhesivo.
- **Adhesivo o bonding.** Es el componente cuyo objetivo es crear una unión mecánica, tener contacto con la red de colágeno expuesta, formar capa híbrida y tags de resina además de ofrecer las condiciones hidrófobas para la polimerización de la resina (25).



Quintessence (ed. esp.). 2012;25:604-9

Figura 10. Componentes de los sistemas adhesivos (9).

2.8.1 Características químicas de los adhesivos.

Los adhesivos dentinarios han cambiado en su composición e independientemente del tipo de adhesivo y su mecanismo de acción casi todos comparten una base en su composición como son monómeros funcionales hidrofílico e hidrofóbicos, agentes grabadores, activadores, rellenos y disolventes, dependiendo de su composición será la reacción química que tendrán (26).

a Formación de capa híbrida.

El término fue utilizado por primera vez por Nakabayashi en 1982 hace referencia a una zona transicional formada por la infiltración de un líquido orgánico en la dentina pretratada. Esta impregnación crea una mezcla de resina y dentina cuya característica es la oposición a agresiones por ácidos (4).

Los fracasos en la práctica odontológica se asocian con la microfiltración en la interfase de la superficie dental y el material restaurativo, esta microfiltración generalmente lleva consigo humedad y bacterias, que a su vez puede ocasionar sensibilidad dental debido a la irritación, formación de caries y el fracaso de la restauración (4).

Una capa híbrida efectiva estará determinada por la adecuada exposición de fibras de colágeno contenidas en dentina sin que colapsen para lograr una adhesión micromecánica (15).

La formación de una capa híbrida se consigue con una serie de pasos que inician con el grabado ácido de la dentina para eliminar barrillo dentinario ocasionando una descalcificación que expondrá fibras de colágeno, colocación de primer con contenido monomérico hidrofílico para posicionar las fibras de colágeno y polimerizar ocasionando retención micromecánica, para posteriormente colocar el material restaurador logrando así unión entre la superficie dental, adhesivo y material restaurador (4).

c Tags de resina.

Los tags son prolongaciones de resina que han penetrado hacia los túbulos dentinarios y que al polimerizar generan una retención micromecánica dentro de ellos (15).

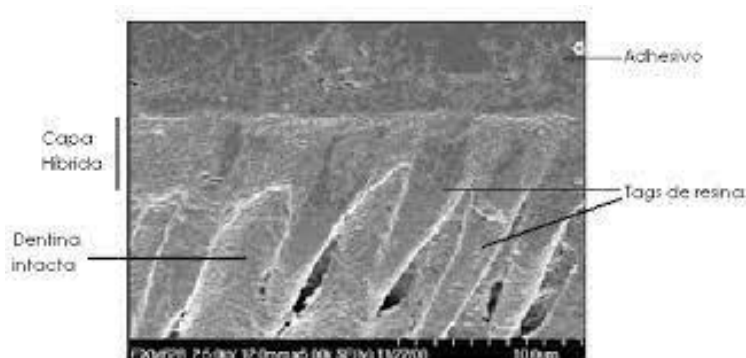


Fig 11. Imagen obtenida por microscopio electrónico donde se observa el adhesivo, la zona de la capa híbrida, los tags de resina y la dentina (45).

d Microfiltración y nanofiltración.

La microfiltración se presenta inicialmente por una falla en el sellado marginal de una restauración y la estructura dental, el espacio de la interfase actúa como un tubo capilar permitiendo el paso de los fluidos, bacterias y moléculas. En la cavidad oral el cambio de temperatura creará cambios dimensionales en la estructura dental y la restauración facilitando así la microfiltración (16).

Cuando existen espacios entre la capa híbrida y la estructura dental habrá **nanofiltración**, son espacios nanométricos donde pasan moléculas nanométricas, para evitar este tipo de filtración debe realizarse una técnica adhesiva correcta preparando adecuadamente el sustrato con el sellado de túbulos dentinarios, evaporación del solvente y la inhibición de acción en las metaloproteinasas (27).

2.8.2 Clasificación de los sistemas adhesivos.

Durante los últimos años los sistemas adhesivos han recibido diversas clasificaciones, principalmente basándose en su técnica de adhesión y en generaciones de acuerdo con su desarrollo comercial.

Con base en su técnica adhesiva por medio del acondicionamiento de tejido se describen sistemas adhesivos de uno, dos y tres pasos clínicos durante el procedimiento.

2.8.2.1 Basados en la técnica de adhesión.

- **Adhesivos de grabado ácido que requieren tres pasos clínicos (*Total Etch System*).** La técnica se realiza mediante grabado total de esmalte y dentina utilizando ácido fosfórico al 37% 15 segundos en esmalte, 10 segundos en dentina, lavado y secado con papel para no desecar dentina, aplicación de agente imprimante, colocación de adhesivo frotando por 20 segundos, fotopolimerización (28,23).
- **Adhesivos de dos pasos clínicos con grabado selectivo.** Es una técnica muy sensible, requiere humedad tras haber eliminado la colocación del imprimante de manera independiente, se realiza por medio de grabado selectivo sin tocar dentina, pero manteniéndola húmeda, se realiza lavado y desinfección de la preparación, colocación de ácido grabador solo en esmalte durante 15 segundos, lavado y secado sin desecar dentina, aplicación de adhesivo y fotopolimerización(28).
- **Adhesivos universales (*Single Step all-in-one Adhesives*).** Combinan grabado ácido, imprimante y adhesión en un solo producto, su ventaja es la simplificación de pasos clínicos (23). Se realiza desinfección, lavado y secado, se coloca adhesivo sobre esmalte y dentina sin grabado ácido, se volatiliza el solvente del adhesivo con aire de manera indirecta y se polimeriza (28).

2.8.2.3 Basados en generaciones comerciales.

Primera generación.

En 1955 Buonocore describe la técnica de grabado ácido utilizando ácidos débiles para una técnica adhesiva, más tarde sería retomada por Bowen, en 1961 Bowen obtiene la resina bisfenol-glicidil-metacrilato (Bis-GMA).

Para 1965 Bowen propone el primer adhesivo dentinario que contenía una molécula de NPG-GMA (N-fenilglicina-glicidil Metacrilato) comercializado por Cervident de S: S: White con propiedades bifuncionales, un extremo del metacrilato tendría unión al material restaurador y el otro extremo a la dentina, pero generaba mucha contracción al polimerizar, era sensible a la humedad y era inestable. La resistencia de unión de estos adhesivos era de 3MPa la cuál disminuía si entraba en contacto con humedad (1, 21).

Segunda generación.

Es a partir de esta generación que se les empieza a distinguir como sistemas adhesivos a esmalte y dentina, basados en la unión iónica con fosfato y calcio utilizando resina de dimetacrilato contrario a los de primera generación que utilizaban Bis-GMA, esta propiedad mejoró la resistencia de unión que era de entre 4 y 6 Mpa, pero los fracasos clínicos continuaron debido a la reacción débil de fosfato-calcio al entrar en contacto con humedad (21).

Tercera generación.

Los adhesivos de esta generación se introdujeron a finales de los ochenta y fueron los primeros en constituirse de primer y adhesivo (7).

El avance más importante en esta generación fue la utilización de primers en la superficie de dentina, siendo ácidos débiles con la capacidad de modificar la superficie eliminando el barrillo dentinario permitiendo la permeabilidad de los túbulos de la dentina, posteriormente se colocaría el adhesivo mismo que tendría contacto directo con dentina y que cuya interacción permitiría una adhesión eficiente 8-15 Mpa. Estos sistemas

adhesivos demostraron tener valores adhesivos similares en dentina que los ya demostrados en esmalte, como desventaja se comprobó que la retención disminuía a los 3 años de estar en cavidad oral (21).

Cuarta generación.

El uso de dos componentes en los sistemas adhesivos sigue utilizándose en esta generación con el objetivo de eliminar el barrillo dentinario, en esta generación se hace referencia a la necesidad de exposición de dentina intertubular y peritubular, el manejo exitoso de estos sistemas adhesivos demostró formación de la capa híbrida lo cual permitía valores altos de adhesión 12-22 Mpa permitiendo buen sellado de la interfase y disminución de sensibilidad postoperatoria, la principal desventaja es que la dosificación debe ser muy precisa para el éxito clínico, lo cual era difícil de manejar en la práctica clínica reduciendo así sus propiedades (21, 7).

Quinta generación.

Los sistemas adhesivos de quinta generación siguen teniendo como objetivo la formación de la capa híbrida y adhesión química disminuyendo los pasos clínicos para simplificar la técnica, se utilizaron técnicas de grabado total y de una sola botella que contenía imprimador y adhesivo después del grabado. Estos adhesivos tenían la capacidad de unirse fuertemente a esmalte, dentina 29 MPa y a materiales restauradores, la utilización de un solo producto que contiene dos componentes disminuye la posibilidad de fracaso (7, 21).

Sexta generación.

Los sistemas adhesivos de sexta generación son llamados también autograbadores, eliminaron el grabado ácido independiente para hacer en un solo paso grabado ácido y acondicionamiento. Se emplearon imprimadores con autograbado y adhesivos con imprimadores para poder preparar el sustrato dentario y obtener retención micromecánica, los valores de adhesión son aproximadamente de 26 MPa. Las diferencias con

los sistemas adhesivos de otras generaciones es inicialmente el número de pasos clínicos, número de frascos, pH inicial y tipo de monómeros utilizados. Estos sistemas pueden clasificarse en tipo I donde se coloca el primer y posteriormente el adhesivo, son aireados entre uno y otro y polimerizado. Tipo II donde se mezclan primer y adhesivo previo a la aplicación se coloca dos capas que son aireadas entre una y otra y después polimerizadas, este tipo de adhesivos no son compatibles con cementos de resina duales (27).

Séptima generación.

Son adhesivos autograbadores de un solo paso y un solo frasco *All in one*, se componen de monómeros ácidos hidrofílicos que comienzan la desmineralización en los tejidos dentarios, solventes como acetona, alcohol y agua, al ser dispensado el adhesivo los solventes se evaporan promoviendo la fase de separación y la formación de agua que ocasionara hidrólisis afectando así la capacidad adhesiva cuya resistencia de unión es de 20 MPa ,estos sistemas adhesivos no son compatibles con resinas duales (27).

Octava generación.

Los avances de los sistemas adhesivos se han basado principalmente en la simplificación de la técnica, la disminución de sensibilidad postoperatoria y aumentar los valores adhesivos, con ese objetivo se desarrollaron los adhesivos universales diferenciados con las generaciones previas por la adición de MDP, silano, rellenos nanométricos y monómeros ácidos hidrofílicos en su composición brindando menor contracción tras su polimerización y buenos valores adhesivos aun con exposición a humedad, caracterizados también por su vida útil prolongada (29).



Fig 12. Adhesivos a través del tiempo (46).

2.8.3 Mecanismos de degradación de los sistemas adhesivos.

La evolución de los sistemas adhesivos se ha enfocado en el manejo adecuado del sustrato para una adhesión duradera y eficiente, el manejo dentinario ha sido el mayor reto para los sistemas adhesivos dada su composición y debido a la humedad ha sido complejo establecer una interfaz estable (30).

El cambio en los sistemas adhesivos fue llevando a la adición de monómeros hidrofílicos y a ácidos que tuvieran la propiedad de penetrar hacia las fibras de colágeno, llevándolos a formar membranas semipermeables que más tarde ocasionarían la degradación de la interfaz (31).

Se han identificado tres principales causas que ocasionan la degradación de la interfaz adhesiva (31):

- Los adhesivos simplificados tienen en su composición mayor cantidad de monómeros hidrofílicos lo que provoca humedad en la capa híbrida, misma que será degradada debilitando la interfaz estructura dental- restauración.
- Los solventes usados en los sistemas adhesivos simplificados deberán evaporarse para no intervenir en la polimerización, pero esa acción no se logra por completo y se da el atrapamiento del

disolvente sin evaporar poniendo en riesgo la estabilidad de la capa híbrida.

- La degradación por metaloproteinasas MMPs son proteínas que componen la matriz extracelular son una familia endopeptidasa zinc/calcio dependiente, activan receptores y degradan a la matriz extracelular incluyendo el colágeno, su actividad es regulada por inhibidores tisulares TIMPs, son expresadas por odontoblastos y se identifican 5 subfamilias colágenasas, gelatinasas, estromelinas y metaloproteasas (32, 27).

La aplicación de adhesivos dentales y el proceso de grabado ácido en el que se desmineraliza la dentina y se disminuye su pH ocasiona que las metaloproteinasas sean liberadas, el proceso de adhesión debe utilizar adhesivos monoméricos que infiltren completamente a la dentina, cuando se crean zonas de dentina y colágeno expuestas se pueden crear porosidades en la capa híbrida existiendo el riesgo de hidrólisis, nanofiltración y degradación por acción de metaloproteinasas (27).

2.8.4 Monómeros funcionales de los adhesivos dentales.

Los adhesivos dentales están compuestos principalmente por monómeros, existen dos tipos de monómeros adhesivos, los reticulantes cuya constitución tiene dos extremos que polimerizan y los monómeros funcionales que solo tienen un extremo polimerizable proporcionando una función específica y da como resultado polímeros lineales (33).

En general la composición de un monómero está basada en tres moléculas, un grupo funcional que generalmente le proporciona al monómero características hidrofílicas, su función es la extracción mineral de la dentina y su humectación, un espaciador cuya función es mantener distancia entre grupo funcional y grupo polimerizable, determina también la viscosidad, humectancia y flexibilidad, uno o más grupos polimerizables que pueden ser acrilatos o metacrilatos (33).

a Monómeros reticulantes.

Son monómeros con dos extremos polimerizables, hidrófobos por lo cual evitan la humedad por absorción de agua, su función es reforzar la resina. Los monómeros reticulantes son TEGDMA, Bis-GMA y UDMA, forman polímeros reticulados por lo cual confieren resistencia al adhesivo (33).

Bis-GMA polímero de gran peso molecular lo cual disminuye contracción a la polimerización, pero aumenta su viscosidad, contiene dos grupos hidroxilos que aumentan la absorción acuosa. UDMA presenta menos viscosidad y es más flexible que Bis-GMA puede presentarse combinado o solo. TEGDMA es muy flexible y por lo tanto muy resistente al unirse con Bis-GMA confiere menor rigidez (34).

b Monómeros funcionales.

Los monómeros funcionales tienen una mejor resistencia comparados con los monómeros reticulados, forman polímeros lineales, tienen un grupo polimerizable y un grupo químico específico cuya característica es la liberación de protones asociado a grupos específicos como fosfatos, fosfonatados, carboxilos, que tienen interacción química con el Ca de la hidroxiapatita. Permiten una mejor humectancia logrando una infiltración adecuada del adhesivo en la superficie dentinaria ya tratada y húmeda, se caracterizan por tener muy buenas propiedades hidrofílicas (33, 8).

La interacción de calcio con la hidroxiapatita hace referencia al concepto empleado de adhesión-desmineralización cuya función es la interacción del grupo funcional con el Ca de la hidroxiapatita quedando un complejo Ca-monómero, la estabilidad de esta interacción determina si el complejo permanecerá químicamente unido al diente o se degradará y desmineralizará la estructura dental (8).

La estructura química del monómero funcional es el elemento más importante pues influye directamente en el comportamiento del sistema adhesivo (8).

Los monómeros funcionales más utilizados son 10- metacriloxidecilfosfato dihidrogenado (10-MDP), glicerofosfato dimetacrilato (GPDM), ácido 4 metacriloxietiltrimetilico (4-MET), hidrógeno fosfato de 2- metacriloxietilofenilo Fenil-P (8).

2.8.5 Monómero 10MDP.

En 1980 se sintetizó el monómero funcional 10-MDP por los investigadores de la casa comercial Kuraray (Osaka Japón). El monómero 10-MDP es un éster de fosfato que funciona a través de enlaces iónicos con el Ca de la hidroxiapatita, formando así, una unión química con la estructura dental. Contiene una cadena simple de carbono como espaciador hidrofóbico separando con eficacia el metacrilato del grupo polimerizable del grupo funcional fosfato (5,6).

El 10 MDP es un monómero con un pH de 2, su función es interactuar en la capa superficial de dentina generando una reacción e incorporación formando un complejo estable, la profundidad de infiltración esta entre 1 μ m y 300nm (27).

Es un monómero con alta eficacia debido a su interacción química de intercambio iónico, gracias a su prolongada longevidad en restauraciones se ha considerado de los mejores monómeros utilizados en sistemas adhesivos autocondicionantes (6).

Es un monómero estable a la hidrólisis y no se disocia en la cavidad oral, presenta una baja disolución de las sales cálcicas debido a sus enlaces iónicos con la hidroxiapatita (35).

Existe una fuerte interacción química entre el 10-MDP y la hidroxiapatita y esto se lleva a cabo gracias a la desmineralización superficial de la hidroxiapatita la consecuente adsorción de MDP resultando en una formación de sales MDP-Ca, las sales de monómero MDP y Ca protegen las fibras de colágeno (36).

Es resistente a la hidrólisis, no presenta degradación permaneciendo mayor tiempo en la cavidad oral, crea una zona llamada ácido-base resistente formada debajo de la capa híbrida generando así resistencia al ataque ácido, disminuye filtración en la interfaz adhesiva, así como susceptibilidad a caries (25).

La zona llamada ácido-base resistente fue reportada por Tsuchita et al. 2004 donde mencionó que esta se encontraba debajo de la capa híbrida, su función es el sellado de márgenes y durabilidad de la restauración debido a la prevención de caries que proporciona la resistencia a ataques ácidos. La zona ácido-base resistente se forma por la penetración, polimerización y desmineralización del tejido dentinario, esta formación solo está presente en los sistemas adhesivos de autograbado no se ha reportado su presencia en los sistemas de grabado ácido (37).

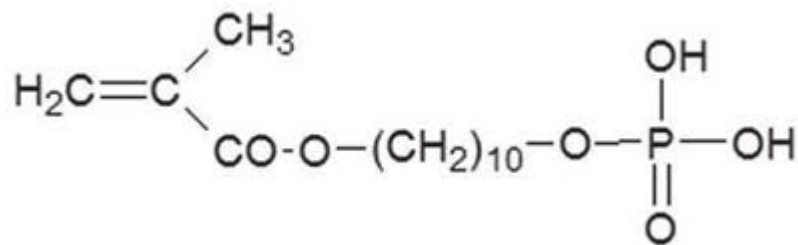


Figura 13. Estructura química de 10- metacriloxydecilfosfato dihidrogenado (47).

2.8.5.2 Concepto adhesión desmineralización.

El concepto Adhesión Desmineralización AD hace referencia a la interacción de las moléculas de adhesivos autograbadores con los tejidos dentarios, la interacción se da superficialmente con la hidroxiapatita del esmalte y la dentina sin disolver los cristales de hidroxiapatita, así, se mantienen para generar enlaces iónicos (27).

Todos los ácidos tienen interacción con el Ca de la hidroxiapatita dando como resultado la formación de una sal, pero la estabilidad de esta la determinará la acidez del monómero, los monómeros Fenil-P y el 4 META presentan una acidez alta lo que resultará en una desmineralización similar a la del ácido fosfórico creando una sal fácil de degradar y permitiendo microfiltraciones, en cambio, el MDP es un monómero con una acidez que desmineraliza parcialmente la hidroxiapatita y forma una sal estable que refuerza la capa híbrida y el sellado de los márgenes de la restauración (5).

2.8.5.3 Formación de nanocapas.

En los sistemas adhesivos universales se han reportado formación de nanocapas a través de la interfaz adhesiva en esmalte y dentina permiten que la interfaz sea estable en un medio húmedo (36).

En 2012 Yoshida et al. Propusieron un modelo estructural molecular de nanocapas basado en los datos de difracción de los rayos x en donde sostienen que el 10MDP autoensambló nanocapas de 3.5nm, dos nanocapas conectadas a través de Ca formando un complejo con el fosfato del 10MDP (38).

En 2004 Tsuchita y col. reportaron la zona ácido-base resistente ABRZ localizada debajo de la capa híbrida formada por adhesivos autograbantes. Esta zona no es lo mismo que la capa híbrida y debido a su característica ácido-base resistente, previene caries secundaria, promueve un mejor sellado marginal prolongando así la longevidad de la restauración (37).

Bajo microscopia electrónica se ha demostrado que ABRZ tiene cristales de hidroxiapatita bien organizados, pero con características diferentes a la capa híbrida lo que contribuye a la formación del ABRZ es la infiltración de los monómeros en el tejido dental (39).

El agregado de flúor en el adhesivo permite que la interfaz sea más estable en comparación con los adhesivos que no tienen liberación de fluoruro. El ABRZ de cada sistema adhesivo permite predecir la durabilidad de la restauración sobre la estructura dental (40).

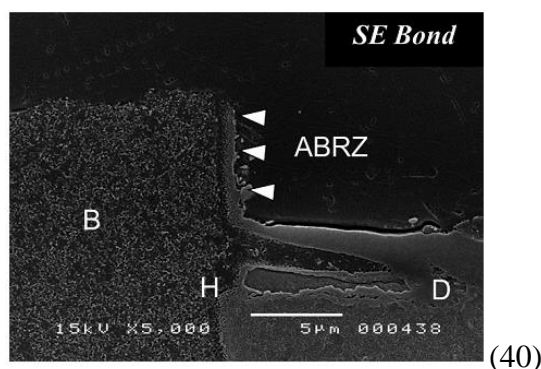


Figura 14. Se muestra imagen de microscopia electrónica donde se muestra la zona ABZR debajo de la capa híbrida formada por un sistema adhesivo de autograbado (40).

2.8.5.4 Efecto inhibitorio.

Las mezclas que se utilizan en los sistemas adhesivos podrían interferir en la formación eficiente de nanocapas MDP-Ca. La interacción MDP- Ca se basa en 3 mecanismos.

- Enlace iónico de MDP con Ca de hidroxiapatita.
- Se forman sales MDP-Ca, que se autoensamblan en nanocapas, otras moléculas de MDP se siguen uniendo a la hidroxiapatita.
- A un pH de 4 aproximadamente se forma fosfato de Ca.

Los estudios establecen que cuando se adiciona HEMA interfiere en la interacción química con la hidroxiapatita, por lo tanto, evita la formación de sales MDP-Ca y formación de nanocapas. En presencia de HEMA la molécula MDP no tendrá una buena infiltración pues este no podrá tener absorción por la hidroxiapatita (37).

2.8.5.5 Ventajas de 10 MDP.

El 10 MDP es una molécula con considerables ventajas entre las cuales destacan su capacidad de adhesión mecánica y química a la estructura dental gracias al intercambio iónico y a la capacidad de polimerización permitiendo así una mayor longevidad en las restauraciones y menor sensibilidad postoperatoria (36).

- Requiere menor tiempo de trabajo en comparación con otros adhesivos.
- Fácil manipulación.
- La desmineralización y la infiltración del adhesivo en la estructura dental se hace en un mismo paso.
- No es necesario frotar, aplicar varias capas ni lavar.
- Puede utilizarse en todas las técnicas adhesivas.
- Tiene una duración prolongada y sellado marginal eficiente gracias a la estabilidad del MDP-Ca.
- No son tan sensibles a la humedad de la dentina.

- Se pueden usar como material desensibilizante puesto que su utilización disminuye la sensibilidad postoperatoria.
- Su composición es estable.
- Pueden usarse en la mayoría de las restauraciones.

2.8.5.6 Desventajas.

- Debido al sistema de autograbado que presenta el 10 MDP, si se trabaja en cavidades profundas la penetración del sistema adhesivo podría ocasionar irritación pulpar, el almacenamiento.
- Durante el almacenamiento las propiedades de los adhesivos con 10 MDP podrían alterarse gracias a la acidez que ocasiona la hidrólisis de MDP.
- Para lograr una interfaz efectiva, son cruciales los pasos a seguir (36).

2.8.5.8 MDP en esmalte y dentina.

Van Meerbek y Col. 2003 explican que el grabado ácido previo promueve de mejores valores de resistencia adhesiva 30-40 MPa comparado con los sistemas de autograbado 30MPa. Describen que un previo grabado ácido a la utilización de adhesivos autograbadores mejora la adhesión cuando esta se realiza en esmalte dental (41).

Aunque se han hecho diversas investigaciones no hay evidencia certera sobre el grado de penetración de los monómeros ácidos en el esmalte, la simplificación de los pasos de los sistemas adhesivos de la actualidad no mejora la efectividad de los sistemas adhesivos, sin embargo, se ha demostrado que los sistemas adhesivos de grabado total de tres pasos son muy efectivos sobre el esmalte dental (41).

2.8.5.9 Fuerza de adhesión de 10 MDP.

Inoue et al. en sus pruebas de laboratorio sometieron la interfase dentina-adhesivo de 10 MDP a 10,000- 100,00 ciclos térmicos mostrando que a 50,000 ciclos mantenía una resistencia de unión de 40 MPa, a 100,000 ciclos disminuía a 35MPa, en comparación con el 10 MDP el mismo estudio se realizó con el monómero 4-MET quien mostró una resistencia adhesiva de 35 MPa a 50,000 ciclos reduciendo hasta los 23 MPa llegando a los 100,000 ciclos, el estudio sometió a la interfaz adhesiva a envejecimiento mostrando que el 10 MDP no presenta cambios estructurales, por lo tanto, cumple con el concepto adhesión desmineralización gracias a la estabilidad y baja solubilidad que proporciona la formación de sales MDP-Ca (8).

2.8.5.10 Unión de 10 MDP a circonia.

El éxito en la odontología restauradora radica en garantizar la longevidad de las restauraciones, evaluando su permanencia y su resistencia a la microfiltración.

El 10 MDP se utilizado en su mayoría para unir restauraciones cerámicas de circonia, se ha demostrado que crea enlaces de iónicos con metal y circonia (42).

Es utilizado mayoritariamente en este tipo de restauración pues garantiza la unión entre la estructura dental y la cerámica de circonia, gracias a su capacidad de unión química (42).



Figura 15. Prótesis de circonia (48).

4 Conclusiones.

- Los sistemas adhesivos están en constante evolución, siempre en busca de mejoras para prolongar la longevidad de las restauraciones, disminuir la sensibilidad postoperatoria y lograr el éxito clínico.
- Los estudios y las investigaciones sobre sistemas adhesivos nos proveen en la actualidad de una amplia variedad de opciones para la práctica odontológica.
- La traba micromecánica que se genera gracias al grabado ácido sigue siendo de las mejores opciones para lograr una adhesión efectiva.
- La molécula 10 MDP en los sistemas adhesivos permite una unión física y química gracias a la estabilidad de la formación de sales Ca.
- La molécula 10 MDP en los sistemas adhesivos y su mecanismo de acción adhesión- calcificación permite la estabilidad de la interfaz adhesiva.
- Es importante conocer la composición de los sistemas adhesivos para elegir con asertividad en cada caso clínico.
- No existe un sistema adhesivo ideal que pueda utilizarse en todos los casos y no presente ninguna falla, pero las continuas investigaciones van encaminadas a mejoras.

5 Referencias bibliográficas.

1. Camps Alemany 1. La evolución de la adhesión a dentina ERA PRE-ADHESIVA. Avances en Odontostomatología [Internet]. 2004 [cited 2022 Oct 27];20(1):11–7. Disponible en: <https://acortar.link/JDG62B>
2. Carrillo Sánchez C. Michael G. Buonocore, padre de la odontología adhesiva moderna, 63 años del desarrollo de la técnica del grabado del esmalte (1955-2018). Michael G. Buonocore, father of modern adhesive dentistry, 63 years of the development of the Enamel Etching Technique [Internet]. Vol. 75, Revista ADM. 2018. Disponible en: www.medigraphic.com/adm
3. Moradas Estrada M ÁLB. El barrillo dentinario y su importancia en endodoncia. [Internet]. RCOE. [cited 2023 Mar 23]. Disponible en: <https://acortar.link/gBG2cN>
4. Carrillo C. Capa híbrida. MG Revisión [Internet]. 2005 Sep [cited 2023 Mar 23];LXII(5):181–4. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2005/od055e.pdf>
5. Calavatra Oramas L. Actualización en odontología adhesiva y sellado inmediato dentinario (SID). Revisión de la literatura. Acta Odontol Venez [Internet]. 2018 Jul 18 [cited 2023 Mar 23];56(2). Disponible en: <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2018/2/art-10/>
6. Sauro S, Arlinda D, Luzi L, Feitosa V. INTERACCIONES QUÍMICAS Y EFECTIVIDAD DE LA ADHESIÓN DENTINARIA DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS CON MONÓMEROS FUNCIONALES DE ALTO RENDIMIENTO gd I+D+i. Gaceta Dental [Internet]. 2016 Mar [cited 2023 Apr 2];206–13. Disponible en: <https://acortar.link/rjNqt0>
7. Dentaltix. Las 7 generaciones de los adhesivos dentales: Un recorrido histórico por su evolución [Internet]. Dentaltix. 2022 [cited 2022 Oct 29]. Disponible en: <https://acortar.link/fCNs6J>

9. Moncada G, García Fonseca R, de Oliveira OB, Fernández E, Martín J, Vildósola P. Rol del 10-metacriloxidecilsfosfato dihidrogenado en el cambio de paradigma de los sistemas adhesivos integrados en la dentina. Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral [Internet]. 2014 Dec [cited 2023 Apr 10];7(3):194–9. Disponible en: <https://acortar.link/GFDOJT>
10. Simon Flury. Principios de la adhesión y de la técnica adhesiva. Higienistas Auxiliares [Internet]. 2012 [cited 2023 Apr 10];25(10):604–9. Disponible en: <https://acortar.link/1nPMgu>
11. Real Academia Española. Adhesión [Internet]. RAE. [cited 2022 Oct 29]. Disponible en: <https://dle.rae.es/adhesi%C3%B3n>
12. Leandro Alegsa. Definición de adhesión física [Internet]. Leandro Alegsa . 2018 [cited 2022 Oct 29]. Disponible en: https://www.definiciones-de.com/Definicion/de/adhesion_fisica.php
13. Todo en polímeros. La adhesión en los polímeros. [Internet]. Todo en polímeros. 2018 [cited 2022 Oct 30]. Disponible en: <https://todoenpolimeros.com/2018/02/05/la-adhesion-en-los-polimeros/>
14. mexpolimeros. Mecanismos de unión en sistemas adhesivos de metal/plástico. [Internet]. mexpolímeros. 2018 [cited 2022 Oct 30]. Disponible en: <https://acortar.link/sogv7w>
15. 3M Science Appliet to Life. ¿Cómo funciona la adhesión? [Internet]. 3M Science Appliet to Life . [cited 2022 Oct 30]. Disponible en: https://www.3m.com.es/3M/es_ES/union-y-montaje/formacion/como-funciona-la-adhesion/
16. Dixon Carol SW. Materiales dentales. Aplicaciones clínicas. 2a ed. Manual Moderno, editor. México; 2012. 247–271 p.
17. Cova Natera J. Biomateriales Dentales para una odontología restauradora exitosa. 3a ed. Amolca, editor. medellin colombia; 2019. 171–191 p.

18. 3M science applied to life. Introducción a la energía superficial. [Internet]. 3M Science Appliet to Life . 2023 [cited 2023 Mar 22]. Disponible en: <https://acortar.link/Ghnfxv>
19. Editorial Etecé. Viscosidad [Internet]. concepto. 2021 [cited 2023 Mar 22]. Disponible en: <https://concepto.de/viscosidad/>
20. Lizette Albertí Vázquez MMSSMP. ARTÍCULOS DE REVISIÓN HISTOGÉNESIS DEL ESMALTE DENTARIO. CONSIDERACIONES. AMC [Internet]. 2007 [cited 2023 Feb 14];11(3). Disponible en: <https://acortar.link/99pmop>
21. Garrofé A, Martucci D, Picca M. Adhesión a tejidos dentarios [Internet]. Vol. 29, Rev. Fac. de Odon. UBA - Año. 2014 [cited 2023 Apr 10]. Disponible en: <https://acortar.link/4SCMVe>
22. Carrillo C. Dentina y adhesivos dentinarios. Conceptos actuales. Medigraphic [Internet]. 2006 [cited 2023 Mar 12];63(2):45–51. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2006/od062b.pdf>
23. Dourado Loguercio A RA. Sistemas adhesivos. RODYB revista de Operatoria Dental y Biomateriales [Internet]. 2006 Aug [cited 2023 Mar 23];1(2):13–27. Disponible en: <https://www.rodyb.com/wp-content/uploads/2013/02/sistemas-adhesivos.pdf>
24. María Natalia M, Grabre de Prieto Alicia A, María Eugenia Z. Sistemas adhesivos en Odontología Restauradora Adhesives systems in Restorative Dentistry. Odontoestomatología [Internet]. 2015 [cited 2023 Apr 10];17(26):50–6. Disponible en: <https://acortar.link/fCNs6J>
25. Hernández M. Aspectos prácticos de la adhesión a dentina. Av Odontoestomatol [Internet]. 2004 [cited 2023 Feb 14];6(1):19–32. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/odonto/v20n1/original2.pdf>
26. Alfredo Garcilazo Gomez KEMM. factores que afectan y mejoran la adhesión a la dentina. Revista ADM [Internet]. 2019 [cited 2022 Oct 29];76(3):162–8. Disponible en: <https://uo0Frkacortar.link/>




27. Hernández M. Aspectos prácticos de la adhesión a dentina. Avances en odontoestomatología [Internet]. 2004 [cited 2023 Mar 15];20(1):19–32. Disponible en: <https://scielo.isciii.es/pdf/odonto/v20n1/original2.pdf>
28. Lozada MP, Rayo HG. Sistemas adhesivos autograbadores, resistencia de unión y nanofiltración: una revisión. Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia [Internet]. 2012 [cited 2023 Mar 19];24(1):133–50. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfoua/v24n1/v24n1a11.pdf>
29. Villanueva E, Da Silva C, De Andrea A, Galán J, Guarnieri Rondina C, Lojo A. Protocolos Clínicos Para Los Adhesivos Universales. Numero del Póster [Internet]. Facultad de odontología UNLP. 2017 [cited 2023 Mar 15]. Disponible en: <https://acortar.link/JMBYmD>
30. Banegas F, Vintimilla S, Morales B, Pinos P. Uso efectivo de los adhesivos de octava generación. Revista de la Asociación Dental Mexicana [Internet]. 2022 [cited 2023 Mar 20];79(5):284–91. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2022/od225h.pdf>
31. Mailart C. Degradación de la interfaz adhesiva. Facultad de Odontología UNCuyo [Internet]. 2017 [cited 2023 Mar 25];11(1):15–29. Disponible en: <https://acortar.link/UQ3tR1>
32. Araujo JLALD. Degradación de la unión dentina-resina: ¿Por qué sucede y qué estrategias proponen para evitarla? Acta odontológica venezolana [Internet]. 2016 [cited 2023 Apr 10];53(3). Disponible en: <https://acortar.link/FCS1v0>
33. Prado Vanesa P, Natalia A, Delmira A, Rossy Luis B, Gabriel T, Molina Ronell B. Metaloproteinasas de la matriz extracelular (MMPs) en Odontología Metaloproteinasas (MMPs) of the extracellular matrix in Dentistry. Scielo [Internet]. 2016 Aug 11 [cited 2023 Mar 25];28:20–9. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/ode/v18n28/v18n28a04.pdf>
34. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives [Internet]. Vol. 28, Biomaterials. 2007 [cited 2023 Apr 10]. p. 3757–85. Disponible en: <https://acortar.link/lzvyvA>





35. Rodríguez GPS. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontol Venez* [Internet]. 2008 Apr 20 [cited 2023 Mar 29];46(3). Disponible en: <https://acortar.link/yCTXBp>
36. Zhou JW. Quantitative/qualitative analysis of adhesive-dentin interface in the presence of 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate. *J Mech Behav Biomed Mater* [Internet]. 2019 Apr [cited 2023 Apr 2];92:71–8. Disponible en: <https://acortar.link/OjAP2k>
37. Carihlo E. CM, MM. 10-MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interface Characterization and Adhesive Stability—A Systematic Review. *Materials (Basilea)* [Internet]. 2019 Mar 7 [cited 2023 Apr 2]; Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6427605/>
38. Matsui N, Takagaki T, Sadr A, Ikeda M, Ichinose S, Nikaido T, et al. The role of MDP in a bonding resin of a two-step self-etching adhesive system. *Dent Mater J* [Internet]. 2015 Jan 19 [cited 2023 Apr. Disponible en: file:///C:/Users/greci/Downloads/DMJ-34_2014-205.pdf
39. Yoshihara K, Nagaoka N, Nakamura A, Hara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Nano-Layering Adds Strength to the Adhesive Interface. *J Dent Res* [Internet]. 2021 May 1 [cited 2023 Apr 3];100(5):515–21. Disponible en: <https://acortar.link/n0izcS>
40. Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Okihara T, Yoshida Y, Van Meerbeek B. Chemical interaction of glycerophosphate dimethacrylate (GPDM) with hydroxyapatite and dentin. *Dental Materials* [Internet]. 2018 Jul 1 [cited 2023 Apr 3];34(7):1072–81. Disponible en: <https://acortar.link/itUfkO>
41. Giannini M, Makishi P, Ayres APA, Vermelho PM, Fronza BM, Nikaido T, et al. Self-Etch adhesive systems: A literature review [Internet]. Vol. 26, *Brazilian Dental Journal*. Associação Brasileira de Divulgação Científica; 2015 [cited 2023 Apr 3]. p. 3–10. Disponible en: <https://acortar.link/itUfkO>

42. Rincón Zambrano F. CAD. Efectividad de los adhesivos de autograbado sobre esmalte dental. RAAO [Internet]. 2008 Jun [cited 2023 Apr 4];47(2):30–6. Disponible en: <https://acortar.link/Nfnj3Y>
43. Beketova A, Tzanakakis EGC, Vouvoudi E, Anastasiadis K, Rigos AE, Pandoleon P, et al. Zirconia Nanoparticles as Reinforcing Agents for Contemporary Dental Luting Cements: Physicochemical Properties and Shear Bond Strength to Monolithic Zirconia. Int J Mol Sci [Internet]. 2023 Feb 1 [cited 2023 Apr 4];24(3). Disponible en: <https://acortar.link/zgX2zw>
44. Ensemble de ideas, ¿Qué es la tensión superficial? Disponible en: <https://www.ensambledeideas.com/tension-superficial/>
45. Muroterm, ¿Qué es la capilaridad? Disponible en: <https://www.muroterm.com/que-es-la-capilaridad/>
46. 3M ESPE Adper Single Bond 2. Disponible en: <https://multimedia.3m.com/mws/media/2907690/technical-information-adper-single-bond-2.pdf>
47. Odontología restauradora través del tiempo. Disponible en: <https://www.timetoast.com/timelines/odontologia-restauradora-a-traves-del-tiempo-0d42ad3e-0f61-4ed0-a547-e41be1eb7e74>
48. Estructura química del 10 MDP. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structure-of-MDP_fig1_273149466
49. Decálogo del uso del óxido de circonio en prótesis fija (Dr. Ernest Mallat) Disponible en: <http://prosthodonticsmcm.com/decalogo-de-uso-del-oxido-de-zirconio-en-protesis-fija/>

6 Anexos

Tabla informativa de adhesivos con componente 10 MDP vendidos en México, se incluyen adhesivos universales, autograbantes y convencionales (27), (36).

Adhesivo	Casa comercial	Tipo de adhesivo	Número de pasos	pH	Componentes
 <p>I Bond Universal</p>	Kulzer	Universal	1 y 2	1.8	Monómero de metacrilato, 10 MDP, 4-META, agua, iniciadores y acetona
 <p>All Bond Universal</p>	Bisco	Universal	1 y 2	3.2	Monómero 10 MDP, Bis- GMA. HEMA, agua, iniciadores, etanol.
 <p>Clearfil SE Bond 2</p>	Kuraray	Autograbante	2	Adhesivo: 2 Primer: 1.8	Monómero 10 MDP, HEMA, dimetacrilato hidrofóbico, fotoiniciadores.

<p>Clearfil Universal Bond</p> 	Kuraray	Universal	1 y 2	2.3	Monómero 10 MDP, HEMA, etanol, agua, iniciadores
<p>Adhese Universal</p> 	Ivoclar	Universal	1 y 2	2.5	Monómero 10 MDP, HEMA, Bis-GMA, MCAP, etanol, fotoiniciadores, agua.
<p>Scotchbond Universal</p> 	3M	Universal	1-2	2.7	Monómero 10 MDP, HEMA, resinas, copolímero de ácido polialquenoico, iniciadores, etanol, agua.
<p>Clearfil Universal Bond Quick</p> 	Kuraray	Universal	1 y 2	2.3	Monómero 10 MDP, HEMA, Bis-GMA, acrilamida, metacrilato, fluoruro de sodio, sílice, fotoiniciadores.