



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LA FUERZA  
ADHESIVA DE SISTEMAS DE ADHESIÓN DE 5° Y 7°  
GENERACIÓN.

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N O   D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

JORGE LUIS PEREZ ALMEIDA

TUTOR: Mtro. JORGE GUERRERO IBARRA

Vobo  
LAD

MÉXICO, Cd. Mx.

2022



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.

## INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS.....	4
3. ADHESIÓN.....	5
3.1 Adhesión física (mecánica).....	5
3.1 Adhesión química.....	6
4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHESIÓN.....	6
4.1 Tensión y energía superficial.....	6
4.2 Humectancia.....	7
4.3 Ángulo de contacto.....	7
4.4 Capilaridad.....	8
4.5 Viscosidad.....	8
5. ADHESIÓN A LOS TEJIDOS DENTALES.....	8
5.1 Esmalte.....	9-14
5.2 Dentina.....	14-16
5.2.1 Propiedades Físicas de la dentina.....	16
5.2.2 Composición de la dentina.....	17
5.2.3 Matriz mineralizada.....	18
5.2.4 Túbulos dentinarios.....	19-21
5.3 Dificultades adhesivas y barrillo dentinario.....	22

6. ACONDICIONAMIENTO DENTINARIO.....	23
6.1 Formación de la capa híbrida.....	24-26
7. SISTEMAS ADHESIVOS.....	27
7.1 Componentes básicos de los sistemas adhesivos.....	27
7.1.1 Acido acondicionador del sustrato dental.....	27
7.1.2 imprimador ( <i>Primer</i> ).....	27
7.1.3 Solvente.....	28
7.1.4 Adhesivo ( <i>Bonding</i> ).....	30
7.2 Clasificación de los sistemas adhesivos.....	31
7.2.1 Adhesivos de grabado y enjuague (Etch and rinse).....	31
7.2.2 Adhesivos de autograbado (Self-Etch).....	32
7.2.3 Por orden cronológico.....	34-43
8. FUERZA ADHESIVA.....	43-44
9. ESTUDIOS COMPARATIVOS DE LA FUERZA ADHESIVA ENTRE SISTEMAS DE ADHESIÓN (5°,6°,7°y 8° Ggeneraciones).....	45-49
10. CONCLUSIONES.....	50
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51-61

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, los materiales dentales han evolucionado adaptándose a las necesidades del cirujano dentista y a la demanda del campo odontológico.

Alta estética, durabilidad y resistencia, son las preocupaciones actuales, es por eso que la ciencia se ha encargado de crear nuevos y mejores materiales para restaurar.

Los sistemas adhesivos y las resinas compuestas han sido el principal objeto de investigación en la odontología restauradora ya que uno de los principales problemas es la falta de conocimiento de las ventajas y desventajas de estos sistemas, creando en los odontólogos una monotonía en cuanto a los materiales que usan en la consulta diaria. Esta desactualización es lo que hace que se mantengan utilizando ciertos materiales sin dar la oportunidad a las nuevas generaciones y mucho menos generan el interés de conocer las ventajas de las generaciones anteriores.

A partir de los estudios realizados por Michael G. Buonocore en 1955 es que inicia la era adhesiva en la odontología y surge así el interés de crear condiciones estructurales que favorezcan la unión del material restaurador con el sustrato dental, por medio de un acondicionamiento ácido. Estas investigaciones fueron el punto de partida para el uso de las resinas compuestas como principal material restaurador por su unión eficaz con el tejido dentario.

Las primeras generaciones de sistemas adhesivos crearon una buena adhesión pero requerían de tres pasos para obtenerla, es decir que eran tres las sustancias necesarias, por lo tanto existía un mayor margen de error. Percatándose de esto, las casas comerciales comenzaron sus investigaciones para la creación de un producto que tuviera la misma eficacia pero más rápido y en menos pasos para que no se produjeran tantos errores por el operador.

En esta investigación se describirán las fuerzas de adhesión entre los nuevos sistemas adhesivos de séptima generación y los que actualmente utiliza la mayoría de los odontólogos que son los de 5ta generación, para definir cuál de estas generaciones tiene mayor beneficio para el odontólogo restaurador.

## **2. OBJETIVOS.**

- Realizar una revisión bibliográfica de la fuerza adhesiva de sistemas de 5ta y 7ma generación.
- Describir las diferentes técnicas de acondicionamiento del sustrato dental.
- Analizar los diferentes sistemas adhesivos de 5ta y 7ma generación, para determinar cuál es la mejor opción en el mercado basados en investigaciones previas.

### **3. ADHESIÓN.**

Es la atracción molecular o atómica entre dos superficies en contacto, fomentada por una fuerza de atracción interfacial entre dos moléculas o átomos de dos especies distintas. Esta adhesión puede ser física (mecánica), química o una combinación de ambas.<sup>1</sup>

#### **3.1 ADHESIÓN FÍSICA (MECÁNICA).**

La adhesión mecánica, básicamente consiste en la penetración de una fase en la superficie de otra fase.<sup>1</sup>

La técnica de grabado ácido es un claro ejemplo de cómo lograr la unión de un material a la superficie dental de manera mecánica.

John Gwinnett reportó que las resinas adhesivas podían penetrar en los prismas de esmalte grabado con ácido, donde podían envolver los cristales de apatita haciéndolos ácido-resistentes. Esta fue la primera capa híbrida verdadera a pesar de que no se conocía este término.<sup>2</sup>

El grupo de Nakabayashi fue el primero en demostrar que las resinas podían infiltrarse en dentina grabada con ácido para formar una nueva estructura compuesta por una matriz de resina reforzada por fibrillas de colágeno. Llamó a este nuevo biocompuesto la capa híbrida.<sup>3,4</sup>

### **3.2 ADHESIÓN QUÍMICA.**

La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares.<sup>1</sup>

Se consigue mediante la atracción de los átomos y moléculas entre dos o más sustratos, a través de enlaces iónicos, covalentes y enlaces secundarios como podrían ser las fuerzas de Van der Waals, las fuerzas polares, los puentes de hidrogeno, la quelación o las fuerzas de dispersión.

Es posible una unión química a los minerales de la dentina, ya que los ácidos carboxílicos presentes en el primer pueden adherirse a los iones calcio de la hidroxiapatita a través de una unión fónica, resultando en la formación de sales de calcio, lo que mejora la adhesión a la dentina.<sup>5</sup>

## **4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHESIÓN.**

### **4.1 TENSIÓN Y ENERGÍA SUPERFICIAL.**

Para que se produzca la adhesión, las interfaces de las superficies deben atraerse entre sí y esto se logra porque los átomos constituyentes de un cuerpo poseen fuerzas electrostáticas de atracción.<sup>1</sup>

Este fenómeno hace que en el interior del sustrato exista una compensación de fuerzas, mientras que los átomos de la superficie solo mantienen sus fuerzas de atracción en el lado que contactan con otros átomos. Esta energía no contrarrestada en la porción superficial, se

denomina tensión superficial o energía superficial, según se trate de líquidos o sólidos.<sup>6,7</sup>

En la odontología, los adhesivos dentinarios son líquidos que ponen en relación dos sustratos sólidos: El diente y el material restaurador.

Para que haya adhesión entre un líquido y un sólido debe haber un íntimo contacto entre las dos superficies y para ello, la tensión superficial del líquido debe ser menor que la energía libre del sólido.<sup>7</sup>

#### **4.2 HUMECTANCIA.**

Es la capacidad que tiene un líquido para para mojar un sólido.

Esto va a depender directamente de las energías superficiales de cada uno de los sustratos que se busca adherir. Un buen mojado promueve la penetración capilar y la adhesión, además indica la presencia de fuerzas de atracción entre el líquido y las moléculas de la superficie sólida.<sup>6</sup>

#### **4.3 ÁNGULO DE CONTACTO.**

El ángulo de contacto resulta de un balance entre la superficie y las energías interfaciales. La energía superficial de los líquidos se expresa en  $\text{erg/cm}^2$  que es igual numéricamente a la tensión superficial que se expresa en  $\text{dinas/cm}$ .<sup>8</sup>

La humectancia se valora midiendo el ángulo de contacto que forma la tangente a la gota con la superficie del sólido. Cuanto mayor es este ángulo, menos extendida está la gota y, por tanto, menor es la humectancia.<sup>9</sup>

#### **4.4 CAPILARIDAD.**

La capilaridad es un proceso que se presenta cuando un líquido se mueve en contra de la gravedad y a través de espacios de poco diámetro.

Dependiendo del ángulo de contacto, puede ocurrir que el líquido ascienda ( $\theta < 90^\circ$ ) o descienda ( $\theta > 90^\circ$ ) por un tubo estrecho (capilar) una cierta altura, lo que se denomina capilaridad o acción capilar. Este fenómeno se encuentra estrechamente relacionado con la tensión superficial.<sup>(6)</sup>

#### **4.5 VISCOSIDAD.**

La viscosidad es una propiedad importante de los líquidos que describe la resistencia del líquido al flujo y está relacionada con la fricción interna en el líquido. La viscosidad condiciona la fluidez del material: Una baja viscosidad permite una mejor fluidez y adaptación del material.<sup>10</sup>

Otros autores además consideran la temperatura como un factor que influye en los ya mencionados, La temperatura disminuye la viscosidad y aumenta la tensión superficial.<sup>11</sup>

### **5. ADHESIÓN A LOS TEJIDOS DENTARIOS.**

La superficie del diente que sirve como sustrato de adhesión, generalmente forma parte de la corona dental, ya que esta es la zona que con mayor frecuencia precisa restaurarse con materiales que requieren del uso de sistemas adhesivos. Esta porción coronaria, no es uniforme y

su diferenciación anatómica en esmalte y dentina hace que los materiales usados sobre estas superficies tengan un comportamiento diferente de acuerdo a la zona en la que se coloquen.<sup>12</sup>

## **5.1 ESMALTE.**

La adhesión al esmalte ya no representa un problema en la actualidad y esto fue posible gracias a la introducción de la técnica de grabado con ácido fosfórico.<sup>13, 14</sup>

Buonocuore en 1955, llevó a cabo un estudio con la idea de modificar la superficie del esmalte de forma química para poder adherir un material de restauración. Unos años después comenzó la era de las resinas modernas, cuando Ray L. Bowen y cols. (1962) desarrollaron un nuevo tipo de resina compuesta.<sup>15, 16</sup>

El efecto que persigue el grabado ácido sobre el esmalte, se basa principalmente en cambiar su superficie para convertirla en más receptiva a la adhesión de las resinas dentales mediante la destrucción del interior de los prismas, manteniendo intacta su estructura periférica. Así se logran porosidades más retentivas.<sup>17</sup>

El ácido es capaz de desmineralizar y disolver la matriz inorgánica de los prismas o varillas adamantinas (unidad estructural del esmalte), creando poros, surcos y/o grietas, aumentando así la superficie de contacto entre el diente y la resina en unas 2000 veces aproximadamente y se está elevando la energía superficial a más del doble de la que tiene el esmalte sin grabar. Ambos efectos favorecen enormemente las posibilidades de unión ya que la resina queda retenida mecánicamente en el interior de los microporos.<sup>18, 19</sup>

A pesar de estos efectos que favorecen la unión, la adhesión puede verse modificada por los siguientes factores:

- Tipo de ácido.

Desde que Buonocuore inicio la técnica, se utilizó el ácido ortofosfórico. La utilización de otros ácidos (maléico, cítrico, propiónico, nítrico y clorhídrico) produce diferentes patrones de grabado que hasta la actualidad no han mejorado el efecto del ortofosfórico sobre la superficie del esmalte.<sup>14</sup>

- Concentración del ácido.

La formulación de ácido fosfórico con una concentración al 37.5% es la más utilizada en la actualidad, debido a que concentraciones mayores logran una menor formación de poros en la estructura adamantina, así como también una menor profundidad de grabado; concentraciones menores aumentan la rapidez en la formación de estos mismos, haciendo poco predecibles y manejables los resultados del grabado.<sup>20</sup>

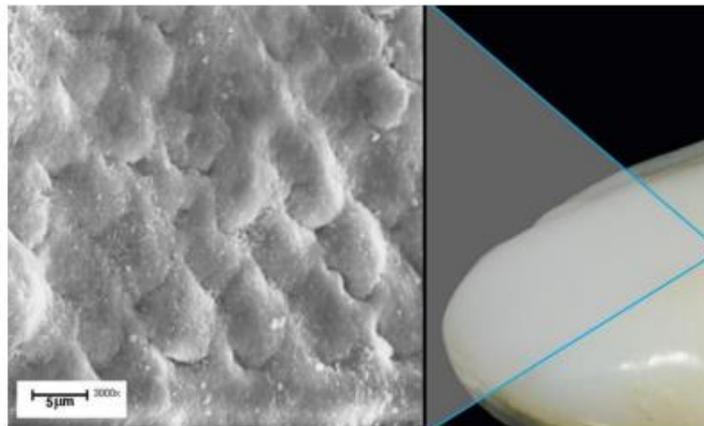
- Tiempo de aplicación.

El tiempo de aplicación del ácido, no debe ser muy prolongado, no superior a 20 segundos, debido a que esta reacción es autolimitante y produce la re-precipitación de fosfato de calcio sobre el esmalte, obliterando los poros generados, con lo que se disminuye la capacidad de unión.<sup>21, 22</sup>

En consecuencia, no se obtendría un acondicionamiento que asegure retener de forma efectiva a los sistemas adhesivos, basados en monómeros hidrófobos, asimismo, el aumento del tiempo de acondicionamiento es uno de los fenómenos más negativos para la técnica adhesiva a esmalte.<sup>21</sup>

- Estructura del esmalte.

La superficie intacta del esmalte suele ser más resistente al grabado ya que en ella el esmalte es aprismático y además, con frecuencia tiene un mayor contenido de flúor. Por otro lado, el grabado del esmalte cortado actúa en función de la zona de los prismas que se presenta al ácido. El mejor efecto se consigue cuando el ácido ataca las cabezas de los prismas porque produce una descalcificación mayor en el centro que en la periferia, de forma que se crean unos microporos altamente retentivos de 5 a 15 micras de profundidad. Si lo que se presenta al ácido son prismas cortados longitudinalmente, más que microporos, se crean unas erosiones lacunares que son mucho menos efectivas.<sup>23</sup>



**Imagen 1. Microfotografía de esmalte intacto.<sup>92</sup>**

Luego del grabado ácido, se han descrito una serie de formas en que se presenta la superficie adamantina una vez acondicionada, éstas dependen de cómo se ha visto afectado el esmalte por el ácido fosfórico, el cual puede atacar el centro o la periferia de los prismas, o generar un efecto difuso e irregular. Lo anterior ha llevado a clasificarlos en patrones: <sup>6, 24</sup>

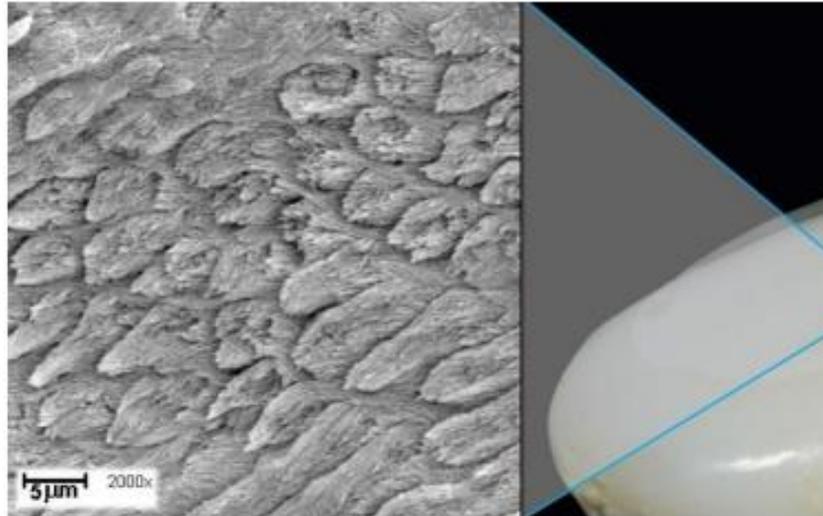


Imagen 2. Microfotografía de esmalte acondicionado con ácido grabador.<sup>92</sup>

Silverstone y cols. describió en 1975 los patrones de grabado de los tipos I, II y III, mientras que unos años más tarde, en 1979 fueron descritos los tipos IV y V por Galil y Wright.<sup>25</sup>

Patrón de grabado tipo I, en el cual se remueve preferentemente el centro de los prismas del esmalte.

Patrón de grabado tipo II, que corresponde a la remoción de la periferia de los prismas.

Patrón de grabado III en el que se obtiene un desgaste regular de la superficie, por lo que no es el más adecuado para lograr adhesión.

Patrón tipo IV: se observa una superficie con hoyos y marcas no uniformes. Se caracteriza por una zona de depresiones distribuidas

aleatoriamente por la superficie del esmalte sin que exista una destrucción preferente de la periferia o del centro de los prismas.

Patrón tipo V: no hay evidencia de los prismas. Está caracterizado por una superficie lisa que carece de microirregularidades para la penetración y retención de la resina.

El lavado del ácido, luego de actuar, debe ser por un tiempo, igual o superior al tiempo de aplicación y con alta fuerza para poder remover los restos de ácido y sales disueltas desde los poros del esmalte.<sup>26</sup>

La fuerza adhesiva obtenida luego de la técnica de acondicionamiento descrita, se encuentra dentro del orden de 20 a 40 MPa; siendo considerada el “Gold Estándar” en cuanto a la temática de adhesión.<sup>20, 26, 27</sup>

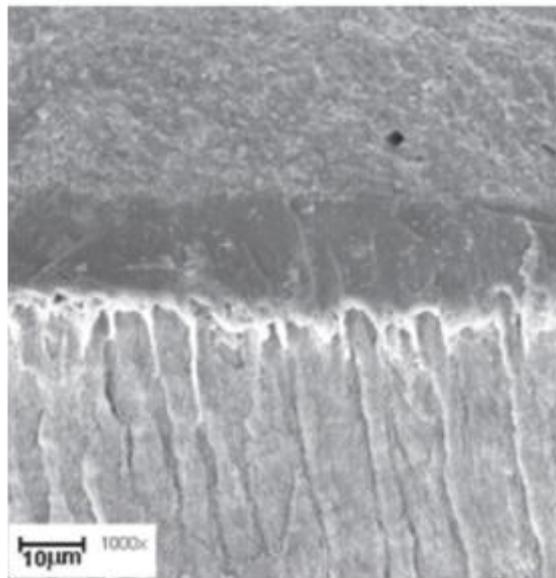


Imagen 3. Microfotografía del esmalte acondicionado, después de aplicar adhesivo.<sup>92</sup>

Dentro de las ventajas del grabado ácido del esmalte se encuentran el aumento de la fuerza de adhesión de la restauración de resina compuesta y la disminución de la microfiltración periférica de la restauración, ventajas que se potencian si se utiliza una aislación absoluta con goma dique al momento de realizar la restauración, evitando la contaminación y/o humidificación del esmalte.<sup>20</sup>

## **5.2 DENTINA.**

La adhesión a dentina sigue siendo el principal punto de interés de los sistemas adhesivos. Gracias a las investigaciones previas sobre adhesión dentinaria, podemos constatar numerosas variables no controladas que pueden influir negativamente en el proceso. Por ello y por ser el sustrato dental objeto en este trabajo, conviene detallar sus características histológicas y las de su composición química con el fin de poder controlar dichas variables.<sup>14</sup>

La dentina constituye el volumen principal del diente, proporcionándole la forma y rigidez necesaria para una masticación eficaz. En la porción coronaria está cubierta por el esmalte y en la raíz por el cemento.

La unión que establece la dentina con el esmalte (unión amelo-dentinaria), a nivel de la corona anatómica del diente, desde el punto de vista histológico, es festoneada e interdigitada, mientras que la que se establece con el cemento a nivel de la raíz (unión cemento-dentinaria), mucho más nítida.<sup>28</sup>

La dentina también recubre y alberga a la pulpa dental dentro de la cámara pulpar y en los conductos radiculares. La pulpa y la dentina deben considerarse como una unidad funcional y de desarrollo: el llamado complejo dentino-pulpar o pulpo-dentinal porque comparten origen embrionario común a partir de la papila dental.<sup>29</sup>

La formación de la dentina se inicia por un grupo de células especializadas denominadas odontoblastos, las cuales se diferencian de la papila dental entre la octava y novena semana de vida fetal. Los odontoblastos son células de origen mesodérmico, que al diferenciarse dejan de dividirse y producen matriz extracelular, formando un tejido no mineralizado llamado predentina, que se transformará en dentina tras el proceso de mineralización. Cuando estas células elaboran dentina, toman una apariencia alargada en forma de columna.<sup>30, 31</sup>

Desde el punto de vista de su formación, la dentina puede clasificarse en primaria, secundaria y terciaria.

- Dentina primaria. Se forma primero y es la más abundante, ya que forma el cuerpo principal del diente, y se deposita durante la formación del diente hasta que el diente entra en oclusión. La capa externa de la dentina primaria, llamada dentina del manto, difiere del resto de la dentina primaria, esta capa es la primera capa de dentina formada por los odontoblastos recientemente diferenciados.<sup>30, 32</sup>
- Dentina secundaria. Llamada también dentina fisiológica, se forma después que se ha completado la formación de la raíz del diente y continúa durante toda la vida del diente. Tiene una estructura

tubular más irregular y puede seguir un patrón diferente del de la dentina primaria. Como resultado de la continua deposición, el volumen de la pulpa comienza a hacerse pequeño progresivamente con la edad<sup>30, 31</sup>

- Dentina terciaria. Se produce como reacción a los estímulos como la caries y las diferentes maniobras o procedimientos restauradores. A diferencia de la dentina primaria y secundaria, que se forman a lo largo de todo el borde pulpodentinario, la dentina terciaria es producida sólo por los odontoblastos directamente afectados por el estímulo. La calidad y cantidad de la dentina terciaria producida, se relaciona con la intensidad y duración del estímulo.<sup>30, 31</sup>

### **5.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA DENTINA**

La dentina tiene un color blanco amarillento que depende de su grado de mineralización, de la vitalidad de la pulpa, de la edad del diente y de la presencia o no de pigmentos endógenos o exógenos. Es algo más dura que el cemento y el hueso pero menos que el esmalte y es muy permeable al estar atravesada por conductos llamados túbulos dentinarios. La densidad y tamaño de sus túbulos varía según la zona anatómica analizada.<sup>33</sup>

Una de las principales propiedades físicas de la dentina es la elasticidad que compensa la rigidez del esmalte y así amortigua los impactos de los movimientos masticatorios. Su módulo elástico está asociado con el contenido de minerales, así como la porosidad de la estructura.<sup>34</sup>

Las propiedades micromecánicas, combinación de dureza y elasticidad de la dentina, desempeñan papeles importantes en la distribución de la tensión cuando las fuerzas de masticación se aplican también sobre el material de relleno del diente restaurado.<sup>35</sup>

El espesor de la dentina es variable dependiendo de la pieza dental. En los incisivos inferiores es mínimo (1-1.5mm), mientras que es máximo en caninos y molares (3mm). En un mismo diente también se aprecian variaciones de espesor siendo máximo en los bordes incisales y cuspídeos, y menor en la raíz.<sup>36</sup>

## **5.2.2 COMPOSICIÓN DE LA DENTINA**

En relación al esmalte, la dentina aumenta su contenido en materia orgánica y agua (70% materia inorgánica, un 18% materia orgánica y un 12% de agua).<sup>30</sup>

La composición química de la hidroxiapatita no es como la del esmalte, ya que contiene una proporción mayor de carbonato y magnesio. Se trata de cristales más pequeños (diez veces menores) y guardan similitud con los del hueso y cemento; están distribuidos dentro de las fibras colágenas de la matriz orgánica, así como fuera y entre éstas.<sup>37</sup>

Tiene una baja energía superficial y es de naturaleza hidrofílica, ya que en su estructura hay una gran cantidad de túbulos que pueden actuar como capilares. Sin embargo, en el interior de dichos túbulos ocupados parcialmente por las prolongaciones citoplasmáticas de los odontoblastos, hay fluido dentinario que tiene un flujo permanente y constante hacia el exterior y ejerce una determinada presión que puede condicionar el

proceso de adhesión alterando la posibilidad de penetración de resina en su interior.<sup>38</sup>

Es importante recordar que el número y diámetro de los túbulos disminuye a medida que la dentina se aleja de la cámara pulpar.<sup>39</sup>

En la estructura de la dentina se pueden distinguir dos componentes básicos: la matriz mineralizada y los túbulos dentinarios que la atraviesan.<sup>40</sup>

### **5.2.3 MATRIZ MINERALIZADA.**

La materia inorgánica que constituye la matriz está formada principalmente por hidroxiapatita en forma de cristales laminares más pequeños que los del esmalte que se orientan paralelos a las fibras de colágeno. También contiene flúor, carbonatos, fosfatos amorfos, sulfatos, Cu, Zn, Fe, Mg.<sup>41</sup>

El componente orgánico (matriz orgánica) está formado por colágeno tipo I, en pequeñas cantidades de colágenos tipos III, IV, V, VI, otras proteínas estructurales como glicoproteínas y proteoglicanos e iones orgánicos como el lactato y el citrato.<sup>42</sup>

Las proteínas estructurales exclusivas de la dentina son la fosforina dentaria, la proteína de la matriz dentaria I y la sialoproteína dentaria. Las dos primeras son segregadas por los odontoblastos y participan en el proceso de mineralización y la última, es segregada por los odontoblastos jóvenes y los preameloblastos y participa en el desarrollo de los dientes.<sup>14,43</sup>

El colágeno Tipo I que ocupa aproximadamente el 90% de la fase orgánica de la dentina, es un heterotrímero (triple hélice) formado por dos cadenas idénticas  $\alpha 1$  y una cadena  $\alpha 2$ . Con cada uno de sus hilos compuestos de aproximadamente 20 aminoácidos, en los cuáles el tercer aminoácido es la glicina.<sup>44</sup>

Las fibras de colágeno tipo I representan la esina dorsal de la red de la dentina fibrilar orgánica. Los proteoglicanos tiene un papel fundamental en la estabilización del colágeno fibrilar. Junto a las fosfoproteínas representan los componentes principales de las proteínas no colágenas de la matriz orgánica.<sup>14, 45</sup>

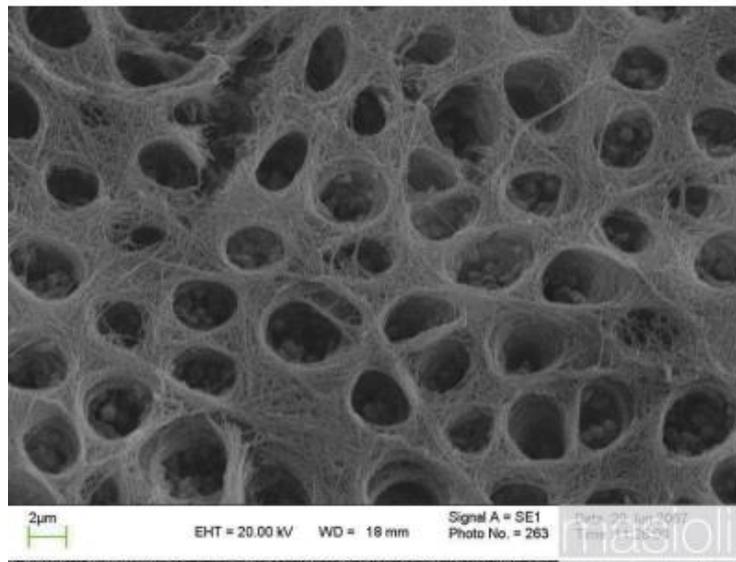


Imagen 4. Microfotografía mostrando la trama de fibras colágenas después de la desmineralización de la dentina.<sup>92</sup>

#### **5.2.4 TÚBULOS DENTINARIOS.**

Son espacios tubulares ubicados dentro de la dentina, llenos de líquidos tisulares y ocupados en parte de toda su longitud por las prolongaciones

de los odontoblastos. Se extienden a través de todo el espesor de la dentina desde la unión amelodentinaria hasta la pulpa.<sup>30, 31</sup>

Los túbulos dentinarios poseen sus extremos estrechos y miden, aproximadamente, 2,5  $\mu\text{m}$  de diámetro cerca de la pulpa, 1,2  $\mu\text{m}$  en la porción media de la dentina y 900 nm cerca de la unión amelodentinaria. En la dentina, a nivel de la corona hay, aproximadamente, 10.000 túbulos por  $\text{mm}^2$  cerca del esmalte y 50.000 por  $\text{mm}^2$  cerca de la pulpa.<sup>30, 31, 46</sup>

Los túbulos tienen una forma que varía dependiendo de la zona dental que se examine:

- Trayecto doble curva en “S” itálica en la dentina coronaria
- Trayecto recto en zonas cuspídeas e incisales.
- Curva de convexidad apical en zonas radiculares
- Rectos en apice radicular.<sup>14</sup>

Estas curvas son debidas al fenómeno de apiñamiento tubular que sucede durante la formación de la dentina ya que a medida que los odontoblastos producen sucesivas capas de dentina, la cámara pulpar se reduce y los cuerpos de los odontoblastos van siendo desplazados hacia el interior del diente mientras sus prolongaciones quedan dentro de los túbulos dentinarios. Este fenómeno se conoce como migración de los odontoblastos.<sup>47</sup>

Estructuralmente se presentan dos zonas bien definidas, la dentina peritubular y la dentina intertubular, que varían según la profundidad y pueden ser modificadas por la edad y por estímulos externos.<sup>21</sup>

### **Dentina intertubular.**

Es la dentina situada entre la que rodea a los túbulos. Está formada por una red de fibras colágenas, glicosaminoglicanos, proteoglicanos, factores de crecimiento y proteínas dentinogénicas, que sostienen a los cristales de hidroxiapatita. Este tipo de dentina representa el principal producto de secreción de los odontoblastos.<sup>48, 49</sup>

### **Dentina peritubular.**

Constituye un anillo hipermineralizado que rodea a los túbulos dentinarios, caracterizándose por una gran presencia de materia inorgánica, representada por los cristales de hidroxiapatita y por carecer de elementos fibrilares. Las características estructurales y de su composición sufren importantes modificaciones con la edad, ya que la dentina peritubular aumenta de espesor disminuyendo el diámetro interno de los túbulos por el depósito de minerales, proceso denominado esclerosis fisiológica dentinaria.<sup>50</sup>



Imagen 5. Microfotografía que muestra la dentina peritubular y dentina intertubular.<sup>92</sup>

Esta esclerosis ocasiona la disminución de la permeabilidad de la dentina, limitando la difusión de las sustancias nocivas a través de la dentina y a la vez ayuda a proteger a la pulpa de la irritación.<sup>31</sup>

### **5.3 DIFICULTADES ADHESIVAS Y BARRILLO DENTINARIO (SMEAR LAYER).**

Siempre que en el tejido dentinario se realiza una cavidad por medios manuales o rotatorios, se crea sobre la superficie una capa de detritus o desechos llamada capa de barrillo dentinario (smear layer). está constituido por una mezcla de fibras colágenas, fragmentos de cristales de hidroxiapatita, bacterias, detritus orgánico e inorgánico.<sup>18, 20, 52</sup>

Eldarrata y colaboradores nos indican en sus estudios que el espesor aproximado de dicha capa de barrillo dentinario es de 0,5  $\mu\text{m}$ . Se compone de dos capas de carácter amorfo, una superficial y otra profunda, esta última puede extenderse hasta 110  $\mu\text{m}$  dentro de los túbulos dentinales y se denomina (smear plug). Esta capa de barrillo sella la interfase adhesiva y no contribuye al acoplamiento entre el adhesivo y la dentina.<sup>53</sup>

En la literatura el barrillo dentinario ha sido motivo de controversia, ya que se presentan autores como Phasley y colaboradores, quienes promueven la eliminación de dicha capa para facilitar la impregnación de los adhesivos en los túbulos dentinales y en el colágeno desmineralizado, principio básico de la adhesión convencional. Y autores como Van Meerbeek y colaboradores, que, por el contrario, presentan la conservación de la capa de barrillo dentinario con ánimo de disminuir el número de pasos clínicos y la incidencia de la sensibilidad posoperatoria.<sup>3, 51, 54</sup>



Fig. 33-11. Barro dentinario (*smear layer*). (Gentileza del doctor O. A. Mosca.)

Imagen 6. Microfotografía del barrillo dentinario.<sup>55</sup>

## 6. ACONDICIONAMIENTO DENTINARIO.

Fusayama, en el año 1979, desarrolló una técnica de acondicionamiento, utilizando ácido fosfórico al 37%, grabando simultáneamente dentina y esmalte, por un tiempo de 15 segundos y lavado por un minuto aproximadamente; esta técnica se denomina *técnica de grabado ácido total*.<sup>20,55</sup>

De este modo se remueve el barro dentinario, descalcificando la dentina intertubular y peritubular, aumentando la permeabilidad dentinaria y ensanchando los túbulos, activando y generando una superficie de alta energía; facilitando la adhesión al exponer las fibras colágenas, las cuales son imprimadas por un monómero hidrófili-hidrófobo, dando lugar a la formación de la capa híbrida.<sup>21, 56</sup>

Debemos considerar que una vez realizado el grabado ácido, debemos cuidar no desecar la dentina, ya que la matriz de colágena queda sin

soporte y sin humedad, por lo que puede colapsar, impidiendo, de esta forma el acceso a los monómeros resinosos.<sup>57, 58</sup>

## **6.1 CAPA HÍBRIDA.**

La formación de la capa híbrida es, en la actualidad, el principal mecanismo de adhesión en la mayoría de los sistemas adhesivos.<sup>14,</sup>

Debido a la complejidad de su estructura, la adhesión a la dentina se considera más difícil y menos predecible que la adhesión al esmalte.

La adhesión micromecánica de la resina a la dentina se obtiene gracias a la formación de la capa híbrida, descrita por Nakabayashi en 1982.<sup>59, 12</sup>

Nakabayashi, define la capa híbrida como la zona de interdifusión dentina-resina, formada por la infiltración de monómeros del imprimador y el adhesivo en la red de fibras colágenas expuestas por la acción del acondicionador ácido sobre la dentina peritubular e intertubular.<sup>60, 61</sup>

También Nakabayashi plantea que el ácido es capaz de eliminar el barro dentinario y mineral de la dentina, exponiendo una malla de colágeno sin sostén mineral, donde posteriormente entrará el complejo primer-adhesivo y luego de que polimerice, quedará trabado formando una capa de dentina infiltrada por resina.<sup>62</sup>

El fenómeno de microfiltración ha estado siempre asociado con los materiales dentales restauradores y en si con la discracia que se produce por la penetración de agentes dañinos en al interfase del diente y la restauración.<sup>63</sup>

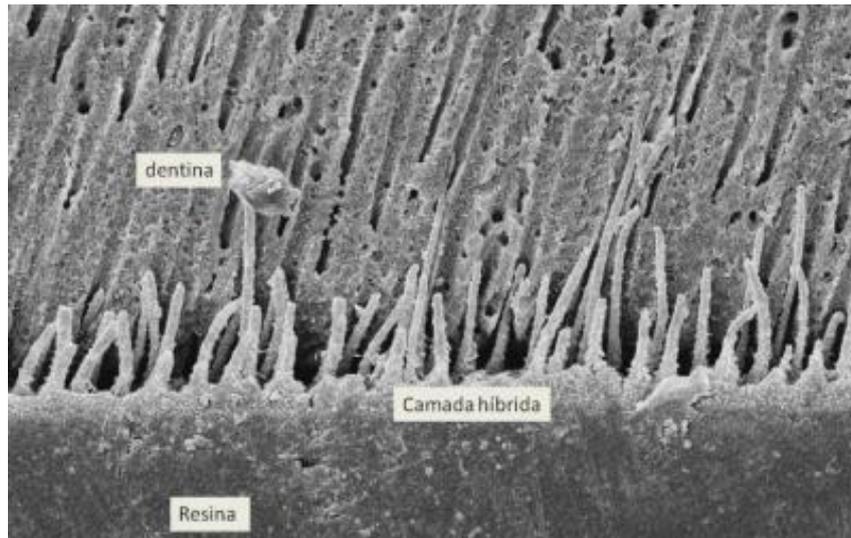


Imagen 7. Microfotografía mostrando la adhesión en dentina y la formación de la capa híbrida.<sup>92</sup>

Los dos principales problemas causados con la presencia de actividad bacteriana vía de microfiltración, son: irritación pulpar y caries secundaria.<sup>64, 65, 66</sup>

Podremos evitar estos problemas cuando se establezca una real y verdadera adhesión entre el material restaurador y el sustrato dentinario que selle completamente la interfase.<sup>63, 67, 68</sup>

La capa híbrida que se forma, debe ser dura, insoluble, y resistente a los ácidos para el proceso de adhesión a la estructura dental.

La obtención de esta capa híbrida se ha demostrado que brinda un adecuado sellado de interfase y elimina la microfiltración.<sup>68</sup>

Es importante que la capa híbrida, sea capaz de resistir los efectos de las fuerzas generadas durante la contracción a la polimerización, propia de las resinas compuestas.<sup>63</sup>

Joubert cita a Dell Acqua y Novero, quienes señalan que la entrada de la resina en el túbulo es responsable del 25 a 40% de la fuerza adhesiva

entre resina y dentina, el resto del valor adhesivo está dado por la presencia de la capa híbrida.<sup>62</sup>

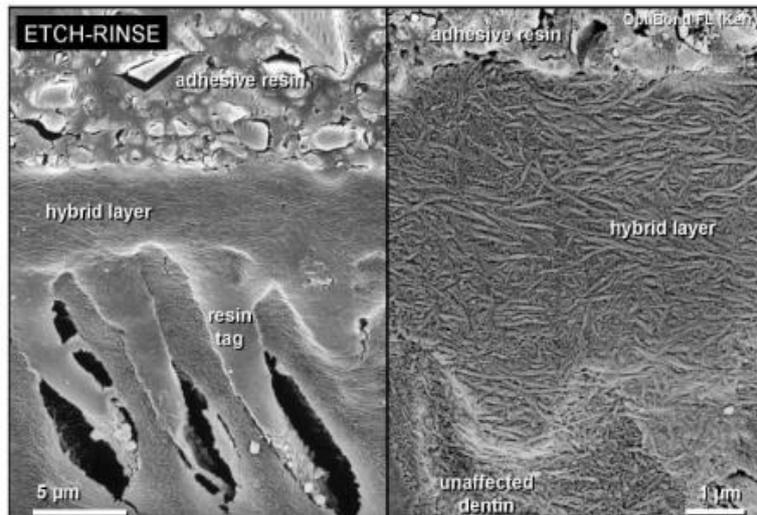


Imagen 8. Microfotografía evidenciando la capa híbrida y la formación de tags dentro de los túbulos dentinarios acondicionados.<sup>90</sup>

Existen cinco mecanismos para la formación de la capa híbrida<sup>63</sup>:

1. La remoción de la capa de detritus dentinario por medio de la aplicación de ácidos o agentes quelantes.
2. La descalcificación de la dentina intertubular.
3. La efectiva aplicación de *primers* que contienen monómeros hidrofílicos.
4. La aplicación de monómeros, ensancha los espacios interfibrilares de la colágena.
5. Los monómeros hidrofílicos actúan como receptores para la polimerización de la resina adhesiva que será aplicada después y que resulta en una interunión entre la colágena de la dentina, el material de resina adhesiva y material restaurador, formando la capa híbrida ( zona interdifusión resina-dentina)

## **7. SISTEMAS ADHESIVOS.**

Los sistemas adhesivos son un grupo de biomateriales dentales que constituyen uno de los puntos críticos dentro de los protocolos clínicos de restauraciones estéticas.<sup>12</sup>

En este sentido, los estudios sobre adhesión a los distintos sustratos dentarios constituyen gran parte de las investigaciones realizadas en odontología con el objetivo principal de alcanzar aquel sistema capaz de cumplir con los tres objetivos de la adhesión dental propuestos por Norling en 2004, los cuales son:

- 1 Conservar y preservar más estructura dentaria.
- 2 Conseguir una retención óptima y duradera.
- 3 Evitar microfiltraciones.<sup>13</sup>

En la época actual, en vez de clasificar los adhesivos dentinarios por generaciones, es más útil hacerlo atendiendo las necesidades y estrategias de adhesión que surgen en la consulta odontológica diaria.

### **7.1 COMPONENTES BÁSICOS.**

#### **7.1.1 ACIDO ACONDICIONADOR DE SUSTRATO DENTAL.**

Como se ha mencionado anteriormente, el pretratamiento de esmalte y dentina con ácido fosfórico al 37% como indicó Fusayama y colaboradores, está diseñado para retirar la capa de barrillo dentinario y generar una rugosidad en la superficie a través de la desmineralización, que permite mejorar la adhesión de las resinas poliméricas al sustrato dental.<sup>70</sup>

#### **7.1.2 IMPRIMADOR DENTINARIO (*primer*).**

Los imprimadores (*primers*), actúan como agentes de promoción de la adhesión. Se comportan como una molécula bifuncional (hidrófila e hidrófoba), sus propiedades hidrófilas tienen afinidad por las fibrillas de

colágeno expuestas de la dentina y sus propiedades hidrófobas se incorpora a la resina adhesiva por medio de una reacción química.

Los monómeros utilizados en los sistemas de adhesión, desmineralizan y sirven para la unión a la superficie dental, estos son principalmente monómeros de metacrilato, como hidroxietil metacrilato (HEMA), 4-metacriloxietil trimelitato anhídrido (4-META), bifeníl dimetacrilato (BPDM) o grupos de ácido fosfórico como 2-metacriloxietil hidrófenil fosfato (FENIL-p) y 10-metacriloxidecilo dihidrógeno fosfato (10-MDP).<sup>71</sup>

De acuerdo con Gabriel Nima, el objetivo de la imprimación es transformar la superficie dentinaria hidrofílica en un estado hidrofóbico y esponjoso que permita que la resina adhesiva se humecte y penetre a la red de colágeno expuesta.<sup>72,73</sup>

### **7.1.3 SOLVENTE.**

En general, todos los adhesivos colocados sobre la dentina contienen además del agua, solventes orgánicos contenidos en los primers, que no son meros vehículos, sino que actúan como "Buscadores de agua" (Water Chasers), desplazándola y transportando los monómeros resinosos dentro de la dentina desmineralizada y húmeda, favoreciendo la hibridización.<sup>74</sup>

Los solventes son vehículos muy volátiles que transportan los monómeros de los *primers*. Una vez que la malla colágena está infiltrada por los monómeros, el solvente debe de ser removido por evaporación, y esto se logra a través del secado.<sup>74</sup>

Si secamos en exceso la superficie dentinaria las fibras colágenas se colapsan y el adhesivo no es capaz de infiltrar hasta la dentina mineralizada, si por el contrario dejamos la superficie dentinaria con exceso de humedad se produce el fenómeno de sobremojado y a consecuencia de ello, el adhesivo se disuelve y no adquiere la consistencia adecuada, además se forman en el espesor de la capa

híbrida acúmulos de agua en forma de gota que no se infiltran por resina, son los llamados cuerpos hibroides.<sup>75</sup>

Se ha informado, que cuando ocurren estos fenómenos, el papel del solvente en los adhesivos dentales es fundamental. En la actualidad existen 3 solventes integrados en los sistemas adhesivos:

**Acetona:** Es un solvente que se evapora con mucha facilidad y consigue eliminar por evaporación el exceso de agua y bajo estas condiciones es el solvente ideal.<sup>75</sup>

Este material no tiene la capacidad de volver a humedecer la superficie de la dentina deshidratada, por lo que no puede expandir e infiltrar la malla de colágeno que se colapsa. En pocas palabras, es el peor solvente cuando la dentina está seca.<sup>75</sup>

**Agua:** El agua como solvente, tiene la capacidad de re-humedecer y por lo tanto es capaz de infiltrar y expandir la malla de colágeno colapsada. Este está indicado en situaciones de dentina seca, ya que usándolo sobre dentina húmeda; pueden producir un sobrehumedecido dificultando el sellado completo de los túbulos dentinarios por la no formación en estos lugares de los tags de resina.<sup>76</sup>

**Etanol:** Al igual que la acetona, es un solvente muy volátil, por lo que se evapora fácilmente al aplicar aire.

Tiene la capacidad para trabajar sobre dentina seca o mojada. Sobre superficie seca se incrementa el tiempo de contacto y, sobre la húmeda se deben aplicar múltiples capas.<sup>75</sup>

La acetona y el etanol son muy volátiles y por ello se pueden tener problemas en su manipulación ya que si la botella se deja abierta puede evaporarse y las proporciones y propiedades se verán alteradas.

#### **7.1.4 Adhesivo (*bonding*).**

Es el elemento viscoso que mantendrá unidos a los dos elementos a través del contacto de sus superficies,

Está formado por monómeros hidrofílicos, como el bis-GMA y UDMA como un regulador de la viscosidad y el HEMA como un agente humectante. El principal rol de la resina adhesiva es la estabilización de la capa híbrida y la formación de extensiones de resina dentro de los túbulos dentinarios.<sup>72</sup>

Debido a que una capa es inhibida por oxígeno durante la polimerización, esta capa ofrece suficientes enlaces dobles de metilmetacrilato (MMA) para la copolimerización de la resina adhesiva con la resina restauradora.<sup>71</sup>

**Resinas hidrofílicas:** Estas son las encargadas de conseguir la unión a dentina impregnando la capa híbrida y formando "tags" aprovechando precisamente la humedad de la dentina. Son resinas como PENTA, HEMA, BPOM, TEGOMA, GPOM o 4-META.<sup>74</sup>

**Resinas hidrofóbicas:** Son las primeras que formaron parte de los materiales adhesivos y aunque son poco compatibles con el agua su función en los sistemas adhesivos es doble, por un lado conseguir una buena unión a la resina compuesta que también es hidrofóbica y por otro conseguir que la capa de adhesivo tenga un grosor suficiente para que nuestra interfase dentina resina soporte el estrés a que se va ver sometida ya que suelen ser más densos que las resinas hidrofílicas.<sup>74</sup>

La composición química de los sistemas adhesivos también incluye iniciadores, inhibidores o estabilizadores, solventes y, en algunos casos, cargas inorgánicas<sup>77</sup>

**Relleno:** Este componente no aparece en todos adhesivos pero en los que lo hace pretende reforzar a través del nanorelleno la resina y

conseguir así un adhesivo con propiedades mecánicas mejoradas. Con este tipo de adhesivos es más fácil conseguir un adecuado grosor de capa pues son menos fluidos.<sup>74</sup>

## **7.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS..**

Los sistemas adhesivos han evolucionado no solo en su composición y en sus mecanismos de acción sobre los tejidos dentarios, sino también desde el punto de vista de sus componentes y en el número de pasos clínicos necesarios para su aplicación. Esto último permite lograr una menor sensibilidad de la técnica y un funcionamiento equivalente en esmalte y dentina.<sup>12</sup>

Kugel y colaboradores propusieron una clasificación de los sistemas adhesivos contemporáneos la cual se basa en el tratamiento dado a la dentina y la cronología de aparición de estos materiales en el mercado, separándolos en generaciones.<sup>78</sup>

### **7.2.1 ADHESIVOS DE GRABADO Y ENJUAGUE (*Etch and rinse*)**

Los adhesivos de grabado y enjuague comprenden dos fases separadas. La configuración más común consiste en la aplicación de un ácido (la mayoría de las veces se trata de ácido ortofosfórico al 30-40%) y su posterior eliminación mediante lavado con spray de aire y agua (enjuagado). A continuación se aplica el *primer* y la resina adhesiva, dando como resultado una metodología en tres pasos.<sup>14</sup>

Una característica diferencial de estos sistemas respecto a los de autograbado es la utilización de un ácido fuerte en esmalte y dentina (la

técnica que se conoce como grabado total) que elimina por completo el barrillo dentinario. Previo a la aplicación del adhesivo debe eliminarse el agua mediante spray de aire, pero sin realizar un secado excesivo de la dentina, tal como se menciono con anterioridad, esto podría perjudicar el proceso de adhesión.<sup>14</sup>

Una vez desmineralizados los tejidos, la función de los *primers* es transformar la superficie dental hidrofílica en hidrofóbica para conseguir así la unión de la resina adhesiva.<sup>12</sup>

Una de las ventajas de los sistemas de tres pasos clínicos es su capacidad de obtener una resistencia de adhesión adecuada a esmalte y dentina. Estos adhesivos han logrado valores de resistencia de unión de aproximadamente 20 a 40 MPa.<sup>12, 80</sup>

### **7.2.2 ADHESIVOS DE AUTOGRABADO (*Self-Etch*).**

La estrategia comercial de este tipo de sistemas adhesivos, se centra en su facilidad de uso. Este método elimina la fase de enjuagado, con lo cual no sólo se reduce el tiempo de aplicación del sistema a dos pasos y también se reduce el riesgo de cometer errores durante sus manipulación.

14

Estos sistemas necesitan que se aplique una técnica de adhesión húmeda al no realizarse el paso de imprimación de forma independiente. El tejido debe mantenerse húmedo para evitar que, en el caso de la dentina, el colágeno desmineralizado se colapse impidiendo la infiltración incompleta del adhesivo.<sup>72</sup>

En general, los adhesivos de autograbado tienen la ventaja de desmineralizar e infiltrar en la superficie del diente simultáneamente a la misma profundidad, asegurando teóricamente la completa penetración del adhesivo.

El patrón morfológico e intensidad de grabado producido por los sistemas autograbantes, depende en gran medida del modo como los monómeros funcionales interactúan con los tejidos dentarios, en base a esto podemos identificar<sup>49, 53</sup>

**Sistemas adhesivos autograbantes suaves:** Soluciones adhesivas que poseen un pH > 2.5, que establecen una nano interacción con el sustrato dentario.

**Sistemas adhesivos autograbantes moderados:** Soluciones adhesivas que poseen un pH 2.0, generando micro porosidades de cerca de 1µm de profundidad.

**Sistemas adhesivos autograbantes fuertes:** Soluciones adhesivas que poseen un pH entre 1.0 a 2.0 las cuales establecen micro porosidades de 1 a 2 µm de profundidad.

Algunos autores afirman que la fuerza de adhesión de algunos adhesivos autograbantes es incluso mayor sobre la dentina que sobre el esmalte y que no alcanza, en este último, la eficacia de sus predecesores, basados en el grabado ácido previo.<sup>81</sup>

### **7.2.3 POR ORDEN CRONOLÓGICO (GENERACIONES COMERCIALES).**

**Primera generación.**

Oskar Hagger, el "padre de los adhesivos dentales modernos" desarrolló el primer sistema adhesivo en 1949 mediante la incorporación de dimetacrilato-glicerofosfórico-ácido (GPDM) en un sellador líquido de cavidades (Sevriton Cavity Seal s; patente suiza n.º 278946, 1951) junto con un material restaurador a base de resina curado químicamente (Sevriton s).<sup>82</sup>

En 1952, Mclean y Kramer postularon que este material (Sevriton Cavity Seal), se unía químicamente a la estructura dental. Este fue el primer informe de cambios en la dentina promovidos por un monómero ácido y puede considerarse el precursor del concepto de capa híbrida.<sup>83</sup>

Uno de los primeros intentos para lograr adhesión a dentina fue hecho por Michael G. Buonocore, siguiendo los mismos principios utilizados en el desarrollo de adhesión a esmalte, pero utilizando ácidos más débiles para el acondicionamiento del sustrato.<sup>84</sup>

El primer adhesivo dentinario fue propuesto por Bowen en 1965 y comercializado con el nombre de Cervident (S.S White, Lakewood). Su composición era a base de cianoacrilatos para la unión química al colágeno dentinario y la molécula NPG-GMA (N- fenilglicina – glicidil Metacrilato) para la unión al calcio dentinario. En teoría, la unión se generaba por la quelación del agente adhesivo con el calcio en la superficie del diente para formar uniones químicas de la resina al calcio de la dentina.<sup>2</sup> A pesar de que si se lograba la penetración peritubular del adhesivo, esta contribuía de manera reducida a la retención de la restauración, por lo que la unión duraba pocos meses. Las fuerzas de unión a la dentina in vitro eran bajas, de 2 a 3 MPa.<sup>6, 85</sup>

## **Segunda generación.**

La segunda generación se enfocó hacia el mejoramiento de los agentes de unión de los adhesivos, es así como a comienzos de la década de 1970 se incorporan 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 sin embargo, la resistencia de unión seguía siendo muy baja, de 5 a 7 MPa, lo que permitía la hidrólisis por la exposición a la saliva causando microfiltración.<sup>78</sup>

En 1977, se comercializa el primer producto de esta generación de adhesivos dentinarios, Clearfil Bond System F (Kuraray, Osaka, Japón), era un material éster fosfato (fenil P y hidroxietil metacrilato [HEMA] en etanol), se presentó como un sistema de dos componentes al incorporar activadores químicos. Este producto intentaba emplear la capa residual (smear layer) como sustrato para adhesión.<sup>86</sup>

## **Tercera generación.**

La utilización de dos componentes como son: el imprimador (primer) con moléculas de monómeros bifuncionales con un extremo hidrofílico y otro extremo hidrófobo (extremo carboxilo), fue uno de los avances más importantes registrados en esta generación de adhesivos.<sup>84</sup>

Tienen la capacidad de transportar una molécula hidrófoba como son los monómeros adhesivos a un tejido con humedad relativa como la dentina, al cual tiene la capacidad de unirse por su extremo hidroxilo a los monómeros hidrófobos del adhesivo por su extremo carboxilo, permitiendo un incremento significativo de la fuerza de adhesión a la

dentina, entre 8 y 15 MPa, lo que eliminó la necesidad de preparaciones cavitarias retentivas para las restauraciones adhesivas, disminuyendo de igual manera la sensibilidad posoperatoria. <sup>78</sup>

### **Cuarta generación.**

Hacia 1980, con la cuarta generación de los sistemas adhesivos, se introdujo la técnica de grabado total, que permite remover completamente el smear layer, grabando simultáneamente esmalte y dentina con la utilización de ácido fosfórico; sin embargo, la principal preocupación era evitar el colapso de la red de fibras colágenas expuestas en la capa de dentina desmineralizada y favorecer la formación de las interdigitaciones de resina ( tags de resina) y ramificaciones laterales en los túbulos dentinales, lo que conforma la capa híbrida, logrando valores de resistencia de unión de aproximadamente 31MPa. <sup>78</sup>

La presencia de la capa híbrida, aumento la habilidad de estos sistemas de adhesión de unirse efectivamente al sustrato dentinario para sellar la superficie de la dentina eliminando casi por completo el flujo de fluidos en la interfase y disminuyendo la sensibilidad posoperatoria propia de estos procedimientos operatorios.<sup>12</sup>

Los resultados de los estudios in vitro realizados para esta generación de sistemas adhesivos, mostraron una adhesión más fuerte y estable. Sus excelentes características y funcionalidad durante las pruebas de laboratorio y clínicas, los han colocado como estándar de oro para estudios comparativos<sup>12</sup>

## Quinta generación.

Esta generación permitió simplificar el procedimiento clínico de aplicación del sistema adhesivo, reduciendo relativamente el tiempo de trabajo, sin embargo, al igual que en la cuarta generación se debía evitar el colapso de la red de fibras colágenas durante el proceso de grabado total.<sup>87</sup>

La mayoría de los sistemas adhesivos de la quinta generación, utilizaban el grabado o acondicionamiento simultáneo de la dentina y el esmalte (grabado total) y el sistema de una botella (*one bottle*) que contiene el imprimador y la resina adhesiva juntos y que se aplicaba después del grabado en un solo paso. Algunos sistemas incorporaron pequeñas cantidades de partículas de relleno, para dar más consistencia a la resina adhesiva.<sup>84</sup>

Estos adhesivos inicialmente son extremadamente fluidos para favorecer la formación de la capa híbrida, una vez que el solvente ha sido evaporado se tornan más espesos uniéndose a la resina compuesta. Como solventes utilizan agua, acetona y etanol, siendo estos dos últimos los más empleados.<sup>88</sup>

Trabajan con la presencia parcial del barrillo dentinario, el cual es disuelto de manera parcial permaneciendo una pequeña porción intacta, por lo que la adhesión se produce en parte en el *smear layer* y en menor grado junto al colágeno de las paredes íntegras.<sup>71</sup>

Los monómeros hidrofílicos e hidrofóbicos se recolectan en la misma botella. Los valores de la fuerza de unión del tejido del esmalte (35-45 MPa) son los mismos que los de los sistemas adhesivos de tres etapas, pero los valores de la fuerza de unión del tejido de la dentina (30-35 Mpa) son más bajos que los del esmalte.<sup>77</sup>

## Listado de sistemas adhesivos de 5ta generación

A continuación serán nombrados algunos de los adhesivos de quinta generación que existen en el mercado actual, no se basa en una lista completa de todos los adhesivos de esta generación, solo se mencionarán los más conocidos internacionalmente.<sup>89</sup>.

**Optibond™ solo plus (Kerr):** Adhesivo de 5 ta generación, Sistema adhesivo líquido único. Un líquido hace contacto directo e indirecto. Lleno 15% con 0,4 micrones de vidrio, y todavía libera flúor. Rendimiento superior.

**Adper™ single bond plus (3M ESPE):** Adhesivo de 5 ta generación, excelente adherencia a la dentina y esmalte, no necesita sacudir nanorelleno es estable y no se conforman, el diseño de la botella conveniente permite la apertura de la botella fácil y dispensación, úselo para 22 restauraciones directas e indirectas, reduce el riesgo de sensibilidad postoperatoria, insensibiliza superficie radicular hipersensible

**Tetric N-Bond™ (Ivoclar Vivadent):** Adhesivo de 5 ta generación, adhesión de alta resistencia en el esmalte y la dentina para un resultado exitoso, nano-rellenos integrados que garantizan una capa brillante visible y una cobertura completa de los túbulos dentinarios, formación de una capa homogénea para una mejor adhesión a la estructura dental, reducción de la sensibilidad postoperatoria, libre de Acetona, contiene etanol como solvente para una fácil aplicación en una capa y una mejorada estabilidad sin evaporación prematura.

**Heliobond™ (Ivoclar Vivadent):** Adhesivo de 5 ta generación, monocomponente, fotopolimerizable que optimiza el grabado en esmalte con cualquier material de cementación fotopolimerizable.

### **Sexta generación.**

A mediados de 1990, las investigaciones se centraban en crear un sistema que no requiriera el grabado con ácido fosfórico, por esa razón recibieron el nombre de sistemas de autograbado (*self-etching primers* ó *self etching adhesives*).<sup>6</sup>

Estos sistemas están constituidos de monómeros ácidos polimerizables sin ningún paso intermedio como: lavado o secado y que actúan en un paso o dos como acondicionadores, imprimadores y resina adhesiva. El principal objetivo de estos sistemas adhesivos, tiende a ser también la simplificación de la técnica.<sup>84</sup>

Este nuevo sistema se diferencia de los adhesivos de grabado y lavado en varios aspectos como su pH inicial, el tipo de monómeros acídicos, el número de frascos, y pasos, la concentración de agua y solventes e hidrofiliidad de la capa de unión. Se reportan valores de resistencia de unión de aproximadamente 26 MPa, para los autograbadores de dos pasos.<sup>78, 90</sup>

Los adhesivos autograbadores están compuestos de mezclas acuosas de monómeros funcionales acídicos hidrofílicos, generalmente ésteres del ácido fosfórico, con un pH de 1,5 a 2,5, un poco más alto que los geles del ácido fosfórico.<sup>78</sup>

Watanabe y Nakabayashi desarrollaron los imprimadores autograbadores a partir de soluciones de 2-hidroxietil metacrilato (HEMA) al 30%, posteriormente se incorporó trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) y metacriloxidecil dihidrogenion fosfato (MDP).<sup>78, 59</sup>

Estos sistemas a su vez, pueden clasificarse de acuerdo con su técnica de aplicación<sup>78</sup>:

**Tipo 1:** Es aplicado inicialmente el primer autograbador, es aireado, posteriormente se aplica el adhesivo, de nuevo se airea y se fotopolimeriza. Otra característica de este sistema es que generalmente es compatible con los cementos de resina de autocurado, con este sistema se aplica inicialmente el imprimador en el diente, se airea y posteriormente se aplica y fotocura el adhesivo y finalmente se aplica el cemento de resina de autocurado para cementar la restauración.

**Tipo 2:** Se mezcla el imprimador y el adhesivo, previo a su aplicación en el diente, la primera capa es aireada por diez segundos y la segunda se fotocura. Este sistema generalmente no es compatible con los cementos de resina duales, de autocurado y reconstructores de muñón como son las resinas compuestas convencionales de autocurado. La acidez del agente adhesivo puede interferir en el fraguado de la resina compuesta. Esta incompatibilidad se produce debido a que la polimerización química de resinas se da mediante un sistema binario de curado dual o Redox que consiste en un peróxido y una amina terciaria aromática.

### **Séptima generación.**

Los sistemas adhesivos de séptima generación, adhesivos autograbadores o también conocidos como autocondicionantes, son de un frasco y un solo paso (*All in one*), 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.<sup>78</sup>

Los adhesivos de un solo componente de un solo paso pueden considerarse como los únicos verdaderos adhesivos de una botella (*One bottle*) o todo en uno (*All in one*), ya que combinan acondicionamiento, imprimación y aplicación de la resina adhesiva, y no requieren mezcla.<sup>53</sup>

En los sistemas adhesivos autoacondicionantes un agente acídico (monómero ácido) es el responsable del acondicionamiento del esmalte y de la dentina. Como la estructura mineralizada del diente posee capacidad de tamponamiento de los monómeros ácidos, se produce una neutralización de su acción desmineralizante algunos segundos después de su aplicación. Por eso, la eficiencia de acondicionamiento y la penetración de los sistemas autoacondicionantes en los sustratos dentales dependerán de la acidez inicial del material y de la capacidad de tamponamiento de la estructura dental.<sup>91</sup>

En contraste con las ventajas de la simplificación del procedimiento, disminución de la sensibilidad de la técnica, desmineralización e infiltración simultánea de la resina, disminución en el tiempo de trabajo y sensibilidad posoperatoria, los resultados en cuanto a la resistencia de unión y nanofiltración ponen en duda la efectividad clínica de los sistemas adhesivos de séptima generación, debido a su inestabilidad en el tiempo.<sup>78</sup>

Se reportan valores de resistencia de unión de aproximadamente 20 MPa.<sup>90</sup>

### **Listado de sistemas adhesivos de séptima generación**

La siguiente lista nombra algunos de los adhesivos de séptima generación que existen en el mercado actual, no se basa en una lista completa de todos los adhesivos de esta generación, solo se nombraran los más conocidos internacionalmente.<sup>89</sup>

**Adhese® One F (Ivoclar Vivadent):** Adhesivo 7ma generación, es de autograbado, fotopolimerizable, liberador de fluoruro, el adhesivo de un solo componente para restauraciones directas (composites, compómeros). El VivaPen popular ha sido rediseñado y permite la aplicación con más eficacia. Los fuertes lazos con la dentina y el esmalte, además de la reducción en la sensibilidad postoperatoria.

**One Coat 7.0 (Coltene Whaledent):** Adhesivo 7ma generación, alto rendimiento en cualquier superficie, de un solo componente, fotocurado, autograbante diseñado para grabar, el primer y bond todos con una capa para el desempeño de unión sin esfuerzo en cualquier superficie, excepcional resistencia al cizallamiento en dentina y esmalte.

**Clearfil S3 Bond Plus (Kuraray):** Adhesivo 7ma generación, es de fotocurado, auto-grabado de un solo paso, agente adhesivo que libera fluoruro.

**25 Adper™ easy Bond (3M):** Adhesivo 7ma generación, presentación en una botella, la conveniencia de una sola capa, de alta resistencia de la unión con la química probada y de relleno, reduce el riesgo de sensibilidad post operatoria, trabaja en el esmalte y la dentina húmeda o seca, de alta integridad marginal y baja microfiltración, insensibiliza superficie radicular hipersensible.

**Optibond All-In-One (Kerr):** Adhesivo 7ma generación, de auto-grabado necesitan ingredientes esenciales como grabado, primer y adhesivo en una sola solución.

### **Octava generación**

Los adhesivos de octava generación según Nuñez, se caracterizan por que contiene material de relleno nanométrico. Los agentes de nano-unión son soluciones de nano-relleno, que tiene una mayor resistencia de adhesión del esmalte y dentina, absorción de estrés y una vida útil más prolongada. Esta nueva generación de adhesivos autograbado tiene monómeros hidrófilos ácidos y se pueden usar fácilmente en el esmalte grabado después de la contaminación con saliva o humedad.<sup>93</sup>

Los adhesivos universales multiuso, de un solo componente, indicado para todos los protocolos de grabado, técnicas, materiales restaurativos y para todo tipo de restauración directa o indirecta.<sup>94</sup>

## **8. FUERZA ADHESIVA.**

Como ya hemos mencionado anteriormente, la adhesión a los tejidos dentales se puede lograr a través de un grabado y lavado ó un auto-grabado. El mecanismo básico de unión al esmalte y la dentina de estos dos enfoques se demuestra por medio de la caracterización ultramorfología y química de las interacciones de la interface entre diente y biomaterial. Además, la medición de la fuerza adhesiva y la eficacia marginal de sellado, se evalúan según su valor y relevancia en la predicción de rendimiento clínico.<sup>89</sup>

La fuerza de adhesión según Gallo, es aquella fuerza de atracción que se da entre moléculas de diferentes clases y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares, la adhesión se da entre líquidos y sólidos.<sup>95</sup>

Como menciona Galarza en su investigación, existen una gran variedad de métodos para poder medir y registrar la fuerza hacia la fractura de los sistemas adhesivos, es decir, poder medir la propiedad de microtensión de dichos sistemas. La unidad de medición son los megapascales, diferenciado por su abreviatura “MPa” es equivalente a 1 Newton/milímetro cuadrado (N/mm<sup>2</sup>). Donde su unidad es el pascal el cual equivaldría a  $10^6$  o en también se lo descifra como  $1 \text{ MPa} = 1\,000\,000 \text{ Pa}$ .<sup>89</sup>

Existe una gran variedad de estudios realizados para los sistemas adhesivos de última generación (séptima y octava generación), al ser los más modernos no todos comprueban la resistencia a la tracción y a la fractura, por eso mismo hay algunos estudios que utilizan un adhesivo de 5ta generación como control.

Esta investigación tiene como objetivo describir la fuerza adhesiva de sistemas adhesivos de 5ta y 7ma generación basados en una recopilación de información por medio de revistas, artículos y trabajos de investigación previamente realizados.

Debido a la gran cantidad de estudios comparativos existentes, únicamente describiremos los resultados de un solo estudio, el cual se consideró como el más completo pues se utilizaron diferentes sistemas adhesivos, lo cual es bueno ya que podremos tener más de una opción al momento de elegir el sistema adhesivo adecuado para cada situación odontológica.

## **9. ESTUDIOS COMPARATIVOS DE LA FUERZA ADHESIVA ENTRE SISTEMAS DE ADHESIÓN (5°,6°,7°y 8° Ggeneraciones)**

### **Estudio realizado por Bracket y Colaboradores en 2008.**

En este estudio, una de las principales características es que se utilizó la misma resina para todos los tipos de sistemas adhesivos, la cual es la Filtek Z 250. (3M ESPE).

Se utilizó como control un sistema de 5ta generación, que es el PQ1 (Ultradent), dos sistemas autoacondicionantes de 2 pasos que se consideraron como adhesivos de 6ta generación; Peak SE. (Ultradent) y Clearfil SE Bond. (Kuraray) y 4 sistemas adhesivos de un solo paso o de 7ma generación como: Adapter Prompt L-Pop (3M ESPE), iBond (Heraeus Kulzer), OptiBond All-In-One (Kerr) y Clearfil S3 Bond (Kuraray).

A continuación se mostrara una tabla con todos los sistemas adehsivos utilizados en el estudio además del ph de cada uno. (imagen).

Con referencia al ph es importante destacar que en Adapter Prompt L-Pop (3M ESPE) de 7ma generación es igual de ácido que el PQ1 (Ultradent), aunque la gran diferencias es que en este último se realiza un grabado acido previo con ácido fosfórico al 35% y en el de 7ma generación no hay grabado acido previo.<sup>96</sup>

SISTEMA ADHESIVO	TÉCNICA	COMPOSICIÓN	PH
<b>PQ1</b> Lot #B24MZ Ácido grabador Adhesivo. (Ultradent, South Jordan UT, USA)	Aplicar 15 segundos el ácido grabador y enjuagar Aplicar 10 segundos , aplicar aire y fotocurar.	Acido fosfórico al 35%. Bis-GMA, 2 hydroxyetil metacrilato (HEMA), ácido metaacrilico, etanol, silica.	1
<b>PeakSE</b> Lot PQ SE 34/PQ thin 07 Primer Bond (Ultradent, South Jordan UT, USA)	Aplicar 20 segundos y secar con aire Aplicar Bonding y fotocurar.	Bis-GMA, HEMA, etanol, ácido metaacrilico, agua. Bis-GMA, HEMA, etanol, ácido metaacrilico, silica.	1.2
<b>Clearfil SE Bond</b> Lot #61739 Primer Bond (Kuraray, Osaka, Japan)	Aplicar 20 segundos, secar con aire. Aplicar y fotocurar.	10-MDP, HEMA, agua. MDP, Bis-GMA, HEMA.	1.9
<b>Clearfil S<sup>3</sup> Bond</b> Lot#00001A (Kuraray, Osaka Japan)	Aplicar 20 segundos, secar con aire y fotocurar,	MDP, Bis-GMA, HEMA, agua, etanol.	2.7
<b>Adper Prompt L-Pop</b> Lot #254081 (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	Mezclar, Aplicación con frotación durante 15 segundos. Secar con aire, volver a aplicar, secar y fotocurar.	di-HEMA fosfato, bisfenol A Glicidil, éter dimetacrilato, agua.	1

<b>iBond</b> Lot #010075 (Heraeus Kulzer, Armonk, NY, USA)	Aplicar tres capas frotando durante 20 segundos cada una, secar con aire y fotocurar.	4-META, uretano dimetacrilato. Glutaraldehido, acetona y agua.	1.6
<b>Optibond All-In-One</b> Lot #45309 (Kerr, Orange, CA, USA)	Aplicar dos capas frotando 20 segundos cada una, secar con aire y fotocurar.	Glycerol fosfato dimetacrilato, mono y di-funcional metacrilato esterres, acetona, agua y etanol.	2.5
<b>Filtek Z 250</b> Lot #20060701 (3M ESPE, St Paul, MN, USA)	(Composite utilizado)		

Tabla que representa todos los materiales usados en la investigación, su técnica, composición y pH.<sup>96</sup>

Para la dentina, la imprimación de autograbado adhesivos Clearfil SE y Peak SE, demostraron significativamente mayores fuerzas de adhesión microtensión que cualquiera de los adhesivos de autograbado y no fueron significativamente diferentes entre sí. La fuerza de unión del PQ1 producto de grabado y aclarado, no fue diferente de los dos adhesivos de imprimación de autograbado, ni fue diferente de los adhesivos de autograbado Optibond All-In-One y Clearfil S3. Todos los materiales produjeron significativamente mayor resistencia de unión a la dentina que Lpop Prompt.<sup>89, 96</sup>

(Z 250 resin composite) Material	n (teeth)	n (beams)	Bond Strengths	Cohesive* (beams)
Clearfil SE	5	35	81.6 (3.5) <sup>a</sup>	8
Peak SE	5	35	80.3 (9.9) <sup>a</sup>	3
PQ1	5	35	73.4 (4.9) <sup>a,b</sup>	4
Optibond All-in-One	5	35	64.4 (5.9) <sup>b</sup>	5
Clearfil S <sup>3</sup>	5	35	62.5 (2.2) <sup>b,c</sup>	0
iBond	5	35	51.0 (4.0) <sup>c</sup>	0
Prompt L-Pop	5	35	33.9 (6.4) <sup>d</sup>	0

*\*Failures in dentin; all other failures adhesive.  
Means with same letter not significantly different, one-way ANOVA, Tukey-Kramer Multiple Comparison Test (p<0.05).*

Imagen. Tabla que representa las fuerzas de adhesión entre resina y dentina (MPa).<sup>96</sup>

Para el esmalte, se observaron las mayores fuerzas de adhesión para la PQ1 producto de grabado y enjuague, los adhesivos de imprimación autograbadores Clearfil SE y Peak SE. Y el adhesivo autograbante Prompt L-Pop, que no fueron significativamente diferentes entre sí. Los resultados completos de fuerza de adhesión se presentan en las tablas 1 y 2 . Se mostró que el grabado con ácido fosfórico convencional y el uso de Prompt L-Pop, el cual tiene un pH aproximado de 1,0, produjeron los mayores cambios topográficos en la superficie del esmalte. Entre las otras resinas auto-grabado, la topografía esmalte grabado fue menos pronunciada.<sup>89, 96</sup>

Con los datos obtenidos) se realizó un gráfico comparativo para observar mejor cual fue el más eficiente en la adhesión a la dentina y al esmalte.

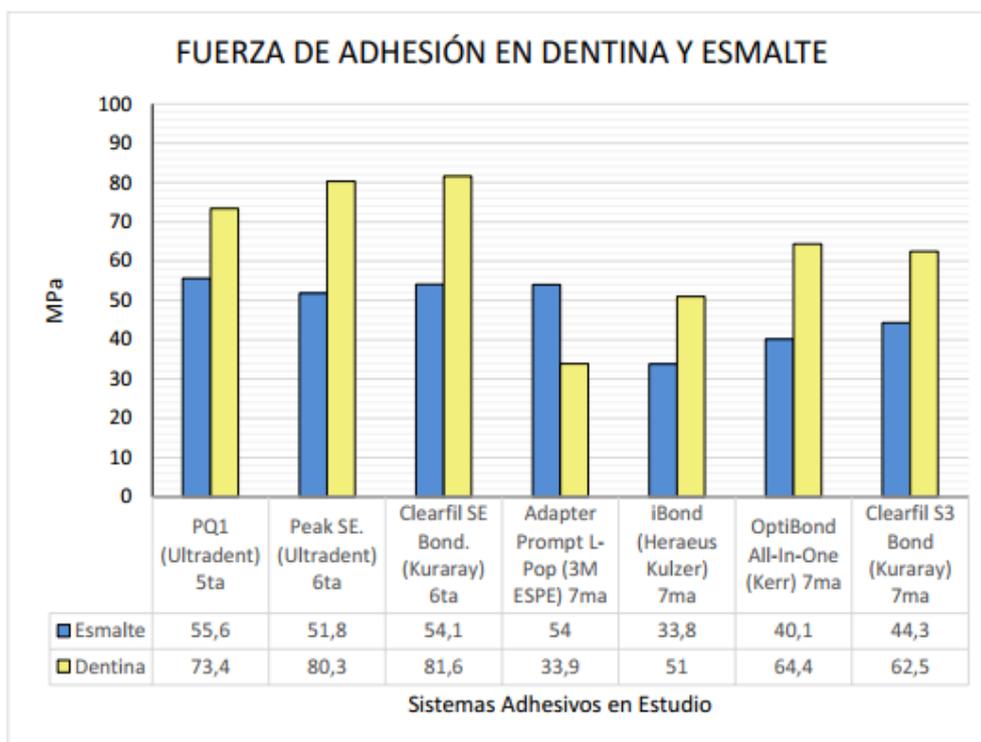


Imagen. Grafica que muestra las fuerzas de adhesión en dentina y esmalte (Mpa).<sup>89, 96</sup>

Los adhesivos que utilizan primers autograbantes, Clearfil SE y Peak SE, fueron tan eficaces en la unión como el sistema adhesivo de control PQ1 adhesivo de grabado y enjuague. De todos los sistemas adhesivos utilizados, Pq1 fue el más eficaz tanto en esmalte como dentina.<sup>96</sup>

## **10. CONCLUSIONES.**

Con la información obtenida en esta revisión bibliográfica, podemos determinar entonces que los sistemas adhesivos de última generación no siempre son los mejores, adhesivamente hablando en comparación con los sistemas adhesivos convencionales de 2 pasos (5ta generación) que obtuvieron un rendimiento mucho mejor que los de última generación.

Con esta última generación se logró simplificar la técnica y disminuir los tiempos de trabajo facilitándole al odontólogo su manipulación, pero disminuyeron la fuerza de unión, lo más importante de los sistemas adhesivos.

En el estudio de comparación de la fuerza adhesiva que fue revisado en esta investigación se registró que la menor adhesión fue registrada por los sistemas adhesivos autoacondicionantes de un paso (7ma generación) en la superficie del esmalte. La mayor adhesión que se registro fue por los sistemas adhesivos convencionales de dos pasos (5ta generación) en dentina.

El acondicionamiento con ácido grabador y la posterior utilización de un primer que mantenga la estabilidad del entramado de fibras colágena, es la principal cualidad que debe tener el sistema adhesivo ideal, para generar fuerza adhesiva.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Anusavice , K.J. Ciencia de los materiales dentales de Phillips. Undécima edición. Editorial Mc Graw Hill Interamericana. México. 2004.
2. Gwinnett A J, Matsui A. A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesives. Arch Oral Biol 1967;12:1615–9.
3. Pashley, D. H., Tay, F. R., Breschi, L., Tjäderhane, L., Carvalho, R. M., Carrilho, M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2011). State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 27(1), 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.016>
4. Van Meerbeek, B., Perdigão, J., Lambrechts, P., & Vanherle, G. (1998). The clinical performance of adhesives. *Journal of dentistry*, 26(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(96\)00070-](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(96)00070-)
5. Yoshida, Y., Van Meerbeek, B., Nakayama, Y., Yoshioka, M., Snauwaert, J., Abe, Y. (2001). Adhesión y descalcificación de hidroxiapatita por ácidos carboxílicos. *Revista de investigación dental* , 80 (6), 1565-1569.
6. O'Brien W. Materiales dentales y su elección. Tercera edición. Quintessence Publishing. Canada. 2002.
7. Asmussen E, Peutzfeldt A. Resin composites: strenght of the bond to dentin versus Surface energy parameters. Dent Mater. 2005; 21:1039-43.
8. Craig R., Powers J. Restorative dental materials. Onceava edición. Mosby. 2002.
9. Wu W., Nancollas GH. The relationship between Surface free-energy and kinetics in the mineralization and demineralization of dental hard tissue. Adv Dent Res. 1997; 11:566-75.

10. Toledano M, Osorio R, Perdigao J, Rosales JI, Thompson JY, Cabrerizo-Vilchez MA. Effect of acid etching and collagen removal on dentin wettability and roughness. *J Biomed Mater Res* 1999; 47:198-203.
11. Macchi RL. *Materiales dentales. Médica panamericana*. Buenos Aires. 2007.
12. Mandri María Natalia, Aguirre Grabre de Prieto Alicia, Zamudio María Eugenia. *Sistemas adhesivos en Odontología Restauradora. Odontostomatología* [Internet]. 2015 Nov [citado 2022 Mar 06]; 17( 26 ): 50-56. Disponible en: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1688-93392015000200006&lng=es](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93392015000200006&lng=es).
13. Norling B. Adhesión. En: Anusavice K. *Phillips Ciencia de los materiales dentales*. Madrid: Elsevier; 2004: 381-398.
14. Journal Article. Valoración de las Fuerzas de Adhesión de sistemas adhesivos autograbantes sobre Dentina Irradiada con Láser de Er,Cr:YSGG20134. Universitat Internacional de Catalunya TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Rodrigo José Pallás Albiac <http://www.tdx.cat/handle/10803/110929> valoración-de-las-fuerzas-de-adhesión-de-sistemas-adhesivos-autograbantes-sobre-dentina-irradiada-con-láser-de-er,cr:ysgg.
15. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic fillings materials to enamel surfaces. *J Dent Res*. 1955;34:849-53.
16. Bowen RL. Dental filling material comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bisphenol and glycidel methacrylate. (1962). US Patent 3000, 112.
17. Jendresen Malcolm, Per-Olof Glantz, Robert E. Baier & J. David Eick (1981) Microtopografía y adhesividad clínica de una superficie dental grabada con ácido, *Acta Odontologica Scandinavica*, 39:1, 47-53, DOI: [10.3109/00016358109162258](https://doi.org/10.3109/00016358109162258).

18. Perdigão J, Frankerberger R, Rosa BT, Beschi L. New trends in dentin / enamel adhesion. *Am J Dent*. 2000;13:25-30.
19. Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological characterization of the interface between resin and sclerotic dentin. *J Dent*. 1994;22:141-6.
20. Swift Jr EJ, Perdigao J, Heymann HO (1995). "Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art". *Quintessence Int* 26 (2):95–110.
21. Henostroza G. Adhesión en Odontología Restauradora. Editorial Maio. 2003.
22. Fusayama T. Intratubular crystal deposition and remineralization of carious dentin. *Journal de biologie buccale*. 1991. 19(3), 255–262.
23. García Barbero J, Kessler Nieto F. Adhesión. En *Patología y terapéutica dental*. Editorial Síntesis. Madrid. 1997.
24. Phillips, R. *La Ciencia de los Materiales dentales de Skinner*. 7ª Edición. Editorial Interamericana. 1986. 583. p.p 18-439. Cap. 2.
25. Silverstone LM, Hicks MJ, Featherstone MJ. Oral fluid contamination of etched enamel surfaces: a SEM study. *J Am Dent Assoc*. 1975;110:329-32.
26. Astorga C, Bader M, Baeza R, Ehrmantraut M, Ribera C, Vergara J. *Propiedades Generales: Materiales cerámicos. Texto de Biomateriales Odontológicos Tomo I*. 2004. pp 49-61. Cap. VI.
27. Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeeck S, et al. " The interaction of adhesive systems with human dentin." *Am J Dent* 1996; 9: 167-73. Moreno-Gómez F, Ortiz-Salazar M, Mejía-Pavony C. Métodos de separación y técnicas de observación microscópica de la unión amelodentinaria: revisión sistemática de la literatura / Separation Methods and Microscopic Observation Techniques of the Dentinenamel Junction: Systematic Literature Review. *Univ Odontol [Internet]*. 28 de octubre de 2013 [citado 14 de marzo de 2022];32(69):19-34. Disponible en: <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revUnivOdontologica/arti>

[cle/view/SICI%3A%202027-3444%28201307%2932%3A69%3C19%3AMSTOMU%3E2.0.CO%3B2-R](http://gbsystems.com/papers/endo/art10.htm)

28. Forner Navarro, L. Fisiología del complejo dentino-pulpar. Dental World. Disponible en: <http://gbsystems.com/papers/endo/art10.htm> (Consultado 25 de febrero 2022).
29. Gómez De Ferraris M, Campos Muñoz A. Histología y embriología bucodental. Médica panamericana. Madrid. 1999. 175-225.
30. Ten Cate A. Histología oral. Desarrollo, estructura y función. Ed. Panamericana. Buenos Aires. 1986. 273-280.
31. Friedman S. Bioquímica de los tejidos dentarios mineralizados. En: Lanata E. Operatoria dental. Estética y adhesión. Editor Grupo Guía SA, Buenos Aires, 2003.12-18.
32. Mjor, IA. et al. Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 1: normal structure and physiology. Quintessence Int 2001;32:427-446
33. Buonocore MG. Principles of Adhesive Retention and Adhesive Restorative Materials. J Am, Dent. Assoc. 1963. 67:382-91.
34. Fuentes V, Ceballos L, Osorio R, Toledano M, Carvalho R, Pashley D. tensile strength and microhardness of treated human dentin. Dent Mater. "004; 20:552-9.
35. Berkovitz BK, Holland GR, Moxham B. Anatomía oral, histología y embriología. Mosby/Doyma. Madrid. 1995.
36. Trowbridge H., Kim S. Desarrollo de la pulpa, estructura y función. En: Cohen S, Burns R, editores. Vías de la pulpa. 7ma edición. Madrid. Harcourt, 1999: 362-400.
37. Cohen S, Burns R. Las vías de la pulpa. Mosby. St Louis. 1998.
38. Albaladejo Martínez A. Estudio in vitro de factores que afectan la durabilidad de la adhesión a dentina. Universidad de Granada. Facultad de odontología. Granada. 2006.  
<http://hera.ugr.es/tesisugr/16059177.pdf>.
39. Aguirre, A., Mery, C., Montenegro, M (1986). "Histología y Embriología del Sistema Estomatognatico 2" 138. pp 61-75.

40. Stangel I, Ellis TH, Sacher E. Adhesion to tooth structure mediated by contemporary bonding systems. *Dent Clin North Am.* 2007; 51:677-94, VII.
41. Navarro, María Alejandra. Conceptos Actuales sobre el Complejo Dentino-Pulpar. *Fisiología Pulpar. Carlos Bóveda Z* (2006): 1-52.
42. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesión review; aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater.* 2008; 24:90-101.
43. Stangel, I., Ellis, T. H., & Sacher, E. (2007). Adhesion to Tooth Structure Mediated by Contemporary Bonding Systems. In *Dental Clinics of North America* (Vol. 51, Issue 3, pp. 677–694). <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.04.007>.
44. Perdigão, J. (2007). New Developments in Dental Adhesion. In *Dental Clinics of North America* (Vol. 51, Issue 2, pp. 333–357). <https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.01.001>.
45. Trowbridge H., Kim S. Desarrollo de la pulpa, estructura y función. En: Cohen S, Burns R, editores. *Vías de la pulpa*. 7ma edición. Madrid. Harcourt, 1999: 362-400
46. Schilke, R., Lisson, J. A., Bauss, O., & Geurtsen, W. (2000). Comparison of the number and diameter of dentinal tubules in human and bovine dentine by scanning electron microscopic investigation. *Archives of oral biology*, 45(5), 355–361. [https://doi.org/10.1016/s0003-9969\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/s0003-9969(00)00006-6)
47. Butler WT. Dentin extracelular matrix and dentinogenesis. *Oper Dent* 1992;Suppl 5:18-23.
48. Seltzer S, Bender I. *The dental pulp: biologic considerations in dental precedures*. St, Louis. Ishiyaju EuroAmerica Inc. 1990.
49. Osore J. Estudio comparativo in vitro del grado de microfiltración marginal de restauraciones de resina compuesta realizadas con el sistema adhesivo XP Bond® utilizando la técnica de grabado ácido total y de grabado ácido selectivo del esmalte [Internet]. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Odontología; 2013

[citado: 2022, marzo]. Disponible en:

<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/117490>.

50. Ramos Sánchez Gisela, Calvo Ramírez Norberto, Fierro Medina Ricardo. ADHESIÓN CONVENCIONAL EN DENTINA, DIFICULTADES Y AVANCES EN LA TÉCNICA. Rev Fac Odontol Univ Antioq [Internet]. 2015 June [cited 2022 Mar 15]; 26( 2 ): 468-486. Available from:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-246X2015000100013&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2015000100013&lng=en).
51. Sattabanasuk V, Vachiramon V, Qian F, Armstrong SR. Resin-dentin bond strength as related to different surface preparation methods. J Dent 2007; 35: 467-475.
52. Eldarrata AH, High AS, Kale GM. In vitro analysis of 'smear layer' on human dentine using ac-impedance spectroscopy. J Dent 2004; 32: 547-554.
53. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater 2011; 27: 17-28.
54. Frankberger R, Perdigão J, Rosa BT, Lopes M. No bottle vs Multibottle dentin adhesives a microtensile bond strenght and morphological study. Dental Materials. 2001. 17:373-380.
55. Barrancos J. Operatoria dental. Editorial Médica Panamericana. Cuarta edición. 2007. Pp 784-786. Cap XXXVII.
56. Bader Mattar M, Ibáñez Musalem M. Evaluación de la interfase adhesiva obtenida en restauraciones de resina compuesta realizadas con un sistema adhesivo universal utilizado con y sin grabado ácido previo. Rev Clínica Periodoncia, Implantol y Rehabil Oral. 2014;7(3):115-22.
57. Fuentes Fuentes M V. Propiedades mecánicas de la dentina humana. Av Odontoestomatol. 2004;20(2):79-83.
58. Garrofé A, Martucci D, Picca M. Adhesión a tejidos dentarios. Rev. Fac. de Odon. UBA. 2014; 29: 5-13.

59. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesión by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J. Biomed. Mater. Res.* 1982; 16:265-73.
60. Ikemura K, Kadoma Y, Takeshi ENDO. A review of the developments of self-etching primer san adhesives- Effects of acidic adhesive monomers and polymerization initiators on bonding to ground, smear layer – covered teeth. *Dental Materials Journal.* 2011. 30(6): 769-789.
61. Joubert R. *Odontología Restauradora y Estética.* Primera edición. Editorial Ripano. 2010. Pp. 11-65.
62. Carrillo Sánchez C. Capa híbrida. *Rev ADM.* Vol. 62 Núm.5. Septiembre-Octubre 2005 Pags. 181-184
63. Stanford JW, Sabri Z, Jose S. A comparison of the effectiveness of dentin bonding agents. *Int Dent J* 1985; 35: 139-144.
64. Barkmeier WW, Cooley RL. Current status of adhesive resin systems. *J Am Coll Dent* 1991; 8: 36-39.
65. Owens B, Johnson W, Harris E. Marginal permeability of self-etch and total-etch adhesive systems. *Operative dentistry.* 2006. 31(1):60-67.
66. Cox CF, Hafez AA. Biocomposition and reaction of pulp tissues to restorative treatments. *Dent Clin of North Amer* 2001; 45(1): 31-48.
67. Nakabayashi N, Pashley DH. *Hybridization of dental hard tissues.* Quintessence Publishing, Co., Chicago, 1998: 1-170
68. Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid layer as a dentin bonding mechanism. *J Esthet Dent* 1991; 3(4): 133-138.
69. Ramos Sánchez Gisela, Calvo Ramírez Norberto, Fierro Medina Ricardo. ADHESIÓN CONVENCIONAL A DENTINA. DIFICULTADES Y AVANCES EN LA TÉCNICA. *Rev Fac Odontol Univ Antioq [Internet].* junio de 2015 [citado el 23 de marzo de 2022]; 26(2): 468-486. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-246X2015000100013&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2015000100013&lng=en).

70. Calatrava LA. Actualización en odontología adhesiva y sellado inmediato dentinario (SID). Revisión de la literatura. Acta Odontológica Venezolana. 2018; 56(2).
71. Schwartz, R; Summitt, J; Robbins, J. Fundamentos en Odontología Operatoria un logro contemporáneo. Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica. Primera edición 1999.
72. Nima G. Fuerza de adhesión In Vitro de cinco sistemas adhesivos y un cemento autograbadador-autoadhesivo sobre la dentina del canal radicular y coronal superficial; Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2006.
73. Hidalgo Lostaunau, Rony Christian. Reacción de la dentina a los sistemas adhesivos resinosos: aspectos biológicos relacionados y biodegradación de la capa híbrida. Revista Estomatológica Herediana [Internet]. 2008;18(1):50-64. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=421539349009>.
74. Martín Hernández J. Aspectos prácticos de la adhesión a dentina. Av Odontoestomatol. 2004;6(1):19–32.
75. Silva J, Hoffmann O, Rossell, Romer. Principios de adhesión dentinaria.
76. Tay, FR, Gwinnett, JA y Wei, SHY (1998). *Relación entre el contenido de agua en una imprimación a base de acetona/alcohol y la ultraestructura interfacial. Revista de Odontología, 26(2), 147–156.* doi:10.1016/s0300-5712(96)00090-5.
77. Kazak, M. y Dönmez, N. Desarrollo de sistemas adhesivos de dentina desde el pasado hasta el presente. 2019. *Ciencias de Bezmialem*.
78. Parra Lozada Maritza, Garzón Rayo Herney. Sistemas adhesivos autograbadadores, resistencia de unión y nanofiltración: una revisión. Rev Fac Odontol Univ Antioq [Internet]. diciembre de 2012 [consultado el 24 de marzo de 2022]; 24(1): 133-150. Disponible en:

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-246X2012000200011&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2012000200011&lng=en).

79. Freedman, G, Kaver, A. Dental Adhesives Evolution: Past, Present, and Future [Evolución de la Adhesión Dental: Pasado, Presente y Futuro]. 2019. 10-22.
80. Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent. Mater.* 2010; 26(2): e78-93.
81. Padrós-Serrat José Luis, Monterrubio-Berga Margarita, Padrós-Cruz Esteban. Adhesivos autograbantes: ¿Grabar o no grabar?. RCOE [Internet]. 2003 Ago [citado 2022 Mar 25]; 8( 4 ): 363-375. Disponible en:  
[http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1138-123X2003000400001&lng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1138-123X2003000400001&lng=es).
82. Söderholm K. J. Dental adhesives .... how it all started and later evolved. *The journal of adhesive dentistry*, 9 Suppl. 2007. 2, 227–230.
83. Sofan, E., Sofan, A., Palaia, G., Tenore, G., Romeo, U., & Migliau, G. Revisión de la clasificación de los sistemas adhesivos dentales: de la IV generación al tipo universal. 2017. *Annali di stomatologia* , 8 (1), 1–17. <https://doi.org/10.11138/ads/2017.8.1.001>.
84. Carrillo SC. Dentina y adhesivos dentinarios. Conceptos actuales. *Rev. ADM.* 2006;63 (2):45-5.
85. Camps Alemany I. La Evolución de la Adhesión a Dentina. *Rev. Av. Odontoestomatol* 2004; 20: 11-17.
86. Cova JL. Biomateriales Dentales. 2a. ed. Cd. México: Editorial Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica, 2010. Pp 193-212.
87. Kugel G. Ferrari M. The science of bonding: from first to sixth generation. *J Am Dent Assoc* 2000; 131: 20-25.

88. Bottino MA. Estética en Rehabilitación Oral Metal Free. 1a. ed.  
Sao Paulo: Editorial Artes Médicas Latinoamérica, 2001. Pp. 27-40
89. Galarza Proaño AV Tesis [Internet]. 2014-07 [citado el 25 de Marzo de 2022]. Recuperado a partir de:  
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/6143>
90. 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; 26: 100-121.
91. Farah JW, Powers JM. 6th and 7th generation bonding agents. Dent Advisor 2006; 23(8): 1-7.
92. Masioli, M. A., & Colaboradores. Sistemas adhesivos y adhesión. Primera edición. A. Q. Carriel, Trad. 2013. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil: Ponto.
93. Nuñez, Anderson Joel Gamez. Efectividad de los adhesivos de octava generación en restauración directas posterior a un aclaramiento dental. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2019.  
—. «Efectividad de los adhesivos de octava generación en restauración directas posterior a un aclaramiento dental.» Efectividad de los adhesivos de octava generación en restauración directas posterior a un aclaramiento dental. 25 de Marzo de 2022.  
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/40375/1/NU%c3%91EZanderson.pdf>
94. Panchana, Shirley Carolina Chalén. Cementación de restauraciones indirectas con sistemas adhesivos universales con MDP autograbables y grabado total analizados al MEB. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2019. «Cementación de restauraciones indirectas con sistemas adhesivos universales con MDP autograbables y grabado total analizados al MEB.» Cementación de restauraciones indirectas con sistemas adhesivos universales con MDP autograbables y grabado total analizados al MEB. 25 de Marzo de 2022. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40367>.

95. Gallo, Freddy Sanchez. Fuerzas de Adhesión y Cohesión. Fuerzas de Adhesión y Cohesión. 23 de Abril de 2016.  
<https://es.scribd.com/doc/310186908/Fuerzas-de-Adhesion-yCohesion> (último acceso: 26 de Marzo de 2022).
96. Brackett, W., Tay, F., Looney, S., Ito, S., Haisch, L., & Pashley, D. Microtensile Dentin and enamel bond strengths of recent self-etching resins. Operative Dentistry, 7. 2008. Obtenido de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18335738>