



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLÓGÍA RESTAURADORA
ÁREA DE BIOMATERIALES DENTALES
LABORATORIO DE BIOMATERIALES DENTALES

ESTUDIO COMPARATIVO *IN VITRO* DE LAS PROPIEDADES HIDRÓFILAS DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS UNIVERSALES SINGLE BOND UNIVERSAL, ALL BOND UNIVERSAL Y ADHESIVO CONVENCIONAL ONE COAT BOND SL.

Camila Isabel Álvarez Falco.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE CIRUJANO DENTISTA.

Adscrito a Proyecto de Investigación PRI-ODO N° 10/002.

Tutor Principal: Prof. Dr. Marcelo Bader Mattar.

Tutores Asociados: Prof. Dr. Pedro Terrazas.

Santiago-Chile

2015

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos van en primer lugar a Teresa Falco y Jerry Kolstad, por otorgarme el sustento, paciencia y cariño incondicional. Fueron ellos quienes me inculcaron el trabajo consistente, continuo y perseverante, que hizo posible la culminación de esta primera etapa en mi formación profesional. Gracias a ustedes por proveerme de una base sólida sobre la cual pude apoyarme todos estos años.

A mi padre, Luis Álvarez, quien durante todos mis años de estudio, fue siempre capaz de traer la calma a mi mente cuando ésta se encontraba atribulada.

A mi abuela, Teresa Vargas, por su tremenda ayuda durante la ejecución de este trabajo en particular, y por heredarme su abnegada vocación por el área de la Salud.

A mis amigos (y aquí te incluyo a ti, hermano), Gonzalo Álvarez, Pablo Poulain (quien es, además, responsable de las maravillosas fotografías incluidas en este trabajo), Eric León y Natalia Marambio. Por nuestras tardes (que incluían la aparición sorpresiva de nuestro querido Chef Benjamín Guzmán), nuestros ataques de risa, por el matonaje constante, porque muchas veces sentí que avanzaba sólo porque ustedes me empujaban, y por tanto. De verdad, gracias por tanto.

A Claudio. Ni el libro más largo tendría las suficientes páginas como para dedicarte mi infinita gratitud. Por tu incondicional compañía, tus consejos y constante confianza en mis capacidades. Gracias queda pequeño al lado de todo lo que me has entregado durante nuestro tiempo.

Y finalmente a mi tutor Prof. Dr. Marcelo Bader, quien fue la guía necesaria, dedicada y paciente durante estos largos y difíciles meses.

ÍNDICE.

Introducción.....	1-2
Marco Teórico.....	3-33
Hipótesis y Objetivos.....	34
Metodología.....	35-43
Resultados.....	44-46
Análisis de Resultados.....	47-53
Discusión.....	53-59
Conclusiones.....	59
Referencias Bibliográficas.....	60-63

RESUMEN.

La presente investigación corresponde a un estudio descriptivo comparativo transversal, desarrollado con la finalidad de comparar el ángulo de contacto formado por una gota de agua sobre la superficie de dos adhesivos de resina compuesta universales (All Bond Universal y Single Bond Universal) y uno convencional (One Coat Bond SL), para determinar el grado de hidrofobicidad logrado al polimerizar.

Para el estudio se obtuvieron y almacenaron en suero fisiológico, 60 terceros molares libres de lesiones de caries, a los cuales se le realizaron dos cortes con un disco diamantado (*Turbo-Flex S, Renfert Gm*): primero se cortaron las coronas a nivel de su tercio medio, dejando una superficie plana y posteriormente ellas se cortaron en sentido buco-lingual, a fin de obtener dos mitades, las que luego fueron separadas en dos grandes grupos y almacenadas en frascos distintos, con el objetivo de obtener 60 muestras control y 60 muestras experimentales. Luego, en el Laboratorio de Biomateriales Dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile, se dividieron tres grupos de 20 muestras, los cuales fueron grabados con ácido ortofosfórico al 37% y lavados, para después aplicarles los adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal siguiendo el protocolo establecido por sus fabricantes. Una vez polimerizados, se aplicó sobre la superficie de cada uno de los dientes tratados, una gota de agua y se realizó registro fotográfico con una cámara reflex modelo Canon EOS 6D, sobre un trípode fijo. Por último, las fotografías fueron traspasadas a un computador y se midió el ángulo de contacto de la gota de agua con la aplicación MB Ruler.

Los resultados obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico mediante las pruebas Shapiro-Wilk y ANOVA, arrojando diferencias estadísticamente significativas entre algunos grupos, demostrándose que, luego de ser polimerizados, los Sistemas Adhesivos Universales Single Bond Universal y All Bond Universal poseen un comportamiento hidrofóbico mayor al ser comparados con el Sistema One Coat Bond SL, el que no demostró tener diferencias significativas respecto a los controles. Estas diferencias pueden ser atribuidas principalmente a diferencias en su composición química.

INTRODUCCIÓN.

Para lograr una adhesión exitosa a la dentina utilizando la técnica de hibridación, se requiere la presencia de humedad, sin embargo, ésta también puede atentar contra la estabilidad de la unión diente-adhesivo a largo plazo. La problemática actual de los Sistemas Adhesivos es que, aunque se reporten altos valores de unión inmediatos, éstos decrecen sustancialmente a medida que pasa el tiempo, sufriendo un proceso de envejecimiento, lo que puede derivar en el fracaso de la restauración^{1,2,3,4}.

Una de las causas que explicaría el deterioro progresivo de la articulación adhesiva, es la hidrólisis del adhesivo. El agua en exceso, ya sea residual de la preparación cavitaria, como aquella proveniente del interior de los túbulos dentinarios², sirve como medio funcional para la hidrólisis de las matrices de resina, mediada por esterasas, y para la degradación enzimática del colágeno, mediada por enzimas colagenolíticas endógenas y exógenas⁴. A esto se suma la introducción de modificaciones en las fórmulas de los adhesivos, incluyendo mayores concentraciones de monómeros iónicos e hidrófilos, con el fin de aumentar la afinidad por la dentina grabada y húmeda, para así poder infiltrarla. Este tipo de monómeros de resina son más vulnerables a la hidrólisis debido a la presencia de enlaces tipo éster. Los estudios concluyen que la incorporación de monómeros de resina acídicos e hidrófilos en los adhesivos, disminuyen la longevidad de la unión de éstos a la dentina porque facilitan la absorción de agua⁶. Incluso, la absorción de pequeñas cantidades de agua resulta en la separación microscópica de los componentes del adhesivo, en la forma de estructuras que asemejan la de árboles (“árboles de agua” o “water trees”), las cuales transitan entre las fases polimerizadas hidrófilas e hidrofóbicas, y aumentan la susceptibilidad de degradación hidrolítica mediada por esterasas^{1,5,6}.

De lo anterior se desprende que el adhesivo ideal sería aquel que al ser aplicado sobre la dentina sea muy hidrófilo para poderla humectar correctamente y una vez polimerizado, se transforme en un elemento altamente hidrofóbico, a fin de repeler el agua, impedir su absorción y resistir por mayor tiempo que se genere la hidrólisis. Distintos autores han propuesto diversas medidas para aumentar la hidrofobicidad de los adhesivos, las que a largo plazo se reflejarían en mayor estabilidad de la unión

dentina-adhesivo, traducándose en mayor éxito clínico. Las medidas propuestas son: a) aumentar el número de capas de adhesivo aplicadas; b) aumentar el tiempo de fotoactivación y c) utilizar adhesivos que contengan alcohol como solvente^{7,5,6,8}.

En virtud de lo anterior, el presente estudio evaluó tres diferentes tipos de adhesivos: Single Bond Universal (3M ESPE), All-Bond Universal (Bisco) y One Coat Bond SL (Coltène), con el propósito de comparar su comportamiento hidrófilo inicial e hidrofóbico luego de ser polimerizados, midiendo el ángulo de humectación generado sobre la superficie dentaria y en contacto con el agua.

MARCO TEÓRICO.

En la actualidad, las resinas compuestas son el material de restauración directa más usado en Chile, gracias a sus grandes posibilidades para lograr restauraciones de alta resolución estética⁹. Sin embargo, ellas aún presentan algunas deficiencias, entre las cuales, una de las más importantes, es que no presentan adhesión específica a las estructuras dentarias, por lo que éstas deben ser acondicionadas en forma previa para así poder hacerlas más receptivas para lograr adhesión. Por otro lado, las resinas compuestas endurecen in situ mediante una reacción de polimerización, la cual conlleva como efecto colateral una contracción del material restaurador. Considerando lo anterior, al endurecer el material en la preparación dentaria, éste tendería a separarse de las paredes cavitarias generando brechas marginales, perdiéndose el deseado sellado, lo que podría derivar en sensibilidad dentinaria, infiltración, y pérdida o fracaso de la restauración⁹.

La unión adhesiva entre un material restaurador y el diente tiene un rol biomecánico en la distribución de fuerzas funcionales a través de toda la estructura del diente. Una unión satisfactoria, permitirá transmitir la fuerza aplicada a través de la restauración hacia la estructura dentaria remanente y así lograr su disipación sin generar daños¹⁰.

El factor primario de falla prematura de restauraciones extensas, es el desarrollo de caries secundaria en los márgenes de la restauración. En un estudio realizado por Levin L. y cols, el año 2007, donde se revisaron radiografías de 459 adultos, se observó que de 650 restauraciones interproximales, la tasa de falla por caries secundaria, fue de 43% para restauraciones de resina compuesta versus un 8% para restauraciones de amalgama¹¹.

Considerando lo anterior es que se hace imprescindible conseguir un alto valor de adhesión a la estructuras dentarias, no sólo para fijar eficazmente el material a ellas, sino que también, para evitar que la fuerza con que se contrae el material y las tensiones que éstas generan sobre la articulación adhesiva con la pieza dentaria, logren separar el material de las paredes cavitarias, para de esta forma permitir optimizar el sellado marginal de la restauración^{9,12}.

Es en este contexto que los Sistemas de Adhesión para Resina Compuesta y los procedimientos clínicos adhesivos y restauradores tienen especial relevancia para alcanzar el éxito esperado con este tipo de materiales⁹.

La Odontología adhesiva presenta la dificultad de obtener adhesión en sustratos que son muy distintos en morfología entre sí: mientras el esmalte es un tejido compuesto en un mayor porcentaje por mineral, la dentina tiene un contenido orgánico mayor así como también mayor cantidad de agua^{2,3,12,14}. Estas dos características implican que la dentina sea un sustrato mucho más complejo sobre el cual generar adhesión. A esto se le suma la dificultad de tener que trabajar sobre dentina afectada por caries, la cual posee dureza variable y depósitos de mineral al interior de los túbulos^{2,3,12,14}.

La composición de la dentina se desglosa en 50% de una fase inorgánica, compuesta principalmente por el mineral apatita; 30% de fase orgánica, constituida mayormente por colágeno tipo I, con pequeñas trazas de fosfoproteínas, glicoproteínas y otras proteínas ricas en carboxi-glutamato; y finalmente un 20% de agua^{12,15}.

Una característica especial de la dentina, es la presencia de pequeños túbulos que atraviesan el espesor del tejido dentinario, conectando la región de la cámara pulpar con la zona de la unión amelodentinaria. Al interior de estos túbulos pasan los procesos o prolongaciones celulares de los odontoblastos que se proyectan desde el espesor de la pulpa dental. La disposición de estos túbulos varía en densidad y diámetro, siendo más numerosos y de un diámetro más amplio en la región cercana a la pulpa cameral (alrededor de 2,5 μm), disminuyendo en distribución al ir acercándose al límite amelodentinario. Lo mismo sucede con su diámetro, que es de aproximadamente 0,9 μm en dicho límite. Los procesos odontoblásticos están rodeados por dentina peritubular, la cual contiene un alto porcentaje de apatita carbonatada y muy escasa cantidad de matriz orgánica. Al contrario, la dentina intertubular, consiste en una malla de fibras de colágeno tipo I, reforzada con hidroxapatita^{12,15}.

Esta morfología de la dentina es dinámica, ya que varía en relación a la región y a la edad del diente, así como también ante la presencia de alguna noxa^{3,10,15}.

Adhesión a las estructuras dentarias.

El proceso de adhesión consiste en la formación de una capa de unión entre dos sustratos. En Odontología, uno de los sustratos corresponde al esmalte dental, a la dentina o al cemento³.

Con el objetivo de que las resinas compuestas se unan de manera eficaz y duradera a la estructura dentaria, es fundamental el uso de una resina de baja viscosidad, también llamada **adhesivo**, que pueda penetrar en las microporosidades originadas por el acondicionamiento previo realizado sobre el esmalte y la dentina, y luego polimerizar in situ¹³.

La adhesión a las estructuras dentarias implica un proceso de remoción selectiva de minerales generando una superficie más reactiva, la cual es infiltrada con monómeros de baja viscosidad, con la finalidad de crear una traba mecánica entre éstos y la estructura dental, sellando los túbulos dentinarios, manteniendo la homeostasis del medio interno del complejo dentino-pulpar, y al mismo tiempo, uniendo el material restaurador con el sustrato dental una vez que los monómeros polimerizan⁶.

La interfase ideal entre el material restaurador y el tejido dentario, debiera ser una que simule la unión natural del esmalte con la dentina en el límite amelo dentinario¹³.

El contacto molecular íntimo entre las dos partes es un prerequisite para desarrollar fuertes uniones adhesivas, esto significa que el sistema adhesivo debe humectar suficientemente a la superficie sólida, tener una viscosidad que sea lo suficientemente baja para penetrar las microporosidades y ser capaz de desplazar al agua y al aire durante la adhesión¹³.

En 1955, Buonocore reportó que el uso de ácido fosfórico al 85%, mejoraba la retención de resina acrílica al esmalte. La disolución ácida del esmalte resultaba en la formación de **microporosidades**, por las cuales se infiltran los monómeros de la resina. La retención de naturaleza micromecánica sucede una vez que estos monómeros polimerizan y envuelven los cristales de hidroxiapatita expuestos de la superficie del esmalte⁵.

Si un monómero adhesivo tiene polaridad y solubilidad similar a la de un polímero, el monómero puede actuar como un solvente e infiltrarlo. Si ambos parámetros son suficientemente diferentes, el monómero y el polímero son inmiscibles. Aplicando esto a la tecnología adhesiva dental, la fase de colágeno de la dentina es un polímero, por lo tanto el acondicionador y la resina adhesiva debieran contener monómeros que fueran capaces de penetrar en la capa de colágeno expuesta para formar un enlace micromecánico¹³.

Los acondicionadores de los sistemas adhesivos actuales contienen monómeros hidrófilos, para mejorar la capacidad de humectación de las resinas adhesivas hidrofóbicas. Sus solventes (alcohol, acetona o agua) aseguran una adecuada remoción de aire y líquido mediante evaporación rápida¹³.

Etapas en el proceso de adhesión.

1. Acondicionamiento de la dentina.

El acondicionamiento de la dentina puede ser definido como cualquier alteración química de la superficie dentinaria mediante la acción de ácidos o de un quelante de calcio, con el objetivo de remover o acondicionar la capa de desechos o de barro dentinario y a la vez desmineralizar o acondicionar la superficie dentinaria^{2,8,13,14,15}.

- **Barro Dentinario:** La presencia de este elemento constituye un factor muy influyente en la unión del adhesivo a la dentina. El barro dentinario consiste en una capa mixta que se forma producto del corte de la dentina con instrumental rotatorio de distinta naturaleza. Posee un espesor de aproximadamente 0,5-2 μm y está constituido por restos de partículas minerales de hidroxiapatita y colágeno desnaturalizado. Se encuentra cubriendo y obliterando la dentina intertubular e incluso es capaz de penetrar a través de los túbulos dentinarios^{2,13,15}.

Los acondicionadores ácidos son usados como paso inicial de la adhesión en aquellos sistemas adhesivos que requieren ser trabajados con grabado ácido previo, tanto en esmalte y como en dentina¹³.

Además de remover el barro dentinario, este proceso de desmineralización superficial expone las fibras colágenas, incrementando la microporosidad de la dentina intertubular^{2,13}.

Después del acondicionamiento, el mantener una superficie dentinaria húmeda es esencial para una adhesión óptima con adhesivos hidrófilos. La desecación puede ocasionar un colapso de la red de colágeno que ha quedado sin soporte mineral posterior al acondicionamiento, dificultando una adecuada humectación e infiltración de la resina adhesiva¹⁸. Por otro lado, un exceso de agua puede diluir el agente imprimante y volverlo menos efectivo^{13,15}.

2. Imprimación.

Los agentes imprimantes o “primers”, sirven como elementos promotores de la adhesión y contienen monómeros hidrófilos disueltos en solventes orgánicos tales como acetona, etanol o agua, los que debido a sus características volátiles, pueden desplazar agua desde la superficie dentinaria y de la red de colágeno húmeda, promoviendo la infiltración de monómeros a través de diminutos espacios que quedan entre la red de colágeno por la pérdida de minerales luego del acondicionamiento ácido. Para lograr lo anterior, los imprimadores más efectivos serían aquellos que al ser aplicados sobre el sustrato dentinario, presenten un alto comportamiento hidrófilo, con el objetivo de impregnar completamente las fibras de colágeno expuestas y posteriormente, al ser fotoactivados y polimerizar, presentar un alto comportamiento hidrofóbico que les permita copolimerizar con las resinas adhesivas. El objetivo de la imprimación es transformar la superficie dentinaria hidrófila en un sustrato hidrofóbico y esponjoso que permita que la resina adhesiva humecte y penetre la red de colágeno expuesta¹³.

Un componente muy importante de los Sistemas Adhesivos es el solvente utilizado, el que puede ser acetona, alcohol, agua o una combinación de ellos. La acetona por su baja temperatura de ebullición (56°) cuando es comparada con el etanol (78,3°C) y el agua (100°), además de ser más volátil consigue remover más fácilmente el agua de la dentina previamente acondicionada. Esta volatilidad puede causar problemas pues a medida que el adhesivo se va aplicando, el solvente se evapora, cambiando la relación

monómero-solvente. Los sistemas adhesivos con solvente a base de agua garantizan la rehumectación de la dentina en caso que ésta haya sido desecada, además de presentar una mayor estabilidad del producto almacenado, sin embargo, presentan menores niveles de adhesión. De acuerdo a lo anterior, podría especularse que el uso de etanol como solvente brinde más estabilidad debido a su volatilidad media entre la acetona y el agua¹³.

La asociación entre monómeros y solventes mejora la difusión del adhesivo a través del sustrato acondicionado y poroso, especialmente en dentina, debido a su naturaleza hidrófila. La importancia de los solventes recae en que facilitan la difusión de los monómeros por la dentina desmineralizada. Una vez logrado esto, los solventes deben ser eliminados del adhesivo debido a que su presencia puede dificultar el proceso de polimerización al diluir los monómeros presentes en la mezcla e incrementar la permeabilidad de la capa adhesiva. Sin embargo, esto es difícil de lograr debido al corto tiempo de trabajo. La correcta evaporación del solvente depende de su presión de vapor. Una mayor presión de vapor significa una mayor evaporación del solvente⁸. Al evaporarse el solvente, la proporción solvente-monómero disminuye y por lo tanto, también disminuye progresivamente la presión de vapor de éste último. Es así como al transcurrir el tiempo de trabajo del material, cierta cantidad de solvente residual puede permanecer en el adhesivo, lo que tendrá repercusiones clínicas que irán en directa relación con su cantidad⁸.

La técnica de aplicación de los adhesivos difiere dependiendo del tipo de solvente que se utilice. El agua es un mal solvente de componentes orgánicos, como por ejemplo, los monómeros de resina. Este problema puede mejorarse al adicionar un segundo solvente, tal como el etanol o la acetona. En la medida que la presión de vapor disminuye, los solventes basados en agua toman mayor tiempo en evaporarse y por ello requieren de mayor tiempo de aplicación para que ocurra difusión de los monómeros⁸.

Una técnica de aplicación del adhesivo mediante frotado vigoroso, también puede ayudar a mejorar la impregnación de los monómeros del adhesivo en la dentina y paralelamente, asegurar una completa evaporación del solvente. Con los adhesivos

que contienen importantes cantidades de agua como solvente, la cantidad residual de ésta, presente en el sustrato dentario, debe ser mínima. El sustrato, especialmente la dentina, debe encontrarse humedecido pero no presentar humedad visible evidente. Una de las ventajas de estos agentes es su capacidad de re-expandir la red de colágeno, en el caso que ésta se encuentre colapsada por un secado excesivo. Normalmente sólo una capa de este tipo de adhesivos es suficiente para cubrir la totalidad de la superficie. Capas adicionales pueden aumentar el grosor de la capa de adhesivo y subsecuentemente atrapar solvente entre medio de ellas. Esto eventualmente puede derivar en menores valores de fuerza de adhesión⁸.

Por otro lado, los adhesivos con solventes basados en acetona, por poseer valores de presión de vapor mucho mayor, deben ocuparse con sustratos más humedecidos y con una apariencia brillante. Este tipo de Sistemas Adhesivos no poseen la capacidad de re-expandir la malla de colágeno colapsada en aquellos sustratos que han sido excesivamente secados, lo que podría tener un impacto negativo en la difusión de los monómeros. En ese contexto, los adhesivos en base a alcohol, poseerían un comportamiento intermedio, debido a que su presión de vapor es mayor al de la acetona, pero menor que el agua.⁸

3. Aplicación de la resina adhesiva o adhesivo

También llamada agente de enlace, está formada por monómeros hidrofóbicos, como el Bisfenol Glicidil Dimetacrilato (Bis-GMA) y el Uretano de Dimetacrilato (UDMA) como un regulador de la viscosidad, e hidrófilos, como el Hidroxietil Metacrilato (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^{3,13}.

Debido a que una capa del adhesivo es inhibida por oxígeno durante la polimerización, esta capa ofrece suficiente enlaces dobles reactivos para la copolimerización con la resina compuesta restauradora¹³.

De acuerdo a lo anterior, considerando el mecanismo de acondicionamiento requerido, los adhesivos a utilizar para generar la adhesión de la resina compuesta restauradora a las estructuras dentarias, pueden ser de distintos tipos, por lo que se han buscado diferentes formas de clasificarlos.

Clasificación de los Sistemas Adhesivos.

En las últimas décadas, los adhesivos han sufrido diferentes clasificaciones basadas en las modificaciones en sus componentes. Esto, lamentablemente, llevó a la aparición de clasificaciones complejas que dificultaban la elección del material a los clínicos. Van Meerbeek y cols., el año 2003, propusieron una clasificación basada en la interacción del adhesivo con los sustratos dentarios, y en el número de pasos para su aplicación, de acuerdo a lo cual podemos tener adhesivos que requieren de grabado ácido previo y lavado (en dos y tres pasos clínicos), y adhesivos autograbantes (de uno y dos pasos clínicos), la primera también llamada “técnica de hibridación dentinaria”, y la segunda “técnica de reacción integración”. Esta división simplificada es en relación a si conserva o remueve completamente el barro dentinario. Como ya fue explicado, al grabar mediante un gel ácido y posteriormente lavar la zona acondicionada, el barro dentinario desaparece y la dentina subyacente queda totalmente permeabilizada. Por el contrario, los sistemas autograbantes mantienen el barro dentinario, es decir, lo permeabilizan sin removerlo completamente^{3,8}.

1. Sistemas Adhesivos de Grabado y Lavado (Etch and Rinse).

También llamados sistemas adhesivos convencionales, utilizan la técnica de grabado ácido de esmalte y dentina como mecanismo para acondicionar la estructura dental. En el esmalte se realiza el acondicionamiento ácido, la eliminación de la humedad y la aplicación del adhesivo, el cual, gracias a su baja tensión superficial, pequeño ángulo de contacto, capacidad humectante y capilaridad, penetra en las grietas micro y nanométricas creadas por el ácido, formando así los micro y nanotags de resina^{3,8}.

La adhesión a dentina ocurre por mecanismos diferentes: cuando se aplica ácido ortofosfórico al 37% durante 10 segundos sobre la dentina, éste es capaz de eliminar el barro dentinario que se produce durante la preparación cavitaria, y desmineralizar entre

4 a 11 micrones en profundidad de la superficie dentinaria, es decir, el agente acondicionador actúa eliminando parcialmente la hidroxiapatita que cubre las fibras de colágeno, dejándolas libres en lo que se denomina la red colágena, y una vez que ha sido lavada la superficie dentaria y se ha eliminado el ácido y el exceso de humedad, se aplica el agente imprimante y el adhesivo, por separado, si es un sistema donde ambos compuestos se disponen en botellas distintas, o se aplican simultáneamente, si se trata de un sistema de una sola botella^{3,8}.

El adhesivo infiltrará la red colágena y una vez polimerizado allí, creará un sistema de interdigitación (traba micromecánica) entre ambos sustratos adherentes. Este fenómeno de imbricación entre el adhesivo, las proteínas colágenas y no colágenas y el componente inorgánico de la dentina, es lo que Nakabayashi en 1982 definió como **capa híbrida**⁸.

Estos adhesivos pueden ser de dos o tres pasos, dependiendo de si el agente imprimante y la resina adhesiva se encuentran separados o combinados en una sola botella. En el caso de tres pasos, el procedimiento consiste en la aplicación sucesiva del ácido, seguida por el agente imprimante, para finalizar con la aplicación del agente adhesivo. Los sistemas adhesivos de dos pasos, combinan el segundo y tercer paso (primer y adhesivo) posterior al grabado ácido, el que se realiza de forma separada⁸.

Número de pasos	Estrategia	
Tres pasos	Grabado ácido	Imprimante / Adhesivo
Dos pasos	Grabado ácido	Imprimante y Adhesivo

Tabla N°1: Tabla resumen de los Adhesivo de Grabado y Lavado.

El grabado ácido en esmalte está ampliamente aceptado debido a que está demostrado que contribuye a aumentar la vida útil de las restauraciones de resina compuesta al disminuir la posibilidad de aparición de tinciones marginales, caries secundarias y sensibilidad post operatoria. En dentina, en cambio, los efectos del

acondicionamiento varían notoriamente, dependiendo de diferentes factores, como por ejemplo si nos encontramos frente a dentina sana o esclerótica, la profundidad de la dentina en la que se está trabajando, la orientación de los túbulos dentinarios, etcétera. El resultado en dentina es que el acceso a los túbulos toma una forma similar a un embudo, es decir, es más amplio en su región externa, pero va angostándose a medida que se avanza en profundidad. Idealmente, el grabado ácido con ácido fosfórico al 37% no debería exceder los 10 segundos, ya que el acondicionamiento ácido por más del tiempo recomendado, puede causar modificaciones estructurales del colágeno expuesto y/o causar una discrepancia entre la dentina grabada y la dentina susceptible de ser imprimada^{3,8}.

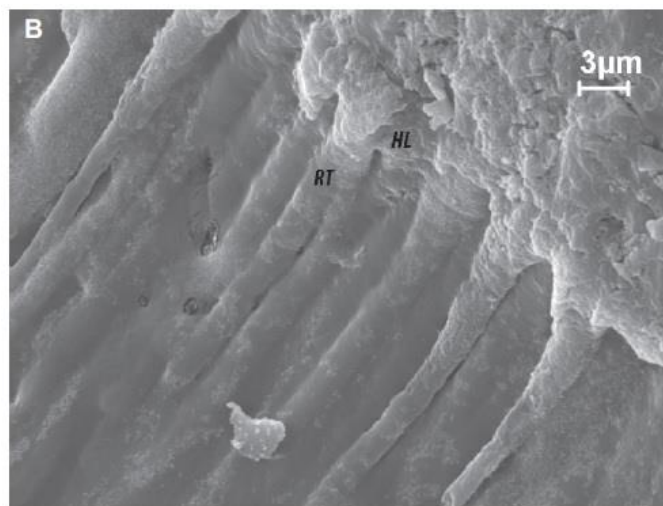


Imagen N° 1: Fotografía obtenida por medio de MEB. Se pueden observar los microtags de resina posterior al uso de un Sistema Adhesivo del tipo “Grabado y Lavado” de tres pasos. Se pueden observar microtags de resina de gran longitud y en forma de “embudo” o cónicos. Obtenido de “*Adhesive systems: important aspects to their composition and clinical use*, 2010. J Appl Oral Sci.”⁸

2. Sistemas Autograbantes (Self Etch).

La estrategia autograbante es una alternativa basada en el uso de monómeros acídicos que no se lavan y que simultáneamente acondicionan e impriman los tejidos dentarios. En relación a la sensibilidad de la técnica, este acercamiento parece clínicamente más prometedor, ya que elimina la fase del grabado y del lavado, lo que no sólo reduce el tiempo operatorio, si no que disminuye significativamente la sensibilidad de la técnica. Otra característica importante es que los monómeros acondicionan e impriman simultáneamente la dentina, de esa forma, existe una menor posibilidad de que existan discrepancias entre ambos procesos. En consecuencia, esta característica reduce la probabilidad de que queden áreas de fibras de colágeno expuestas sin imprimir, desprotegidas, por lo tanto también se reduce la nanoinfiltración³.

Estos sistemas se comenzaron a comercializar a principio de los años 90. Al inicio se emplearon sólo como un sistema para acondicionar la dentina porque su capacidad de adhesión al esmalte era muy débil. Hoy en día se cuenta con formulaciones químicas que son capaces de actuar de manera efectiva tanto en esmalte como dentina³.

La primera generación de sistemas autograbantes constaba de dos pasos clínicos. El primero consistía en la aplicación de una sustancia acondicionadora no lavable sobre el tejido dentario (ácido cítrico, maleico, nítrico), que después de actuar durante 15 a 30 segundos se iba inactivando. El segundo paso clínico consistía en la aplicación del adhesivo propiamente tal³.

La segunda generación de adhesivos autograbantes son los denominados “todo en uno”, es decir, tanto agente acondicionador, agente imprimante y el adhesivo se encuentran mezclados química y físicamente en una sola botella. Desde el punto de vista clínico, amerita un solo paso, que consiste en la aplicación directa de una o múltiples capas del adhesivo sobre el tejido dentario a restaurar³.

Número de pasos	Estrategia
Dos pasos (dos botellas).	Acondicionador e Imprimante / Adhesivo.
Un paso (dos botellas, requiere mezclado previo).	Acondicionador, imprimante y adhesivo.
Un paso (una botella, no requiere mezclado previo).	Acondicionador, imprimante y adhesivo.

Tabla N°2: Tabla resumen de los Sistemas Adhesivos Autograbantes.

Estos sistemas adhesivos también han sido clasificados de acuerdo a la acidez de los compuestos que lo constituyen, de acuerdo a lo cual pueden ser fuertes ($\text{pH} \leq 1$), moderados ($\text{pH} \approx 1,5$) y débiles ($\text{pH} \approx 2$)⁸.

Los sistemas adhesivos autograbantes fuertes presentan una acidez mayor comparado con los de acidez moderada y débiles, y los patrones observados en esmalte y dentina, son similares a los observados tras acondicionamiento ácido con ácido ortofosfórico. El patrón observado consiste en túbulos dentinarios ampliamente abiertos y los tags de resina son largos y con forma de embudo. Por otro lado, la dentina tratada con sistemas adhesivos de acidez intermedia/débiles, muestra tags de resina de forma cilíndrica y mucho más cortos⁸.

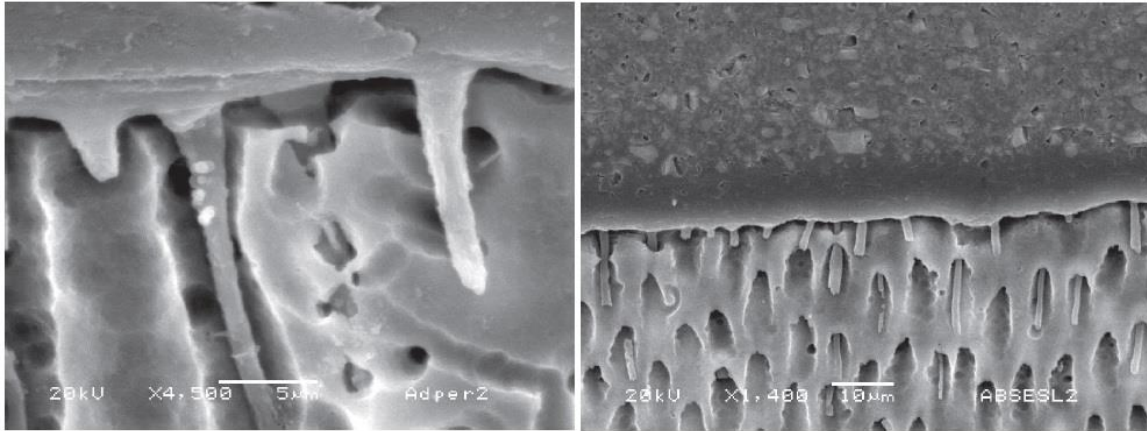


Imagen N°2: Fotografías de los microtags de resina obtenidas mediante MEB, posterior al uso de dos Sistemas Adhesivos Autograbantes. El primero (izquierda) corresponde a un Sistema Autograbante de acidez fuerte (Adper Prompt L-Pop, pH= 0,8). Se puede observar el patrón similar al de un Sistema Adhesivo del tipo “Grabado y Lavado”, es decir, microtags largos y cónico, versus un Sistema Adhesivo Autograbante de acidez intermedia (derecha), donde se observan microtags mucho más cortos y de forma cilíndrica (All Bond SE, pH= 2,2). Obtenido de “*Adhesive systems: important aspects to their composition and clinical use*, 2010. J Appl Oral Sci.”⁸

Sin embargo, a pesar del patrón similar observado entre los sistemas autograbantes fuertes y los de grabado ácido previo, la fuerza de adhesión a la dentina observada para los primeros, es inferior. El agua es un componente importante para iniciar la desmineralización en los sistemas autograbantes, pero el exceso de agua residual durante la polimerización, puede que sea una de las razones de que la fortaleza de unión al sustrato sea inferior. Es más, sistemas adhesivos que contienen grandes concentraciones de monómeros de resina ácidos, se comportan como membranas semipermeables y permiten el movimiento de agua entre la dentina y la capa híbrida¹⁵. Esto puede eventualmente llegar a comprometer la durabilidad de la unión del adhesivo a la dentina^{3,8}.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación secuencial y ejecución clínica de los pasos requeridos para obtener adhesión a dentina, tiene como resultado la formación de la denominada **capa híbrida**, elemento crucial en el proceso de lograr adhesión de la resina compuesta al diente¹⁵.

Capa Híbrida:

En la actualidad se acepta que la adhesión dentina-resina es efectiva debido a la formación de la capa híbrida. La hibridación ocurre después de una desmineralización inicial de la superficie dentinaria con un acondicionador ácido, el que expone una red de colágeno con microporosidades interfibrilares que subsecuentemente son interdigitadas con monómeros de baja viscosidad. Esta zona, en donde la resina del adhesivo se traba micromecánicamente con el colágeno dentinario es llamada **capa híbrida**^{13,15}.

Morfológicamente la capa híbrida se divide en tres zonas:

- **Cuerpo principal:** Es el área más extensa y que corresponde a la dentina acondicionada propiamente tal e infiltrada por el adhesivo, la que está limitada hacia el interior por el tejido dentario intacto.
- **Zona tubular o de penetración transdentinaria:** Corresponde a los tags de resina que penetran en los túbulos dentinarios, constituyendo un mecanismo adicional de retención. Éstos pueden medir entre 3 a 11 micrones y además, son los encargados de sellar los túbulos dentinarios e impedir la posterior contaminación del sustrato dentario.
- **Zona tubular-lateral o de penetración intradentinaria:** Se refiere a los microtags de resina que se forman lateralmente a los tags principales, que se conectan entre los túbulos dentinarios. Son pequeñas ramificaciones laterales de las interdigitaciones de resina de mayor diámetro.

1. Formación de las proyecciones o tags de resina.

Las **proyecciones de resina** o “tags” son cordones de adhesivo que penetran en los canalículos dentinarios permitiendo una adhesión micromecánica, existiendo una correlación directa entre las dimensiones y número de tags y la fuerza de adhesión. Dependiendo del tipo de resina y adhesivo utilizado, puede existir además penetración a nivel de los canales laterales, por lo tanto su formación se relaciona con el tipo de material utilizado, la forma de aplicación y el tipo de acondicionamiento ácido aplicado¹³.

2. Capa Híbrida Ideal.

Existen dos fenómenos esenciales que deben ocurrir para que el adhesivo se una de forma correcta a la dentina: 1) **remoción de la fase mineral** de la dentina sin alteración de la malla colágena, e 2) **infiltración** de la malla colágena por parte de la resina adhesiva, la que luego polimerizará in situ, reforzando este entramado y conformando la capa híbrida¹⁵.

La capa híbrida ideal consistiría en una red tridimensional donde el polímero y la malla de colágeno se encuentran compenetrados en forma íntima, formando una fase continua de unión entre la resina de restauración y el sustrato de la dentina. Sin embargo, numerosos estudios hoy nos revelan que este objetivo en general no es alcanzado completamente, y más bien puede llegar a constituir la zona más débil y más propensa a fallar¹⁵.

Durante el proceso de preparación de la superficie dentinaria, previo a la colocación del adhesivo, resulta muy crítico el grado de humedad residual del sustrato dentinario. Esto es porque al grabar con ácido la dentina, es decir, al eliminar la fase inorgánica o mineral, el entramado de fibras de colágeno queda suspendido en el agua remanente. Y por ello, si la totalidad del agua es removida, ya sea por aire a presión o por otro método, las fibras de colágeno colapsan sobre ellas mismas, obliterando los espacios por donde debería infiltrar la resina del adhesivo, impidiendo que se forme la capa híbrida¹⁵.

Para contrarrestar este problema, a partir de los años 90 se comenzó a proponer que posterior al grabado ácido de la dentina, se debía mantener la humedad de ella durante el procedimiento adhesivo, con el fin de mantener la malla de colágeno expandida y evitar que ésta colapse. Así se lograría mantener la porosidad de la dentina grabada, lográndose mejor penetración por parte del adhesivo. Múltiples autores afirman que el colapso de la malla de colágeno cuando se mantiene la humedad, es mínimo, comparado con la dentina secada con aire a presión, y se reportan mayores valores de adhesión en la primera situación versus la segunda¹⁵.

En la técnica adhesiva húmeda, el líquido que mantiene expandida la malla de colágeno, puede estar compuesto por agua, solvente y acondicionadores. Por ello, la única manera que tiene el adhesivo de infiltrar las profundidades de la dentina grabada, es difundiendo y desplazando cualquier líquido que se encuentre humectando el sustrato dentinario¹⁵.

En condiciones ideales, tanto el solvente como algunos monómeros hidrófilos (tales como el Hidroxietil Metacrilato o HEMA), ocupan la malla colágena para que se mantenga expandida mientras penetra el adhesivo. No obstante, el HEMA, un componente común en muchos adhesivos de uso actual, puede reducir significativamente la evaporación del agua y en presencia de agua residual, algunos monómeros hidrofóbicos como el BisGMA, no son capaces de infiltrar la dentina grabada y además, no polimerizarían completamente¹⁵.

En clínica existe dificultad para tener un adecuado control sobre la cantidad de agua residual en la superficie dentaria preparada, pues realmente no existen parámetros que nos indiquen si la humedad presente es la adecuada como para mantener la malla colágena lo suficientemente expandida, o si la cantidad de agua presente es excesiva. Si esta última situación ocurre, el resultado podría ser la separación física del adhesivo en sus fases hidrófilas e hidrofóbicas. Esto es un punto muy importante, ya que habitualmente debemos trabajar con sustratos de humedad variables, tales como la dentina afectada por caries o dentina profunda. En dentina afectada por caries, la humedad es 2,7 mayor a la dentina normal, así como en dentina profunda el 22% de la superficie corresponde a túbulos expuestos (mientras que cercano al límite amelodentinario los túbulos expuestos representan un 1% de la superficie)¹⁸, y a mayor cantidad de túbulos, mayor presencia de humedad transdental¹⁵.

Asimismo, si se produce la separación de fases antes mencionada, la capa adhesiva resultante de la polimerización de los monómeros, no va a ser uniforme, presentando espacios de dentina no sellada adecuadamente, lo que traería como consecuencias sensibilidad post operatoria y problemas de estabilidad de la capa adhesiva generada¹⁵.

Con relación a esto último, se ha visto que los altos niveles de resistencia adhesiva logrados inicialmente con los adhesivos de grabado y lavado, así como también con aquellos autograbantes de quinta, sexta y séptima generación, van decreciendo con el tiempo, llegando incluso a la pérdida de la adhesión de la restauración a la pieza dentaria, lo que ha sido estudiado por diferentes investigadores.

Se puede afirmar que el deterioro de la unión adhesivo-diente ocurre cuando se pierde la integridad de la estructura polimérica de la capa adhesiva resultado de su degradación. Este suceso ocurre a nivel microscópico y continuará en forma progresiva hasta que sus efectos se hagan evidentes clínicamente.

En un experimento realizado por Hashimoto y cols., donde se almacenaron por 1 año bajo el agua capas de adhesivo del tipo grabado y lavado en 3 pasos (ácido, primer y adhesivo por separado), se pudo observar que ocurrían dos fenómenos en la degradación de la capa híbrida: 1) **degradación enzimática del colágeno** e 2) **hidrólisis del agente adhesivo**^{3, 5,16}.

1.- Degradación enzimática de las fibras de colágeno.

Estudios recientes nos han revelado la participación de algunas proteinasas del hospedero en la degradación de las matrices de colágeno en la patogénesis de la caries dentinaria y periodontitis⁵.

Pashley y cols, el año 2004, realizaron un experimento donde sumergieron matrices de colágeno provenientes de dentina desmineralizada humana en saliva artificial y observaron la degradación de esta matriz en relación a las muestras control, sumergidas en saliva artificial con inhibidores enzimáticos. Al cabo de 250 días, las matrices almacenadas en saliva artificial, se encontraron casi totalmente destruidas, lo que no se observó en las muestras control, existiendo una diferencia considerable en el estado y grosor de la red de colágeno. Cabe mencionar que este experimento se realizó bajo condiciones asépticas, sin contaminación bacteriana, por lo que se descarta la acción proteolítica de enzimas bacterianas. Asimismo, se comprobó que este fenómeno podía contrarrestarse con ciertos inhibidores de proteasas o con el uso de bajas concentraciones de Clorhexidina¹⁷.

La evidencia de la actividad colagenolítica en matrices dentinarias parcialmente desmineralizadas, son prueba indirecta de la existencia de las metaloproteinasas de matriz (MMPs), especialmente MMP-2 y MMP-9^{4,5}.

Las metaloproteinasas de matriz (MMPs) son una clase de endopeptidasas dependientes de zinc y calcio, que quedan atrapadas al interior de la matriz dentinaria mineralizada durante la formación del diente. Se cree que durante los procedimientos adhesivos, estas metaloproteinasas se liberan y se activan, siendo responsables de la degradación de la matriz de colágeno in vitro, en capas híbridas incompletamente infiltradas^{4,5}.

2.- Hidrólisis del adhesivo.

La **hidrólisis** es un proceso químico en el cual se rompen los enlaces covalentes de las moléculas que forman un polímero, mediante la adición de agua a los enlaces del tipo éster (Fig. N°1), y es considerada una de las principales razones que contribuyen a la degradación de la capa híbrida, derivando en el deterioro de la unión formada entre dentina y adhesivo en el tiempo^{3,4,15}.

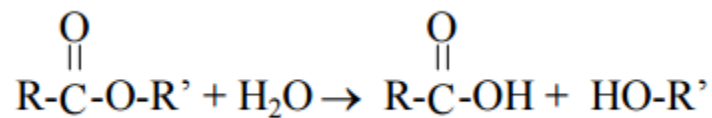


Figura N°1: Ecuación de la hidrólisis de enlaces éster.

La degradación mediada por hidrólisis ocurre solamente en presencia de agua, por lo tanto, resulta crítico obtener como producto final una capa de adhesivo lo más hidrofóbica posible, a fin de repeler el agua y evitar que ésta se absorba e interactúe con la interfase dentina/adhesivo.^{3,15}

Gran controversia han generado los sistemas adhesivos simplificados con los que contamos en la actualidad (por ejemplo: los de grabado total en dos pasos y los autograbantes de un paso), ya que deben integrar mayores concentraciones de monómeros de resina acídicos y de naturaleza hidrófila en su composición. El problema ocurre cuando, una vez polimerizado el adhesivo, quedan regiones con monómeros hidrófilos sin polimerizar, pues ante la presencia de agua residual, son capaces de interactuar con ella y facilitar la ruptura de los enlaces que conforman la estructura polimérica. Si no es posible obtener una capa de adhesivo con comportamiento hidrofóbico, el resultado será una capa híbrida que actúe como una membrana semi permeable para el agua, lo que genera la entrada y salida de humedad aun cuando el adhesivo esté polimerizado^{1,3,8,14,15}.

Este paso de agua fue revelado al estudiar la permeabilidad de la capa adhesiva mediante el uso de un marcador de nitrato de plata amoniacal, compuesto que es posible de observar mediante microscopía electrónica. Fue posible visualizar cómo este compuesto marcaba la difusión de agua a través de la interfase adhesiva y formaba un patrón conocido como “árboles de agua” o “water trees”. Estos árboles de agua en realidad son canales que forma el agua al difundir a través de la capa híbrida y extenderse hacia la capa del adhesivo^{5,15}.

El proceso de formación de estas estructuras es dinámico y complejo, pero ha sido posible de describir gracias a la microscopía electrónica. El estudio se ha enfocado mayormente en los adhesivos del tipo grabado y lavado en dos pasos (simplificado), ya que al contener mayor cantidad de monómeros hidrófilos (en relación al de tres pasos), presentan mayor permeabilidad al paso del agua posterior a la polimerización^{1,5}.

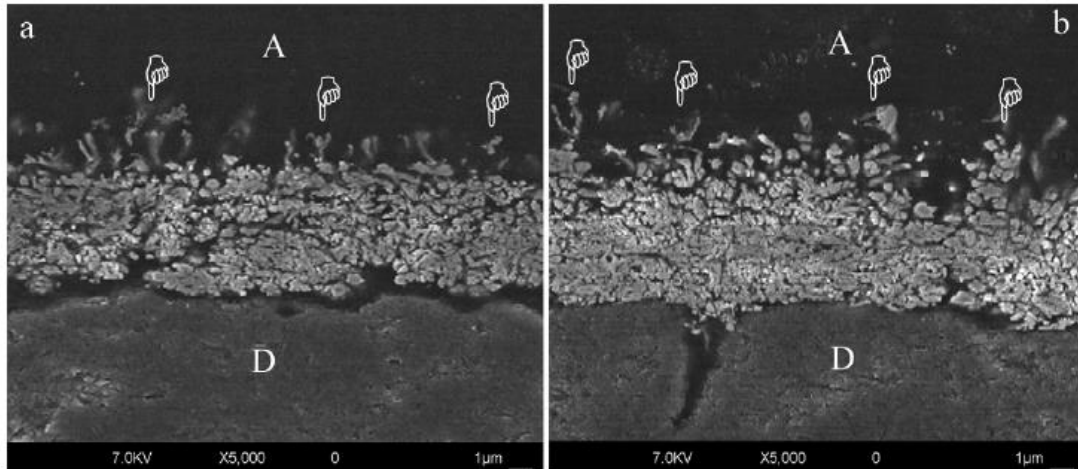


Imagen N°3: Foto obtenida con microscopía electrónica donde se muestra la nanofiltración de partículas de nitrato de plata desde la capa híbrida, que simula la difusión de agua en formación de “árboles de agua”, extraída de L Breschi, A. Mazzoni, A. Ruggeri y cols. *Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface*. Dental Materials⁵.

Utilizando la misma técnica antes mencionada, fue posible describir dos patrones de migración del nitrato de plata (el que representa el movimiento que en realidad ocurre con el agua): un patrón más bien reticular y otro focalizado. El patrón reticular representa a los árboles de agua mientras que el patrón del tipo focalizado, se piensa que representa micro dominios al interior de la matriz de la resina donde existen grupos funcionales del tipo hidrófilos/ácidos que interactúan con la humedad, en contraste con regiones de naturaleza más hidrofóbica^{5,18}.

Tay y cols. describió la secuencia de formación de los árboles de agua a partir de islotes aislados de plata, en un proceso dinámico de difusión que parte con la absorción de agua que luego va progresando rápidamente a medida que se forman canales por donde migra la humedad¹⁸.

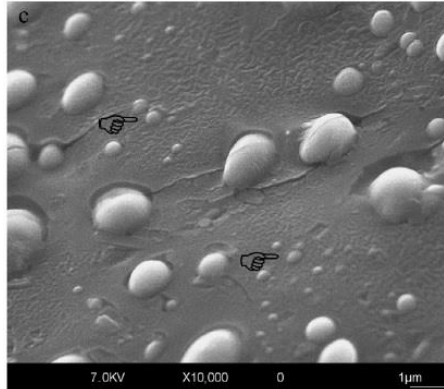


Imagen Nº4: Gotas de agua emanando a través de la superficie del adhesivo. Esta imagen se obtuvo posterior a una impresión con silicona tomada de una preparación cavitaria a la que se le aplicó un adhesivo y con la cual se obtuvo un vaciado en resina epóxica. Obtenida de L Breschi, A. Mazzone, A. Ruggeri y cols. *Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface*. Dental Materials⁵.

En un estudio conducido por Cadenaro y cols. el año 2005¹, se concluyó que, independiente del tipo de sistema adhesivo y del número de pasos en su aplicación, todos ellos presentan algún grado variable de polimerización incompleta, lo que se correlaciona con su permeabilidad al movimiento de agua. En este mismo estudio, se pudo determinar que el grado de permeabilidad era mayor en aquellos sistemas adhesivos simplificados (lavado y grabado de dos pasos y autograbantes de un solo paso), probablemente debido a una mayor composición de monómeros hidrófilos. El mismo fenómeno ocurre con adhesivos parcialmente polimerizados, siendo más permeables al movimiento de líquido. Por el contrario, aquellos sistemas que cuentan con aplicación separada de una capa no soluble de resina hidrofóbica, presentaron mayores grados de polimerización y menor permeabilidad al agua¹.

Los sistemas adhesivos todo en uno, adquirieron gran popularidad cuando aparecieron en el mercado, por ser mucho más amigables desde el punto de vista del usuario, por implicar menor tiempo operatorio y disminuir la sensibilidad de la técnica. Sin embargo, existen múltiples reportes en la literatura que indican un rendimiento inferior a los sistemas de grabado y lavado aplicados en tres pasos. Esto se observa en los valores menores obtenidos en experimentos in vitro, donde se evaluó la fuerza de unión a la dentina a corto, mediano y largo plazo. Asimismo, existe preocupación en relación al

uso de este tipo de adhesivos, ya que poseen un comportamiento similar a una membrana semipermeable, permitiendo el paso de agua entre las distintas fases, lo que eventualmente podría llevar a degradación hidrolítica de la capa híbrida, con la consiguiente falla en la adhesión¹⁹.

Medidas propuestas para mejorar la estabilidad del adhesivo.

Debido a las razones que se exponen, se preconiza lograr una articulación adhesiva lo más hidrofóbica posible para impedir la formación de los árboles de agua.

Diferentes medidas clínicas se han propuesto con el fin de mejorar las cualidades de la capa híbrida, ya que gran parte de la estabilidad del adhesivo a largo plazo, depende de ello. Estas medidas buscan mejorar la infiltración de la red de colágeno por parte de los monómeros hidrófilos, disminuir la absorción de agua y restringir la degradación enzimática del colágeno⁸.

Como hemos descrito, es de gran importancia reducir la cantidad de agua presente en la zona de unión entre el adhesivo y la dentina con el fin de generar una capa híbrida lo más resistente posible a la hidrólisis. Esto es posible de lograr agregando una capa extra de resina hidrofóbica o simplemente aumentando las capas de adhesivo durante su aplicación, tal como fue descrito por el grupo de investigadores compuesto por Pashley, Hashimoto y cols. en dos estudios los años 2002 y 2005^{16,25}.

Mejorando la evaporación del solvente y aumentando el tiempo de fotoactivación, también se han reportado mejorías, lo que en consecuencia permitiría reducir la permeabilidad de la capa híbrida a la humedad. Otro tipo de propuestas son el uso de inhibidores enzimáticos como la Clorhexidina, con el objetivo de contrarrestar la actividad de las metaloproteinasas (MMPs), responsables de la degradación enzimática de la red de colágeno^{2,5,8}.

Aplicar una capa extra de resina hidrofóbica en adhesivos autograbantes de un paso, si bien no simplifica la técnica y lo convierte en un procedimiento de dos pasos, permitiría que la primera capa de adhesivo actúe como imprimante, infiltrando la dentina, y la segunda capa, rica en monómeros hidrofóbicos, actuaría diluyendo la primera capa, resultando en una capa híbrida más gruesa, uniforme, menos permeable y con

concentraciones más bajas de agua y solvente residual. Todas estas características mejorarían la calidad del adhesivo^{8,25}.

La aplicación de múltiples capas de adhesivo, frotando vigorosamente con el microaplicador entre capa y capa, también ha demostrado mejorar la fuerza de adhesión. Es más, Hashimoto y cols., afirman que la fuerza de adhesión aumenta con cada capa adicional aplicada, disminuyendo simultáneamente la nanoinfiltración (de nitrato de plata amoniacal), llegando casi a cero tras la cuarta capa⁶. Resultados similares obtuvieron Ito y cols. el año 2005, donde demostraron lograr mayor fuerza de adhesión a la dentina al agregar más capas de adhesivo⁷.

Otra medida relativamente sencilla para obtener mejor adhesión y mayor estabilidad en el tiempo, es procurar una correcta evaporación de la mayor cantidad de solvente posible, con el fin de prevenir la separación de las distintas fases que conforman el adhesivo. Esto se lograría aplicando aire vigorosamente, provocando una mayor evaporación de solvente y una mejor remoción del agua residual^{5,8}.

Por último, Cadenaro y cols. el año 2005 llevaron a cabo un estudio donde se propone aumentar el tiempo de fotoactivación del adhesivo (aproximadamente 20 segundos extras al tiempo recomendado por el fabricante), con el fin de optimizar el grado de polimerización de éste y disminuir su permeabilidad³. Todas estas medidas disminuyen el comportamiento hidrófilo del adhesivo, otorgándole mayores características hidrofóbicas una vez polimerizado.

La efectividad de estas medidas en relación a lograr superficies más hidrofóbicas, podemos apreciarla mediante la medición del ángulo de contacto formado por el agua al entrar en contacto con el adhesivo. Esta técnica es utilizada no sólo en el estudio de superficie de materiales dentales, si no en otras áreas de la industria tan diversas como en el desarrollo de pinturas, lubricantes, recubrimiento y tratamiento de superficies, entre otros. La medición del ángulo de contacto entrega información preliminar respecto a la capacidad que poseen ciertos líquidos de “mojar” una superficie dada, o visto de forma inversa, la capacidad o el grado de humectabilidad que poseen algunos sólidos, lo que además está directamente relacionado con la energía superficial de éstos²⁶.

El ángulo de contacto se refiere al ángulo que forma la superficie de un líquido al entrar en contacto con un sólido. El valor del ángulo de contacto depende principalmente de la relación que existe entre las fuerzas adhesivas que se establecen entre el líquido y el sólido y las fuerzas cohesivas del líquido. Dado que las fuerzas intermoleculares de atracción entre moléculas de agua se deben a los enlaces de hidrógeno y éstos representan alta energía, la tensión superficial del agua es mayor que la de muchos otros líquidos²⁸.

El origen de la tensión superficial es la diferencia entre las fuerzas de atracción de Van der Waals entre moléculas. Cuando existe una interfaz, para mantener el equilibrio, la misma se curva hacia el fluido que tiene mayores fuerzas atractivas entre moléculas²⁸.

El ángulo de contacto (Θ) define el ángulo que forma la interfaz entre dos fluidos no miscibles en contacto con una superficie sólida (tal como se observa en la figura N°2). A partir de la condición de equilibrio de fuerzas en la interfaz entre la superficie del líquido y el sólido, puede calcularse el ángulo de contacto como (ecuación de Young)²⁸:

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{os} - \gamma_{ws}}{\gamma_{ow}}$$

Figura N°2: Ecuación de Young, donde γ_{os} es la tensión interfacial entre la superficie sólida y el fluido no mojante, γ_{ws} es la tensión interfacial entre la superficie sólida y el líquido mojante, y γ_{ow} es la tensión interfacial entre el fluido no mojante y el fluido mojante.

El ángulo de contacto definido en la ecuación es un parámetro de gran utilidad ya que aporta una idea de la humectabilidad de una superficie sólida. A menor ángulo de contacto, mayor es la facilidad con la que un fluido puede mojar la superficie, o en otras palabras, mayor es la atracción que está ejerciendo la superficie sobre el líquido²⁸.

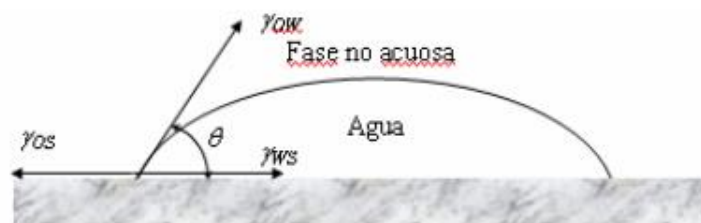


Figura N°3: ángulo de contacto formado por gota de líquido en contacto con superficie de un sólido.

Se acepta que valores menores a 90° indican que la humectabilidad de la superficie es favorable y que el fluido se distribuirá en forma amplia sobre una gran área de la superficie. Valores mayores a 90° generalmente significan que la humectabilidad de la superficie no es favorable, por lo tanto el fluido minimizará el contacto con la superficie y tendrá una tendencia a formar una gota compacta sobre ella²⁶.

La constante búsqueda de un producto que tuviera la versatilidad de poder ser utilizado eficazmente con cualquiera de los protocolos de acondicionamiento dentario, y que además de adherirse satisfactoriamente a las estructuras dentarias y a los múltiples materiales restauradores con los que contamos actualmente, demostrara una mayor resistencia a la hidrólisis y con ello, estabilidad de la articulación adhesiva a través del tiempo, dio como resultado el desarrollo de los llamados “Adhesivos Universales”, los que señalan cumplir con los requerimientos antes señalados, además de simplificar su protocolo de aplicación clínica, con un adecuado tiempo de trabajo y una reducción de los pasos clínicos²⁰.

Adhesivos Universales.

Los adhesivos universales pueden ser descritos como materiales que idealmente vienen en una sola botella, que no requieren mezclado previo, y que poseen la cualidad de ser utilizados ya sea bajo las estrategia de grabado y lavado, como sistemas autograbantes, o con grabado selectivo, lo que va a depender de las necesidades clínicas del caso y las preferencias personales del operador. Adicionalmente, poseen la versatilidad de ser utilizados tanto en restauraciones directas como en la cementación de restauraciones indirectas, y son compatibles con cementos de autocurado,

fotocurado y duales. Algunos fabricantes afirman, incluso, que estos nuevos compuestos pueden adherirse no sólo a dentina y esmalte, sino que también al zirconio, metales nobles, no nobles y cerámicas. En principio, esto permitiría lograr adhesión a diferentes superficies sin la necesidad de aplicar silano, a fin de adherirse a materiales como el zirconio y cerámicas³⁷.

Naturalmente, el lograr un producto así de versátil, que cumpla con todas las características antes mencionadas, resulta un desafío desde el punto de vista químico, sobre todo si se desea integrar todos los distintos componentes en una sola botella, considerando que además su formulación debe ser lo suficientemente estable para ser almacenado por un período prolongado³⁷.

En función de desarrollar un adhesivo realmente “universal”, los monómeros incluidos deben poseer multifuncionalidad y ser capaces de reaccionar con una serie de diferentes sustratos. Aparte, deben copolimerizar y ser compatibles con las distintas resinas de restauración y cementos. Deben poseer el grado necesario de hidrofiliidad a fin de mojar adecuadamente la dentina grabada (que ha sido dejada húmeda), pero a la vez, tornarse lo suficientemente hidrófobos una vez polimerizados con el objetivo de impedir o retardar la hidrólisis de la articulación adhesiva en el tiempo. Adicionalmente, los adhesivos universales debiesen, idealmente, ser lo suficientemente ácidos como para ser utilizados como agentes autograbantes, pero no en exceso, pues interferiría con los iniciadores necesarios para la polimerización de cementos de resina de activación química y duales³⁷.

Los adhesivos universales además deben contener agua en un porcentaje rigurosamente determinado, pues ésta es requerida para la disociación de los monómeros acídicos funcionales, que son aquellos que le otorgan al material la capacidad de acondicionar la dentina. Sin embargo, un exceso de agua puede resultar en la polimerización incompleta del adhesivo, lo que implica un mayor riesgo de sufrir hidrólisis de éste en el tiempo y, por lo tanto, comprometer la interfase adhesiva. Es por ello que por lo general se adiciona etanol y/o acetona a los adhesivos universales, pues además mejora la capacidad del adhesivo de mojar e infiltrar los tejidos dentarios y optimiza la evaporación del agua residual al secado con aire³⁷.

Como se ha expuesto en repetidas ocasiones en la fundamentación teórica anterior, en la formulación de los diversos sistemas adhesivos, son necesarios monómeros hidrófilos que sean capaces de interactuar con la dentina húmeda y, consecuentemente, permitan que la resina adhesiva pueda imprimir y difundir a través de la red de colágeno de la dentina grabada. Sin embargo, como también se ha explicado, aquellos grupos funcionales de naturaleza hidrófila, que en primera instancia facilitan la interacción del agente imprimante con los tejidos dentarios, pueden convertirse en un problema a largo plazo pues absorberían agua y facilitarían la hidrólisis del adhesivo. Es por ello que los fabricantes se han visto en la necesidad de desarrollar fórmulas que integren óptimamente una mezcla químicamente compatible de monómeros hidrofóbicos e hidrófilos que actúen en forma sinérgica y, una vez polimerizados, formen una articulación adhesiva con la pieza dentaria que sea lo suficientemente hidrofóbica como para presentar una alta resistencia a su degradación hidrolítica por acción del agua en el tiempo. Esto sería posible gracias a la inclusión de monómeros bifuncionales, basados principalmente en ésteres fosfatados de acidez variable, los cuales poseen un extremo funcional hidrófilo que interactúa con los tejidos dentarios, mientras que el otro extremo, de naturaleza hidrofóbica, polimeriza y se enlaza con la resina de restauración. Cabe mencionar que existe un porcentaje no menor de estos monómeros cuyas fórmulas y patentes comerciales son resguardadas cautelosamente por sus fabricantes, sin embargo, los adhesivos universales comparten una composición básica consistente en una mezcla rigurosamente balanceada de Bis-GMA, que es un monómero hidrofóbico ya vastamente estudiado, y de HEMA, que es el monómero hidrófilo³⁷.

Adicionalmente, estos nuevos materiales pueden incluir compuestos como derivados de ácidos polialquenoicos y vinil silano. Los primeros le confieren al adhesivo universal la característica de formar uniones químicas con la dentina por la unión de los grupos carboxílicos del ácido con los iones de calcio del tejido dentario. Por otro lado, el compuesto Vinil Silano, es una molécula bifuncional que posee la propiedad de unir químicamente sustratos cerámicos con resinosos³⁷.

A fin de cumplir con estas nuevas exigencias, los fabricantes debieron realizar algunas modificaciones en la formulación de sus productos, ya sea aumentando o reduciendo la concentración de ciertos monómeros o adicionando nuevos componentes. Estos nuevos monómeros, por lo general, poseen una naturaleza más acídica, lo que le confiere al adhesivo la propiedad de actuar como agente autograbante así como la posibilidad de adherirse a diversos sustratos²⁰.

Sin embargo, tal como se mencionó, la evidencia previa existente sobre los adhesivos anteriores, demostraba una tendencia de los adhesivos simplificados tipo “un solo paso” y de naturaleza autograbante, a comportarse como membranas semi permeables al paso de la humedad, incluso aún después de polimerizados, fenómeno que se vería exacerbado al incorporar mayores concentraciones de monómeros hidrófilos, tal como ocurre en los adhesivos simplificados, debido a que el comportamiento hidrófilo por lo general acentúa el potencial hidrolítico²¹.

Es por ello que el presente estudio buscó evaluar si los nuevos adhesivos Universales presentarían un comportamiento diferente al ser comparados con uno convencional de grabado y lavado, siendo analizados con respecto a su comportamiento hidrófilo inicial, al ser aplicados sobre dentina húmeda, y luego hidrofóbico, posterior a ser fotoactivados.

Los adhesivos universales estudiados fueron Single Bond Universal (3M ESPE) y All Bond Universal (Bisco). El adhesivo convencional simplificado de grabado y lavado evaluado fue One Coat Bond SL (Coltène). Los 3 sistemas se detallan a continuación.

Single Bond Universal (3M/ESPE)²².

Single Bond Universal es un Sistema Adhesivo Universal de una única botella diseñado para ser utilizado en distintas superficies dentarias, ya sea posterior a grabado ácido total o selectivo, así como agente autograbante, tanto para restauraciones directas como indirectas.

Dentro de sus particularidades se encuentra la presencia en su composición del copolímero Vitrebond (Copolímero de ácido polialquenoico modificado con resina), compuesto que mejoraría la adhesión al diente bajo condiciones de diversos grados de

humedad. Durante el desarrollo del antiguo sistema Single Bond, se evidenció que los valores de unión al sustrato decrecían ante la presencia de grados variables de humedad. Paralelamente, se observó que el producto Vitrebond, que era utilizado como base cavitaria, parecía poseer un rendimiento óptimo bajo distintos grados de humedad. Se concluyó que al integrar el copolímero base de dicho material a la fórmula del adhesivo, se obtendrían los beneficios observados en el primero, mejorando los valores de adhesión en condiciones donde existe poco control de la humedad.

La fórmula del Single Bond Universal difiere de sus productos predecesores, en el reemplazo parcial de los monómeros UDMA (Uretano de Dimetacrilato) y GDMA (Glicerol Dimetacrilato), por monómeros fosforilados, específicamente MDP (Metacriloidecilo dihidrógeno fosfato) con el objetivo de otorgar una mayor acidez a fin de permitir propiedades autograbantes (pH=2,7). Así, MDP le otorgaría mayores valores de adhesión al esmalte dental y sustratos tales como el metal, además de una mayor estabilidad del producto.

En la ficha técnica de este producto, se afirma que las modificaciones en la formulación, aseguran un mayor grado de conversión y mayores propiedades hidrofóbicas posterior a su polimerización. Durante la aplicación del adhesivo y previo a su fotoactivación, Single Bond Universal presentaría un comportamiento hidrófilo a fin de asegurar una adecuada humectabilidad de la superficie dentaria. Sin embargo al polimerizar, el producto presentaría altos niveles de conversión e hidrofobicidad.

El solvente de Single Bond Universal es una combinación en base a etanol y agua. A diferencia de la acetona, el etanol es menos volátil y permite mantener la viscosidad necesaria para asegurar una fácil manipulación durante su aplicación.

All Bond Universal (Bisco)²³.

Al igual que Single Bond Universal, All Bond Universal es un Sistema Adhesivo Universal, posible de ser utilizado ya sea posterior a grabado ácido total, selectivo del esmalte o como agente autograbante. Además, se adhiere a diversos materiales, por lo que es compatible con restauraciones directas e indirectas. Su presentación comercial también consiste en una sola botella.

Dentro de su formulación, también posee el monómero MDP el que, como se mencionó, otorga propiedades autograbantes al adhesivo. Se le considera un adhesivo de acidez moderada ($\text{pH} > 3$), por lo que afirma poseer mínima sensibilidad postoperatoria (cuando es utilizado como agente autograbante).

De acuerdo a su ficha técnica, este adhesivo cuenta con adecuadas propiedades hidrofóbicas una vez polimerizado, por lo que asegura la estabilidad de la unión adhesiva a largo plazo.

De la misma forma que Single Bond Universal, All Bond Universal contiene agua y etanol como solventes.

One Coat Bond SL (Coltène)²⁴.

One Coat Bond SL es un Sistema Adhesivo convencional de una botella, cuya particularidad es poseer agua como solvente. Una de sus cualidades es su rápida aplicación pues requiere de una sola capa de material, tal como su nombre lo menciona. Este producto debe utilizarse posterior a grabado ácido total del sustrato dentario y es compatible con la técnica adhesiva húmeda. No requiere solventes tales como la acetona o el alcohol pues afirma poseer excelente humectabilidad del sustrato dentario. Se adhiere, además de a la resina compuesta, a metales, cerámicas, amalgama, vidrio ionómeros y compómeros.

Los pasos de imprimación y adhesión propiamente tal, se encuentran combinados en un solo paso y su aplicación requiere de la aplicación de una sola gota con un microaplicador.

Su fórmula contiene abundantes concentraciones de monómeros tales como HEMA, el cual presenta grupos hidroxilos compatibles con el agua, lo que le otorga la naturaleza hidrófila necesaria para interactuar con la malla colágena; MMA modificado (Ácido Poliacrílico modificado con Metacrilato), el cual es un ácido hidrófilo que posee grupos éster y carbonatados. Los grupos ácidos son capaces de establecer complejos con los iones de calcio presentes en los tejidos mineralizados del diente. Los extremos éster metacrilos establecen enlaces con la cadena polimérica de la matriz de la resina. Los monómeros UDMA y GDMA son moléculas bifuncionales que se enlazan fuertemente

para formar una gran cadena polimérica. También establecen puentes de hidrógeno, por lo que pueden enlazarse con el sustrato orgánico. Este adhesivo además contiene un pequeño porcentaje de agua (5%) la que es necesaria durante el proceso de manufacturación. Esta pequeña cantidad es compatible con el resto de los componentes del material.

La presencia de abundantes monómeros hidrófilos es necesaria para mojar íntegramente el sustrato dentario, especialmente dentina. Los grupos polares se encuentran orientados hacia los tejidos dentarios y forman puentes de hidrógeno con iones de calcio presentes en éstos, tal como se mencionó anteriormente. Las regiones hidrofóbicas facilitan la penetración de otros monómeros tales como GDMA y UDMA. No se requiere de otro solvente diferente al agua pues los monómeros se encontrarían desplazando satisfactoriamente el agua que sustenta la malla colágena. Este efecto, basado en su especial composición, garantizaría una buena penetración de los túbulos dentinarios y de la malla colágena. Simultáneamente poseería un efecto de sellado de los túbulos dentinarios.

Hipótesis.

“No existen diferencias en el ángulo de contacto formado por el agua sobre superficies dentarias a las cuales se les ha aplicado los adhesivos Single Bond Universal, All-Bond Universal y One Coat Bond SL”.

Objetivo General.

Determinar si existen diferencias en el ángulo de contacto formado por el agua sobre superficies dentarias a las cuales se les ha aplicado los adhesivos Single Bond Universal, All-Bond Universal y One Coat Bond SL.

Objetivos Específicos.

- Medir el ángulo de contacto de una gota de agua sobre una superficie dentaria a la cual se le ha aplicado el producto Single Bond Universal.
- Medir el ángulo de contacto de una gota de agua sobre una superficie dentaria a la cual se le ha aplicado el producto All-Bond Universal.
- Medir el ángulo de contacto de una gota de agua sobre una superficie a la cual se le ha aplicado el producto One Coat Bond SL.
- Comparar los resultados obtenidos en cada fase y observar cuál de los tres adhesivos posee mejores propiedades hidrofóbicas.

METODOLOGÍA.

El presente estudio descriptivo comparativo se realizó en los Laboratorios de Biomateriales Dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

El tipo de estudio corresponde a un estudio descriptivo comparativo transversal.

Se midió el ángulo de contacto formado entre una gota de agua y diferentes superficies dentarias, a las cuales se le aplicó tres tipos de sistemas adhesivos diferentes. Se acepta que a menor ángulo de contacto, mayor es la afinidad entre superficie y el agua, por lo tanto, presenta un mayor comportamiento hidrófilo.

Para ello, se recolectaron y utilizaron 60 terceros molares extraídos libres de lesiones de caries, los que fueron preservados en suero fisiológico, y posteriormente procesados de la siguiente manera:

1º. Remoción del ligamento periodontal mediante una cureta.

2º. Se realizó una cavidad oclusal de 3mm de profundidad con una piedra de diamante cilíndrica. Esta cavidad posteriormente se utilizó como referencia para el siguiente paso.

3º. Con un disco diamantado para separar porcelanas (*Turbo-Flex S, Renfert Gm, Alemania*), se realizó una coronectomía parcial de las piezas dentarias, dejando la superficie plana, utilizando como referencia la profundidad previamente establecida en la cavidad oclusal.

4º. Se eliminaron las raíces de los molares con una fresa diamantada cilíndrica de alta velocidad.

5º. Las piezas dentarias, luego fueron cortadas en sentido vestíbulo-lingual con el mismo disco diamantado utilizado en el paso 3º, a fin de obtener dos mitades idénticas. Las mitades fueron almacenadas en contenedores diferentes, de esta forma se obtuvieron dos grupos distintos, de 60 muestras cada uno.

6º. Cada una de las muestras fue incluida en un cubo de acrílico de dimensiones 1,7 mm³ y almacenados en contenedores con suero fisiológico.



Imagen N°6: Fotografía del disco diamantado separador de porcelanas utilizado.

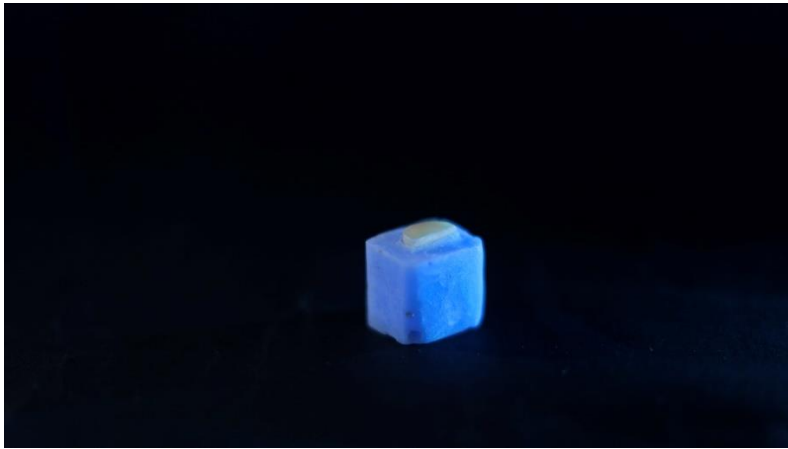


Imagen N°7: Diente incluido en acrílico de autocurado.

Para tomar las fotografías de las muestras, y posteriormente efectuar la medición de las gotas correctamente, era necesario controlar las variables de luz y distancia focal por completo.

El registro fotográfico, se realizó sobre un trípode fijo, con una cámara Reflex, modelo Canon EOS 6D, y un lente de 50mm f1.8. Además, debido al pequeño tamaño de las muestras, se decidió utilizar sobre el lente una lentilla macro Canon CLOSE-UP LENS 58mm 450.

Para obtener las fotografías, se situaron cada una de las muestras sobre un pedestal de plástico, frente a una cartulina negra opaca, con la finalidad de que produjera la menor reflexión lumínica posible. El pedestal se encontraba a una distancia de 20 cm, a fin de tener un rango de foco cómodo, entre el objeto y la lentilla macro antes mencionada.

La fuente frontal de iluminación, era una luz difusa tamizada frontal, cuyo fin es meramente iluminar el objeto. Esta luz fue apoyada por un contraluz rasante fuerte, el cual tiene como función siluetear la pieza dentaria y la gota, generando un perfil claro y contrastado con el fondo negro, a fin de obtener la mejor medición del ángulo posible. Con estas condiciones lumínicas, fue posible obtener una imagen congelada de la gota, utilizando una velocidad de obturación de 1/125, con un ISO no superior a 400. Todas las fotos fueron tomadas con un disparador inalámbrico, con el objetivo de no mover la cámara después de haber logrado el foco, y así reducir cualquier posibilidad de desenfoque sobre la pieza.



Imagen N°8: Muestra colocada sobre pedestal de plástico transparente.

I. Registro Fotográfico de las Muestras Control.

En la fase del registro fotográfico de las muestras control, se fotografiaron 60 muestras, a las cuales se les dispensó con un gotario una gota de 0,1 ml sobre su superficie. De esta forma se obtuvieron las mediciones del ángulo de contacto de una gota de agua sobre las superficies dentarias húmedas sin tratar.



Imagen N° 9: Fotografía donde se muestra la aplicación de la gota de agua sobre la superficie de la pieza dentaria incluida en acrílico.

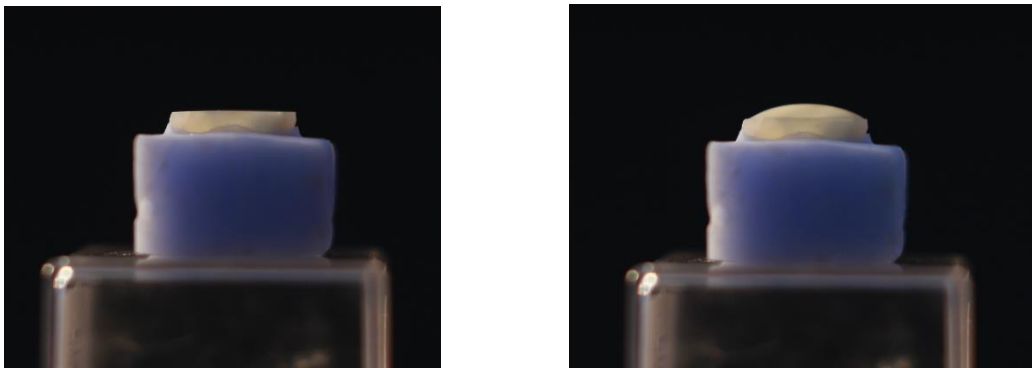


Imagen N°10: En la primera fotografía (izquierda) se puede apreciar la muestra control sin interactuar con el agua, y en la segunda (derecha), la pieza dentaria tras la aplicación de una gota de agua sobre su superficie.

II. Registro Fotográfico de Muestras tratadas con los adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal previo a polimerizar.

En esta fase, las 60 muestras previamente utilizadas como controles, fueron divididas en tres grupos de 20 unidades cada uno. A cada una de ellas, se les grabó con ácido ortofosfórico al 37% por 10 segundos, posteriormente se lavaron, y con un trozo de papel absorbente, se secaron, procurando preservar la dentina levemente húmeda. Luego, haciendo uso de un microbrush, se procedió a aplicar una gota de cada uno de los sistemas adhesivos en estudio, sobre la superficie dentaria grabada de las muestras. Finalmente, las muestras se fotografiaron siguiendo las condiciones descritas previamente, al inicio de la Metodología. El objetivo de esta etapa, es estudiar a través de la medición del ángulo de contacto, la capacidad de humectación del adhesivo sobre la superficie dentaria.

III.

a. Registro Fotográfico de Muestras tratadas con adhesivo One Coat Bond SL polimerizado.

Se seleccionaron 20 muestras de uno de los contenedores. A cada una de ellas se les grabó con ácido ortofosfórico al 37% por un total de 10 segundos, y posteriormente se lavaron con spray de agua, a fin de asegurar la eliminación del espesante del gel ácido. En tercer lugar, se secaron cada una de las muestras con un cuadrado de papel absorbente, teniendo cuidado de no secar en exceso, es decir, la superficie dentaria debía poseer un aspecto brillante, húmedo. Luego se dispensó una gota de adhesivo One Coat Bond SL sobre un microbrush y se aplicó una capa del adhesivo por muestra, frotando vigorosamente el microbrush contra la superficie dentaria por un total de 20 segundos. Se fotoactivaron las muestras por 30 segundos con una lámpara Halógena (3M ESPE modelo Elipar 2500), cuya potencia de salida de luz era 1000 mW/cm^2 , se dispensó una gota de 0,1 ml de agua sobre ellas y se realizó el registro fotográfico.

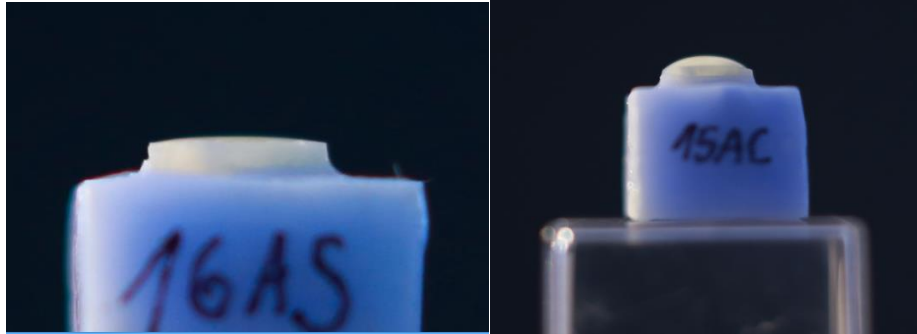


Imagen N°11: En la primera fotografía (izquierda) se observa una muestra tratada con el adhesivo One Coat Bond SL previo a fotoactivar. En la segunda (derecha), se aprecia otra muestra tratada con el adhesivo One Coat Bond SL ya polimerizado, y la respectiva gota de agua sobre ella.

b. Registro Fotográfico de Muestras tratadas con adhesivo Single Bond Universal polimerizado.

Al igual que con el adhesivo One Coat Bond SL, se utilizaron 20 muestras las cuales fueron grabadas siguiendo el mismo protocolo anterior (ácido ortofosfórico al 37%), posteriormente se lavaron con agua en spray hasta retirar completamente el gel, y se les secó con un trozo de papel absorbente, cuidando de no secar en exceso la superficie. Luego, se les aplicó una capa del adhesivo Single Bond Universal, frotando vigorosamente con un microbrush por 20 segundos. Se fotoactivó el adhesivo usando la misma lámpara Halógena por 30 segundos y luego con un gotario se les aplicó una gota de 0,1 ml sobre su superficie y fotografiaron.



Imagen N°12: En la fotografía de la izquierda, se observa una muestra tratada con el adhesivo Single Bond Universal previo a polimerizar, mientras que en la imagen de la derecha se aprecia una muestra tratada con Single Bond Universal polimerizado con una gota de agua sobre su superficie.

c. Registro Fotográfico de Muestras tratadas con adhesivo All Bond Universal polimerizado.

Nuevamente, 20 muestras fueron grabadas con ácido ortofosfórico por 10 segundos, se les lavó con agua en spray y se secaron con un cuadrado de papel absorbente, cuidando de no secar en exceso la superficie. Posteriormente, se dispensó en un microbrush una gota de adhesivo All Bond Universal y se aplicó, frotando vigorosamente por 20 segundos, sobre la superficie de las muestras. De acuerdo a las instrucciones del fabricante, para obtener los resultados esperados, se deben aplicar dos capas de este producto, por lo tanto, una vez colocada la primera capa, sin fotocurar entre medio, se aplicó una segunda capa y fotocuró de acuerdo al protocolo utilizado, por 30 segundos haciendo uso de la misma lámpara. Con un gotario, se aplicó en cada una de las muestras una gota de agua de 0,1 mly se realizó el registro fotográfico.



Imagen N°13: En la primera fotografía (izquierda) se observa una muestra tratada con el adhesivo All Bond Universal previo a ser polimerizado. En la imagen de la derecha se aprecia una muestra tratada con All Bond Universal ya polimerizado con la respectiva gota de agua en su superficie.

Las fotos fueron traspasadas a un computador y el ángulo de contacto de las gotas de agua medido con la aplicación *MB Ruler*. Esta herramienta consiste en una regla semi-transparente, la cual es posible de visualizar mientras se ejecuta otra ventana anexa debajo. De esta forma, permite medir las distancias en unidades de medida diferentes tales como pixeles, centímetros y pulgadas, y los ángulos en radianes o grados.

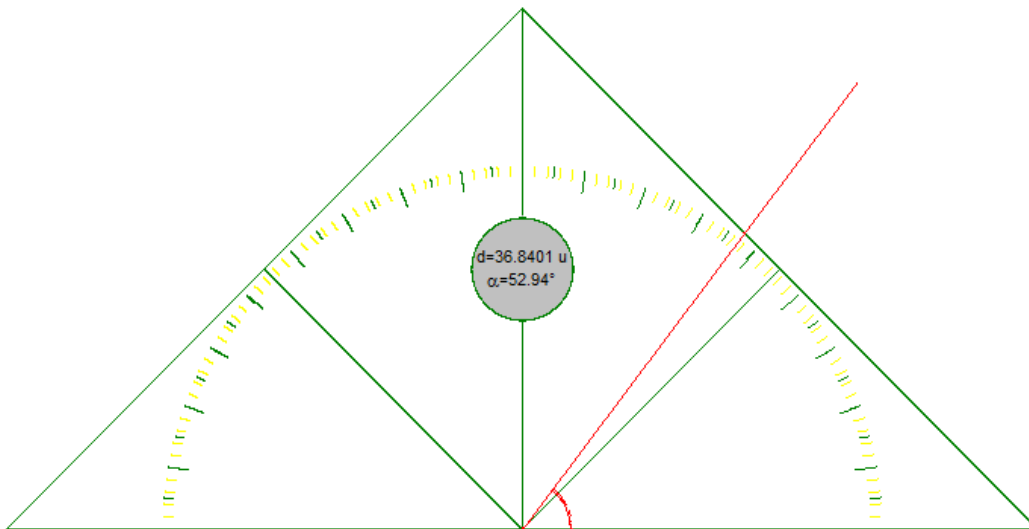


Imagen N°14: Aplicación “*MB Ruler*”.

Se midió el ángulo de contacto formado en cada una de las muestras trabajadas (tal como se observa en la Imagen N° 15) y las medidas obtenidas se ingresaron a una planilla Excel. Posteriormente se calculó la media aritmética para cada uno de los grupos estudiados y los resultados, luego, sometidos a pruebas de significación estadística Shapiro Wilk y Anova.

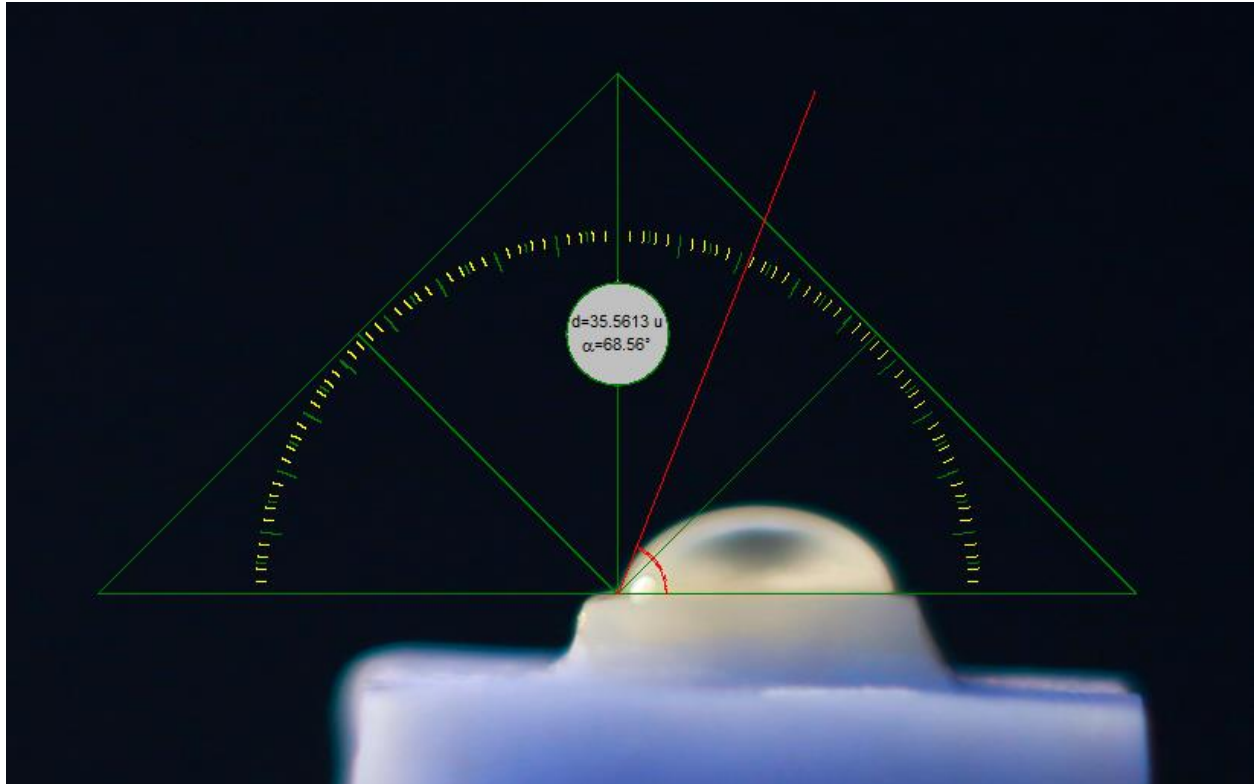


Imagen N°15: Medición del ángulo de contacto formado por el agua sobre una superficie dentaria tratada con un sistema adhesivo, mediante la herramienta "MB Ruler".

RESULTADOS.

1. Resultados obtenidos para los Sistemas Adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal *sin* polimerizar.

En la fase II de este estudio, el objetivo fue medir el ángulo de contacto que formaba una gota de adhesivo sin polimerizar sobre una superficie dentaria grabada con ácido, y de esa forma, observar los distintos grados de humectación de los tres sistemas adhesivos sobre la dentina, pues se requiere que inicialmente (previo a ser fotopolimerizados) éstos deben ser lo suficientemente hidrófilos con el fin de que puedan infiltrar lo más posible la red de colágeno. El resultado de las observaciones mostró que, en la totalidad de las muestras tratadas con los tres distintos adhesivos, no se formó gota si no una película uniforme del material, no pudiendo establecerse con claridad un límite macroscópico entre el adhesivo y la superficie del diente, tal como se puede observar en las fotografías presentadas a continuación. Es por esta razón que se asumió que el ángulo de contacto generado sobre una superficie dentaria grabada, para los adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal, previos a ser fotopolimerizados, es cero, lo que demostraría una buena capacidad de humectación del sustrato.

Considerando que ninguno de los especímenes mostró un ángulo cuantificable con el instrumento de medición, y habiéndoseles asignado por lo mismo un valor 0 a todas las muestras, se descarta someter los resultados obtenidos en esta fase a pruebas de significación estadística, ya que no existen diferencias entre ellas que pudieran ser sujetas de análisis.



Figura Nº 16: En esta serie de imágenes se representan fotografías de muestras a las cuales se les aplicó en sus superficies: One Coat Bond SL (16AS), Single Bond Universal (1BS), y All Bond Universal (1CS) previo a ser fotopolimerizados. Es posible observar que no se forma gota en la superficie, en cambio, se aprecia la formación de una película, cuyo límite no es posible de precisar al realizar un zoom al 25% del tamaño total de la fotografía. *Imágenes obtenidas con lente de 50mm f1.8 más lente macro Canon CLOSE-UP LENS 58mm 450 en cámara Reflex Canon EOS 6D.*

2. Resultados obtenidos para los Sistemas Adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal polimerizados.

Contrario a lo anterior, sí fue posible obtener la medición de los ángulos de contacto formados por una gota de agua sobre las superficies dentarias tratadas con los tres distintos adhesivos, posterior a ser polimerizados, gracias al registro fotográfico de las muestras. Los resultados se observan en la tabla presentada a continuación, y además se incluye la media aritmética calculada a partir de los valores obtenidos en el grupo control.

Tabla de Resultados.

Sistema Adhesivo	One Coat Bond SL	Single Bond Universal	All Bond Universal
	Polimeriz: n=20	Polimeriz: n=20	Polimeriz: n=20
	36.84	66.63	51.21
	32.55	58.51	40.94
	37.47	50.05	68.96
	49.78	59.36	56.07
	37.03	78.12	61.07
	37.8	70.55	59.49
	34.34	69.7	65.82
	49.38	51.27	61.54
	47.74	48.43	62.02
	26.63	60.58	66.35
	37.4	52.81	50.56
	54.92	54.36	57.58
	27.49	54.27	56.69
	31.95	41.81	69.28
	31.22	59.15	51.86
	38.72	51.93	55.88
	33.03	50.42	57.44
	53.76	57.53	62.02
	49.63	56.43	61.75
	40.23	64.47	61.56
Promedio Ángulo de Contacto	39.3955	57.819	58.9045
Promedio Control	39,17633		

Tabla N°3: Tabla de resultados con los respectivos valores del ángulo de contacto del agua (medido en grados) sobre los adhesivos One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal polimerizados. Al final de la columna se puede apreciar el promedio obtenido para cada uno de los tres productos estudiados y el arrojado por el grupo control (destacado en azul).

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los datos se sometieron primeramente a estudios de análisis estadístico descriptivo, los que permiten tener una aproximación de la estructura de los datos en cada uno de los materiales estudiados. En segundo lugar se realizó el análisis inferencial a través de la prueba de Anova.

La distribución normal de los datos de los grupos en estudio, es uno de los requisitos para poder utilizar el test inferencial Anova. Es por esto que, el primer paso es realizar una prueba de normalidad. Si el número de muestras es superior a 50 el test utilizado es el de Kolmogorov. Caso contrario, si las muestras son menos de 50 el test utilizado es el de Shapiro Wilk.

El nivel de significación empleado en todos los casos fue de $\alpha = 0,05$.

Tabla N° 4

Pruebas de normalidad

Sistema Adhesivo		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ángulo de contacto	One Coat Bond SL polimerizado	,181	20	,083	,922	20	,110
	Single Bond Universal polimerizado	,130	20	,200*	,967	20	,687
	All Bond Universal polimerizado	,129	20	,200*	,946	20	,306
	Control	,087	57	,200*	,975	57	,275

Los resultados que se muestran en la tabla N°4 indican que en todos los grupos estudiados el nivel de significancia es mayor a 0,05, por lo tanto se ratifica la distribución normal de los datos (la hipótesis nula se refiere a que “existe distribución normal de los datos” y ésta es ratificada por los resultados mostrados en la tabla N° 4).

En la segunda tabla se muestra los Valores estadísticos descriptivos, en ella se observa que la media del grupo “All Bond Universal polimerizado” presenta los mayores valores de “ángulo de contacto” y el grupo control presenta los menores valores de ángulo de contacto.

Tabla N° 5.

Descriptivos			
Sistema Adhesivo			Estadístico
Ángulo de contacto	One Coat Bond Polimerizado	Media	39,3955
		Mediana	37,4350
		Varianza	73,299
		Desv. típ.	8,56148
		Mínimo	26,63
		Máximo	54,92
	Single Bond Universal polimerizado	Media	57,8190
		Mediana	56,9800
		Varianza	75,698
		Desv. típ.	8,70045
		Mínimo	41,81
		Máximo	78,12
	All Bond Universal polimerizado	Media	58,9045
		Mediana	60,2800
		Varianza	46,617
Desv. típ.		6,82770	
Mínimo		40,94	

	Máximo	69,28
Control	Media	37,8698
	Mediana	37,5500
	Varianza	82,935
	Desv. típ.	9,10685
	Mínimo	21,44
	Máximo	59,46

Los datos de esta tabla son representados a continuación en gráficos de cajas y bigotes, y de medias.

Gráfico N°1.

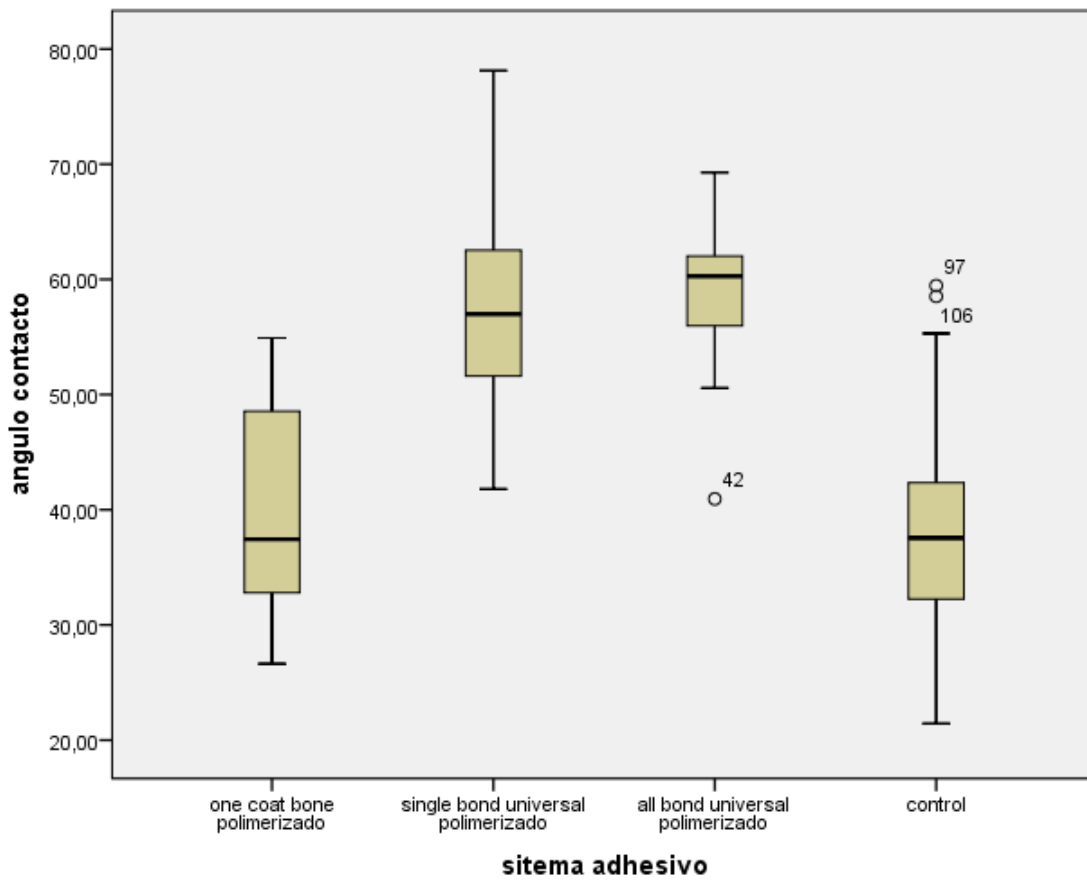
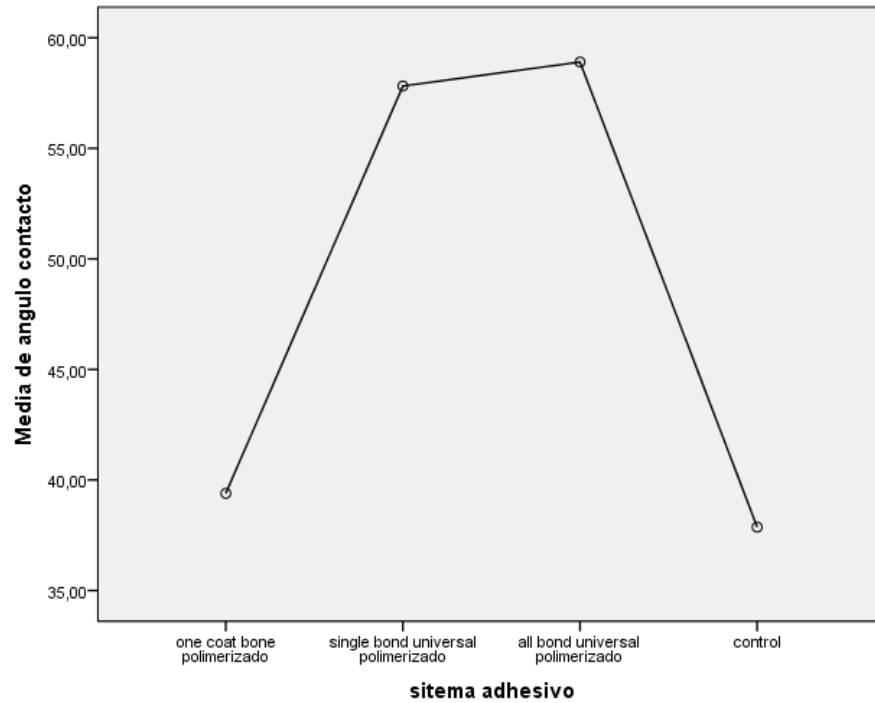


Gráfico N°2



En virtud de la distribución de los resultados obtenidos, como segundo paso se pudo realizar el análisis inferencial, mediante el test ANOVA. Uno de los requisitos para realizar este análisis es que exista distribución normal de los valores de los grupos en estudio, requisito verificado en la primera tabla con el test de Shapiro Wilk.

Otro requisito es que la variable independiente debe ser Nominal. Estas variables son los tres Adhesivos utilizados más el grupo control.

Como último requisito la variable dependiente debe ser numérica, es decir los valores correspondientes al “ángulo de contacto”.

Tabla N° 6

ANOVA de un factor

Ángulo de
contacto

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	10677,115	3	3559,038	48,101	,000
Intra-grupos	8361,017	113	73,991		
Total	19038,132	116			

La tabla N°6 muestra un nivel de significancia de 0,00, valor menor a 0,05, lo que indica que los grupos estudiados presentan diferencias significativas en relación al ángulo de contacto formado, sin embargo no se determina aún entre qué grupos en estudio existe o no dicha diferencia.

Tabla N° 7

Prueba de homogeneidad de varianzas

Ángulo de
contacto

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
,697	3	113	,556

Asumiendo varianzas iguales (determinado con el test de Levene), utilizamos el test “a posteriori de Tukey”.

Tabla N° 8

Comparaciones multiples			
Variable dependiente:		Ángulo de contacto	
(I) Sistema Adhesivo			Sig.
HSD de Tukey	One Coat Bond SL polimerizado	Single Bond Universal polimerizado	,000
		All Bond Universal polimerizado	,000
		Control	,904
	Single Bond Universal polimerizado	One Coat Bond SL polimerizado	,000
		All Bond Universal polimerizado	,978
		Control	,000
	All Bond Universal polimerizado	One Coat Bond SL polimerizado	,000
		Single Bond Universal polimerizado	,978
		Control	,000
	Control	One Coat Bond SL polimerizado	,904
		Single Bond Universal polimerizado	,000
		All Bond Universal polimerizado	,000

En este test a posteriori se cotejan los resultados de cada grupo en estudio y se determina entre cuáles existen o no diferencias significativas de sus valores. De esta forma, todo valor menor a 0,05 indica que existen diferencias significativas entre los grupos contrastados.

Por ejemplo, si observamos el grupo Control, éste presenta diferencias significativas con los grupos “Single Bond Universal polimerizado” y el grupo “All Bond Universal polimerizado”, no así cuando se le compara con el grupo “One Coat Bond SL polimerizado”.

Además, se puede apreciar que, al comparar Single Bond Universal polimerizado y All Bond Universal polimerizado, uno en relación al otro, no existen diferencias significativas, es decir, arrojan resultados similares una vez polimerizados.

Por último, el grupo “One Coat Bond SL” no presenta diferencias significativas cuando es comparado con el grupo Control, no así cuando se le compara con los otros dos sistemas adhesivos (All Bond Universal y Single Bond Universal), tal como se puede observar en la tabla con valores menores a 0,05.

DISCUSIÓN.

De acuerdo a la literatura revisada en este estudio, uno de los factores más importantes involucrados en la longevidad de la articulación adhesiva generada entre material restaurador y estructuras dentarias, es la capacidad del adhesivo utilizado para resistir la hidrólisis mediada por agua. Ésta posee la característica de romper los enlaces éster formados entre los monómeros que se encuentran conformando el entramado polimérico, debilitando progresivamente la unión del adhesivo al diente y comprometiendo tanto sus propiedades mecánicas como el sellado marginal. Sin embargo, el control en clínica de la humedad y del agua residual en los procedimientos adhesivos, es complejo. Es por ello que existe la necesidad de obtener adhesivos que tengan un doble comportamiento, es decir, primero deben ser capaces de ser muy

hidrófilos al momento de ser colocados sobre la dentina para así permitir la completa imprimación de ella, pero luego, una vez polimerizados in situ, deben ser lo más hidrofóbicos posible, a fin de repeler el agua y con ello disminuir la inclusión dentro de su estructura de moléculas de agua libre que pudiesen alterar la química de la capa del adhesivo ya polimerizado.

Es por ello que el objetivo principal del presente estudio fue describir el comportamiento de tres adhesivos diferentes (uno convencional y dos universales) respecto de su grado de humectación durante su aplicación sobre la dentina y de su comportamiento hidrofóbico frente al agua una vez polimerizados, considerando que los cambios en las formulaciones de estos productos, han puesto en cuestionamiento la capacidad de los adhesivos universales de presentar un comportamiento lo suficientemente hidrofóbico como para mantener la integridad de la articulación adhesiva en el tiempo.

Con la metodología utilizada en el presente estudio, se encontraron los siguientes resultados:

- Una vez polimerizados, los sistemas adhesivos Universales All Bond Universal (Bisco) y Single Bond Universal (3M/ESPE), presentaron un mayor comportamiento hidrofóbico comparados con el adhesivo convencional One Coat Bond SL (Coltène).
- Adicionalmente, los adhesivos Universales All Bond Universal (Bisco) y Single Bond Universal (3M/ESPE), mostraron un comportamiento similar, no observándose superioridad de uno respecto del otro.
- El adhesivo convencional One Coat Bond SL (Coltène) obtuvo menor comportamiento hidrofóbico, esto es, el ángulo con que el agua contacta la superficie de este adhesivo polimerizado, es similar al mismo parámetro observado en los controles.

- Previos a ser fotocurados, los adhesivos One Coat Bond SL (Coltène), Single Bond Universal (3M/ESPE) y All Bond Universal (Bisco) no presentaron diferencias en su grado de humectación del sustrato dentario, lo que se observó como la formación de una película con 0° de ángulo de contacto en la totalidad de las muestras tratadas con estos tres Sistemas Adhesivos. Esto implica que los 3 sistemas serían capaces de infiltrar adecuadamente la dentina acondicionada.

Respecto al último punto, estos resultados son congruentes con el efecto que posee el grabado ácido (ácido ortofosfórico al 37% por 10 segundos) sobre la dentina, vale decir, remoción del barro dentinario, apertura de los túbulos dentinarios y aumento de la energía superficial libre del sustrato dentinario, de manera que se potencia la atracción del adhesivo a la superficie gracias a los grupos funcionales hidrófilos de determinados monómeros en su fórmula, lo que mejora sustantivamente el grado de humectación. Esto que explicaría el bajo ángulo de contacto obtenido³³.

El mejor comportamiento hidrofóbico observado en los adhesivos Universales Single Bond Universal (3M/Espe) y All Bond Universal (Bisco) una vez polimerizados es probable de explicar por las diferencias en su formulación química con respecto de One Coat Bond SL (Coltène).

Como se explicó previamente, la composición química de los adhesivos está sujeta a los requerimientos clínicos que ellos deben asumir, como por ejemplo, deben ser capaces de acondicionar tanto esmalte como dentina (en el caso de los sistemas universales), deben ser capaces de mojar la dentina, para así poder imprimarla difundiendo a través de las microporosidades de la malla colágena que quedan posterior al grabado, y polimerizar formando un entramado con ellas. Por otro lado, también deben co-polimerizar con la resina compuesta de restauración y así proveer buena adhesión de ésta a la dentina. Todos estos requerimientos debiesen estar contemplados en la formulación química de los sistemas adhesivos, indistintamente de si su presentación es en una o más botellas. La diferencia está en las pequeñas variaciones en las concentraciones de estos compuestos²⁹.

Tanto All Bond Universal como Single Bond Universal, contienen el monómero Metacriloxietil dihidrógeno fosfato (conocido por sus siglas "MDP"). Éste monómero fue sintetizado originalmente en Japón por la compañía Kuraray y debido a su grupo dihidrógeno fosfato, posee la capacidad de acondicionar el sustrato dentario, no obstante poseer naturaleza hidrofóbica. Esta hidrofobicidad presentada por el MDP se debe a la presencia de una cadena de gran longitud del tipo decilo, que se encuentra separando su extremo polimerizable (grupo metacrililo) del extremo funcional dihidrógeno fosfato. La longitud de esta cadena (10 átomos de carbono) permite mantener el agua alejada del grupo polimerizable, y por ello, debido a su baja afinidad por el agua, sería relativamente resistente a la hidrólisis. Adicionalmente, Yoshida y cols., demostraron la capacidad de esta molécula de formar fuertes enlaces iónicos con el Calcio presente en la Hidroxiapatita de los tejidos mineralizados, lo que actualmente lo posiciona como uno de los monómeros más promisorios pues ha mostrado formar una fuerte unión a los sustratos dentarios. Es posible que estas características presentadas por el monómero MDP, influyan positivamente en el comportamiento hidrofóbico mostrado por los adhesivos All Bond Universal y Single Bond Universal ya polimerizados, en contraste con One Coat Bond SL^{28,29}.

Otras de las diferencias en relación a la formulación de estos adhesivos, es el gran contenido del monómero Hidroxietil metacrilato (o HEMA) en la formulación del adhesivo convencional One Coat Bond SL. Como su ficha técnica afirma, la inclusión en altas cantidades de este monómero es necesaria para poder imprimir óptimamente la malla colágena posterior al grabado ácido. Esto sería posible gracias a la hidrofiliidad de este monómero. Sin embargo, los estudios revelan que HEMA no es hidrolíticamente estable y que cuando se encuentra presente en altas concentraciones, reacciona formando un gel acuoso e inestable, y actuaría facilitando la absorción de agua hacia el interior del polímero^{29,33}.

No obstante, HEMA es uno de los monómeros de uso más frecuente en las formulaciones de los adhesivos de resina, por su comportamiento similar al de un solvente, lo que permite mantener la estabilidad de aquellas soluciones que deben integrar compuestos tanto hidrófilos como hidrófobos²⁹.

HEMA es un monómero de bajo peso molecular que, en su estado sin polimerizar, posee gran solubilidad en agua, alcohol y acetona. Esto puede estar relacionado con una de sus características más importantes: su alta hidrofiliidad, lo que aparte lo convierte en un excelente monómero promotor de la adhesión²⁹.

Sin embargo, la mayor desventaja de HEMA es que, ya sea antes o después de la polimerización, posee el potencial de absorber agua. Este comportamiento hidrófilo se observa incluso cuando se encuentra formando parte de una cadena polimérica, atrayendo y absorbiendo agua. Aparte de presentar esta atracción por el agua, aquellas cadenas poliméricas ricas en HEMA suelen ser más flexibles (el Poli-HEMA en realidad consiste en un polímero lineal muy poroso, es decir, prácticamente un gel). Por lo tanto, los adhesivos con grandes concentraciones de HEMA pueden presentar propiedades mecánicas inferiores^{29,35}.

En un estudio realizado por Nishiyama y cols. el año 2004, se observó que el Poli-HEMA sufría hidrólisis a una semana de estar almacenado a 37° C en soluciones acídicas³⁰. En otro estudio, se observó que los adhesivos ricos en HEMA, bajo condiciones de dentina muy húmeda, formaban dominios del ya mencionado Poli-HEMA, el que actuaba como un gel con múltiples microporos y con gran afinidad por el agua. Evidencia como ésta, orienta respecto a por qué adhesivos ricos en HEMA, tales como One Coat Bond SL, poseerían un comportamiento hidrófilo marcado, aun después de ser polimerizado³¹.

Otro punto de vital importancia es la capacidad del HEMA de disminuir la presión de vapor del agua (y probablemente también del alcohol). De esta forma, grandes concentraciones de HEMA pueden dificultar una completa evaporación de solvente del adhesivo, interfiriendo negativamente con el grado de conversión del polímero^{29,33}.

La tasa de conversión polimérica es otro factor determinante en la degradación hidrolítica de los adhesivos, pues la cantidad de monómero residual sin polimerizar, constituye un rico reservorio de enlaces libres con los cuales el agua se puede enlazar. Además se conoce que la cantidad de monómero residual influye directamente en las propiedades mecánicas del polímero resultante²⁹.

Se debe tener en cuenta que la reacción de polimerización es inhibida por el oxígeno, la presencia de agua y/o cantidades residuales del solvente²⁹.

Una de las características del adhesivo One Coat Bond SL es la presencia de agua como solvente. Sin embargo, por su alto punto de ebullición y su baja presión de vapor, la completa remoción del agua desde este adhesivo es difícil²⁹. Sumado a lo anterior, en un estudio realizado por Pashley y cols., se concluyó que la presencia de algunos monómeros como HEMA, disminuían la presión de vapor del agua aún más, lo que por supuesto dificulta en mayor grado su completa remoción³².

La presión de vapor de un solvente es crítica al momento de asegurar una correcta evaporación de éste posterior a su aplicación. Sin embargo, no siempre es posible lograr una completa remoción del solvente y la presencia de cantidades residuales de éste afectan negativamente el proceso de polimerización del adhesivo, creándose áreas de resina sin polimerizar las que posteriormente repercuten en una mayor permeabilidad de la capa adhesiva y por lo tanto, mayor difusión de agua^{29,35,36}.

Sin embargo, el uso de agua como solvente se justifica por su gran capacidad de formar enlaces de hidrógeno, aunque por lo general deba utilizarse en conjunto con otro solvente orgánico (como alcohol o acetona) pues su rendimiento disminuye cuando se trata de diluir componentes hidrofóbicos (como algunos monómeros a base de metacrilatos, por ejemplo, BisGMA). En los Sistemas Adhesivos del tipo autograbantes, el agua es un componente indispensable pues ioniza los monómeros ácidos, permitiéndoles actuar sobre la dentina. Por otro lado, en los adhesivos del tipo grabado y lavado, el agua es capaz de re-expandir la malla colágena colapsada^{29,36}.

De acuerdo a lo expuesto aquí, es posible explicar los resultados obtenidos para One Coat Bond SL (los que difieren notoriamente con los de Single Bond Universal y All Bond Universal) considerando el comportamiento hidrófilo intrínseco del monómero HEMA, la presencia del agua como solvente, y por la dificultad de lograr una óptima evaporación de ésta debido a la disminución de la presión de vapor del agua cuando ésta se encuentra en presencia de HEMA²⁹.

Contrario a One Coat Bond SL, Single Bond Universal y All Bond Universal poseen alcohol en combinación con agua como solvente^{23.24}.

La mayor presión de vapor del alcohol (cuando se le compara con el agua), permite una mejor evaporación del solvente al secar con aire a presión. El alcohol cuando se combina con agua, forman una mezcla azeotrópica, es decir, en conjunto establecen un nuevo punto de ebullición, diferente al original y por lo general menor. Esto ayudaría a asegurar una mejor evaporación del agua remanente. Podemos hipotetizar que los adhesivos Single Bond Universal y All Bond Universal presentaron un comportamiento más hidrofóbico una vez polimerizados, debido a esta combinación. Esto implicaría una mayor evaporación tanto del alcohol como del agua, lo que sería beneficioso pues se restringiría la cantidad de agua en general y aseguraría un mayor grado de conversión. Este mayor grado de conversión permite la formación de polímeros de mayor peso molecular, obteniéndose como resultado una capa de adhesivo más hidrofóbica²⁹.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a la metodología utilizada en este estudio, y a los resultados obtenidos en él, podemos concluir lo siguiente:

- 1) Una vez polimerizados, existen diferencias significativas en el ángulo de contacto obtenido con los adhesivos Single Bond Universal y All Bond Universal cuando son comparados con One Coat Bond SL.
- 2) No existen diferencias significativas en el ángulo de contacto obtenido cuando se comparan entre ellos los adhesivos All Bond Universal y Single Bond Universal ya polimerizados.
- 3) Los adhesivos Single Bond Universal y All Bond Universal presentan un comportamiento hidrofóbico mayor al presentado por One Coat Bond SL, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula planteada previamente en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Cadenaro M., Antonioli F., Sauro S., y cols. *Degree of conversion and permeability of dental adhesives*. Eur J Oral Sci 2005; 113; 525-530.
2. J. Perdigao. *Dentin bonding-Variabes related to the clinical situation and the substrate treatment*. Dental Materials 26, 2010, e24-e37.
3. M. Cardoso, A. de Almeida Neves, A. Mine y cols. *Current aspects on bonding effectiveness and stability in adhesive dentistry*. Australian Dental Journal 2011; 56: (1 Suppl): 31-44.
4. Y. Liu, L. Tjäderhane, L. Breschi y cols. *Limitations in Bonding to Dentin and Experimental Strategies to Prevent Bond Degradation*. Journal of Dental Research, 2011; 90(8): 953-968.
5. L Breschi, A. Mazzoni, A. Ruggeri y cols. *Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface*. Dental Materials 24, 2008, 90-101.
6. M. Peumans, P. Kanumilli, J. De Munck y cols. *Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematics review of current clinical trials, 2005*. Dental Materials (2005) 21, 864-881.
7. Ito S., Tay F.R., Hashimoto M. y cols. *Effects of multiple coatings of two all-in-one adhesives on dentin bonding*. J Adhes Dent 2005; 7: 133-141.
8. M. Silva, K. Carneiro, M. Lobato y cols. *Adhesive systems: important aspects to their composition and clinical use, 2010*. J Appl Oral Sci; 18(3):207-214.
9. M. Bader, I. Yévenes, S. Monsalves y cols. *Estudio comparativo in vitro del ph de los sistemas adhesivos autograbantes presentes en el mercado nacional*. Revista Dental de Chile, 2012; 103(2) 14-22.
10. N.B. Cramer, J.W. Stansbury, C.N. Bowman. *Recent Advances and Developments in Composite Dental Restorative Materials*. Journal of Dental Research, 2011; 90(4): 402-416.
11. Levin L., Coval M., Geiger SB. *Cross-sectional radiographic survey of amalgam and resin based composite posterior restorations*. Quin Int 2007; 38: 511-514.

12. L. Bertassoni, J. Orgel, O. Antipova y cols. *The dentin organic matrix- limitations of restorative dentistry hidden on the nanometer scale*. Acta Biomaterialia 8, 2012; 2419-2433.
13. Gabriel Nima Bermejo. *Fuerza de adhesión In Vitro de cinco sistemas adhesivos y un cemento autograbadador-autoadhesivo sobre la dentina del canal radicular y coronal superficial*. Tesis para Obtener el Título Profesional de Cirujano Dentista, 2006. Facultad de Odontología, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
14. A. Buch, D. Choksi, B. Idnani y cols. *Current Concepts in Dental Adhesion: A Review*. Journal of Dental Science, 2010 Volumen 3, tomo 1, p.21-25.
15. P. Spencer, Q. Ye, J. Park y cols. *Adhesive/Dentin Interface: The Weak Link in Composite Restoration*, Author Manuscript, 2010. Ann Biomed Eng; 38(6): 1989-2003.
16. Hashimoto M., Ohno H., Sano H. y cols. *Micromorphological changes in resin-dentin bonds after 1 year of water storage*. J Biomed Mater Res 2002; 63:306-311.
17. Pashley D., Tay F., Hashimoto M, Breschi L. y cols, *Collagen degradation by host-derived enzymes during aging*. J Dent Res 2004; 83 216-21.
18. Tay F.R, Pashley D.H. *Water treeing-a potential mechanism for degradation of dentin adhesives*. Am J Dent 2002; 4: 255-269.
19. Muñoz M., Luque I., Hass V., Reis A. y cols. *Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine*. Journal of Dentistry 2013. 41: 404-411.
20. Byoung I. Suh. *Universal Adhesives: The evolution continues for the ideal Adhesive*. Bisdent Globe, May 2014, volume XVIII, issue IX, p.1-3.
21. F. Tay, D. Pashley, B. Suh y cols. *Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part I. Bond strength and morphologic evidence*. Am J Dent 2004 Aug; 17(4):271-278.
22. Single Bond Universal® Adhesivo de Resina Universal. Ficha Técnica. 3M.
23. All Bond Universal® Light-Cured Dental Adhesive. Instructions for Use. Bisco, Inc. IN-193R3. Rev. 7/13.
24. One Coat Bond SL® Universal light-curing dental adhesive. Instructions for use. Coltène Whaledent. Date of Issue: November 2010.

25. Pashley E.L., Agee K.A., Pashley D.H. y cols. *Effect of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding*. J Dent 2002; 30: 83-90.
26. Y. Yuan, T. Randall Lee. *Contact Angle and Wetting Properties*. Surface Science Techniques. Springer Series in Surface Sciences 51. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.
27. Francisca F.M. *Desplazamiento de fluidos no miscibles en medios porosos: remediación de suelos contaminados*. XVII Congreso argentino de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica. Octubre 20 al 23, 2004, Córdoba, Argentina.
28. M. Ozcan, H. Nijhuis, L. Valandro. *Effect of various Surface conditioning methods on the adhesion of dual-cure resin cement with MDP Functional Monomer to Zirconia after thermal aging*. Dental Materials 2008, 27(1): 99-104.
29. K. Van Landuyt, J. Snauwaert, J. De Munck, M. Peumans, Y. Yoshida, A. Poitevin y cols. *Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives*. Journal of Biomaterials 2007, 28: 3757-3785.
30. Nishiyama N., Suzuki K., Yoshida H., Teshina H., Nemoto K. *Hydrolytic stability of methacrylamide in acidic aqueous solution*. Journal of Biomaterials 2004, 25(6): 965-969.
31. Patel M, Johnstone M., Hughes F., Braden M. *The effect of two hydrophilic monomers on the water uptake of a heterocyclic methacrylate system*. Journal of Biomaterials, 22 (1): 81-86.
32. Pashley E., Zhang Y., Lockwood P., Rueggeberg F., Pashley D. *Effects of HEMA on water evaporation from water-HEMA mixtures*. Dental Materials 1998, 14(1): 6-10.
33. M. de Goes, M. Coelho., S. Consani., M da Silva. *Morphological effect of the type, concentration and etching time of acid solutions on enamel and dentin surfaces*. Brazilian Dental Journal 1998, 9 (1): 3-10.
34. Schwartz R., Summit J., Robbins J. *“Operative Dentistry: a contemporary approach”*, 2001.

35. K. Felizardo, L. Lemos, R. Carvalho, A. Junior, M. Lopes, S. Moura. "Bond Strength of HEMA containing versus HEMA free self-etch adhesive systems to dentin". Brazilian Dental Journal, 2011, 22(6): 468-472.
36. N. Mozner, U. Salz, J. Zimmermann. "Chemical Aspects of self-etching enamel-dentin adhesives: a systematic review". Dental Materials, 2005, 21: 895-910.
37. Gary Alex, "Universal Adhesives: The next evolution in adhesive Dentistry?". Compendium of Continuing Education in Dentistry, Enero de 2015.