



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE GRADUADOS

ODONTOLOGÍA REHABILITADORA ESTÉTICA



Adhesión en odontología restauradora modificación del esmalte superficial

Alumno: Dr. David tapia Bustos

Docente Guia: Dr. Jaime Sarmiento

Especialidad Odontología Rehabilitadora Estética

2011

INTRODUCCIÓN

La técnica adhesiva es una parte esencial de la odontología restauradora y uno de los procedimientos más habituales del trabajo que desempeña el odontólogo a diario. La adecuada aplicación de esta técnica abre las puertas a muchos abordajes terapéuticos, que buscan principalmente una pérdida mínima de tejidos dentales necesarios para la retención de las restauraciones (Blunck, 2008), ya sea por retenciones micromecánicas, uniones químicas covalentes, etc.

La evolución de los materiales adhesivos y las diversas técnicas utilizadas para posicionar las restauraciones (directas e indirectas) sobre los tejidos dentarios duros, como el esmalte, ha producido un sinnúmero de cambios en el área restauradora a través de los años. La adhesión ha debido buscar diversas alternativas, como el tratamiento y limpieza de superficies, para poder abarcar todas estructuras naturales (esmalte, dentina) y artificiales (metálicas, cerámicas, poliméricas), que están involucradas en éste tipo de técnicas de unión (Fig. 1) (Henostroza y cols, 2003a). Nuevas formas de preparaciones dentarias, diferentes protocolos adhesivos, nuevos enfoques restauradores estéticos, etc., se cuentan también dentro de estos cambios. Es importante entender que la base del concepto de adhesión a esmalte está fuertemente influenciado por el desarrollo de los sistemas adhesivos (Carpena y cols, 2007). Sin embargo, todos los sistemas adhesivos que están disponibles en el mercado se deben considerar relativamente sensibles a la técnica. Sólo con su aplicación correcta, en la cual debe participar todo el equipo clínico (odontólogo – paramédico dental), se puede garantizar el éxito de la técnica adhesiva. Es necesario conocer con exactitud los requisitos que se deben cumplir para su aplicación e identificar las fases de trabajo en las que se pueden producir fallos, para evitarlos (Blunck, 2008).

A pesar de que la técnica de grabado ácido es considerada como el procedimiento más popular en la odontología actual, existen variados elementos que requieren una atención especial debido a la importancia que puedan tener en diversas situaciones clínicas (Carpena y cols, 2007), ya que la adhesión de las resinas compuestas dentales al esmalte no depende solamente del grabado ácido, también debemos tener en cuenta otros factores, tales como los diversos contaminantes que están o se pueden ubicar sobre el esmalte, produciendo que la superficie sobre la cual vamos a trabajar sea menos reactiva a la unión de estos materiales. La contaminación de la superficie del esmalte puede ocurrir en diferentes momentos críticos del procedimiento de adhesión: después de la superficie del diente ha sido grabada, después de que el adhesivo ha sido aplicado, o después de ambos procedimientos (Sfondrini y cols, 2011). Generalmente la contaminación de superficies involucradas en la adhesión nos lleva a obtener menores fuerzas de unión, que nos llevan al completo fracasos de las restauraciones adhesivas en el tiempo. Algunas técnicas, como el pulido de la superficie del esmalte, puede influir sobre la fuerza de adhesión de las resinas al esmalte superficial (Sol-Segarra y cols., 2005).

Dentro de esta revisión bibliográfica, analizaremos el esmalte superficial y los factores que lo modifican. Junto con ello, revisaremos algunos de los contaminantes superficiales más comunes del esmalte, y como poder manejarlos, para obtener fuerzas adhesivas óptimas en el tiempo. También repasaremos la técnica correcta de aplicación de sellantes y algunas consideraciones adhesivas para el manejo clínico de otros aparatos superficiales.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Investigar y conocer algunos factores que modifican las condiciones adhesivas superficiales del esmalte, y como poder manejarlos, para lograr fuerzas adhesivas óptimas, según el tipo de acondicionamiento y/o preacondicionamiento realizado.

Objetivos específicos

- Analizar la estructura superficial del esmalte
- Verificar algunas alternativas de limpieza superficial del esmalte
- Evaluar y examinar que sustancias acondicionadoras adhesivas nos otorgan fuerzas de unión suficientes, para mantener en posición materiales resinosos fotopolimerizables según su indicación (sellantes, brackets ortodoncia, etc.)
- Verificar la técnica clínica de aplicación de sellantes superficiales oclusales

MARCO TEÓRICO: ADHESIÓN, UN LARGO CAMINO

Los experimentos acerca de la unión de resinas acrílicas al esmalte y dentina comenzaron a principios de 1950, en Inglaterra, con el Dr. Oskar Hagger. Él desarrolló un monómero basado en ácido glicerofosfórico dimetacrilato que era curado químicamente con ácido sulfínico. Su trabajo condujo al desarrollo de Sevitron, conocido en un principio como un “adhesivo”. En los EE.UU., el Dr. Michael Buonocore hizo el segundo, y más importante, avance en la odontología adhesiva (Chain y Baratieri, 2001; Henostroza y cols, 2003a; Eliades y cols, 2005a; Başaran y Veli, 2011). El Dr. Michael G. Buonocore, en 1955, revolucionó a la odontología restauradora con su artículo histórico llamado “un simple método para aumentar la adhesión de materiales de relleno acrílico a superficies de esmalte”, mencionando la ventaja del grabado y adhesión del acrílico al esmalte, cambiando para siempre la odontología (Rossou, 2010). Su aporte consistió básicamente en observar y tratar de homologar la técnica de acondicionamiento de superficies utilizada en la pintura industrial a la odontología restauradora. En la pintura industrial, las superficies a ser pintadas se acondicionan con ácido fosfórico, con la finalidad de mejorar la capacidad de adhesión de las pinturas acrílicas y similares, junto con promover la remoción de contaminantes de la superficie del metal (Rossou, 2010). En odontología, Buonocore observó que la saliva y un sinnúmero de iones afectaban la superficie del esmalte superficial, haciéndolo diferente del esmalte subyacente, provocando que la receptividad del esmalte externo, para recibir una resina acrílica sobre él, se perdiera. Buonocore sugirió el tratamiento ácido de la superficie del esmalte, de forma similar a la utilizada en la pintura industrial, ya que creía que por esta técnica el esmalte sería más receptivo (adhesivamente hablando) a los materiales restauradores, de la misma forma que lo era el metal para las pinturas. En su investigación, el Dr. Buonocore utilizó ácido fosfórico al 85% por 30 segundos sobre la superficie del esmalte para acondicionarlo (Chain y Baratieri, 2001; Henostroza y cols, 2003a; Rossou, 2010; Başaran y Veli, 2011). Luego, lavo la superficie con abundantemente agua, y finalmente, ubico las muestras acrílicas sobre las superficies de esmalte tratadas y no tratadas. Las muestras grabadas se mantuvieron adheridas por 1070 horas, mientras que las del grupo control, sólo duraron 11 horas adheridas. Además, para remover las muestras ubicadas sobre las superficies de esmalte grabadas se necesitó más fuerza que las ubicadas sobre superficies de esmalte no tratadas (Lanata y cols., 2008). Por lo que concluyó que el grabado ácido era efectivo en la retención de agentes resinosos de restauración. En ese momento nacía la odontología adhesiva (Eliades y cols, 2005a; Lanata y cols., 2008, Lin y cols, 2010).

En estudios posteriores, el mismo Buonocore (Gwinnett y Buonocore, 1965; Buonocore y col., 1968) demostró que la creación de áreas microscópicas retentivas en el esmalte permitían al agente de unión difundir, humectar y fijarse a las superficies tratadas, para generar una zona retentiva entre el esmalte y la resina restauradora (Lanata y cols., 2008). La zona retentiva debía resistir las tensiones generadas por el cambio de estado del material restaurador al polimerizar, así como las inducidas por las cargas mecánicas y térmicas durante la vida útil de la restauración. Estos primeros sistemas de unión fueron sustituidos posteriormente por los adhesivos a esmalte y dentina actuales.

La historia de la adhesión continuó con Rafael Bowen, en 1962, quién patentó la molécula de Bowen, marcando el inicio propiamente tal de los materiales poliméricos; posteriormente

Brannstrom, en 1970, describió el smear layer y smear plug; luego, Fusayama, en 1980, preconizó por primera vez el grabado ácido de la dentina y finalmente Nakabayashi, en 1982, después de acondicionar la dentina con una solución llamada 10-3 (10% de ácido cítrico y 3% de cloruro férrico) y aplicar un adhesivo basado en 4 META/MMA-TBB-O sobre ella, observó una capa de 3-6 μm que se formó sobre la superficie, la cual describió por primera vez como “capa híbrida” (Henostroza y cols, 2003a).

Todo lo anterior, sumado a la aparición de nuevos sistemas adhesivos y soluciones acondicionadoras para aumentar las fuerzas adhesivas a esmalte (Henostroza y cols, 2003a), han llevado a la odontología adhesiva a niveles nunca antes imaginados.

EL ESMALTE

El esmalte humano es un tejido microcristalino, microporoso, acelular, avascular y aneuronal (Henostroza y cols., 2003b), que cubre toda la corona anatómica externa del diente, siendo más espeso sobre las cúspides y más fino en la base de las fosas, fisuras y en la región cervical de la corona dentaria (Chain y Baratieri, 2001). Este tejido hipermineralizado de extrema dureza, presenta como característica el no poseer capacidad o poder regenerativo, siendo afectado por la desmineralización ácida (caries, erosiones y acondicionamiento ácido), por el stress oclusal (abfracciones), por la acción de pastas y sustancias abrasivas (abrasiones) y por traumatismos (fracturas). Si bien pueden producirse fenómenos de remineralización sobre el esmalte, nunca se suceden reconstituciones de tipo regenerativas sobre él, como sucede en otros tejidos del organismo (Henostroza y cols., 2003b).

Su contenido mineral-inorgánico (96% en peso) (Chain y Baratieri, 2001; Henostroza y cols., 2003b; Miyashita, 2005; Carpena y cols, 2007; Lanata y cols., 2008; Øgaard y Fjel, 2010) está representado básicamente por la hidroxiapatita que se encuentra en la forma de cristales dispuestos de manera muy organizada con características de bastones o barras, constituyendo unidades estructurales denominadas prismas (componente básico microscópico del esmalte) (Miyashita, 2005; Øgaard y Fjel, 2010). Los prismas varían en tamaño de 4 a 7 μm de longitud y se originan cerca de la unión amelodentinaria, siguiendo un curso tortuoso en los 2/3 más internos de su estructura antes de alinearse paralelamente en su tercio más externo (Chain y Baratieri, 2001) (Miyashita, 2005). Los prismas y las varillas adamantinas siguen una dirección perpendicular a la superficie externa del diente, sin embargo observaron que en la zona cervical de los dientes permanentes no siempre terminan en 90° con la superficie, sino que pueden adoptar una dirección aproximadamente horizontal (Henostroza y cols., 2003b).

El esmalte, según su profundidad y organización del contenido mineral, puede ser un tejido de tipo aprismático (superficial) o de tipo prismático (subsuperficial). En el esmalte prismático, los cristales de hidroxiapatita están densamente agrupados y ordenados en tres direcciones. Con esta disposición, los prismas largos (con un diámetro de unos 5 μm) se extienden desde la unión amelo-dentinaria hasta cerca de las regiones ultra periféricas superficie del esmalte (Figura 2). Los prismas mantienen su integridad y soporte debido a su disposición transversal, morfología irregular, y la superposición de patrones. En el momento de la instrumentación del

esmalte, los prismas son expuestos en varios planos de acuerdo a su dirección (Figura 3) (Mount y Hume, 1999) (Carpena y cols, 2007).

Es importante resaltar que no todos los prismas alcanzan la superficie, existiendo una zona homogénea, libre de prismas, llamada “zona de esmalte aprismático”. El esmalte aprismático, posee un espesor de 4 a 5 μm aproximadamente en dientes permanentes y de 5 – 7 μm en los dientes deciduos (Miyashita, 2005). Las regiones más comunes de ocurrencia de este esmalte aprismático son las coronas de deciduos y las fosas, fisuras y regiones cervicales de la dentición permanente (Chain y Baratieri, 2001). En la zona prismática-subsuperficial, específicamente en la región periférica los prismas, encontramos otra porción denominada de región interprismática, complementando la estructura cristalina característica del esmalte. Lo que diferencia esas dos regiones (prismática e interprismática) es simplemente la orientación y disposición de los cristales de hidroxiapatita. Mientras en la región de los prismas los cristales buscan seguir su largo eje, en la región interprismática existe una inclinación progresiva de esos cristales hasta encontrarse con otros cristales de otros prismas, formando una especie de depresión denominada vaina. Esas diferentes orientaciones de los cristales permiten, durante el acondicionamiento ácido del esmalte, la formación de salientes y depresiones que facilitan la microretención de los sistemas adhesivos (Miyashita, 2005).

La matriz orgánica está representada por menos del 1% en peso del esmalte (Chain y Baratieri, 2001; Henostroza y cols., 2003b; Miyashita, 2005; Carpena y cols, 2007; Lanata y cols., 2008; Øgaard y Fjel, 2010).. Además, la porción orgánica del esmalte es básicamente de naturaleza proteica, pero no de origen colágena, lo que la distingue de otros tejidos mineralizados que normalmente son de naturaleza conjuntiva (Chain y Baratieri, 2001). Entre esas proteínas se destacan las amelogeninas y las no-amelogeninas, que pueden ser representadas por las enamelinas y las glicoproteínas (Miyashita, 2005).

El agua también está presente en el esmalte. Se encuentra principalmente asociada a la matriz orgánica, componiendo un 4% del peso (Chain y Baratieri, 2001; Henostroza y cols., 2003b; Miyashita, 2005; Carpena y cols, 2007; Lanata y cols., 2008; Øgaard y Fjel, 2010) del tejido total del esmalte. El componente acuoso es la capa de hidratación de esmalte alrededor de cada cristal de apatita o en los poros entre los prismas (Carpena y cols, 2007).

Después de la erupción dentaria, hay un proceso de maduración del esmalte que lo hace más resistente a la desmineralización. Esta maduración consiste en la deposición mineral por vía líquida-oral en los espacios interprismáticos que antes se encontraban rellenos de agua (Carpena y cols, 2007). Diversos procesos enzimáticos hidrolíticos y proteolíticos llevarán posteriormente a la mineralización del tejido, degradando la matriz de amelogeninas y enamelinas y posibilitando la reducción del contenido orgánico y la incorporación de hidroxiapatita, lo que da origen a la etapa de modelado friccional interprismático adamantino, donde el esmalte adquiere su estructura histológica definitiva (Henostroza y cols., 2003b).

Finalmente, podemos decir que el esmalte humano responde de diversas formas frente a la desmineralización y/o remineralización, dependiendo de la edad y de los factores relacionados principalmente a la saliva y la dieta (Carpena y cols, 2007).

ADHESIÓN A ESMALTE

Para poder comprender las bases de las diferentes técnicas adhesivas, los factores y los diferentes contaminantes que las influyen, primero debemos entender algunos conceptos. Dentro de estos conceptos, se encuentra la adhesión. La adhesión se puede definir como cualquier mecanismo que permite que 2 superficies se mantengan en contacto (Miyashita, 2005). En estricto rigor, la adhesión se define como la capacidad de átomos y moléculas de diferente naturaleza de permanecer unidos unos con otros (Marshall y cols, 2010). Es importante diferenciarla de la cohesión, la cual se define como la capacidad de las moléculas y átomos de un mismo cuerpo de permanecer unidos. En odontología, estas superficies pueden ser muy variadas, por ejemplo: esmalte, dentina, composite, cerámica, metal, ionómero de vidrio, etc (Marshall y cols, 2010). En el caso de las restauraciones dentales, la importancia de la adhesión radica en mantener la integridad y el contacto íntimo de las superficies a adherir. Después del acercamiento de dos sustratos a adherir, quedan algunos puntos de contacto y/o espacios libres. Para rellenar esos espacios y promover una mejor adhesión, se utilizan sustancias capaces de mantener unidos los materiales a través de conexiones superficiales: los sistemas adhesivos y/o cementos (Miyashita, 2005). Este intermediario ayuda a mantener las superficies involucradas en íntimo contacto y la interface adhesiva íntegra. Al mantener su integridad, la interface evita el paso de diversas sustancias al interior del diente (microorganismos, iones, etc.), consiguiendo de manera efectiva el sellado marginal. La integridad adhesiva permite al conjunto diente-restauración funcionar como una unidad, casi como un diente sano (Marshall y cols, 2010).

La adhesión puede ser de tipo mecánica/física y/o de tipo química. La de tipo mecánica se obtiene exclusivamente por traba mecánica. Se basa en las características morfológicas de las partes (trabazón) y puede ser a nivel macromecánica (socavados) y micromecánica (se diferencia con la anterior sólo en el tamaño de las partes; se obtiene por medio de efectos geométricos: rugosidades y por efectos de tipo reológicos: un semisólido o semilíquido, por expansión o contracción, se adhiere físicamente a una superficie). En la adhesión de tipo química se generan fuerzas y/o interacciones a nivel atómico o molecular, basada en uniones primarias (químicas: iónicas, covalentes y metálicas) y secundarias (puentes de hidrógeno y dipolos oscilatorios). Lo ideal es que se produzcan uniones primarias. Solamente las retenciones micromecánicas y las químicas producen verdadera adhesión, sumado a una perfecta adaptación entre ambas superficies adherentes (Marshall y cols, 2010).

Las superficies involucradas necesitan tener ciertos requisitos para promover una correcta adhesión. Uno de esos requisitos es tener una alta energía superficial para que atraiga al líquido y este escurra sobre la superficie humectable. Para ello es necesario que la superficie esté acondicionada (unión micromecánica) y limpia (unión química) antes de la adhesión (Marshall y cols, 2010). Las condiciones que presenta el esmalte como superficie adhesiva son: baja energía superficial, con ausencia de limpieza. Otros tejidos, como la dentina, presentan características particulares como la presencia de túbulos dentinarios con contenido acuoso en su interior, lo que obliga a realizar la adhesión en condiciones de humedad.

Cabe destacar que la adhesión o fuerza adhesiva conseguida en esmalte es superior a la alcanzada en dentina (Toril, Y. y cols., 2002)

LIMPIEZA Y TRATAMIENTO PREVIO DE LA SUPERFICIE DENTAL

Para que no se produzcan fallas adhesivas es necesario que el esmalte tenga una energía superficial alta. Además, la sustancia acondicionadora y la resina adhesiva deben tener una alta humectabilidad. En circunstancias normales, el esmalte tiene una energía superficial baja, lo que ayuda a preservar su integridad estructural e impide la adherencia bacteriana superficial (Herrera, 2005). Por lo tanto, para obtener una correcta adhesión al tejido duro dental, se debe generar una adecuada rugosidad sobre la superficie del esmalte por medio de un acondicionamiento previo específico (Blunck, 2008). Sin embargo, previo a este proceso de acondicionamiento de superficie, idealmente se debe realizar la remoción de restos superficiales de detritus, bacterias, etc. que se encuentran sobre el diente, ya sea por medio de una profilaxis dental u otro método alternativo.

Limpieza del esmalte

Generalmente, un sinnúmero de depósitos orgánicos cubren la superficie del esmalte como una cutícula y/o película superficial. Los investigadores han descubierto ciertamente que estos restos podrían interferir con el proceso de grabado, resultando en una baja adhesión (Eliades y cols, 2005b; Carpena y cols, 2007). La limpieza del esmalte antes del grabado ácido se recomienda para lograr una superficie de unión favorable. Por lo tanto, la eliminación de restos contaminantes superficiales del esmalte es un procedimiento necesario para la aplicación de sellantes sobre áreas del esmalte íntegro (Eliades y cols, 2005b).

Dos procedimientos diferentes se han introducido para la limpieza del esmalte; el primero consiste en retirar los depósitos por medio de un pulido/limpieza del esmalte, y el segundo consiste en realizar un ligero desgaste que conduce a la eliminación del esmalte superficial.

Limpieza con piedra pómez

Generalmente, la limpieza de la superficie del esmalte con piedra pómez antes de ser acondicionado, se ha considerado un requisito previo para la obtención de una fuerza de adhesión óptima. El fundamento detrás de esta limpieza es que el material orgánico como el biofilm y la película adquirida puede inhibir y/o interferir el grabado óptimo del esmalte (Øgaard y Fjel, 2010). El uso de piedra pómez se realiza en conjunto con instrumentos rotatorios como las copas de goma o escobillas profilácticas. Por lo general, la limpieza con piedra pómez resulta en una pérdida de esmalte de 5-14 μm , dependiendo del tiempo y el tipo de instrumento utilizado para realizar esta limpieza (Øgaard y Fjel, 2010). Hosein y cols. utilizando una cepilladora Sulfometer (Middlesex, Reino Unido), estimaron la pérdida de esmalte superficial con piedra pómez entre 1,07-3,78 μm . Un cepillo elimina más tejido que una copa de goma, 14.38 y 6.90 μm , respectivamente. Sin embargo, ambos procedimientos inducen arañazos o rayas en la superficie (Øgaard y Fjel, 2010).

La ventaja de la limpieza con piedra pómez sobre la superficie del esmalte, antes de acondicionamiento ácido, ha sido cuestionada en la adhesión ortodóncica, ya que se han obtenido fuerzas adhesivas similares sin este procedimiento previo (Øgaard y Fjel, 2010). Debido a que la mayoría de las fallas de desalajo de brackets ocurren en la interface adhesivo-bracket y no que en la interface esmalte-adhesivo, la limpieza con piedra pómez parece ser un paso innecesario en la adhesión a una superficie limpia. Sin embargo, evitar esta limpieza previa con piedra pómez utilizando algunos primers de autograbado, puede aumentar la tasa de fallas de adherencia significativamente, pero la razón de esto no está totalmente clara. La placa y los residuos deben ser removidos de manera que no queden atrapados en el material adhesivo. La limpieza de la superficie del esmalte podría ser simplemente alcanzada con el cepillado adecuado por parte del paciente (superficies lisas), pero en fosas y fisuras se sigue una profilaxis con escobillas u otro medio mecánico de limpieza (Øgaard y Fjel, 2010).

El uso de pastas de profilaxis con flúor no aumenta significativamente la resistencia de la unión adhesiva ni influye significativamente en el aumento de la concentración de fluoruro en el esmalte, y por lo tanto no posee un efecto cariostático efectivo (Øgaard y Fjel, 2010). La limpieza con chorro de arena ha sido sugerida como una alternativa al uso de piedra pómez (Øgaard y Fjel, 2010).

Desgaste superficial del esmalte

El desgaste de la superficie del esmalte con piedras de diamantes de grano fino o discos de pulido producen la eliminación de la capa más externa de prismas del esmalte, lo que resulta en la exposición de los prismas subyacentes y en un patrón de grabado profundo uniforme. Sin embargo, Fuks y cols. encontraron patrones de grabado irregulares con suaves áreas dispersas después de desgastar el esmalte con partículas finas de carburo de silicio. Este último hallazgo puede implicar desigualdad de desgaste o incompleta eliminación del esmalte aprismático (Eliades y cols., 2005b).

En un principio, pocos investigadores comprendían que sobre las superficies de dientes fresados se formaba una capa de barrillo (smear layer). Estas capas adherentes de residuos, producto del fresado del esmalte, etc., producía el enmascaramiento del tejido prismático subyacente. Además, esta capa no se eliminaba por medio del lavado del spray aire/agua. Los primeros adhesivos eran relativamente hidrofóbicos y no podían penetrar a través de estos smear layers. Independiente de esto, se realizaron estudios sobre el smear layer de esmalte y se descubrió que interferían en la adhesión superficial, generando una resistencia adhesiva de 5MPa. Lo que en realidad representaban esos 5 MPa era la medida de fuerza cohesiva de las capas del smear layer fracturadas. Una mínima o nula penetración adhesiva sobre la superficie del esmalte se pudo identificar, incluso cuando adhesivos hidrofílicos contemporáneos fueron utilizados (Eliades y cols., 2005a).

En resumen, la limpieza con un cepillo para profilaxis (rotatorio) sin pasta se recomienda generalmente para la limpieza del esmalte, previo al procedimiento de grabado. Este procedimiento proporciona una limpieza en combinación con la seguridad del esmalte. El fresado del esmalte exterior por varios medios debe ser evitado (Eliades y cols., 2005b).

TRATAMIENTO DE SUPERFICIES Y ACONDICIONAMIENTO DEL ESMALTE

Grabado convencional del esmalte con ácido fosfórico

El procedimiento clínico de grabado ácido del esmalte con ácido fosfórico, antes de la colocación de algún material resinoso sobre la estructura externa del diente, sigue siendo el procedimiento más utilizado actualmente para el acondicionamiento del esmalte (Eliades y cols, 2005b).

La superficie micro-retentiva sobre el esmalte aparece gracias a la disolución de los cristales de hidroxiapatita provocada por ácidos (Miyashita, 2005). Los ácidos que se utilizan generalmente con dicho propósito son productos como el ácido fosfórico, de eficacia demostrada desde hace muchos años, o soluciones de monómeros ácidos, que en un principio se utilizaban solo para la dentina (técnica de autograbado dentario) (Blunck, 2008). El grabado convencional del esmalte se realiza aplicando un gel de ácido fosfórico en una concentración entre el 30% y el 40% (Miyashita, 2005; Øgaard y Fjel, 2010) que, tras dejarlo actuar durante un tiempo determinado, se elimina de la superficie mediante lavado con spray de agua/aire (Blunck, 2008; Borges y cols., 2009). El principio de grabar el esmalte se basa en la disociación del ácido grabador, que forma radicales ácido, los cuales atacan la hidroxiapatita, provocando la salida de iones de calcio y de fósforo de ella. Todo esto resulta en la creación de zonas microporosas con una profundidad entre los 5 y 50 μm (Lanata y cols., 2008). En el esmalte no preparado, como en casos de sellado de fosas y fisuras, conviene prolongar el tiempo de grabado hasta los 60 segundos a fin de obtener un patrón de grabado retentivo y seguro, sin embargo, esto actualmente es relativo (Rossou, 2010). Después de lavar la superficie dental para eliminar el ácido fosfórico y secarla con aire, se puede apreciar el patrón de grabado retentivo como una superficie de esmalte opaca (Figura 4) (Blunck, 2008). El grabado ácido con ácido ortofosfórico remueve irreversiblemente varios micrones de la superficie del esmalte, aunque no es una pérdida en profundidad uniforme, además remueve parte de la capa superficial rica en flúor (Øgaard y Fjel, 2010). Mediante el grabado con ácido fosfórico se aumenta tanto la energía superficial como la humectación del esmalte (Blunck, 2008). La utilización de productos en concentraciones por debajo del 27%, pueden causar la formación de un precipitado de fosfato dicalcio dihidrato, poco soluble en agua, que permanecería depositado sobre la superficie, dificultando el proceso adhesivo. Así mismo, las concentraciones sobre el 40% pueden formar un precipitado de fosfato monocalcio monohidrato que, aunque soluble en agua, genera un modelo de acondicionamiento inferior. La utilización de concentraciones por sobre o bajo el 30-40% lleva a la formación de tags resinosos menores, aunque eso no necesariamente conduzca a pérdidas en los valores de resistencia adhesiva (Miyashita, 2005).

Dentro de la técnica adhesiva de grabado total, el tiempo de grabado se considera una variable importante para el procedimiento de grabado. En la década de 1970, amplios tiempos de grabado de hasta 120 segundos se sugirieron como un intento de remover el esmalte aprismático, sin embargo, cuanto mayor sea el tiempo de grabado, mayor es la posibilidad de sobregrabar y de contaminar con saliva, especialmente en niños pequeños, la superficie adhesiva. Además, en la actualidad, se ha demostrado que tiempos de grabado más cortos aumentan el índice de prismas de esmalte grabados (Eliades y cols, 2005b).

Como se mencionó anteriormente, el grabado ácido mejora la topografía del esmalte superficial, cambiando de una superficie de mínima reacción adhesiva (Figura 5) a una superficie que es altamente susceptible a la adhesión (Figura 6 y 7). La desmineralización del esmalte es selectiva por la disposición morfológica de los prismas. La diferencia de angulación de los cristales prismáticos hace que el ácido tenga un potencial de desmineralización mayor en ciertas microrregiones (Miyashita, 2005; Carpena y cols, 2007). Dependiendo de la angulación de los prismas, de la concentración del ácido y del tiempo de grabado, el acondicionamiento ácido del esmalte puede proporcionar diferentes modelos de morfología. Si la desmineralización es mayor en la cabeza del prisma (Figura 6) o en el periferia del mismo (Figura 7), se producen diferentes patrones de grabado, el patrón Tipo I (retira el núcleo de los prismas y mantiene los cristales de la periferia), y Tipo II (retira los cristales de la periferia y mantiene el centro de los prismas), respectivamente. Esta característica es importante en la comprensión de los fundamentos de adhesión a pesar de que no es clínicamente relevante (Carpena y cols, 2007). El patrón de grabado Tipo 3 corresponde a una mezcla de los dos tipos anteriores. (Henostroza y cols, 2003^a; Mitic y cols., 2005; Lanata y cols., 2008).

Los patrones de desmineralización Tipo I y II, generan en el tejido adamantino microporos y microsurcos capilares que miden entre 10 a 25 μm de profundidad, con una amplitud de 1.5 a 3.5 μm (Henostroza y cols., 2003b). Ambos patrones de acondicionamiento pueden estar presentes en un mismo diente y en una misma zona, ya sea separadamente o en conjunción, siendo este fenómeno clínicamente arbitrario y no dependiendo de la forma en que el operador aplique el agente acondicionador, sino debido a las características de mineralización o esclerosis de la estructura adamantina y al área estructural y sub-estructural de las varillas adamantinas involucradas en el acondicionamiento (Henostroza y cols., 2003b).

Cuando el tiempo de acondicionamiento es mayor a los 15 segundos, se produce un patrón de acondicionamiento de Tipo III, caracterizado por una mayor pérdida de tejido superficial, debido a que el ácido continúa eliminando sustancia en superficie, disminuyendo la profundidad y aumentando la amplitud de los microporos (Henostroza y cols., 2003b). Otra característica de éste tipo de patrón son ciertas estriaciones completamente irregulares y menos profundas, produciendo un potencial de adhesividad más bajo (Miyashita, 2005). Este tipo de acondicionamiento no tendría suficiente capacidad para retener micromecánicamente en forma efectiva los sistemas adhesivos basados en monómeros hidrófugos, por lo que el aumento del tiempo de acondicionamiento es uno de los fenómenos más negativos. Sin embargo, actualmente con el advenimiento de los adhesivos autoacondicionadores con monómeros hidrófilos e hidrófugos, se minimiza la problemática generada por el acondicionamiento tipo III, ya que no necesitan de la retención micromecánica en profundidad (Henostroza y cols., 2003b).

El lavado adamantino del gel acondicionador tiene por objetivo eliminar los precipitados o sales de fosfato de calcio en forma de cristales, generados por el accionar de los ácidos acondicionadores en alta concentración y obtener una superficie de alta energía superficial. Un lavado incorrecto permitiría que el ácido pueda continuar actuando en determinadas zonas del esmalte, generando patrones de acondicionamiento de Tipo III, que dificultarían los fenómenos de adhesión (Henostroza y cols., 2003b).

Modificación del esmalte superficial con monómeros ácidos

Los primers autograbantes fueron desarrollados para simplificar el procedimiento de adhesión. Estos agentes se basan en el uso de monómeros ácidos polimerizables no lavables, los cuales sirven como acondicionador, primer y adhesivo. En la técnica original con adhesivos autograbantes, el acondicionamiento previo con ácido fosfórico del esmalte se pasa por alto (Eliades y cols, 2005b). Sin embargo, actualmente esto ha cambiado.

Estas soluciones ácidas presentan una capacidad ácida menor, es decir, tienen un efecto de grabado menos intenso que el ácido fosfórico, se aplican en forma fluida y no son eliminadas de la superficie mediante lavado con spray de agua (Blunck, 2008). El uso de un acondicionador de esmalte, que no requiere enjuague, puede ser un procedimiento clínico valioso e importante, en especial en niños cuando el aislamiento de forma satisfactoria no es posible. Por otra parte, los materiales imprimadores autograbantes pueden resolver el problema del tiempo relativamente largo para las distintas etapas del procedimiento adhesivo (Eliades y cols, 2005b; Borges y cols, 2009).

El componente activo de los primers de autograbado es un ester fosfórico metacrilato. Un ácido fosfórico y un grupo de metacrilato se combinan en una molécula que graba e imprime la superficie dentaria al mismo tiempo. El grupo fosfato del ester fosfórico metacrilato disuelve el calcio y lo elimina de la hidroxiapatita. Las moléculas del primer penetran en los prismas del esmalte producidos por el grabado (Blunck, 2008; Øgaard y Fjel, 2010). El patrón de grabado generado con estos sistemas adhesivos no se aprecia durante su aplicación (Blunck, 2008). Además, el proceso de grabado es detenido de forma efectiva debido a que el ácido orgánico forma un complejo con el calcio disuelto, produciendo un efecto autolimitante (Øgaard y Fjel, 2010). Pero si se expone el patrón de grabado obtenido (Figura 8), se observa que es menos profundo que el que se logra con la aplicación de ácido fosfórico en el grabado total (Blunck, 2008). Cuando finaliza el tiempo de actuación la solución aplicada es liberada del solvente, compuesto en gran medida por agua, puesto que sólo entonces los ácidos, que se presentan en la forma disociada, empiezan a actuar. Después de la evaporación del solvente los monómeros forman una capa fina y permanecen juntos, lo que permite su interconexión por medio de la polimerización (Blunck, 2008; Øgaard y Fjel, 2010).

Los sistemas adhesivos de autograbado contemporáneos varían en su grado de agresividad, la cual depende de su concentración de monómeros ácidos presentes, así como la acidez (pKa) de los monómeros ácidos específicos. Esta diferencia en la agresividad influye en la capacidad de los adhesivos autograbantes para penetrar o disolver el smear layer de esmalte y dentina y para desmineralizar y unirse a los sustratos adhesivos sub-superficiales. Las versiones más agresivas pueden disolver completamente o dispersar el smear layer, formando capas híbridas gruesas en esmalte y dentina fresados, las cuales se aproximan a los alcanzados por el grabado convencional con ácido fosfórico. Por el contrario, las versiones menos agresivas incorporan el smear layer como parte de la interfaz adhesiva, formando sólo capas híbridas finas en la dentina o el esmalte intacto que tienen menos de 1-2 μm de espesor. Para la adhesión a esmalte íntegro (no fresado), la eficacia de los adhesivos de autograbado depende de su capacidad para desmineralizar la capa de esmalte aprismático (ácido resistente) (Eliades y cols, 2005b).

La mayoría de los estudios in vitro han demostrado que los agentes de autograbado ofrecen una menor fuerza de adhesión al esmalte que el acondicionamiento convencional con ácido fosfórico. No obstante, algunos investigadores como Agostini y cols. han informado que la resistencia adhesiva obtenida está por encima del mínimo requerido para dientes permanentes (18.6-19.4MPa) (Eliades y cols, 2005b). Los tags de resina cortos formados puede provocar mediciones de fuerzas adhesivas relativamente bajas. Se cree que la adhesión a esmalte no se logra principalmente por las proyecciones de resina dentro de la estructura del esmalte (tags de resina), sino que por la adhesión micromecánica proporcionada por la difusión monomérica y la polimerización de los monómeros de resina dentro de las microirregularidades del esmalte grabado, junto con la formación de una capa semejante a la híbrida. Lo que también se ha demostrado en esmalte permanente es que la profundidad de grabado y la profundidad de penetración de la resina producida por adhesivos de autograbado, no tienen correlación con las fuerzas de adhesión alcanzadas, por lo tanto, la superficie irregular del esmalte no tratado no puede ser un indicador válido de la magnitud adhesiva alcanzada (Eliades y cols, 2005b).

De hecho, los adhesivos autograbantes generan un efecto de grabado suave y una delgada interface adhesiva sobre el esmalte superficial si se comparan con los adhesivos de grabado total. A pesar de estas características, no se observaron diferencias de adhesión entre el ácido fosfórico y los agentes de autograbado aplicados sobre la superficie del esmalte tratado previamente (Eliades y cols, 2005b).

La capacidad de la resina de penetrar en los cristales separados en superficie, puede contribuir mayoritariamente a una mejor eficiencia de unión. El área transversal creada puede ofrecer una superficie adhesiva adecuada, sin embargo, es cuestionable si la poca profundidad de la interfaz resina-esmalte formada, con ausencia de largos tags de resina, puede en el tiempo soportar la fatiga termomecánica del medio bucal (Eliades y cols, 2005b).

Tanto la utilización de ácido fosfórico y su posterior lavado con spray aire/agua como el uso de soluciones de monómeros ácidos y la evaporación del solvente mediante aireado, aprovechan la superficie retentiva del esmalte generada por la eliminación de los cristales de hidroxiapatita. Ahora bien, ambos métodos se diferencian en un aspecto clave: el ácido fosfórico se lava con spray de agua, razón por la que se habla de «técnica de grabado y lavado» (etch & rinse); las soluciones de monómeros ácidos, por su parte, se denominan «sistemas adhesivos autograbantes» (self-etch) (Blunck, 2008).

Efecto superficial de los ionómeros de vidrio reforzados con resina

Los cementos de ionómero de vidrio se han introducido en la adhesión de brackets a la superficie del esmalte debido a que en un principio no requerían de grabado previo, junto con su efecto liberador de flúor. Sin embargo, la evidencia para un efecto cariostático del ionómero de vidrio en ortodoncia posee cierta debilidad. Los ionómeros de vidrio se unen químicamente al esmalte a través de puentes de calcio, puentes de hidrógeno, o fuerzas de Van der Waals, pero la fuerza de unión es claramente más débil que los sistemas resinosos (resinas compuestas). Para aumentar la fuerza adhesiva de los ionómeros vítreos convencionales y sus

propiedades físico-mecánicas, se han añadido ciertos componentes, entre los que destacan los monómeros fotopolimerizables. Estos ionómeros de vidrio modificados con resina contienen componentes que están presentes tanto en el ionómero de vidrio convencional como en las resinas compuestas y, gracias a esto, se han obtenido fuerzas adhesivas suficientes a la estructura dentaria. El comportamiento químico de los cementos de ionómero modificados resina es complejo, coexistiendo en un mismo material, una reacción ácido-base y otra de polimerización (Øgaard y Fjel, 2010).

En los estudios de simulación de condiciones orales, se encontró que la disponibilidad de flúor de los ionómeros de vidrio es pH controlado, por ejemplo, la liberación de flúor de este tipo de material aumenta cuando el pH del biofilm disminuye. Los factores de control de velocidad de este proceso parecen ser fosfato y proteínas. Los ionómeros de vidrio también pueden tomar fluoruros de algún tratamiento tópico realizado en boca. Se ha especulado que el fluoruro de calcio se pueden formar durante la "recarga" de ionómeros de vidrio con flúor tópico, actuando este material como un reservorio de fluoruro, el cual sería liberado frente a algún ataque cariogénico (Øgaard y Fjel, 2010).

Los ionómeros de vidrio modificados con resina han demostrado tener una mayor resistencia adhesiva a la tracción y menos tasas de fracaso respecto a los ionómero de vidrio convencionales. Aunque el grabado ácido de la superficie del esmalte no es necesariamente un pre-tratamiento para la unión de los ionómeros de vidrio convencionales a esmalte, la aplicación de un acondicionador (generalmente ácido poliacrílico) es recomendado para los ionómeros de vidrio modificados. Summers y cols. compararon la resistencia adhesiva de un cemento ionómero vítreo modificado con resina y un sistema adhesivo convencional para la unión de brackets al esmalte, ambos por medio de fotopolimerización, y se encontró que la fuerza adhesiva era significativamente menor en el ionómero de vidrio modificado con resina in vitro. Sin embargo, las tasas de supervivencia después de 1,3 años para ambos materiales fueron similares, llegando a la conclusión que el ionómero de vidrio modificado con resina puede proporcionar una fuerza adhesiva clínicamente adecuada, pudiendo ser más fácil de limpiar después de la pérdida de un bracket comparado con un adhesivo de resina compuesta. El pre-acondicionamiento de la superficie del esmalte con un ácido poliacrílico, sumado a la unión con ionómero de vidrio modificado con resina produce menos daño a la superficie del esmalte que los procedimientos adhesivos convencionales con grabado ácido (ácido ortofosfórico) y adhesivos de resina (Figura 9). Adecuados valores de fuerza adhesiva fueron encontrados cuando se utiliza un ionómero de vidrio modificado con resina en combinación con un sistema adhesivo de autograbado (Øgaard y Fjel, 2010).

Otras alternativas de acondicionamiento del esmalte

En un esfuerzo por reemplazar la técnica de grabado ácido, se han investigado otros métodos alternativos de acondicionamiento del esmalte (Rossou, 2010). El objetivo de esta búsqueda ha sido reducir la pérdida de esmalte durante la técnica de grabado ácido convencional con ácido fosfórico, desalajos de obturaciones o brackets, etc.

Chorro de arena (aire-abrasivo)

Otro método alternativo de pre-tratamiento del esmalte es la "técnica de aire abrasivo" o "chorro de arena". Este método se puede llevar a cabo con aparatos llamados arenadores, que funcionan con presión de aire y partículas de arena u óxido de aluminio de diferentes tamaños. En general, el diámetro de las partículas de polvo de óxido de aluminio, utilizado para la limpieza de las superficies dentales en la técnica de aire abrasivo, es de 50 micras (Başaran y Veli, 2011). Existen arenadores, en forma de pistola, que funciona dentro de una cámara de vacío (caja), la cual succiona el material que va eliminando el arenado. Este procedimiento requiere aproximadamente de 15 a 30 segundos. Otros arenadores se usan directamente en boca. Estos tienen forma de pistola con una cámara almacenadora de polvo, el cual es succionado y lanzado bajo presión a la estructura a arenar (Figura 10). Sin embargo, la pérdida de esmalte resultante de un chorro de arena a baja presión y corto tiempo de exposición es más pequeña que la pérdida resultante con grabado ácido. La fuerza de adhesión alcanzada por esta técnica (chorro de arena) por sí solo no fue clínicamente aceptable.

Reisner y cols. llevaron a cabo un estudio comparativo in vitro entre el arenado con óxido de aluminio y técnicas de grabado de ácido convencional, para investigar si el arenado de la superficie del esmalte podría reemplazar a la limpieza con piedra pómez o al grabado ácido. La superficie del esmalte se areno con partículas de óxido de aluminio, de 50 μm de tamaño, con una presión de 65 - 70 psi por 2-3 segundos (Øgaard y Fjel, 2010). Observó que el arenado sin grabado ácido produce una resistencia adhesiva baja en sistemas adhesivos autograbantes, si se compara con el arenado con grabado ácido, pero llegó a la conclusión que el arenado podría reemplazar a la limpieza con piedra pómez, ya que esto último no daña la superficie del esmalte. Además, esta situación (menor resistencia adhesiva) se atribuye a un menor tiempo de exposición de la superficie del esmalte al aire abrasivo, al compararse con el procedimiento de grabado ácido.

Berk y cols, en el 2008, observaron un efecto similar en su estudio sobre molares en la región posterior. Los procedimientos con aire abrasivo son los únicos procedimientos de grabado, al parecer, que generan valores de fuerzas adhesivas insuficientes en los estudios clínicos. Un patrón de grabado inconsistente se observó en el esmalte superficial, al visualizarlo en SEM (Figura 11), junto con mostrar las superficies dentarias arenadas con formas de angulaciones obtusas comparados con el patrón de grabado más agudo del grabado ácido convencional. Ellos sugirieron que esta era la razón de las fuerzas adhesivas más débiles. Hay estudios que mostraron áreas de retención adicionales cuando se utilizó el método de chorro de arena seguido de grabado ácido con ácido fosfórico en términos de resistencia adhesiva, comparado con la técnica de grabado ácido con ácido fosfórico sólo. Además, hay reportes de disminución de la fuerza adhesiva clínica cuando se utiliza un cemento de ionómero de vidrio modificado con resina (Başaran y Veli, 2011).

Ozer y Arci concluyeron que, con el método del arenado, no se reducen las tasas de fracaso cuando los brackets de metal se unen con ionómeros de vidrio modificados con resinas (Øgaard y Fjel, 2010).

El arenado también ha demostrado ser un método aceptable para eliminar los restos de resina después de la remoción de los brackets. Kim y cols. analizaron la superficie del esmalte después de la eliminación de restos de composites con partículas de óxido de aluminio de 50 μm y con una pieza de mano de baja velocidad con una fresa de carburo de tungsteno de 8 hojas. No se observaron diferencias entre la superficie del esmalte analizadas. Cabe destacar que el tiempo de eliminación de los restos de composites fue más eficiente con la pieza de mano de baja velocidad que con el chorro de arena. El arenado con chorro de arena pareció eliminar las periquimas e inducir una topografía superficial irregular, comparable a la obtenida con la pieza de mano a baja velocidad con fresa de carburo de tungsteno. Sin embargo, la comodidad del paciente y la salud de la pulpa fue superior con la técnica del arenado (Øgaard y Fjel, 2010).

Láser como acondicionador de esmalte

Las primeras aplicaciones del láser dental se llevaron a cabo por el Dr. Leon Goldman en 1962. La luz láser tiene algunas diferencias en comparación con la luz visible. Estas diferencias surgen de las características de la coherencia, monocromasia y colimación de la luz láser. La coherencia es una relación particular de fase entre el campo electromagnético y la dirección. La colimación es la observación del progreso de la luz láser desde su fuente de origen en la misma dirección, sin su desintegración. Durante la observación de la luz, hay desintegración, debido a diferentes longitudes de onda de la luz visible. La Monocromasia es la generación de luz láser de un solo color en una determinada banda de frecuencia específica (Başaran y Veli, 2011).

Los electrones que se mueven en una órbita particular, son la base de la luz láser. Los electrones liberan energía en la forma de radiación (emisión) cuando los electrones de una órbita particular se mueven a una órbita de energía más alta. Una vez ahí, los electrones vuelven espontáneamente a la órbita de baja energía, con la consiguiente liberación de un fotón como energía. Esto asegura que la estructura atómica se mantiene estable mientras las emisiones espontáneas también se mantienen estables (Figura 12) (Başaran y Veli, 2011).

La emisión estimulada, cuya existencia fue propuesta por Albert Einstein en 1917, es el proceso fundamental gracias al cual existe el láser. En este proceso se tiene la interacción entre un fotón y un átomo que inicialmente se encuentra en un estado excitado. Como resultado de esta interacción el átomo pasa a su estado base, emitiendo en el proceso un fotón que tiene las mismas características de dirección y de fase que el fotón inicial. Cuando esto último ocurre decimos que la radiación electromagnética resultante es coherente. Es importante notar que en este proceso está ocurriendo realmente un proceso de amplificación de fotones, pues inicialmente tenemos sólo un fotón y después del proceso de emisión estimulada tenemos como resultado dos fotones. Podemos afirmar que el germen que dio origen al desarrollo del láser surgió cuando el fenómeno de emisión estimulada fue propuesto. De hecho la palabra láser es el acrónimo de la expresión en inglés: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que en español podemos traducir como "amplificación de la luz por la emisión estimulada de radiación" (Başaran y Veli, 2011)

La ablación láser es un proceso no convencional de índole térmico, que no genera residuos superficiales en la eliminación de material superficial, ya que esta eliminación se realiza por vaporización del tejido dental expuesto al láser, acompañado de un gran aumento de temperatura (Başaran y Veli, 2011).

La irradiación láser remueve la capa de smear layer superficial ubicada sobre el esmalte. Después del grabado con láser, algunos cambios pueden ocurrir en la superficie, tales como el derretimiento de los prismas de esmalte, la recristalización, la aparición de inclusiones semejantes a burbujas, aparición de poros, etc., por lo tanto, se crean superficies irregulares que permiten la penetración y el flujo adecuado de los componentes adhesivos. En odontología, la primera generación de láser fue ocupada solo en tejidos blandos. La principal desventaja del uso del láser es el gran incremento en la temperatura, provocando una respuesta inflamatoria pulpar considerable (Berk y cols., 2008; Başaran y Veli, 2011). Una hiperemia pulpar reversible ocurre a temperaturas entre 43-49 °C. Temperaturas arriba de 49 °C causan necrosis pulpar. Los cambios reversibles se producen por debajo de 16 °C (Başaran y Veli, 2011). El desarrollo del láser erbio, cromo-dopado: itrio-escandio, galio-granate (Er,Cr:YSGG) ha llegado a solucionar este problema y es un tratamiento que puede ser aplicado en tejidos blandos y duros orales, ya que estos láser pueden ablacionar efectivamente el esmalte y la dentina, debido a su alta y eficiente adsorción de agua e hidroxiapatita. La principal ventaja de las superficies láser-grabadas es su resistencia ácida, permitiendo aumentar la resistencia del esmalte frente a un ataque cariogénico. En otros estudios, Usumez y cols., demostraron que la ablación de las superficies dentarias usando un láser Er,Cr:YSGG, con diferentes potencias de salida, mostraron diferentes patrones de grabados del esmalte, resultando en diferentes fuerzas adhesivas de corte (Berk y cols., 2008). Sin embargo, existen resultados contradictorios en términos de efectos sobre la superficie del esmalte antes de la adhesión (Başaran y Veli, 2011).

Al utilizar el láser sobre la superficie del esmalte, algunos investigadores informaron obtener superficies similares a un panal de abejas, con patrones de grabado similares al tipo I. Sin embargo, para obtener este tipo de patrón, se debe tener una alimentación eléctrica adecuada, una frecuencia y un tiempo de uso controlado. De lo contrario, aunque la cantidad de agua y la matriz orgánica en el tejido del esmalte es menor que el encontrado en dentina, la evaporación se producirá en la matriz de hidroxiapatita (matriz mineral), y los patrones de micrograbado se observaran heterogéneos e irregulares, debido al daño irreversible a partir de microexplosiones superficiales (Figura 13). Para reducir al mínimo estos efectos, el láser se debe utilizar con una potencia y tasas de agua con aire adecuadas (Başaran y Veli, 2011).

El uso del láser se recomienda sin contacto o una distancia de 1 mm por los investigadores. La fuerza adhesiva informó verse afectada negativamente por el aumento de distancia entre la superficie del diente y la salida del láser. Sin embargo, no hay datos suficientes acerca de la profundidad de grabado. A veces, se observan microfisuras en áreas grabadas en la superficie del esmalte, lo que constituye una negativa efecto para la preservación de la integridad del esmalte después del período de tratamiento (Başaran y Veli, 2011).

Crecimiento de cristales

Otro principio de retención adhesiva superficial es inducir el crecimiento de cristales sobre la superficie del esmalte, en lugar de disolver los cristales como en la técnica de grabado convencional. La Adhesión por cristales sobre el esmalte se puede obtener por medio de la aplicación de una solución poliacrídica que contiene iones de fosfato (Øgaard y Fjel, 2010).

Maijer y Smith utilizaron ácido poliacrídico al 40% con iones de sulfato al 3,8% para comprobar la efectividad adhesiva del crecimiento de cristales. Esta solución se aplicó sobre el esmalte por 4 minutos. Esta solución resultó en el crecimiento de cristales de sulfato de calcio dihidrato, responsable de la retención y mantención en posición del adhesivo (Øgaard y Fjel, 2010; Rossou, 2010). Sin embargo, la adhesión por cristales produce menos fuerza de adhesión que el grabado ácido convencional y fallas de tipo cohesiva dentro de los depósitos cristalinos intermediarios en el proceso adhesivo. Debido a todas estas razones, esta técnica clínicamente era poco práctica y nunca ganó gran popularidad (Øgaard y Fjel, 2010; Rossou, 2010).

Hipoclorito de sodio

Las investigaciones odontológicas acerca de las propiedades del hipoclorito de sodio como acondicionador de superficies se han enfocado principalmente en la limpieza de superficies de esmalte antes de realizar la adhesión de restauraciones de resina compuesta y tratamiento de defectos como hipoplasias y amelogenesis imperfecta (Bayona y cols., 2010).

El hipoclorito de sodio es una sal formada por la reacción de dos compuestos químicos: el ácido hipocloroso y el hidróxido de sodio. La fórmula química de este compuesto es NaOCl. El hipoclorito de sodio es altamente oxidante, hipertónico (2800mOsmol/Kg) y muy alcalino (pH 11.5-11.7). La actividad solvente y propiedades microbianas de este compuesto se deben a la habilidad del hipoclorito de sodio de oxidar e hidrolizar proteínas celulares, y a largo plazo, de extraer líquidos fuera de las células (Bayona y cols., 2010).

Las propiedades principales de la solución de hipoclorito de sodio son: a) saponificar los ácidos grasos (acción detergente debido al pH alcalino o a la presencia de NaO. Los álcalis reaccionan con los ácidos grasos transformándolos en jabones solubles fáciles de eliminar); b) poseer baja tensión superficial; c) disolver la materia orgánica (debido a un proceso de oxidoreducción en el que interviene el cloro el compuesto orgánico se oxida y el hipoclorito se reduce); d) actuar como agente blanqueador debido a su acción oxidante; e) acción bactericida: al ponerse en contacto con la membrana de la bacteria, el átomo del cloro se combina con el grupo amina de las proteínas formando cloroaminas. Ataca la pared celular de las bacterias y la acción de la membrana hace que desaparezcan los componentes intracelulares (Bayona y cols., 2010).

El pH alcalino de las soluciones de hipoclorito de sodio neutraliza la acidez del medio, dejándolo impropio para el desarrollo bacteriano. Reacciona frente a gérmenes gram positivos, gram negativos, pseudomonas y virus. Se ha reportado que factores como el aire, la luz, la

temperatura, los metales y los contaminantes orgánicos afectan la eficacia de la solución. El aumento de temperatura tiene un efecto positivo sobre la acción disolvente del NaOCl. Sin embargo, cuando se aumenta la temperatura, la solución a las 24 horas tiende a deteriorarse, por lo tanto se aconseja mantener la temperatura ambiente, y/o temperatura corporal para estabilizarlos. La concentración de NaOCl es otro factor importante en el deterioro de las soluciones, ya que las que contienen 5% disponible de cloro han demostrado rápida descomposición.

Una de las investigaciones más recientes en cuanto al efecto del NaOCl en el esmalte fue realizada por Espinosa y colaboradores en 2008. Se tomaron muestras que fueron tratadas con hipoclorito al 5.25% con sistemas autograbadores y de grabado total, llegando a la conclusión que las características topográficas de irregularidades y micro-retenciones vistas en microscopio electrónico aumentan para ambos lo que sugiere que la superficie retentiva del esmalte es mayor, en el proceso de adhesión. Además todas las superficies se ven más homogéneas entre sí, cuando el esmalte es tratado con el NaOCl (Bayona y cols., 2010).

Otros agentes

Además de las sustancias acondicionadoras para esmalte anteriormente descritas, otros pocos agentes se han utilizado para el mismo propósito. El ácido cítrico (50%) necesita de 5 minutos de tiempo de exposición para obtener un patrón de grabado satisfactorio. Este tiempo es impracticable en clínica, especialmente en niños pequeños. Un acondicionador autograbante compuesto principalmente por componentes tales como ácido maleico, itacónico y agentes carboxílicos, obtiene una estructura de prisma casi clara. Sin embargo, si ese patrón garantiza una unión adhesiva fuerte y duradera aún no ha sido investigada adecuadamente. La aplicación de ácido maleico al 10% por 15 segundos en el esmalte resulta en una pérdida mineral conservadora, con una fuerza de unión óptima (Eliades y cols, 2005b).

ADHESIÓN A ESMALTE CONTAMINADO

Se ha establecido que la razón principal de pérdida de adhesión es la contaminación de la superficie del esmalte acondicionado antes de la aplicación del adhesivo. Por lo tanto, es importante controlar los fluidos orales durante los procedimientos adhesivos para evitar la posible contaminación del terreno biológico (Carpena y cols., 2007). La humedad o contaminación con fluidos orales deterioran la unión de las resinas compuestas a esmalte, debido a que la superficie del esmalte grabado está modificada tanto física como químicamente (Carpena y cols, 2007).

Dado que el aislamiento con goma dique es impracticable en algunos casos, se corre el riesgo de contaminación de la superficie de esmalte con sangre, saliva y/o aceite del instrumental rotatorio, además dificultar la mantención de las superficies completamente secas. Esta dificultad se puede observar en la unión de los dispositivos de tracción de erupción de dientes, o el sellado de las superficies oclusales de los dientes (erupción). Estas situaciones son críticas debido a que el fracaso adhesivo requiere una repetición del procedimiento o se observaran filtraciones marginales, respectivamente (Carpena y cols, 2007).

Para lograr adecuados resultados clínicos, la mayoría de los sistemas adhesivos requieren de una superficie libre de contaminación. Existen informes clínicos que relatan una reducción de la fuerza de unión de hasta un 50% (por ciento) cuando el adhesivo se aplica directamente al esmalte contaminado en comparación con una superficie no contaminada (Carpena y cols, 2007). Como mencionamos anteriormente, la fuerza de adhesión de los sistemas adhesivos puede ser afectada por la humedad ubicada sobre los dientes, así como otros elementos contaminantes tales como la saliva, plasma, el cemento de óxido de zinc-eugenol, etc. La técnica de regrabar la superficie del esmalte después de la contaminación suele ser eficaz, pero con algunas consideraciones. La contaminación del esmalte con el lubricante de la pieza de mano cuando se utilizan adhesivos de cuarta y quinta generación no reducen la resistencia de la unión, pero también posee algunas consideraciones (Eliades y cols, 2005b).

Para superar la posible contaminación superficial del esmalte, algunos fabricantes han incorporado componentes hidrofílicos a los sistemas adhesivos, lo que sugiere su potencial de éxito para unirse a una superficie del esmalte contaminado. La dificultad adhesiva al esmalte contaminado puede ser minimizada, si el sistema adhesivo es hidrofílico y tiene el potencial para polimerizar por completo, incluso en presencia de humedad. Algunos de los estudios han demostrado que los agentes adhesivos que contienen monómeros hidrofílicos pueden superar el efecto de los contaminantes respecto a las fuerzas de adhesión a esmalte contaminado (Carpena y cols, 2007).

Contaminación Salival:

Cualquier tipo de contaminación durante el proceso de adhesión reduce la longevidad de los materiales adhesivos, debido a que esta contaminación puede alterar las propiedades de los materiales, la superficie del sustrato y causar problemas en el proceso de unión de los materiales a las superficies dentarias (Borges y cols., 2009). Dentro de los contaminantes más comunes que existen dentro de la cavidad oral se encuentra la saliva.

La saliva es una secreción mucoserosa clara y ligeramente ácida, compuesta en su mayor parte por agua (99%) y de constituyentes orgánicos e inorgánicos (1%) que actúan colectivamente para modular el medio ambiente oral. La saliva completa es una mezcla de fluidos de las glándulas salivales mayores, menores y de fluido gingival crevicular, que contiene bacterias orales, virus, restos de alimentos y restos de expectoraciones bronquiales (Gutiérrez, 2006). Ella desempeña un papel primordial en el mantenimiento de las condiciones normales de los tejidos orales y es un factor de gran importancia en las caries, ya que ejerce una acción de autolimpieza y tiene alta capacidad de amortiguación (buffer). La capacidad protectora de la saliva se hace evidente cuando el flujo salival está ausente o cuando está disminuido, situación conocida clínicamente como xerostomía o boca seca, la cual puede ser el resultado de enfermedades, terapias para el cáncer o agentes farmacológicos (Gutiérrez, 2006).

El papel de la saliva en la remineralización de lesiones incipientes de caries y en el mantenimiento de la estructura del diente es fundamental, ya que está sobresaturada de calcio y fosfato. La constante interacción de la saliva con los tejidos orales establece que esta es la mayor determinante del medio ambiente de la cavidad oral (Gutiérrez, 2006).

El promedio diario de flujo salival varía entre 500 y 600 ml. Además, esta secreción salival puede ser clasificada como: a) Serosa o acuosa (en este grupo las principales proteínas que dan esta característica son las producidas por las glándulas parótidas, como la amilasa, proteínas ricas en prolina, aglutininas y cantidades pequeñas de cistatina y lisozima); b) Mucosa, (característica ofrecida por las proteínas secretadas por las glándulas menores), y c) Mezclada, dada por las altas concentraciones de mucinas MG1 y MG2 y altos niveles de lisozimas, de cistatinas y amilasa, producidas en las glándulas submandibulares y sublinguales (Gutiérrez, 2006).

La función salival puede ser organizada en cinco categorías: a) Lubricación y protección: la saliva, como una capa seromucosa, lubrica y protege los tejidos orales actuando como una barrera contra irritantes, como enzimas hidrolíticas y proteolíticas producidas por el biofilm, carcinógenos potenciales de humo de cigarrillo y químicos exógenos, y de la desecación por la respiración a través de la boca; b) Acción buffer y limpieza: la capacidad tampón corrige los cambios de pH causados por los cambios de concentraciones de los iones ácidos o básicos producidos, por ejemplo, por la fermentación de los azúcares. El pH de la saliva depende de los ácidos y bases secretados y más notablemente del ión bicarbonato. El pH de la saliva puede estar alrededor de 5,6 en los períodos de no estimulación, elevándose exponencialmente a 7,8 cuando existen velocidades de flujo muy altas; c) Mantenimiento de la integridad de las superficies: las mucinas preservan la integridad de las mucosas por su habilidad para regular niveles intercelulares de calcio. Como parte de la película adquirida ayudan a la iniciación de la colonización de bacterias comensales y benignas, formando una barrera protectora para la penetración de los ácidos, lo que limita la pérdida de mineral de la superficie dental. La alta concentración de calcio y fosfatos en la saliva que son mantenidos por las proteínas salivales son los encargados de la maduración y remineralización del esmalte; d) Actividad antibacterial: la boca humana es casi perfecta para el crecimiento de las bacterias, debido a su temperatura, humedad, grandes áreas de adhesión, la presencia de aminoácidos y carbohidratos endógenos que facilitan el crecimiento bacteriano. La saliva contiene elementos inmunológicos y no inmunológicos para la protección de las superficies de los dientes y las mucosas y e) Gusto y digestión: la hipotonicidad de la saliva realza la capacidad gustativa de alimentos salados y fuentes de nutrientes. La saliva tiene un papel temprano y limitado en la digestión total ya que comienza el rompimiento de almidones a través de la amilasa, uno de los principales componentes de la parótida que inician la disolución de los azúcares (Gutiérrez, 2006).

Antes, durante y después de los procesos adhesivos, la contaminación salival provoca consecuencias desfavorables sobre el esmalte. Si bien, la saliva puede provocar fuerzas adhesivas inaceptables clínicamente, la contaminación con sangre parece ser mucho más crítica (Campos y cols, 2010). Para la remoción de la contaminación salival de la superficie del esmalte, se ha recomendado el uso del gel de ácido fosfórico, pero la limpieza clínica también puede ser lograda por medio de solventes o emulsiones ácidas, básicas o neutras (Campos y cols, 2010).

Muchos estudios han evaluado la influencia de la contaminación sobre la resistencia adhesiva a la cizalla. Los momentos más críticos de contaminación son antes y después de la aplicación del adhesivo sobre el diente. Sin embargo, la contaminación durante la aplicación del sistema

adhesivo también resulta en graves consecuencias. La contaminación antes de la imprimación no impide la formación del smear layer. Esta capa contaminante está compuesta principalmente por proteínas, las cuales cubren la superficie grabada en cuestión de segundos, y por lo tanto, inhiben la penetración de los agentes imprimadores en la superficie porosa. La contaminación también puede tener lugar después de la preparación de la superficie. Ambas situaciones resultan en fuerzas adhesivas de valores muy inferiores, pudiendo provocar el desprendimiento prematuro de las restauraciones o brackets (Brauchli y cols., 2010).

En la clínica ortodóncica, la contaminación de la superficie del esmalte es bastante común, ya que se utiliza generalmente un aislamiento relativo para la adhesión a las superficies dentarias. El aislamiento relativo se realiza principalmente con tómulas de algodón y retractores de mejillas. A menudo, la saliva se elimina con agua, seguida de spray de aire/agua después de la hibridación del esmalte, pero la eficacia de este procedimiento no está completamente esclarecida (Campos y cols, 2010), provocando la pérdida de adherencia de los brackets metálicos, aumentando de la duración del tratamiento por las pérdidas continuas y seguida de los brackets (Borges y cols., 2009)

Contaminación con Sangre:

Como mencionamos anteriormente, la contaminación de la superficie del esmalte dentario puede ocurrir en diferentes momentos críticos del procedimiento de adhesión: después de la superficie del diente ha sido grabada, después de que el primer ha sido aplicado, o después de ambos procedimientos (Sfondrini y cols, 2011). Junto con la saliva, otro de los contaminantes orales más comunes de las superficies dentarias durante los procesos adhesivos y restauraciones directas es la sangre.

La sangre es un tejido conectivo que se compone de una porción líquida, plasmática, y otra celular, que consiste en diversos tipos de células y fragmentos celulares (Tortora y Derrickson, 2006).

La sangre es más densa y viscosa que el agua, por lo que fluye con mayor lentitud que esta última. La temperatura de la sangre es de unos 38 °C aproximadamente, con un pH levemente alcalino. Pese a la similitud en sus orígenes, composición y funciones, la sangre difiere de una persona a otra tanto como la piel, huesos y pelo (Tortora y Derrickson, 2006).

La sangre es el único tejido conectivo líquido del cuerpo humano, el cual desempeña tres funciones generales: 1) Transporte: la sangre transporta oxígeno desde los pulmones a todas las células del cuerpo, y el dióxido de carbono en la dirección opuesta. Además, lleva nutrientes del tubo digestivo a células de todo el cuerpo, elimina calor y productos de desecho provenientes de las células. Otros elementos que transporta son las hormonas de las glándulas endocrinas a las células de diversos tejidos; 2) Regulación: la sangre ayuda a regular el pH mediante sustancias amortiguadoras. Asimismo, participa en el ajuste de la temperatura corporal mediante las propiedades de absorción de calor y enfriamiento del agua presente en el plasma y de su velocidad de flujo variable por la piel, donde puede disiparse el calor excesivo,

que pasa de la sangre al entorno y c) Protección: la sangre puede coagularse, lo cual evita su salida excesiva del sistema cardiovascular cuando ocurren lesiones. Además, mediante la fagocitosis y la producción de proteínas llamadas anticuerpos, los glóbulos blancos brindan protección contra las enfermedades (Tortora y Derrickson, 2006).

La sangre se compone de plasma sanguíneo y elementos formes. El plasma sanguíneo es un líquido acuoso que contiene sustancias en disolución, y los elementos formes son células y fragmentos celulares. La sangre se compone de 45% de elementos formes y 55% de plasma. En condiciones normales, más de 99% de los elementos formes son glóbulos rojos (hematíes). Los glóbulos blancos (leucocitos) y plaquetas comprenden menos del 1% de la volemia total (Tortora y Derrickson, 2006).

La influencia de la contaminación con sangre sobre la resistencia adhesiva puede ser atribuida a su alto contenido proteico, con macromoléculas como el fibrinógeno y las plaquetas, las cuales pueden formar una película sobre las estructuras dentarias, impidiendo la penetración del sistema adhesivo sobre los tejidos dentarios (esmalte y/o dentina) (Carvalho y cols, 2010).

Estudios recientes reportaron que los sistemas adhesivos hidrofílicos son menos sensibles a la contaminación con sangre y saliva que los sistemas adhesivos hidrofóbicos. Sin embargo, el efecto de la contaminación con sangre sobre la resistencia adhesiva sobre los sistemas adhesivos hidrofílicos aún no está claro, y al parecer, parece ser más perjudicial que la saliva (Carvalho y cols, 2010).

Algunos tratamientos se han propuestos para revertir el efecto de la contaminación con sangre. Algunos de ellos son el fresado con instrumentos rotatorios; el lavado con agua seguido de secado con aire; el lavado con agua, secado con aire más la reaplicación del primer, o como en otros casos, utilizar la técnica del regrabado con ácido ortofosfórico, pero los resultados de todos estos procedimientos han sido conflictivos (Carvalho y cols, 2010).

Kaneshima y cols, analizaron en un estudio las repercusiones de la contaminación con sangre en la resistencia adhesiva, observando que en la etapa del grabado no existen repercusiones importantes pues podemos volver a lavar, pero después de colocar el primer la resistencia disminuyó de una manera importante. Cuando la contaminación se produce entre las distintas capas de composite las repercusiones pueden ser muy negativas por la eliminación de la capa inhibida y por las tinciones (Herrera, 2005).

Contaminación con Aceite y Agua:

También la contaminación con aceite y agua por las conducciones de aire comprimido de los equipos van a alterar la energía superficial. Las pastas de profilaxis producirían disminución de la energía superficial por el contenido en restos orgánicos. La limpieza del esmalte con bicarbonato tendría interés fundamentalmente cuando vayamos a colocar un sellador o brackets en ortodoncia, ya que de esta manera mejoraría la adhesión. Si dejamos agua en exceso, se formarían vesículas acuosas entre el adhesivo y el esmalte o entre el primer y la resina, provocando fallas adhesivas a distintos niveles (Herrera, 2005).

OTROS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ADHESIÓN A ESMALTE

Tipo de sustrato superficial (Esmalte aprismático o prismático)

Un factor clínico importante en la adhesión a esmalte es el tipo de tejido al cual se va a producir la adhesión. Factores como la instrumentación de la superficie, la edad del paciente y factores ambientales puede producir sutiles diferencias en las características del esmalte e influir en la correcta capacidad del acondicionador de desmineralizar los tejidos dentarios.

Existe una serie de tratamientos restaurativos conservadores que son realizados sin instrumentación de tejidos, como por ejemplo: el cierre diastemas, remodelación anatómica de la corona dentaria, sellado de puntos y fisuras, unión de aparatos de ortodoncia, etc. A causa del mayor contenido inorgánico, la superficie del esmalte intacto presenta algunas características únicas. Primero, los dientes de los pacientes jóvenes tienen una capa aprismática (esmalte aprismático) de aproximadamente 30 micras, que cubre toda la corona (Carpena y cols, 2007). Esta capa se pierde con el tiempo, sin embargo, los tejidos duros dentarios se mineralizan más aún cuando están expuestos al medio ambiente oral. Esto hace que la capa superficial de esmalte pueda presentar características de hipermineralización en comparación con las capas de esmalte más profundas (Figura 14). Estos factores anteriormente mencionados pueden influir en diversas características del patrón de grabado ácido y resultar en patrones de grabado menos homogéneos, comprometiendo la calidad de la adhesión (Carpena y cols, 2007).

En general, la superficie aprismática del esmalte es más resistente al grabado ácido debido a la disposición paralela de los cristales de apatita (alta densidad de cristales). Tampoco hay una sustancia orgánica interprismática que facilite al ácido poder difundir en profundidad, para realizar el grabado a través de la subsuperficie (Eliades y cols., 2005^a). La instrumentación de los tejidos para la preparación de la cavidad, el micrograbado, o la colocación de un bisel puede cambiar la respuesta del tejido frente al ataque ácido. Varios estudios indican que la eliminación de la capa superficial de esmalte mejora el resultado del grabado y, en consecuencia, la fuerza adhesiva (Carpena y cols, 2007). Sin embargo, la instrumentación superficial como alternativa de mejoramiento adhesivo, es bastante cuestionada debido a que al eliminar la capa superficial más resistente del esmalte dejamos expuesto al diente a un ataque ácido bacteriano más agresivo.

Viscosidad del agente acondicionador

En general, el ácido fosfórico posee dos tipos de viscosidades disponibles, las soluciones o geles ácidos. Como las soluciones de ácido fosfórico son más líquidas (Eliades y cols, 2005b), en la actualidad, se utilizan geles tixotrópicos o semigeles de ácido fosfórico. La alta tensión superficial del agente acondicionador, al presentar mínimos fenómenos de capilaridad, permite posicionar el gel ácido solamente en las áreas que así lo requieran, impidiendo su accionar en zonas no deseadas (Henostroza y cols., 2003b). En resumen, la naturaleza tixotrópica de los geles permite un mayor control sobre la ubicación y eliminación del exceso de ácidos (Eliades y cols, 2005a).

Cuando se aplica un ácido fosfórico en forma de gel o semigel, se necesita un tiempo de lavado de 30 segundos mínimo, con agua presurizada, para su completa eliminación. Este procedimiento es considerado suficiente para remover totalmente el ácido de la superficie dentaria y bloquear su acción (Henostroza y cols., 2003b).

A pesar de su óptimo control durante su aplicación, algunos estudios muestran la mala calidad del grabado ácido realizado por geles ácidos, en comparación con las soluciones acídicas. En la Figura 15, podemos observar la menor formación de tags de resina y la menor distribución de los tags a través de la interface de resina (Eliades y cols, 2005b). La viscosidad de los geles puede inhibir su capacidad de humectar uniformemente la superficie del esmalte. Sin embargo, la diferencia en los patrones de grabado entre el gel y solución ácida, no refleja la resistencia adhesiva final de la resina. Este hallazgo puede poner sobre la mesa la falta de correlación que existe entre la calidad del grabado y la resistencia de la unión, bajo las condiciones in vitro (Eliades y cols, 2005b).

Concentración del Agente Acondicionador

En la década de 1990, era común encontrar agentes acondicionadores como el ácido fosfórico al 10%, el ácido maleico 10%, ácido cítrico al 10%, ácido oxálico al 2,5%, y el ácido nítrico al 2,5%. Algunos de estos ácidos no dan lugar a un aspecto mate blanco típico de esmalte acondicionado, pero existen estudios que demuestran que esto no afecta negativamente la fuerza adhesiva a esmalte. Sin embargo, otras investigaciones muestran una disminución significativa de la fuerza adhesiva. Debido a la falta de evidencias clínicas a largo plazo acerca la durabilidad de la unión al esmalte con estos acondicionantes menos agresivos, el uso previo de ácido ortofosfórico (de 32% al 40%) sigue siendo la mejor opción para lograr una adhesión previsible a esmalte (Carpena y cols, 2007). Las figuras 6 y 16 comparan patrones de grabado del ácido fosfórico 32% (Figura 6) con el patrón de grabado ácido del ácido fosfórico al 15% (Figura 16) aplicados ambos con un tiempo de 15 segundos de grabado (Carpena y cols, 2007).

Tiempo del grabado ácido en Esmalte

Buonocore, en 1955, preconizaba como tiempo de grabado óptimo recomendado, con ácido fosfórico al 85%, 30 segundos. Luego, a partir del momento de sus primeros estudios clínicos (1960), el tiempo se extendió a 60 segundos. En la década del 80, su aplicación fue reducida a 30 segundos y se ha mantenido hasta la actualidad. Algunos autores recomiendan reducir el grabado tiempo de 15 segundos cuando se utiliza un ácido fosfórico entre el 32% al 40%. La mayoría de los fabricantes de sistemas adhesivos han recomendado 15 segundos, ya que se ahorra tiempo sin comprometer el rendimiento del adhesivo. El grabado del esmalte por 15 segundos con ácido fosfórico entre 32% al 40% se considera suficiente para lograr una fuerza adhesiva adecuada cuando se aplica a las superficies de esmalte instrumentado o cuando una preparación cavitaria está terminada. Sin embargo, en la presencia de esmalte intacto, se pueden esperar otras consecuencias (Carpena y cols, 2007).

Viscosidad del sistema adhesivo

Algunos adhesivos tienen partículas inorgánicas de relleno para aumentar su espesor y resistencia cohesiva frente a procesos físico-mecánicos dentales (relleno de carga entre 8,5% y 25% en peso). También, existen sellantes con mayor contenido de relleno que pueden unirse al esmalte acondicionado sin un agente de adhesivo intermediario. Sin embargo, se ha reportado que los selladores de alta viscosidad tienen mayor dificultad para penetrar en el esmalte en profundidad. Estudios han demostrado los sistemas adhesivos con relleno presentar una menor fuerza de adhesión al esmalte superficial. Esto parece estar relacionado con la alta viscosidad de estos sistemas adhesivos, característica que dificulta la penetración en áreas interprismáticas tan profundamente como los adhesivos sin rellenos. Sistemas adhesivos que contiene nanorellenos (Prime & Bonos NT, Adper Single Bond 2) se han desarrollado para mejorar el problema de la penetración del esmalte superficial acondicionado. Los nanorellenos fueron diseñados para reforzar los tags de resina y la capa adhesivo, al parecer su bajo peso molecular no pone el peligro la interdifusión del adhesivo en esmalte acondicionado (Carpena y cols, 2007).

Grabado estático y dinámico

Los resultados del grabado estático en la mayor parte del esmalte aprismático demuestra un patrón menos agresivo, semejante al coral, que se caracteriza por la presencia azarosa de hoyos o fosas en la superficie del esmalte aprismático grabado. Dependiendo del espesor original de capa del esmalte aprismático, sólo esporádicas islas de grabado de esmalte aprismático pueden aparecer en la superficie (Figura 17), con el esmalte prismático subyacente expuesto en mayor medida. Sin embargo, el aumento de microporosidades creadas a lo largo de la parte más superficial del esmalte grabado, así como la superficie subyacente, crea una superficie de alta energía la cual es óptima para la infiltración de la resina y los resultados en las capas híbridas son de 8-10 μ m de espesor (Figura 18) (Eliades y cols., 2005a).

El grabado ácido dinámico del esmalte aporta ácido fresco al esmalte superficial, resultando en la eliminación casi total del esmalte aprismático superficial. Este proceso expone más del esmalte prismático subyacente que muestra patrones de grabado leves o mínimos (Figura 19). Aun así, un alto grado de variación existe entre los dos métodos de aplicación de ácido, que depende del espesor original de la capa superficial del esmalte aprismático. Lo que generalmente se entiende por formación de tags de resina son mínimos en esmalte integro (sin cortar), grabado con ácido fosfórico, y el modo predominante de retención micromecánica se logra a través de la creación de microporosidades superficiales y subsuperficiales, que se traducen en una zona mixta de esmalte hibridizado (8-10 μ m de grosor). Esta zona mixta está compuesta por esmalte aprismático y prismáticos (Figura 20). La disolución de los cristales de apatita superficiales, resulta en una disolución preferencial de los núcleos cristalinos ricos en carbonatos, formando regiones de agujero central, que permiten la infiltración de resina dentro de los cristales de apatita (Eliades y cols., 2005a).

DISCUSIÓN

El esmalte dental representa una estructura acelular y afibrilar, compuesta principalmente por un alto contenido inorgánico mineral, el cual permite mantener su superficie intacta durante todos los procesos fisiológicos y algunos procesos patológicos orales (Mitic y cols., 2005). Pese a que no contiene vasos sanguíneos ni linfáticos, se le considera un tejido vital. El esmalte en conjunto con los líquidos circundantes, representan un equilibrio dinámico constante.

Como mencionamos anteriormente, la superficie del esmalte dental sano se caracteriza por un alto contenido de minerales (96% en peso) y un bajo contenido de materia (0,4-0,8% en peso) y agua (3,2-3,6% en peso). La fase mineral se compone de hidroxiapatita de calcio, que pertenece a una serie de compuestos isomorfos conocidos como apatitas. Los cristales de hidroxiapatita son la unidad estructural del esmalte. Estos cristales poseen formas de agujas hexagonales muy condensadas y organizadas dentro de los prismas. La forma de "ojo de cerradura" de los prismas va desde la unión amelodentinaria hasta la superficie externa del esmalte. En el área interprismática, los cristalitas están organizados de forma más azarosa y condensados holgadamente, concentrando en esta área un mayor contenido de agua y material orgánico, comparado con la zona interna de los prismas (Øgaard y Fjel, 2010).

En el microscopio electrónico de barrido (SEM), la superficie del esmalte exhibe grandes variaciones, probablemente debido a la edad y el sitio en la cavidad oral. Macroscópicamente (Figura 21), y en el microscopio electrónico de barrido (SEM) (Figura 22), la superficie del esmalte de dientes recién erupcionados exhibe las llamadas líneas de imbricación o periquimatas. Las periquimatas, son ligeras sobresalientes de esmalte observables a simple vista, especialmente en la zona cervical de dientes jóvenes (Figura 23). Las periquimatías aparecen muy temprano en el estadio formativo de los dientes (Barrancos Mooney, 2006). Después de la erupción dentaria y a medida que pasan los años, estas líneas se van desgastando debido a la función normal dentaria, al cepillado diario de los dientes y a la remoción de brackets de ortodoncia. Por lo tanto, estas líneas de imbricación son raras en adultos. Estudios han demostrado que el proceso de la caries inicial comienza a lo largo de las líneas de imbricación mediante la exposición de las terminaciones de los prismas, y luego, progresa a lo largo de las áreas interprimáticas de la superficie del esmalte. Las áreas donde se superponen los periquimatas poseen la capacidad de almacenar flúor tópico, siendo una especie de reservorio (Øgaard y Fjel, 2010). Entre las periquimatas, se ubican las estrías de Reizius (Figura 24), que se describen como líneas que se producen en el esmalte posiblemente como consecuencia de una breve interrupción o perturbación de la calcificación. Están separadas a distancias regulares en el límite amelodentinario. Su dirección es oblicua con respecto a la superficie del esmalte (Figura 24). En la zona de las cúspides, no aparecen. Al llegar a la superficie del diente, la estría de Retzius forma una ligera depresión o imbricación poco profunda que semeja los anillos que se observan en los cortes de árboles (Barrancos Mooney, 2006).

La superficie del esmalte es significativamente porosa durante el proceso de erupción, marcada por su irregularidad superficial y pobre defensa frente a los ataques ácidos bacterianos. La maduración completa del esmalte ocurre durante la erupción del diente en la

cavidad oral, proceso llamado “maduración post eruptiva”. Cuando los dientes aparecen en la cavidad oral, el esmalte sufre constantes modificaciones y transformaciones dinámicas. Desde ese momento, la superficie del esmalte nunca más está libre de biofilm y ni de microorganismos. Existe una continua actividad metabólica en el biofilm oral, lo que genera cambios cíclicos del pH, como a su vez, cambios en el proceso de desmineralización y remineralización (Mitic y cols., 2005). El balance biológico entre desmineralización y remineralización mantiene intacto al esmalte. Generalmente, los procesos metabólicos ocurridos en los biofilm que rodean el esmalte se traducen en un descenso del pH, lo que puede conducir a la disolución de la superficie del esmalte. La variedad de cambios que ocurren de manera constante en la cavidad oral, especialmente en el biofilm circundante, tienen una gran influencia en la estabilidad de las capas superficiales del esmalte dental (Mitic y cols., 2005).

El pre-tratamiento o acondicionamiento del esmalte es necesario para los procesos adhesivos superficiales debido a la estructura específica del esmalte y al número de elementos que cubren la capa superficial del diente (Mitic y cols., 2005). El acondicionamiento ácido del esmalte es considerado un proceso de desmineralización superficial. La injuria del esmalte debido a disoluciones ácidas es un procedimiento físico y químico que incrementa la superficie activa necesaria para la retención de composites y materiales adhesivos. Esta desmineralización dirigida y planeada, lleva a una remoción del material cálcico de la zona inorgánica del esmalte (sales monohidratada de monocalcio) del centro y/o periferia de las estructuras prismáticas cristalinas de hidroxiapatita (Mitic y cols., 2005).

Contrario al proceso de desmineralización, existe un proceso de remineralización caracterizado por una reparación de cristales de hidroxiapatita dañados por ácidos o la creación de nuevos cristales de esmalte de apatita. La apariencia ultraestructural de estos cambios dependen de la concentración del ácido, la orientación de los cristales en relación a la superficie dentaria, pero principalmente del tiempo requerido por el ácido para afectar al esmalte (Mitic y cols., 2005).

Los sistemas adhesivos modernos (materiales resinosos) poseen un principio adhesivo basado en la retención micromecánica al esmalte dental (Miyashita, 2005). Para lograr esto, generalmente se utiliza un ácido ortofosfórico al 37% (técnica de grabado convencional), el cual se utiliza para limpiar la superficie y se disolver los minerales. Debido a que la tasa de disolución de los ácidos es diferente para las distintas partes de la estructura del esmalte (esmalte interprismático y prismático), se crea una topografía de superficie irregular (Figura 25). Es importante que los materiales adhesivos puedan llegar a estas áreas grabadas y polimerizar dentro de ellas para lograr la retención. Por lo tanto, los materiales adhesivos deben ser capaces de humectar de forma óptima la superficie del esmalte. Debido a esta propiedad deseable de los adhesivos, el grabado ácido del esmalte cambia el terreno biológico de una superficie hidrofóbica de baja energía superficial a una superficie hidrofílica de alta energía, que casi "succiona" el material resinoso dentro de las rugosidades superficiales. Originalmente, Buonocore utilizó una solución de ácido fosfórico al 85% durante 30 segundos para el acondicionamiento de la superficie del esmalte (Øgaard y Fjel, 2010).

Actualmente se han disminuido los porcentajes de las concentraciones de los ácidos fosfóricos de un 85% a un 35-37%, debido a algunas corrientes investigativas mencionan que mayores concentraciones de ácido parecen influir de forma negativa en la fuerza de unión. De manera similar, antiguamente se recomendaba que el tiempo de grabado ácido debiera variar entre los 30-60 segundos. En la actualidad, se utilizan tiempos entre los 10-15 segundos con resultados óptimos para una adhesión efectiva (en ortodoncia). La contaminación por humedad y saliva de la superficie del esmalte después del grabado y durante la polimerización del adhesivo, son probablemente las causas más importantes de obtención de valores de resistencias adhesivas bajas al esmalte, pasando a un segundo plano las variaciones en el tiempo de grabado y la concentración del ácido. En general, una concentración de ácido ortofosfórico al 37% durante 15-30 segundos es recomendado por los fabricantes para los diversos sistemas adhesivos actuales (Øgaard y Fjel, 2010).

La pregunta que clásicamente se ha realizado la odontología restauradora es: ¿Qué sustancia, solución acuosa o gel ácido, es la ideal para realizar el grabado del esmalte? Clínicamente, un gel es más fácil de controlar que una solución de ácido, ya que éste último por su problema de manejo, puede dañar el tejido gingival e inducir a hemorragias no controlada (Øgaard y Fjel, 2010).

Otros aspectos a considerar, respecto a las sustancias acondicionadoras del esmalte, son la fluidez y el color del material acondicionador. El gel grabador debe tener un color adecuado para ser contrastado con los tejidos orales y poder asegurar su completa eliminación (idealmente azul), pero más importante es que el material tenga una adecuada fluidez para su manejo. Los patrones de grabados sobre el esmalte de soluciones grabadoras y geles grabadores son similares, pero los últimos muestran un manejo más amigable y controlado en la clínica, especialmente para técnica de grabado selectivo del esmalte (Rossou, 2010).

La clasificación más frecuente de los patrones de grabado es según el tiempo de exposición del esmalte a un agente de grabado ácido. Estos son los llamados patrones Tipo I, II y III (Figura 26). El denominado Tipo I, se caracteriza por presentar disuelto solo el centro de los prismas; el Tipo II, por tener afectada únicamente su periferia, y el de Tipo III, por mostrar estriaciones completamente irregulares y menos profundas, producidas en áreas donde el esmalte carece de un ordenamiento coordinado, lo que se traduce en un potencial adhesivo más bajo (Henostroza y cols, 2003a; Øgaard y Fjel, 2010).

Los patrones de grabado varían a través del esmalte superficial. Mattick y Hobson informaron que un patrón ideal de grabado se encuentra en sólo el 5% del esmalte grabado en las superficies vestibulares de dientes humanos, y una alta fuerza adhesiva no depende de un patrón de grabado ideal. Esta variación se puede atribuir a las diferentes velocidades de disolución de esmalte (porosidades locales y calidad de cristal) y a la presencia de esmalte aprismático. Además, la reprecipitación de fosfatos de calcio durante el grabado con ácido fosfórico puede resultar en una estructura superficie irregular (Øgaard y Fjel, 2010).

Un grabado rutinario con ácido fosfórico retira varios micrones de la superficie del esmalte, aunque no es una profundidad uniforme. Si bien, las alteraciones en la estructura del esmalte se puede observar microscópicamente 100-200 μm bajo la superficie, la pérdida real de

estructura muestra una variación que va desde menos de 10 μm hasta un máximo de 170 μm (Figura 27). Sin embargo, Hosein y cols. calcularon la pérdida media de esmalte después de la limpieza con piedra pómez, seguido de un grabado ácido convencionales, con un rango de variación de menos de 3 μm hasta los 4.57 μm . El esmalte grabado que no es cubierto con adhesivo o resina compuesta, remineraliza relativamente rápido en unos pocos días de exposición a salival (Øgaard y Fjel, 2010).

El proceso adhesivo contemporáneo a esmalte superficial con ácido fosfórico incluye los siguientes pasos: 1) Profilaxis de la superficie de adhesiva (esmalte); 2) Aplicación de gel de ácido fosfórico al 37% por 15-30 segundos aproximadamente, para grabar la superficie; 3) Lavado abundante con spray de agua, eliminando todo el gel ácido de la superficie; 4) Secar con aire libre de aceite y humedad, hasta mostrar aspecto blanquecino; 5) Aplicación del primer/adhesivo (idealmente rellenado); 6) Aplicación material resinoso (sellante, cemento adhesivo, etc.); 6) fotopolimerización del conjunto adhesivo (Rossou, 2010).

En la técnica de grabado ácido convencional podemos observar algunos efectos iatrogénicos dentro de la superficie del esmalte. Dentro de estos se encuentran: pérdida de esmalte al momento de la desunión o desalojo de brackets, aumento de la retención de biofilm, pérdida del esmalte rico en flúor por envejecimiento, etc. (Devanna y Keluskar, 2008).

El daño a la superficie del esmalte durante la adhesión o la desunión adhesiva es de conocimiento clínico, sin embargo lo ideal es buscar un mínimo daño de la superficie del esmalte, pero con una alta resistencia adhesiva. Zachrisson (2000) reportó que el grosor normal del esmalte oscila entre 1500 y 2000 μm . La pérdida del esmalte se produce por diversos procesos, por ejemplo, desgaste abrasivo elimina aproximadamente 2 $\mu\text{m}/\text{año}$, grabado rutinario 3-10 μm , remoción de los brackets otros 25 μm . Así, un total de aproximadamente 35 μm se elimina en promedio en el proceso de de unión y remoción de brackets. Las 100 μm de esmalte superficial es capa rica en fluoruros. Es evidente que la mayoría de la pérdida de esmalte se encuentra dentro de la capa rica en flúor dejando una protección adecuada para el esmalte remanente. Generalmente, el esmalte normal y saludable puede realizar un proceso de remineralización reversible (Rossou, 2010).

Legler y cols. midieron la profundidad de grabado después de usar ácido fosfórico a diferentes concentraciones (5%, 15% y 37%) y tiempos de grabado (15, 30 y 60 segundos). Sus rangos de profundidades de grabados se encontraban entre los 27.1 μm con ácido fosfórico al 37% por 60 segundos y los 3.5 μm con ácido fosfórico al 5% por 15 segundos. Por lo tanto, la cantidad de calcio disuelto de la zona subsuperficial fue mínima con un tiempo de grabado de 15-30 segundos a bajas concentraciones. Recordemos que el esmalte aprismático del esmalte mide entre 5-7 μm . En tiempos muy prolongados de grabado ácido, se reduce la resistencia adhesiva. Coincidiendo con los autores anteriores, Sadowsky y cols., demostraron que no hay diferencias significativas entre en la retención adhesiva de brackets, realizado en diferentes tiempos de grabados (15 o 60 segundos) y concentraciones de ácido fosfórico (15 o 37%). Por lo tanto, ellos sugirieron reducir ambos aspectos de la técnica de grabado (tiempo y concentración ácida) (Rossou, 2010).

Según un estudio de Mitic y cols., en el 2005, los cambios superficiales ideales del esmalte para la técnica adhesiva con grabado ácido convencional se apreciaron luego de 30 segundos de exposición al ácido. Acá se observaron fisuras muy pequeñas en la periferia de las cabezas de los prismas, mostrando el inicio de la desmineralización del esmalte con formas micro-retentivas adecuadas. Sin embargo, una exposición prolongada del esmalte íntegro sano (Figura 28) a los ácidos, borra las características estructurales del esmalte provocando un patrón granuloso y espacios vacíos sin ningún tipo de relieve. Los resultados del estudio de Mitic y cols. (2005) mostraron que: el grabado del esmalte con duración de 15 segundos, muestra el inicio de la desmineralización de los prismas de esmalte (Figura 29); el grabado del esmalte con duración de 30 segundos (figura 30), muestra un acondicionamiento de la parte media de los cristales intraprisma (desmineralización Tipo II); el grabado del esmalte con duración de 45 segundos muestra cambios micromorfológicos importantes en la superficie del esmalte con márgenes prismáticos dentados e irregulares (Figura 31). Comparando estos resultados con otros estudios, se puede concluir que el grabado del esmalte, con una duración de 30 segundos, entrega los cambios micromorfológicos adecuados para la adhesión y colocación de brackets en ortodoncia (Mitic y cols., 2005).

Con el fin de eliminar etapas críticas de la técnica adhesiva convencional y facilitar el manejo clínico de la adhesión sobre la superficie del esmalte, surgieron hace algún tiempo atrás, los llamados adhesivos autograbantes o primers ácidos (Øgaard y Fjel, 2010). Este tipo de sistema adhesivo combina los pasos de grabado ácido e imprimación, eliminando la necesidad de enjuague y un posible daño sobre el tejido gingival.

Los patrones de grabado de los primers autograbantes parecen ser diferentes si se comparan con la técnica de grabado convencional con ácido fosfórico (Figura 32). Bishara y cols. informaron que la resistencia adhesiva a la cizalla de un agente imprimador de autograbado fue insatisfactoria (RelyX Unicem, 3M ESPE), en comparación con un sistema de grabado ácido tradicional con ácido fosfórico (Øgaard y Fjel, 2010).

Øgaard y Fjel en el 2010, compararon la superficie del esmalte con 3 sistemas adhesivos diferentes: a) grabado ácido convencional con gel de ácido fosfórico al 35%, seguido del uso de un primer/adhesivo Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, CA); b) preacondicionamiento con ácido poliacrílico al 10%, seguido de una adhesión de un cemento ionómero vítreo modificado con resina (Fuji ORTHO LC, GC Corporation, Tokyo, Japón) y c) sistema adhesivo autograbante (Transbond Plus) y el sistema adhesivo Transbond XT. El grupo del esmalte grabado con ácido ortofosfórico mostró macroscópicamente una apariencia de escarcha blanca. Además, la calidad del grabado varía de áreas bien grabadas, donde los prismas sobresalen en un “patrón panal de abeja”, con pequeñas y pocas rayas, a áreas donde el esmalte fue pobremente afectado por el ácido y se observaron gran cantidad de rayas. Los patrones de grabados sobresalieron como “cumbres y valles” sobre la superficie, con una distancia de 50µm. Se vieron afectados en mayor medida los lugares centrales (núcleos) de los prismas que las zonas periféricas. En el grupo de superficies de esmalte expuestas a primers autograbantes no se podían distinguir éstas de la superficie del esmalte normal (Figura 33). En el caso del grabado ácido con ácido poliacrílico es algo similar (Figura 34). Acá se han observado variaciones en la anatomía, como algunos agujeros y arañazos. Sin embargo, en algunas zonas se observó que el micrograbado se acentúa sobre las estructuras

prismáticas. Holzmeier y cols. han llegado a conclusiones similares. Las superficies del esmalte expuestas al ácido poliacrílico mostraron variaciones que van desde una superficie casi lisa, con pequeños fosas y/o aberturas, hasta zonas con agujeros y/o grietas. El ácido poliacrílico no logró abrir las zonas terminales de los prismas, situación similar a lo sucedido con ácido fosfórico. La superficie mostró variaciones muy semejantes a una anatomía normal del esmalte. Las imágenes al SEM del grabado convencional/sistema adhesivo mostraron una interfaz entre el esmalte y el adhesivo con muchos, largos y espesos tags de resina que habían penetrado dentro del esmalte. Este fue un hallazgo presente en toda la superficie. La longitud de los tags de resina varían de unos pocos micras hasta más de 20 μm , con la mayoría de los tags dentro de un rango de 10-20 μm . Acá la estructura típica del prisma se perdió, además las partes más profundas del grabado ácido no fueron alcanzadas por los tags de resina (Figura 35). Las superficies tratadas con primers autograbantes mostraron delgados tags de resina, más cortos y en menor cantidad que los observados cuando los dientes son expuestos al ácido fosfórico. La mayoría de los tags de resina se encuentran entre 5 y 10 μm (Figura 36). Las superficies expuestas al ácido poliacrílico no mostraron alguna presencia de tags de resina. Un claro límite apareció entre el esmalte y el ionómero de vidrio. Los prismas del esmalte alcanzaron la superficie casi sin ser afectados por el ácido (Figura 37). Con una mayor magnificación, se pudo visualizar gran parte de las partículas de carga del ionómero de vidrio. Sin embargo, se observaron algunas pequeñas agujas (prolongaciones) de menos de 1 μm dentro de la superficie del esmalte. Eso sí, no se pudo determinar con esta técnica, si estas microprolongaciones pertenecían el componente de resina de los ionómeros de vidrio o a la estructura del esmalte. La conclusión de este estudio fue que los sistemas adhesivos que utilizan primers de autograbado o acondicionadores con ácido poliacrílico podrían ofrecer potenciales beneficios, en comparación con la técnica de grabado ácido convencional e imprimación, debido a los cambios irreversibles (perdida de estructura) que se suceden en la superficie del esmalte. La mayor tasa de fallas adhesivas de los sistemas de unión basados en el acondicionamiento de la superficie del esmalte con adhesivos autograbantes o ácido poliacrílico puede ser compensadas con los efectos menos dañinos e irreversibles que se producen sobre las estructuras del esmalte (Øgaard y Fjel, 2010). Sin embargo, para los procesos adhesivos en odontología restauradora, estas alternativas de tratamiento de superficies no serían la mejor alternativa.

Respecto al uso de dispositivos láser para el acondicionamiento de la superficie del esmalte antes de la adhesión, existen resultados contradictorios. Esto se debería a que los aparatos utilizados (lasers) poseen diferentes salidas de potencia y los variados modelos de estudio. Un laser itrio aluminio granate neodimio dopado (Láser Nd-YAG) genera un patrón de grabado sobre el esmalte similar a la microestructura obtenida con el grabado ácido convencional (panal de abejas). Mediante la selección apropiada de potencia, frecuencia y ajuste de tiempo, los láseres nos permiten obtener un patrón de superficie del esmalte planificado. Sin embargo, una de sus grandes desventajas son los efectos del aumento de la temperatura pulpar después de su uso. Esto es menos probable que ocurra con el laser Er,Cr:YSGG (erbio, cromo dopado: itrio-escandio, galio- granate) (Øgaard y Fjel, 2010). El dispositivo láser Er,Cr:YSGG emite un haz de longitud de onda de 2,78 μm , el cual es capaz de cortar los tejidos duros dentales. El grabado con láser Er: Cr: YSGG induce microgrietas en la superficie del esmalte que mejora la fuerza de adhesión. Berk y cols y Özer y cols informaron que un láser de Er,Cr:YSGG con salida de 1,5 W produce un grabado que otorga una fuerza de adhesión suficiente para bandas

en molares. Además, el láser de 1W produjo un patrón de panal de abejas con microfisuras. No hay información acerca de la profundidad de grabado que se obtuvo, por lo que este punto debe examinarse más a fondo (Øgaard y Fjel, 2010). Sus resultados respecto a las fuerzas adhesivas obtenidas sobre esmalte superficial han sido también insatisfactorios. Por lo tanto, no se recomienda como técnica de acondicionamiento previo a la técnica adhesiva, debido a sus bajos resultados adhesivos y su potencial daño pulpar.

La irradiación con láser también puede reducir la susceptibilidad de caries mediante la modificación del fosfato de calcio del esmalte, formando compuestos más estables y menos solubles a los ácidos. También, se ha sugerido que la irradiación láser crea microespacios en el esmalte que pueden actuar como sitios de deposición de iones liberados durante los desafíos cariogénicos (Øgaard y Fjel, 2010).

Desde la introducción del ácido fosfórico como agente de grabado del esmalte, varios agentes ácidos y quelantes se han estudiado, pero ninguno de ellos ha demostrado ventajas reales y significativas sobre el grabado con ácido fosfórico. Casi siempre se obtenían pobres patrones de grabado ácido, bajos valores de fuerzas adhesivas, e incluso, excesiva disolución de la superficie del esmalte (Devanna y Keluskar, 2008). Sin embargo, surgió una nueva alternativa más conservadora para el preacondicionamiento de la superficie del esmalte, el crecimiento de cristales, fenómeno demostrado por Smith y Cartz. Las soluciones de crecimiento de cristales están basadas en una mezcla de ácido poliacrílico e iones de sulfato residuales (Devanna y Keluskar, 2008).

Devanna y Keluskar, en el 2008, contrastaron un ácido poliacrílico sulfatado al 20% (ácido poliacrílico al 20% incorporado a una solución de sulfato de potasio iónico) con el grabado con ácido fosfórico al 37% para el acondicionamiento directo sobre la superficie del esmalte, evaluando el patrón de grabado, la profundidad de la penetración y la resistencia de la unión de los dos ácidos. La primera conclusión nos informó del aumento de la humectación de la superficie del esmalte por el grabado ácido. El grabado con ácido fosfórico al 37% durante 30 y 60 segundos produjo diferentes patrones de grabado. El grabado durante 30 segundos produjo un patrón de grabado tipo I o buen patrón de grabado, es decir, la disolución preferencial de los núcleos de prisma de esmalte y límites (Figura 38). Los resultados son similares a los obtenidos por Retief y cols. El patrón de grabado en un tiempo de más de 30 segundos resultó en la formación de grietas, ranuras y mal definidos los patrones de ataque químico (Figura 39). El patrón de grabado con ácido poliacrílico sulfatado al 20% produjo un patrón de grabado similar a los 30 y 60 segundos. El crecimiento de los cristales fue visto en 30 segundos (Figura 40). Las fotografías SEM demostraron formaciones de cristal similares a los descritos por Smith y cols. Estos cristales parecen formar un área adecuada para el flujo de la resina, formando una malla de retención. Las muestras de grabado con ácido poliacrílico sulfatado al 20% por 60 segundos mostró la formación de grietas y pozos (figura 41). Un 37% de las muestras con ácido fosfórico penetró en promedio una profundidad entre las 25,10 μm a 30 segundo y 16,88 μm a 60 segundos. El ácido poliacrílico sulfatado al 20% penetró en menor medida, a los 30 y 60 segundos. La solución II penetró a una profundidad de 12,10 μm en 30 segundos y 06,39 μm 60 segundos, respectivamente. Las conclusiones del estudio mostraron que la aplicación de ácido poliacrílico sulfatado al 20% también produce un buen patrón de grabado. Pobres patrones de grabado se producen con ácido poliacrílico sulfatado al

20% a los 60 segundos. Además, el gel de ácido fosfórico al 37% aplicado por 30 segundos proporciona una fuerza de unión adhesiva adecuada sobre la interface-adhesivo. El ácido poliacrílico sulfatado al 20% aplicado durante 30 segundos obtuvo valores menores de adhesión. Finalmente ellos concluyeron que el ácido poliacrílico sulfatado al 20% podría ser una alternativa al grabado con ácido fosfórico, ya que disuelve una menor cantidad de esmalte, pero con una resistencia a la tracción ligeramente menor (Devanna y Keluskar, 2008).

Otra sustancia utilizada para la limpieza y acondicionamiento previo del esmalte es el hipoclorito de sodio (NaOCl). Espinosa y cols. demostraron que acondicionar la superficie del esmalte con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5,25% durante 1 minuto, antes de grabado al ácido, aumenta la calidad del patrón de grabado, debido a que el hipoclorito de sodio elimina la materia orgánica de la superficie del esmalte (desproteínización del esmalte). Los autores demostraron que esta capa superficial externa de material orgánico es la que evita que el ácido fosfórico convencional al 37% realice un eficaz grabado de la superficie, lo que resulta en patrones de grabado inconsistentes y una superficie de esmalte poco fiable para la unión. Cuando se utilizó NaOCl se produjeron patrones de grabado tipo 1 y 2, mientras que el patrón de grabado tipo 3 predominó cuando el hipoclorito de sodio no se utilizó. De lo mencionado anteriormente, se puede especular que podría ser mayor la fuerza adhesiva a la cizalla si se realiza una desproteínización superficial del esmalte con el NaOCl al 5,25%, antes de grabar con ácido fosfórico al 37% (Justus y cols, 2010). Los autores consideran que el uso de NaOCl mejora los patrones de grabados para el uso de un cemento de ionómero vítreo modificado con resinas, lo que se traduce en un mejor desempeño clínico de este tipo de materiales. La desproteínización previa del esmalte es un paso importante para la adhesión de los brackets, ya sea con cementos ionómeros vítreos modificados con resina o resinas compuestas. El sellado marginal de la base de un bracket a esmalte es mejorado debido a los patrones de grabados tipo 1 y tipo 2 obtenidos con la aplicación previa de NaOCl. De esta forma, podríamos minimizar la formación de “manchas blancas” alrededor de los brackets. Los resultados obtenidos mediante el SEM demostraron que superficies de esmalte pretratadas con NaOCl, previo al grabado ácido con ácido ortofosfórico, producen superficies más rugosas que las superficies no tratadas con NaOCl. En las superficies pretratadas con NaOCl se observaron patrones de grabado tipo 1 y 2 (Figura 42). En dientes sin pretratamiento de NaOCl, se observaron patrones de grabado tipo 3 (Figura 43). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Espinosa y cols., en el 2008. El pretratamiento con NaOCl, seguido del grabado ácido con ácido ortofosfórico al 37%, probablemente produce largos tags de resina que penetran en esmalte, lo que incrementa la retención micromecánica adhesiva al esmalte. Las desventajas de esta técnica es el tiempo de espera adicional de 1 minuto, la química caustica del producto y su sabor (Justus y cols, 2010).

Los momentos más críticos de contaminación de los procesos adhesivos son inmediatamente antes y después de la aplicación del adhesivo sobre el diente. La contaminación antes de la imprimación no evita la formación del smear layer. La capa de contaminación está compuesta principalmente de proteínas, las cuales cubren la superficie grabada en cuestión de segundos, y por lo tanto, inhiben la penetración de los agentes imprimadores en la superficie porosa grabada. La contaminación también puede tener lugar después de la preparación de la superficie (Brauchli y cols., 2010). Ambas situaciones resultan en fuerzas adhesivas de valores

muy inferiores, pudiendo provocar el desprendimiento prematuro de las restauraciones o brackets.

Los contaminantes más frecuentes en los procedimientos adhesivos bucales son la sangre y/o saliva. Para superar estos problemas, en las últimas décadas se han desarrollado adhesivos más tolerantes a la humedad. Una de las modificaciones de estos sistemas ha sido la incorporación dentro del primer de algunos solventes volátiles como la acetona o el etanol. Ambas sustancias puede desplazar el agua y por lo tanto, hacerlos menos sensibles a la contaminación. Clínicamente, la necesidad de un ambiente seco todavía es primordial. Otra clase de sustancias que se sabe que son más hidrofílicas que los composites convencionales son los ionómeros de vidrio modificados con resina. El enlace iónico entre la hidroxiapatita y el carboxilato del ácido polycarbónico permite la aplicación de estos compuestos sobre el esmalte sin grabar. Sin embargo, la aplicación de un agente de grabado convencional, previo a la aplicación de los ionómeros modificados con resina aumenta la fuerza de unión significativamente. Otra posibilidad para minimizar la contaminación es reducir los pasos clínicos del procedimiento de adhesión y por tanto, eliminar etapas de contaminación, como se ha hecho con los primers de autograbado. Monómeros acídicos son utilizados en los adhesivos y primers autograbantes. Estos monómeros disuelven el esmalte de superficie y, al hacerlo, liberan iones de calcio. Estos iones provocan la neutralización de los monómeros de ácido, y por lo tanto, detienen la progresión del ataque ácido y la penetración de grabado. Todo esto resulta en una adhesión garantizada. Además, estos adhesivos poseen una mayor tolerancia frente a la contaminación con agua o saliva (Brauchli y cols., 2010).

Junto con el mantenimiento de un ambiente seco, la mayor tolerancia de los adhesivos a la humedad y la reducción de las posibilidades de contaminación con un buen aislamiento, un cuarto enfoque puede ser considerado: la descontaminación. Poco se sabe acerca de los procedimientos de descontaminación con éxito después de la contaminación con sangre o saliva de una superficie previamente grabada o incluso previamente imprimada. Debido a que los procedimientos que implican el regrabado ácido sobre los dientes causan una mayor pérdida de esmalte, nos centramos sobre las posibilidades clínicas de descontaminación por agua, aire y la reimprimación sin regrabado (Brauchli y cols., 2010).

Como dijimos anteriormente, los contaminantes más comunes del esmalte durante los procedimientos de adhesión son la saliva y la sangre. Mientras la saliva se produce durante todas las etapas adhesivas, la sangre se encuentra principalmente en procesos de adhesión en cavidades compuestas, márgenes para o subgingivales o recementación de brackets en dientes con gingivitis. La saliva se compone principalmente de agua (99%), polisacáridos, proteínas, y enzimas. El mecanismo de contaminación se produce de diferentes maneras. Al parecer, en cuestión de segundos, una capa de barrillo orgánico se forma y cubre la superficie grabada y porosa del esmalte. Además de la adherencia mecánica del adhesivo, también se ha descrito la unión química entre los iones calcio y fosfato. El estudio de Brauchli y cols., en el 2010, mostró diferencias en las características de unión de 4 sistemas sobre las superficies contaminadas. Las propiedades hidrofóbicas del imprimador Transbond XT logró repeler la saliva. Sin embargo, el efecto no fue suficientemente fuerte, y las fuerzas adhesivas fueron significativamente más bajas que los del grupo control. Al parecer, el etanol es el responsable de la mayor tolerancia a la humedad, mejorando la fuerza de adhesión cuando existe una

contaminación de humedad mínima, como fluido crevicular o la humedad de la respiración. Sin embargo, la contaminación con saliva cubre la superficie, no sólo con cantidades considerables de humedad, sino también con cantidades considerables de materia orgánica. En este estudio, la fuerza adhesiva se redujo en aproximadamente el 80%, lo que se correlaciona con otras investigaciones. La degradación de las proteínas de la saliva por los componentes del ácido grabador son probablemente los responsables de este comportamiento tan desfavorable. La contaminación con la sangre provoca una disminución uniforme de las fuerzas adhesivas. Al parecer, grandes cantidades de sustancias orgánicas impide la unión entre el primer y el adhesivo. Finalmente, Brauchli y cols., mostraron que el procedimiento de descontaminación que consiste en un lavado minucioso con agua, secado con aire, y reimprimación con adhesivo puede ser utilizado con éxito sobre las superficies imprimadas y contaminados con sangre o saliva. Si trabajamos con contaminación con sangre y no las descontaminamos, las fuerzas de adhesión son muy reducidas para todos los adhesivos probados. Curiosamente, todos los adhesivos también se vieron afectados por la contaminación con saliva, mostrando una reducción en la fuerza de adhesión. Para el manejo clínico de las superficies de unión contaminada se puede recomendar lo siguiente: el regrabado no es necesario. Una descontaminación simple con agua, aire y una reimprimación adhesiva nos entrega una fuerza de adhesión suficiente para todas las adhesivos (Brauchli y cols., 2010).

Es posible visualizar fallas de tipo cohesivas dentro de las capas adhesivas ubicadas sobre el esmalte contaminado con saliva antes del proceso adhesivo. A pesar de ello, la técnica adhesiva con adhesivos autograbantes es menos sensible que los adhesivos de grabado total, teniendo un mejor desempeño al contaminarse con saliva o sangre durante el proceso adhesivo. Cabe destacar que estos estudios se han realizado utilizando saliva artificial (salivan), compuesto principalmente por carmelosa sódica. Si bien esta saliva ayuda a simular las condiciones de contaminación in vitro, este tipo de saliva está libre de glicoproteínas tales como la mucina, enzimas digestivas como la lipasa y la amilasa, y también de otros compuestos como lactoferrinas, histatina, iones tiocianato e inmunoglobulinas. Es probable que el riesgo de contaminación con la saliva humana in vivo ponga en un peligro mayor la hibridización del esmalte que la contaminación con saliva artificial. Bishara y cols., reportaron que hubo una reducción de la fuerza de adhesión en aproximadamente un 75% con saliva humana antes y después de la imprimación. Además, la superficie del esmalte, al ser secado después del lavado con agua, elimina tal vez toda la saliva residual (Campos y cols, 2010).

Cacciafesta y cols, analizaron el efecto de la contaminación con agua y saliva sobre la resistencia adhesiva a la cizalla para brackets con sistemas de grabado convencionales y autograbantes. Encontraron un rendimiento adhesivo superior en los sistemas adhesivos autograbantes sobre el esmalte contaminado. Este tipo de adhesivo parece ser más tolerante a la contaminación salival, pero un adecuado aislamiento sigue siendo necesario para la obtención de altas fuerzas adhesivas (Campos y cols, 2010).

Si el esmalte hibridizado con un adhesivo autograbante es contaminado con saliva y solo el aire es usado para remover la saliva, se observa una disminución en las fuerzas adhesivas. Por lo tanto, cualquier restauración u objeto que sea adherido a las superficies dentarias (esmalte)

debe ser en un ambiente seco, ya que la mayoría de los adhesivos (grabado total y/o autograbantes) son influenciados por la contaminación salival (Campos y cols, 2010).

Debemos entender también que la saliva puede provocar fuerzas adhesivas inaceptables clínicamente, sin embargo, la contaminación con sangre parece ser mucho más crítica. Para la remoción de la contaminación salival de la superficie del esmalte, se ha recomendado el lavado con spray agua/aire, el uso del gel de ácido fosfórico y solventes o emulsiones ácidas, básicas o neutras (Campos y cols, 2010). La influencia negativa de la contaminación con sangre sobre la resistencia adhesiva, puede ser atribuida a su alto contenido proteico, con macromoléculas como el fibrinógeno y las plaquetas, las cuales pueden formar una película sobre las estructuras dentarias, impidiendo la penetración del sistema adhesivo sobre los tejidos dentarios (esmalte y/o dentina). Estudios recientes reportaron que los sistemas adhesivos hidrofílicos son menos sensibles a la contaminación con saliva que los sistemas adhesivos hidrofóbicos. Sin embargo, el efecto de la contaminación con sangre sobre la resistencia adhesiva sobre los sistemas adhesivos hidrofílicos aún no está claro (Carvalho y cols, 2010).

Algunos tratamientos se han propuestos para revertir el efecto de la contaminación con sangre sobre las superficies dentarias. Entre ellos se encuentran el fresado con instrumentos rotatorios, el lavado con agua seguido de secado con aire, el lavado con agua más reaplicación del primer o el regrabado con ácido ortofosfórico, pero todos ellos son conflictivos. Estudios sobre los efectos de diferentes contaminantes, como: agua, saliva, plasma, lubricante de la pieza de mano, cementos basados en eugenol y libres de eugenol, sobre la adhesión de los agentes adhesivos sobre los tejidos dentales, mostraron que el plasma disminuía los valores de resistencia adhesiva, tanto para esmalte (33%) y para dentina (70%). Los autores proponen que el contenido proteínico de algunos contaminantes (sangre) pueden impedir que los monómeros penetren dentro de las micro-retenciones en el esmalte y la red colágena expuesta en dentina, reduciendo la resistencia adhesiva (Carvalho y cols, 2010).

Los estudios de Reynolds sugirieron fuerzas de resistencia adhesiva entre 6-8 MPa en situaciones de contaminación con sangre, valores que son “aceptados” para fines ortodónticos. Sin embargo, los estudios para odontología restauradora difieren de los anteriores, ya que acá debemos obtener valores entre 17-20 MPa, ya que de otra forma la capa adhesiva no es capaz de resistir las fuerzas de contracción, generando gaps en las interfaces (Carvalho y cols, 2010).

Los resultados en esmalte revelan que la contaminación con sangre no reduce la resistencia adhesiva cuando esta ocurre antes de la aplicación del primer, lo cual coincide con resultados obtenidos con otros autores. Una explicación de estos resultados es que la aplicación de adhesivos autograbantes limpia o hidroliza la sangre sobre la superficie del esmalte. Los procedimientos de limpieza de contaminación con sangre (limpiar en seco con algodón, luego lavar y secar) produce una correcta adhesión, sugiriendo que el primer ácido por sí solo puede limpiar la superficie del esmalte y adherirse a los tejidos subyacentes (Carvalho y cols, 2010). Sin embargo y de acuerdo a nuestros descubrimientos, la contaminación con sangre seguida de la aplicación de un adhesivo es un procedimiento conflictivo, que reduce los valores adhesivos. Para recuperar los valores perdidos, es imperativo lavar la superficie del esmalte contaminado con aire/agua para incrementar la adhesión. Cuando solo se limpia la

sangre con algún elemento (algodón, por ejemplo), la sangre parece ser una barrera física que impide que el adhesivo pueda penetrar la superficie grabada (micro-retenciones) sobre el esmalte (Carvalho y cols, 2010).

Cuando la contaminación con sangre ocurre después de la polimerización del adhesivo, se observan diferentes resultados. Cuando la sangre se enjuaga con agua, se observa un aumento de la adhesión. Cabe señalar que el proceso de lavado y secado incrementa los valores de adhesión, pero no los iguala al grupo control de este estudio. Esto es debido al espesor total limitado de la capa de adhesivo o al hecho de que el lavado altera la capa inhibida adhesiva. El hecho de limpiar en seco (algodón) sin lavar provoca que las proteínas de la sangre impidan una correcta adherencia de la resina compuesta al adhesivo (Carvalho y cols, 2010). La contaminación con sangre impide la adherencia de los sistemas de autograbado de dos pasos en esmalte. El procedimiento de limpieza en seco no limpia los sustratos contaminados con sangre, donde se aplico el adhesivo posteriormente. Con el tratamiento propuesto en este estudio de lavado y secado se puede recuperar la adhesión al esmalte cuando se produjo la contaminación con sangre, siempre y cuando se realice este procedimiento de limpieza antes de la etapa adhesiva (Carvalho y cols, 2010).

Al realizar pruebas de resistencia adhesiva de brackets sobre esmalte contaminado con sangre, el requisito mínimo de fuerza adhesiva para este tipo de aditamentos (6-8Mpa) no se logró, independientemente del tiempo de contaminación. Esto está de acuerdo con investigaciones previas que evaluó la fuerza de unión a la cizalla de brackets sobre esmalte contaminado con sangre (Cacciafesta y cols, 2004) (Sfondrini y cols, 2004) (Oztoprak y cols, 2007).

A modo de resumen y como hemos mencionado anteriormente la saliva, la humedad de la respiración, restos orgánicos y la sangre se han identificado como potenciales contaminantes de las superficies dentarias y estos contaminantes pueden llevar al fracaso adhesivo. Desde este punto de vista, la presencia de aceite en jeringas de aire/agua y líneas de compresores, podrían generar la contaminación de la capa superficial del esmalte, después de la etapa de grabado ácido, paso crucial en el proceso de adhesión. Borsatto y cols, en el 2010, observó que la contaminación con aceite del instrumental rotatorio afecta negativamente la adhesión de sellantes al esmalte superficial. En este experimento, el esmalte fue contaminado después del grabado ácido con aceite de las líneas de aire comprimido, previo a la aplicación del adhesivo y del sellante. Algunos autores (Knight y cols, 1999; Matos y cols, 2008) han informado que la contaminación del aceite de pieza de mano (baja velocidad) antes de la aplicación del sistema adhesivo interfirió con la unión al esmalte. Sin embargo, otros autores (Xie y cols, 1993; Powers y cols, 1995) declararon que el lubricante pieza de mano no afectó de forma significativa a la fuerza de adhesión a esmalte. En resumen, la contaminación con aceite afecta negativamente la adhesión de los sellante al esmalte. Además, al asociar un sellante a sistemas adhesivos en base a acetona se evita los efectos nocivos de la contaminación con aceite sobre la adhesión (Borsatto y cols, 2010).

Se ha reportado la alta susceptibilidad de fosas y fisuras de recibir un ataque carioso rápido poco después de la erupción dentaria. Dentro de este contexto, el tratamiento de fosas y fisuras con sellantes, poco después de la erupción dentaria, se ha considerado un importante recurso complementario para la prevención de caries, en conjunto con la aplicación de flúor tópico

para promover la maduración del esmalte (Borsatto y cols, 2010). Sin embargo, en algunos casos se ha observado una escasa utilización de sellantes en la práctica clínica diaria, debido a la falta de confianza en su unión al esmalte, ya que muchas veces la dificultad de lograr un aislamiento adecuado o campo seco se ve imposible de realizar.

Como ya es sabido, la adecuada retención de un sellante de puntos y fisuras requiere de una superficie limpia y libre del exceso de humedad. El uso de un ácido convencional elimina por completo la película de esmalte superficial, pero en los casos donde existe mala higiene bucal, la limpieza de las fosas y fisuras con un cepillo de copa en seco resulta ser beneficioso previo a realizar la restauración preventiva (McDonald and Avery, 2011).

Pope y cols. encontraron que el uso de una fresa redonda pequeña sobre la superficie del esmalte produjo la mayor penetración del agente sellador en el esmalte grabado en un estudio *in vitro*. El uso del sistema de aire abrasión con óxido de aluminio permite una penetración mayor del sellante, si se compara con el uso de piedra pómez o un cepillo de cerdas seco solo. Eso sí, no se sabe si el aumento en la profundidad de penetración del agente sellador se traducirá en una mayor retención del sellador. Cuando el óxido de aluminio o la piedra pómez son utilizados, las partículas se quedan en los rincones más profundos de las fosas, cuyo impacto no ha sido determinado aún. Kofman y cols. midieron la microinfiltración de sellantes colocados en tres grupos de dientes indicados por extracción. Los dientes fueron acondicionados por grabado ácido convencional, con una fresa redonda, y la preparación de la superficie con abrasión de aire. Los dientes preparados con fresa mostraron una menor tasa de microinfiltración. En los otros dos grupos (grabado convencional y aire abrasivo), la microinfiltración fue aproximadamente igual. En resumen, el uso inadecuado de la técnica amelooplastía, a menudo, elimina la última capa de esmalte del fondo de las fisuras que recubre y protege la dentina, lo que deja a los dientes más susceptibles a caries en el futuro, en caso de pérdida del sellante. Una buena técnica y volumen del sellante es probablemente más beneficioso que la amelooplastía (McDonald and Avery, 2011).

Otros autores han propuesto utilizar alguna capa intermedia, como algún agente adhesivo, para maximizar la humectabilidad del esmalte. Borem y Feigal también demostraron que los agentes adhesivos reducen la microinfiltración de los sellantes aplicados sobre esmalte con contaminación salival (Figura 44), además de sugerir que un sellante de alta viscosidad no penetrará en la profundidad de las fosas ni fisuras, a diferencia de los sellantes de baja viscosidad. Por lo tanto, el uso de agentes humectantes ayudantes sobre la superficie del esmalte son recomendados, ya que además de permitir una mejor difusión del sellante en las fosas y fisuras, nos permite preservar el sello hermético de la interfaz esmalte-sellante (Perdigão y cols., 2011).

CONCLUSIÓN

En 1955, Buonocore demostró que los valores de adhesión, que en ese tiempo eran muy pobres, son posibles de mejorar por medio del grabado del esmalte con ácido fosfórico, ya que este proceso hace más receptivo el esmalte a las resinas acrílicas (Perdigão y cols., 2011).

Desde los inicios de las primeras técnicas de unión a esmalte se ha intentado desarrollar un sinnúmero de alternativas adhesivas, con el fin de simplificar el proceso adhesivo, de optimizar el tiempo clínico de trabajo, de trabajar bajo diversas condiciones (húmedas-secas), etc., pero a pesar de todos estos esfuerzos, la técnica de grabado ácido convencional sigue siendo el procedimiento más eficaz para una adhesión estable al esmalte superficial (Carpena y cols, 2007). El uso de ácidos de grabado convencional en conjunto con sistemas adhesivos, se ha aceptado como protocolo para la aplicación de sellantes sobre las superficies dentarias. Los adhesivos de grabado convencional incluyen el ácido fosfórico, que desmineraliza y remueve los cristales de hidroxiapatita de la superficie del esmalte, generando microporosidades. Los adhesivos se infiltran dentro de estos espacios, generando tags de resina. Cabe destacar que nuevos materiales han aparecido, evitando el uso del ácido ortofosfórico. Estos nuevos sistemas son los llamados adhesivos autograbantes (Perdigão y cols., 2011).

Como se mencionó anteriormente, en la actualidad también se han introducido los principios de unión basados en los primers ácidos o de autograbado y el acondicionamiento de la superficie del esmalte con ácido poliacrílico antes de la unión con ionómeros de vidrio modificados con resinas. Estos productos tienen el potencial de inducir menos daño a la superficie del esmalte que las técnicas de grabado ácido convencionales (Øgaard y Fjel, 2010).

Debido a su composición especial con monómeros acídicos polimerizables, los adhesivos autograbantes graban e imprimen simultáneamente el esmalte antes de la copolimerización con el smear layer (no poseen etapas clínicas de grabar y lavar). Varios estudios demostraron una menor fuerza adhesiva de los adhesivos autograbantes al unir resinas compuestas a esmalte, además de mostrar una menor desmineralización de los tejidos dentarios, si se comparaban con el ácido fosfórico. Por lo mismo, se sugirió una modificación en la técnica al momento de realizar el acondicionamiento superficial de los tejidos dentales. Esta modificación consiste en aplicar previamente ácido fosfórico al 37%, lavar, secar, y posteriormente, aplicar el sistema adhesivo autograbante, para mejorar los valores de fuerzas adhesivas. A pesar de esto, hay algunos autores que no recomiendan el uso de los autograbantes sobre el esmalte íntegro, ya que sus fuerzas adhesivas son bastantes bajas, además de experimentar microinfiltración. Sin embargo, los adhesivos autograbantes han hecho más amigable la aplicación de sellantes, especialmente en pacientes pequeños (Perdigão y cols., 2011).

En odontología restauradora, los materiales adhesivos y restauraciones son unidos al diente de forma permanentemente. En otras ramas de la odontología, como la ortodoncia, esta adhesión al diente es por un periodo limitado (Øgaard y Fjel, 2010). Según estudios y promedios de resultados obtenidos por varios investigadores (Retief, 1974; Bowen y Rodríguez, 1962; Reynolds, 1975; Bishara y cols., 1993), podemos sugerir que el rango óptimo de resistencia

adhesiva se encuentra entre 5.88 y 13.53 MPa para fuerzas adhesivas ortodóncicas (Rossou, 2010), sin embargo, los valores para la fuerza adhesiva en odontología restauradora debe superar los 20 MPa y más (Bayona y cols., 2010). Independiente del fin restaurador, permanente o temporal, es importantísimo realizar los procedimientos adhesivos superficiales del esmalte de forma rigurosa, en ausencia de humedad, para lograr tasas de fallas adhesivas bajas (Rossou, 2010).

La contaminación con sangre y saliva son el mayor problema durante los tratamientos restauradores, especialmente cuando el aislamiento absoluto con goma dique no es posible. Si la técnica adhesiva no es llevada a cabo de forma correcta, problemas como la microinfiltración y caries secundarias se harán patentes a futuro, especialmente en cavidades subgingivales (Carvalho y cols, 2010). Los variados efectos de la sangre sobre la adhesión varían según: tipo de sistema adhesivo utilizado, tiempo de exposición al contaminante, tipo de sustrato, tipo de sangre (fresca, anticoagulante), etc. La sangre con anticoagulante disminuye aún más la resistencia adhesiva, comparada con la contaminación con sangre sin anticoagulante (Carvalho y cols, 2010).

Los resultados de varios estudios (Choi y cols, 1997; Gomes-Silva y cols, 2008) han demostrado que el uso de sistemas adhesivos en conjunto con sellantes mejoran la adhesión a esmalte grabado en condiciones de sequedad y contaminación. Es probable que algunas sustancias o solventes como el etanol y acetona, presente en los sistemas actuales, sean capaces de eliminar la humedad residual del esmalte grabado, llevando los monómeros de resina dentro de las micro-rugosidades de la superficie del esmalte. Además, los monómeros hidrofílicos presentes en estos materiales actuales aumentan la humectación de la superficie y la penetración de la resina, para contrarrestar los efectos adversos de la contaminación orgánica (saliva o aceite) en la unión a la estructura dental. Finalmente, se recomienda agregar una capa de adhesivo para aumentar la fuerza de unión para la adhesión de sellantes a esmalte superficial en presencia de humedad y contaminación salival (Borsatto y cols, 2010).

Finalmente, podemos concluir que al realizar cualquier tipo de procedimiento de unión a esmalte superficial, debemos tener en cuenta un sinnúmero de consideraciones, especialmente antes y durante el proceso adhesivo. Para ejecutar una correcta técnica adhesiva debemos limpiar adecuadamente la superficie del esmalte, lograr un ambiente adhesivo óptimo, realizar un acondicionamiento previo del esmalte para lograr una buena retención superficial, etc. (Mitic y cols., 2005). Cualquier detalle que no consideremos en nuestro procedimiento, nos llevará al fracaso adhesivo, caries secundarias y/o pérdida de nuestra restauración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdulkadir S., Orucoglu H., Ipekdal I., Ozer F., *Adhesion of Two Bonding Systems to Air-Abraded or Bur-Abraded Human Enamel Surfaces*, Eur J Dent., 2008, July; 2: 167–175.

Barrancos J. y Barrancos P, (2006), *Operatoria dental: integración clínica*, editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Capitulo 15 histología dentaria, paginas 262 – 279

Brauchli L, Eichenberger M, Steineck M, Wichelhaus A., *Influence of decontamination procedures on shear forces after contamination with blood or saliva*, Am J Orthod Dentofacial Orthop., 2010, Oct;138(4):435-41.

Başaran G. y Veli I., 2011, Dicle University Turkey, “Modern Etching and Bonding Materials in Orthodontics”. Disponible en: http://www.intechopen.com/source/pdfs/24349/InTech-Modern_etching_and_bonding_materials_in_orthodontics.pdf

Bayona Marín A., Cano Mónica F., Macías Leguizamón C., *Comparación de la resistencia adhesiva de brackets cementados, efectuando o no un pretratamiento al esmalte dental con hipoclorito de sodio al 5.25%*, Rev Odontos, 2010; 12(34): 10-17.

Berk N., Basaran G., Özer T., *Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes*, European Journal of Orthodontics 30, 2008, 183–189.

Blunck U., *Sistemas adhesivos: revisión y recomendaciones para su aplicación*, Quintessenz Team Journal., 2008; 38:327-37.

Borges Retamoso L. y cols., *Shear bond strength of metallic brackets: Influence of saliva contamination*, J appl oral sci., 2009;17(3):190-4.

Borsatto MC, Thomaz MY, Contente MM, Gomes-Silva JM, Mellara Tde S, Galo R, Palma-Dibb RG., *Bonding agent underneath sealant: shear bond strength to oil-contaminated*, Braz Dent J., 2010, Jan;21(1):50-4.

Cacciafesta V., Sfondrini M.F., Scribante A., De Angelis M., Klersy C., *Effects of blood contamination on the shear bond strengths of conventional and hydrophilic primers.*, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004;126:207–12.

Campos S. R., Cavalli V., Suzy P., Augusto do Rego M., *Influence of saliva contamination on the shear bond strength of orthodontic brackets bonded with self-etching adhesive systems*, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2010, Volume 138, Issue 1, July 2010, Pages 79-83.

Carpena G. y cols, *Enamel Acid Etching: A Review*, 2007, C. E. 1. Compendium, January; 28(1):662-669.

Carvalho Mendonça E. C., *Influence of Blood Contamination on Bond Strength of a Self-Etching System*, Eur J Dent., 2010, July; 4(3): 280–286.

Chain M. y Baratieri L., (2001), *Restauraciones estéticas con resinas compuestas en dientes posteriores*, editorial Artes Médicas limitada, Sao Paulo - Brasil, Capítulo 3 Adhesión a la estructura dental, páginas 29 – 44.

Choi J., Drummond J., Dooley R., Punwani I., Soh J., *The efficacy of primer on sealant shear bond strength*, Pediatr Dent, 1997;19:286-288.

Devanna R, Keluskar KM, *Crystal growth vs. conventional acid etching: a comparative evaluation of etch patterns, penetration depths, and bond strengths*, Indian J Dent Res., 2008, Oct-Dec;19(4):309-14.

Eliades G. y cols., (2005a), *Dental hard tissues and bonding: interfacial phenomena and related properties*, editorial Springer, Berlin, Part I – Bonding to Enamel, 1 Etched Enamel Structure and Topography: Interface with Materials, pages 3-34.

Eliades G. y cols., (2005a), *Dental hard tissues and bonding: interfacial phenomena and related properties*, editorial Springer, Berlin, Part I – Bonding to Enamel, 2 Bonding of Resinous Materials on Primary Enamel, pages 35-48

Gomes-Silva J., Torres C., Oliveira M., Palma-Dibb R., Borsatto M., *Bond strength of a pit-and-fissure sealant associated to etch-and-rinse and self-etching adhesive systems to saliva-contaminated enamel: individual vs. simultaneous light curing*, Braz Dent J, 2008;19:341-347.

Henostroza G. y cols, (2003a), *Adhesión en odontología restauradora*, editora Maio, Curitiba – Brasil, Capítulo 1 Perspectiva histórica, páginas 13-26.

Henostroza G. y cols, (2003b), *Adhesión en odontología restauradora*, editora Maio, Curitiba – Brasil, Capítulo 4 Adhesión a esmalte y dentina con adhesivos poliméricos, páginas 71 - 80.

Herrera E., *Fracasos en la adhesión*, Av. Odontoestomatol, 2005; 21-2: 63-69.

Hume W. y Mount G., (1999), *Conservación y restauración de la estructura dental*, editorial Elsevier, España, capítulo 1- estructura dental, página 2

Jahn K., Geitel B., Kostka E., Wischnewski R., Roulet J., *Tensile bond strength of composite to air-abraded enamel*, J Adhes Dent, 1999;1:25-30.

Justus R., Cubero T., Ondarza R., Morales F., *A New Technique With Sodium Hypochlorite to Increase Bracket Shear Bond Strength of Fluoride-releasing Resin-modified Glass Ionomer Cements: Comparing Shear Bond Strength of Two Adhesive Systems With Enamel Surface Deproteinization Before Etching*, Seminars in Orthodontics, 2010, Vol 16, No 1 (March): pp 66-75.

Knight J., Draughn R., Evans M., *Effects of handpiece lubrication on resin-based composite bond strength to enamel.*, Am J Dent, 1999;12:1116-1118.

Lanata E. y cols., (2008), *Atlas de operatoria dental*, editorial Alfaomega, Buenos Aires, capitulo 6 Sistemas adhesivos, pagina 87 -96

Lin J. y cols., *Bonding of self-adhesive resin cements to enamel using different surface treatments: bond strength and etching pattern evaluations*, Dental Materials Journal, 2010; 29(4): 425–432

Marshall S., Bayne S., Baier R., Tomsia A., *A review of adhesion science*, Dental Materials, 2010, Volume 26, Issue 2, February, Pages e11-e16.

Matos A., Oliveira D., Vieira S., Netto N., Powers J., *Influence of oil contamination on in vitro bond strength of bonding agents to dental substrates*, Am J Dent, 2008;21:101-104.

Mc Donald R. y Avery D., (2011), *Dentistry for the Child and Adolescent (Ninth Edition)*, Editorial Mosby, Philadelphia, chapter 17 Pit and Fissure Sealants and Preventive Resin Restorations, Pages 313-321.

Mitic V., Mitic A., Cemerikic L., Nisic M., *SEM look of the damaged buccal surfaces of the teeth enamel with ortho phosphoric acid in different time durations*, Acta stomatologica naissi, 2005, September, vol. 21, number 51, Pages 507-515.

Miyashita E. y Salazar A., (2005), *Odontología estética: Estado del arte*, editorial Artes Médicas limitada, Sao Paulo – Brasil, Capitulo 1 Sistemas adhesivos para técnicas restauradoras directas e indirectas, paginas 1 – 35.

Nikaido T, Kataumi M, Burrow MF, Inokoshi S, Yamada T, Takatsu T., *Bond strengths of resin to enamel and dentin treated with low-pressure air abrasion*, Oper Dent, 1996;21:218-224.

Øgaard B. y Fjel M., *The Enamel Surface and Bonding in Orthodontics*, Seminars in Orthodontics, 2010, Vol 16, No 1 (March): pp 37-48.

Oztoprak M., Isik F., Sayinsu K., Arun T., Aydemir B., *Effect of blood and saliva contamination on shear bond strength of brackets bonded with 4 adhesives.*, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007;131: 238–42.

Parker S., (2011), *Principles and Practice of Laser Dentistry*, Editorial Mosby, New York, Chapter 11 Lasers in Restorative Dentistry, Pages 181-201.

Perdigão J, Sezinando A, Gomes G., *In vitro sealing potential of a self-adhesive pit and fissure sealant.*, Quintessence Int., 2011, May;42(5):e65-73.

Powers J., Finger W., Xie J., *Bonding of composite resin to contaminated human enamel and dentin*, J Prosthodont, 1995;4:28-32.

Rossou P. E., *A Historical Overview of the Development of the Acid-Etch Bonding System in Orthodontics*, Semin Orthod, 2010;16:2-23.

Sfondrini M.F., Cacciafesta V., Scribante A., De Angelis M., Klersy C., *Effect of blood contamination on shear bond strength of brackets bonded with conventional and self-etching primers*, Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2004;125:357–60.

Sfondrini M.F. y cols., *Effect of blood contamination on shear bond strength of orthodontic brackets and disinclusion buttons*, Br J Oral Maxillofac Surg., 2011, Jul;49(5):404-8.

Sol-Segarra E., Espasa-Suárez de Deza E.; Boj-Quesada J.R., *Influencia de diferentes sistemas de profilaxis en la adhesión de un sellador de fisuras al esmalte*, 2005, RCOE, Vol 10, N°2, 177-182.

Toril, Y. y cols., *Enamel tensile bond strength and morphology of resin-enamel interface created by acid etching system with or without moisture and self-etching priming system*, J Oral Rehabil., 2002, v.29,p.528-533.

Tortora G. J. y Derrickson B. H., (2006), *Principios de Anatomía y Fisiología 11ª edición*, Editorial Médica Panamericana, Capítulo 19 sistema cardiovascular, páginas 617 – 642.

Xie J., Powers J., McGuckin R., *In vitro bond strength of two adhesives to enamel and dentin under normal and contaminated conditions*, Dent Mater, 1993;9:295-299.

ANEXOS



Figura 1: Diferentes sustratos y aspectos que rodean la evolución de la adhesión, (Henostroza y cols, 2003)

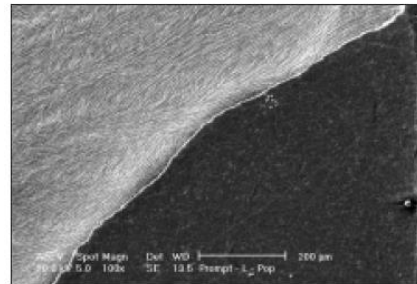


Figura 2: Los prismas se extienden desde la unión amelo-dentinaria hasta cerca de las regiones ultra periféricas superficie del esmalte (Carpena y cols, 2007)

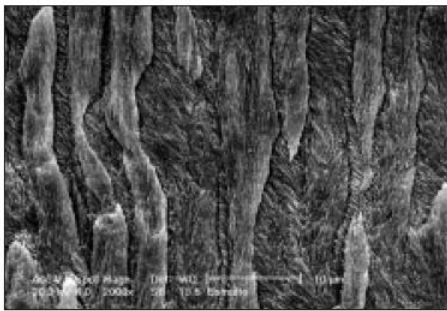


Figura 3: En el momento de la instrumentación del esmalte, los prismas son expuestos en varios planos de acuerdo a su dirección (Carpena y cols, 2007)

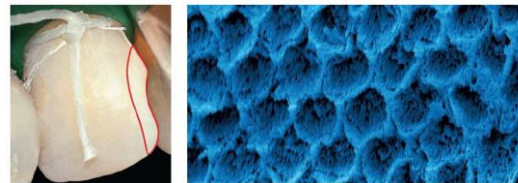


Figura 4: Después de lavar la superficie dental para eliminar el ácido fosfórico y secarla con aire, se puede apreciar el patrón de grabado retentivo como una superficie de esmalte opaca (Blunck, 2008).

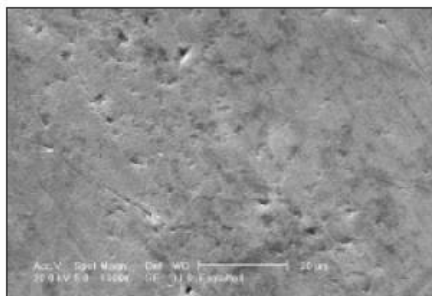


Figura 5: Topografía del esmalte superficial, cambiando de una superficie de mínima reacción adhesiva (Carpena y cols, 2007)

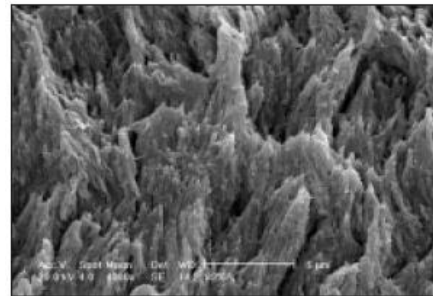


Figura 6: Patrón de grabado tipo I: la desmineralización es mayor en la cabeza del prisma (Lanata y cols., 2008).

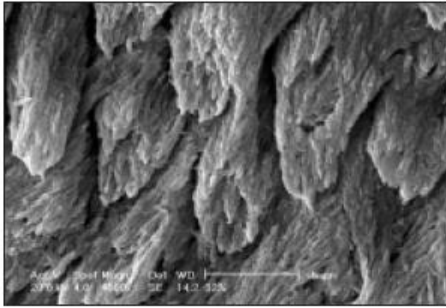


Figura 7: Patrón de grabado Tipo II: la desmineralización es mayor en la periferia del prisma (Lanata y cols., 2008).

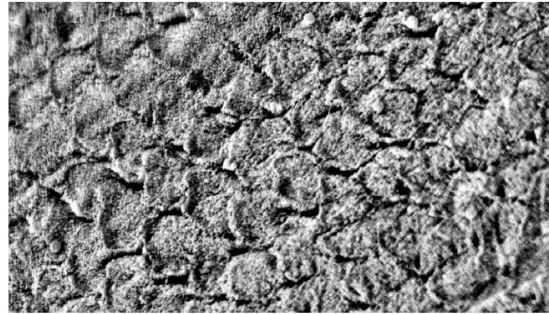


Figura 8: el patrón de grabado obtenido por los adhesivos autograbantes es menos profundo que el que se logra con la aplicación de ácido fosfórico en el grabado total (Blunck, 2008).

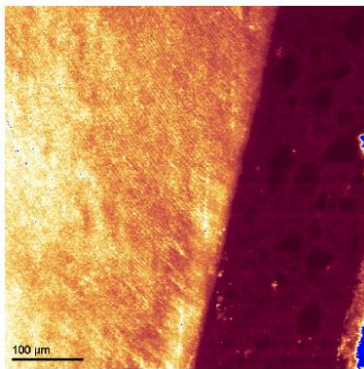


Figura 9: Pre-acondicionamiento de la superficie del esmalte con un ácido poliacrílico, sumado a la unión con ionómero de vidrio modificado con resina (Øgaard y Fjel, 2010)



Figura 10: Arenadores de uso oral. Forma de pistola con una cámara almacenadora de polvo, el cual es succionado y lanzado bajo presión a la estructura a arenar (Başaran y Veli, 2011).

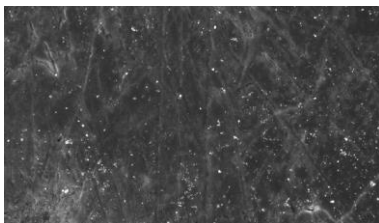


Figura 11: Un grabado inconsistente se observó en el esmalte superficial al ser pre-acondicionado con aire abrasivo (Başaran y Veli, 2011).

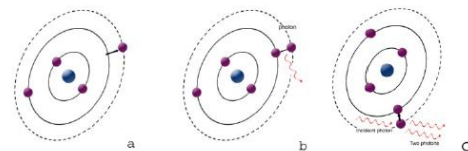


Figura 12: Los electrones que se mueven en una órbita particular, son la base de la luz láser (Başaran y Veli, 2011).

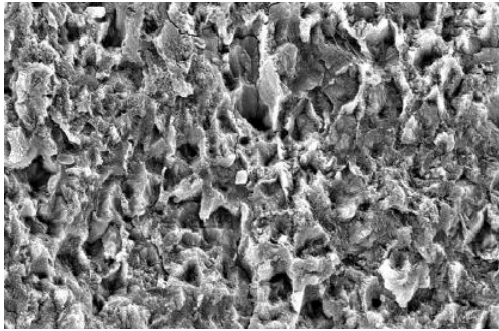


Figura 13: los patrones de micrograbado con laser se observaran heterogéneos e irregulares, debido al daño irreversible a partir de microexplosiones superficiales (Başaran y Veli, 2011).

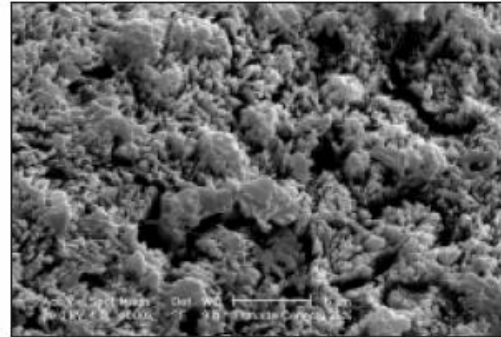


Figura 14: Capa superficial de esmalte presenta características de hipermineralización en comparación con las capas de esmalte más profundas (Carpena y cols, 2007).

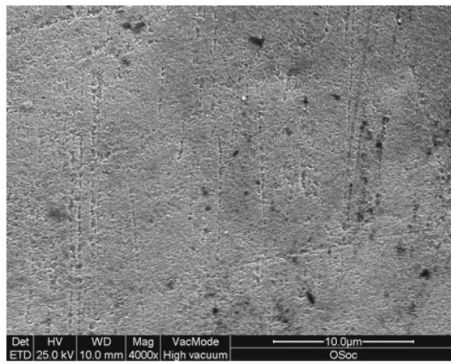


Figura 15: Podemos observar una menor formación de tags de resina y menor distribución de los tags a través de la interface de resina (Eliades y cols, 2005b).

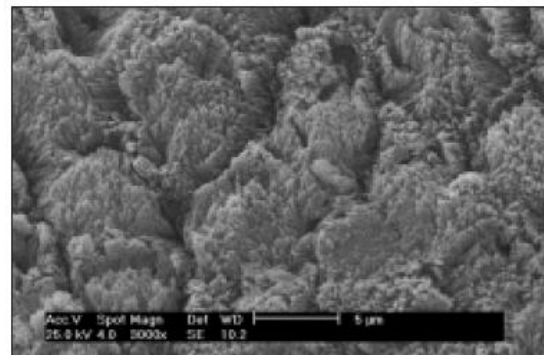


Figura 16: Patrón de grabado acido con ácido fosfórico al 15%, aplicado en un tiempo de 15 segundos (Carpena y cols, 2007).

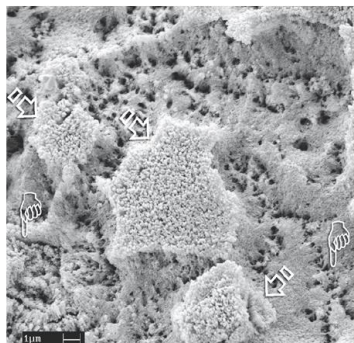


Figura 17: Esmalte aprismático en superficie, acompañado de esmalte prismático subyacente (Eliades y cols., 2005a).

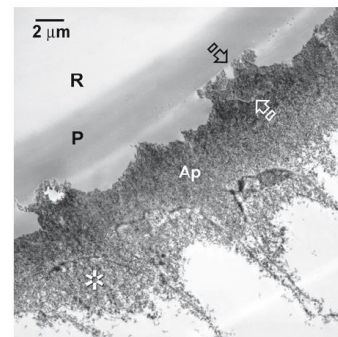


Figura 18: Infiltración de la resina. Los resultados en las capas híbridas son de 8-10μm de espesor (Eliades y cols., 2005a).

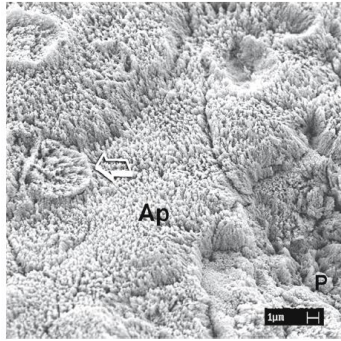


Figura 19: El grabado ácido dinámico expone más del esmalte prismático subyacente que muestra patrones de grabado leves o mínimos (Eliades y cols., 2005a).

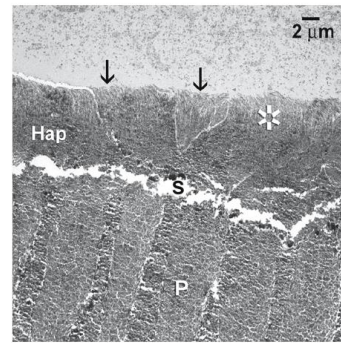


Figura 20: Creación de microporosidades superficiales y subsuperficiales, que se traducen en una zona mixta de esmalte hibridizado (8-10 μm de grosor) (Eliades y cols., 2005a).

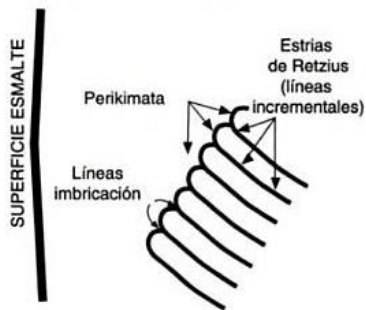


Figura 21: Macroscópicamente, la superficie del esmalte de dientes recién erupcionados exhibe las llamadas líneas de imbricación (Øgaard y Fjel, 2010).

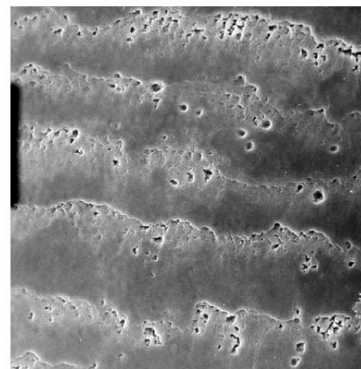


Figura 22: En el SEM, la superficie del esmalte de dientes recién erupcionados exhibe las llamadas líneas de imbricación (Øgaard y Fjel, 2010).

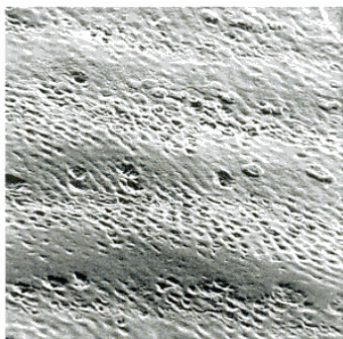


Figura 23: Las periquimatas, son ligeras sobresalientes de esmalte observables a simple vista, especialmente en la zona cervical de dientes jóvenes (Øgaard y Fjel, 2010).

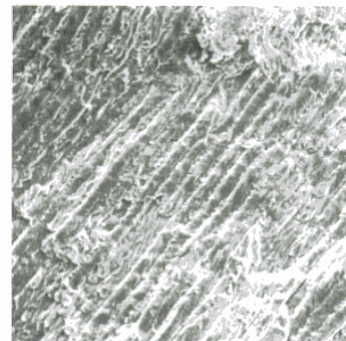


Figura 24: Estrías de Reizius: son líneas que se producen en el esmalte posiblemente como consecuencia de una breve interrupción o perturbación de la calcificación (Øgaard y Fjel, 2010).

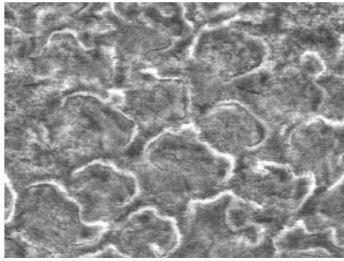


Figura 25: Debido a que la tasa de disolución de los ácidos es diferente para las distintas partes de la estructura del esmalte (esmalte interprismático y prismático), se crea una topografía de superficie irregular (Øgaard y Fjel, 2010).



Figura 26: La clasificación más frecuente de los patrones de grabado es según el Tipo (I, II y III), debido al tiempo de grabado al que el esmalte es expuesto (Øgaard y Fjel, 2010).

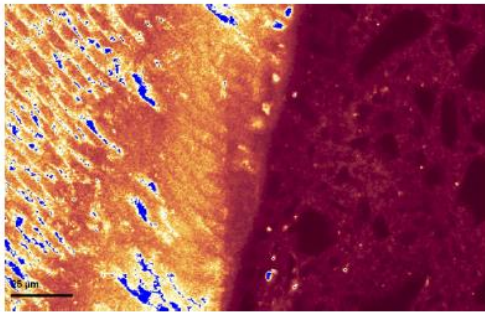


Figura 27: La pérdida real de estructura muestra una variación que va desde menos de 10 µm hasta un máximo de 170 µm (Øgaard y Fjel, 2010).

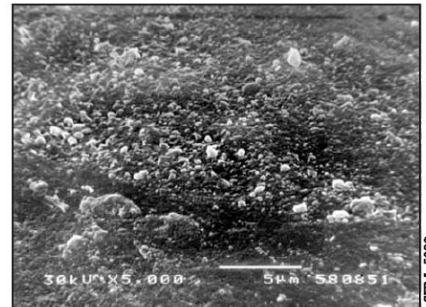


Figura 28: Esmalte íntegro sano (Mitic y cols., 2005)

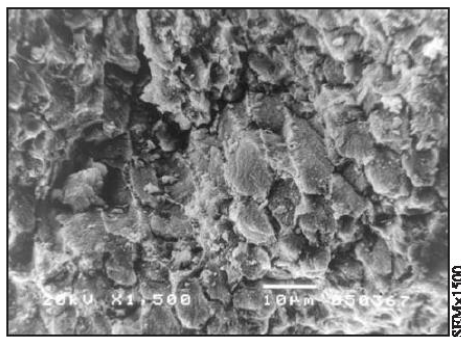


Figura 29: inicio de la desmineralización de los prismas de esmalte, el grabado del esmalte con duración de 15 segundos (Mitic y cols., 2005).

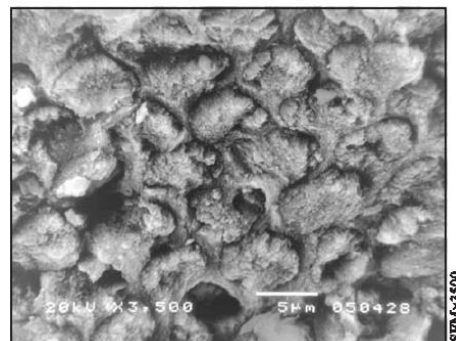


Figura 30: Grabado del esmalte con duración de 30 segundos, muestra un acondicionamiento de la parte media de los cristales intraprismáticos (Tipo II) (Mitic y cols., 2005).

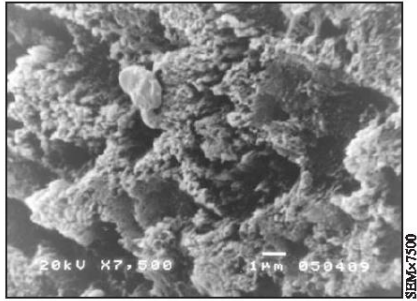


Figura 31: el grabado del esmalte con duración de 45 segundos muestra cambios micromorfológicos importantes en la superficie del esmalte con márgenes prismáticos dentados e irregulares (Mitic y cols., 2005).

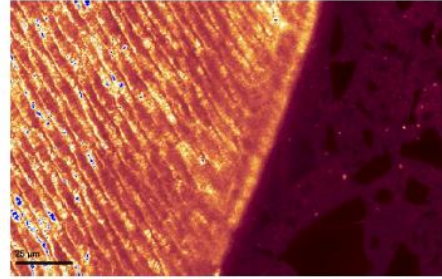


Figura 32: Los patrones de grabado de los primers autograbantes parecen ser diferentes si se comparan con la técnica de grabado convencional con ácido fosfórico (Øgaard y Fjel, 2010).

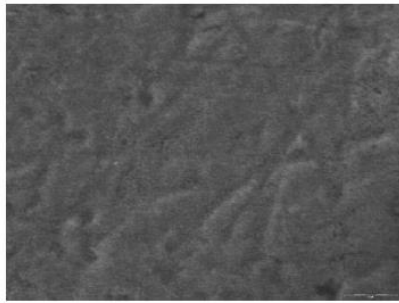


Figura 33: En el grupo de superficies de esmalte expuestas a primers autograbantes no se podían distinguir éstas de la superficie del esmalte normal (Øgaard y Fjel, 2010).

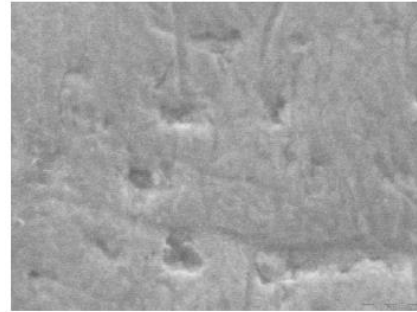


Figura 34: Grabado ácido con ácido poliacrílico (Øgaard y Fjel, 2010).

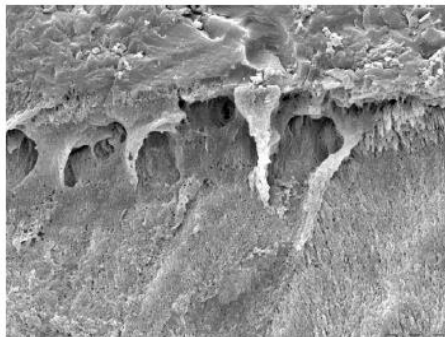


Figura 35: Imagen al SEM del grabado convencional/sistema adhesivo mostraron largos y espesos tags de resina que habían penetrado dentro del esmalte (10-20 µm) (Øgaard y Fjel, 2010).

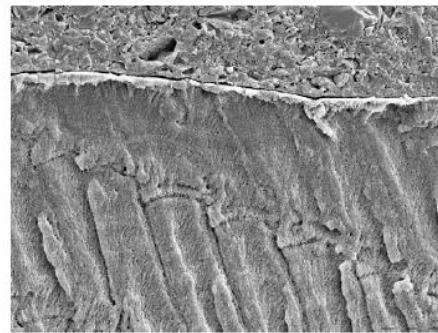


Figura 36: Las superficies tratadas con primers autograbantes mostraron delgados tags de resina, más cortos y en menor cantidad (5 y 10 µm) (Øgaard y Fjel, 2010).

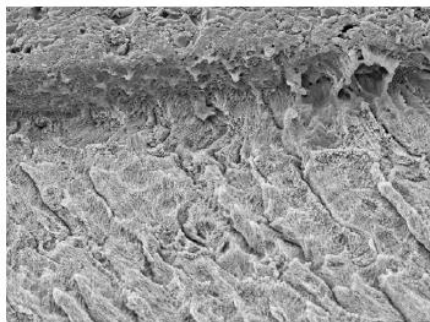


Figura 37: Las superficies expuestas al ácido poliacrílico no mostraron alguna presencia de tags de resina (Øgaard y Fjel, 2010).

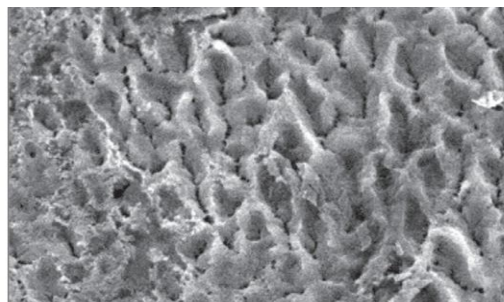


Figura 38: El grabado ácido convencional durante 30 segundos produjo un patrón de grabado tipo I o buen patrón de grabado (Devanna y Keluskar, 2008).

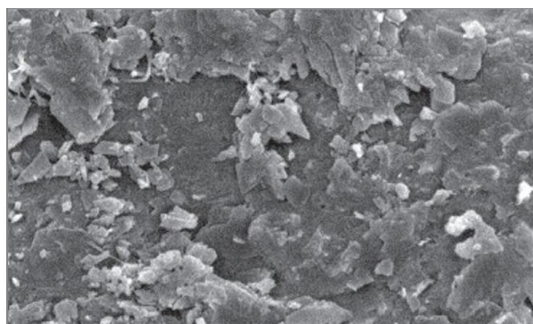


Figura 39: El patrón de grabado convencional en un tiempo de más de 30 segundos resultó en la formación de grietas, ranuras y mal definidos los patrones de ataque químico (Devanna y Keluskar, 2008).

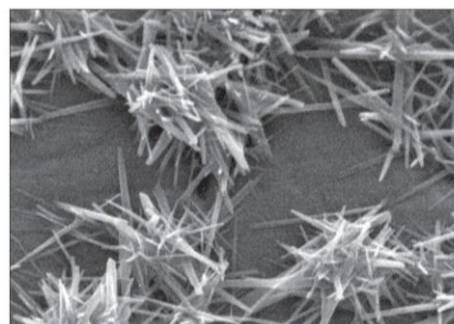


Figura 40: El patrón de grabado con ácido poliacrílico sulfatado al 20% produjo un patrón de grabado similar a los 30 y 60 segundos (Devanna y Keluskar, 2008).

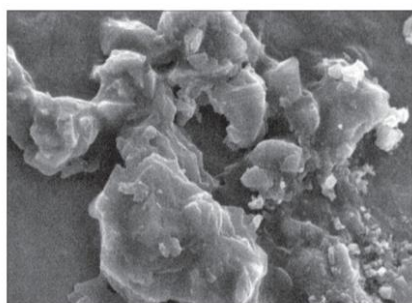


Figura 41: Las muestras de grabado con ácido poliacrílico sulfatado al 20% por 60 segundos mostró la formación de grietas y pozos (Devanna y Keluskar, 2008).

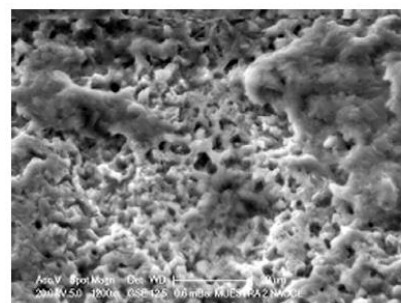


Figura 42: Patrones de grabados tipo I y tipo II obtenidos con la aplicación previa de NaOCl (Justus v cols. 2010).

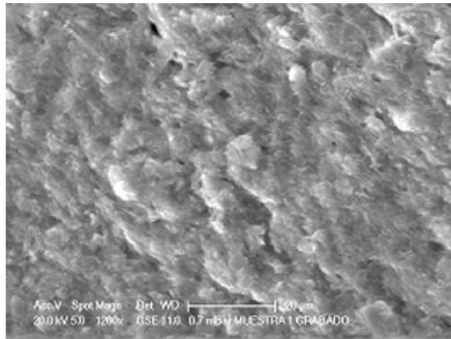


Figura 43: En dientes sin pretratamiento de NaOCl, se observaron patrones de grabado tipo 3 (Justus y cols, 2010).

Figura 44: Aplicación de sellante (Técnica):
 A: visión oclusal molar, con fosas y fisuras susceptibles;
 B: El diente se limpia con un cepillo de copa a baja velocidad;
 C: se realiza el procedimiento de grabado convencional del diente;
 D: el diente posee un aspecto de “mancha blanca” después del grabado, lavado y secado;
 E: el agente adhesivo es posicionado y distribuido sobre el diente;
 F: se aplica el sellante sobre la superficie dentaria;
 G: el sellante es chequeado antes de la polimerización y se retiran excesos;
 H: se revisa la oclusión y se ajusta de ser sea necesario (McDonald and Avery, 2011).

