



**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA
CÁTEDRA DE BIOMATERIALES**

**DIFERENCIAS EN LARGO DE TAGS DE RESINA EN
TRES DISTINTOS TIPOS DE SISTEMAS ADHESIVOS,
ESTUDIO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE
BARRIDO.**



Profesor Guía:

DR. ABELARDO BÁEZ ROSALES

Docente Colaborador:

DR. CLAUDIO JORQUERA PULGAR

Alumno:

RAMON SCHLIEPER CACCIUTTOLO

**Trabajo de Investigación
Requisito para obtener el
Título de Cirujano Dentista.**

**Valparaíso, Chile
2003**

Dedicatoria

A mi Madre...

"Los hombres son lo que sus madres les hacen"
Emerson.

"...No permitas que la vida te pase a ti sin que la vivas..."

Walt Witman.

"El hombre es un Dios cuando sueña, y un mendigo cuando piensa."
Johann F. Holderling.

Agradecimientos

Quiero agradecer muy sinceramente a las siguientes personas e instituciones:

- ✚ A mi docente guía Dr. Abelardo Báez Rosales, por depositar su confianza en mi.*
- ✚ Ayudante Dr. Claudio Jorquera Pulgar, por su gran amistad y ayuda desinteresada.*
- ✚ Al Dr. Claudio Gandarillas, por su valiosa cooperación con los esquemas.*
- ✚ Al Dr. Santiago Gómez Soler, por las facilidades otorgadas para en uso del Laboratorio de Investigaciones Odontológicas de nuestra Universidad*
- ✚ A Marco Chávez, Bibliotecólogo.*
- ✚ Ingeniero Estadístico Srta. Patricia Ríos.*
- ✚ Universidad de Concepción y el Departamento de Microscopia Electrónica.*
- ✚ A Las empresas y sus representantes que donaron materiales para la realización de este estudio, 3M-Espe, Dentsply, Coltene y Ultradent.*
- ✚ A mis amigos del colegio, Juan Pablo (negro), José Manuel (primo), Sebastián (Kbro-chico), José Rodrigo (chino), Mario (rata), Ricardo G. (indio), etc... Por prestarme su valiosísima amistad en todo momento.*
- ✚ A mis amigos de Universidad, Iván, Guillo, Carlita, Caro M, Caro E, Claudio J, Mario T, Rodrigo B.*
- ✚ A la familia Rivas Alvarado, por hacerme sentir como en casa cuando estaba lejos de mi hogar. A la familia Olave por acogerme en Concepción.*

Índice

Introducción.....	Pag. 1
Marco Teórico.....	Pag. 2
Composición y morfología de los tejidos dentarios duros.	
Desarrollo de los sistemas adhesivos.	
Componentes de los sistemas adhesivos.	
Clasificación de los sistemas adhesivos.	
Mecanismos de adhesión.	
Química de los adhesivos autograbantes.	
Métodos para probar adhesivos.	
Cuadro resumen de los sistemas adhesivos utilizados.	
Hipótesis Y Objetivos.....	Pag. 37
Materiales Y Método.....	Pag. 38
Resultados	Pag. 45
Discusión.....	Pag. 54
Conclusiones.....	Pag. 58
Sugerencias.....	Pag. 59
Resumen.....	Pag. 60
Referencias Bibliográficas.....	Pag. 61
Anexo 1: Micrografías Electrónicas.....	Pag. 69
Anexo 2:Fotografías Materiales Y Métodos.....	Pag. 74
Anexo 3: Selección Del Tamaño Muestral.....	Pag. 77
Anexo 4: Microscopia Electrónica De Barrido.....	Pag. 81



Introducción

Actualmente no se concibe una clínica o la practica odontológica sin el uso de los sistemas adhesivos. Desde un tiempo a esta parte, lo que en la década de los 50 se veía como algo casi utópico, lograr adhesión real a tejidos dentarios, se ha vuelto algo tan cotidiano para la profesión como el realizar una buena amalgama. En un lapso de 50 años se ha revolucionado la odontología, donde pasó de ser un arte, a una ciencia propiamente tal.

Como toda revolución científica y tecnológica ha traído consigo aciertos y también fracasos, los cuales se explican por la rapidez con la que los avances encontrados son lanzados al mercado, generando así un problema casi tan grande como el que dio origen a estos productos, la micro infiltración.

Por lo anterior es que surge la necesidad de estudiar a cabalidad los productos que las casas dentales sacan al mercado, con el fin de que nuestros pacientes no sean conejillos de indias, probando en ellos productos que deberían ya venir con una sólida base científica de estudios tanto in vitro como in vivo.

Es este mismo vertiginoso avance el que hace pocos años nos trajo hasta las consultas odontológicas un nuevo concepto en adhesión, los adhesivos autograbantes. Los cuales tienen como gran ventaja la disminución de pasos clínicos en el proceso de restauración adhesiva, ya que combinan el proceso de grabado ácido o acondicionamiento, con la imprimación y adhesión propiamente tal. Es aquí donde surge la pregunta si el afán de simplificar la técnica y reducir pasos clínicos no pondrá en riesgo una entidad probada, como lo es la adhesión a estructuras dentarias. Por lo anterior es que surge la necesidad de estudiar estos nuevos sistemas, tomando como parámetro de comparación los ya existentes y ampliamente probados.

Desde que la adhesión entró dentro en la practica odontológica se ha conocido que la capa híbrida con sus tags de resina es la entidad que es responsable del fenómeno de adhesión es que es aquí donde centraremos este estudio, comparando los largos de tags de resina, mediante microscopia electrónica de barrido

Marco Teórico

LOS SISTEMAS ADHESIVOS COMO BASE DE LA ODONTOLOGÍA RESTAURADORA

El desarrollo de las resinas adhesivas a los tejidos duros dentarios por medio de la técnica de grabado ácido se remonta a una aparente técnica registrada por Hagggar en 1951 (Wakefield y Cols., 1998). Sin embargo fue Buonocuore quien en 1955 describió por primera vez la retención micro mecánica de la resina polimetilmetacrilato (PMMA) al esmalte, el cual él había grabado previamente con ácido fosfórico al 85% por 30 segundos (Garberoglio y Brännström, 1976). Con el descubrimiento de la técnica de grabado del esmalte, para el cual todavía se utiliza ácido fosfórico al 35-37%, fue encontrada una solución viable para crear una adhesión a uno de los dos tipos de los tejidos dentarios duros. Sin embargo el lograr uniones durables sin interfase sigue siendo una problemática debido a la contracción volumétrica de los materiales de composite modernos. Después de Bowen el Bisfenol-A diglicidilmetacrilato (Bis-GMA) ha sido usado como base en los materiales de composite actuales (Frankenberger y Cols., 2000).

Si bien los composites se contraen un 2 a 3% en volumen cuando polimerizan, a partir de los años 80 en adelante ha sido posible establecer rutinariamente una adhesión óptima al

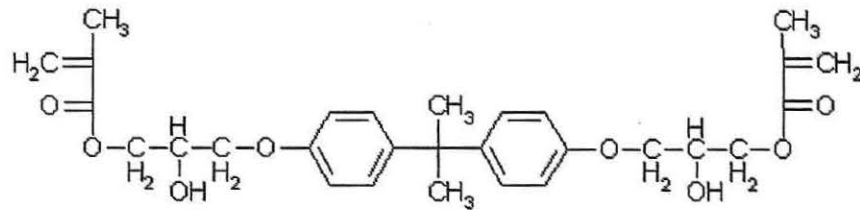


Figura N° 1 Molécula de Bis-GMA usada como base de las resinas compuestas actuales.

esmalte utilizando los siguientes métodos: corte y grabado de las varillas de esmalte perpendiculares a su eje mayor, aplicación y polimerización de una resina sin relleno (agente adhesivo) y aplicación incremental del material restaurador compuesto (Alani y Tho, 1997). El día de hoy, estos mecanismos de compensación se requieren también para la aplicación de los materiales adhesivos recientemente desarrollados para establecer una unión micro mecánica durable. Esta unión es creada por los tags de resina los cuales tienen entre 1 y 30 micrones de largo y una capa híbrida que es de un grosor entre 1 y 20 micrones y se forma entre el agente adhesivo y el esmalte (Yanagawa y Finger, 1994).

En lo que concierne a la adhesión a dentina, una unión que sea libre de interfases como la que se produce entre el esmalte y el composite, no es factible por un largo tiempo. Los materiales restauradores de composite fueron contraindicados para restauración de cavidades clase II con los márgenes confinados a dentina (Watanabe y Cols., 1996). Más aún la adaptación marginal en dentina continua siendo considerada como problemática (Krejci y Cols., 1990). En este contexto dos aspectos son fundamentales:

- Composición y morfología de los tejidos dentarios duros.
- Desarrollo de los adhesivos dentinarios.

1.- Composición Y Morfología De Los Tejidos Dentarios Duros

El esmalte y la dentina son sustancialmente diferentes, por lo que la adhesión también será distinta.

1.1.- Esmalte:

Se caracteriza por contener un 96% de sustancia inorgánica (principalmente hidroxiapatita), un 2% de material orgánico y un 2% restante de agua.

1.2.- Dentina:

La estructura de la dentina es fundamentalmente diferente de la del esmalte. Dado su estructura, la dentina es un tejido menos propicio para la adhesión. La edad, ubicación (profunda, superficial) y calidad (cariosa, esclerótica) de la dentina también tiene un efecto sobre la adhesión (Prati y Cols., 1998). Más aún, la morfología del tejido dentario en la unión cemento adamantina impide la formación de una unión libre de interfase.

La dentina posee mayor porcentaje de material orgánico principalmente colágeno tipo I (22%) y de agua (13%), además de la hidroxiapatita (65%) (Brown y Cols., 1991). Estructuralmente más importante para la adhesión son los volúmenes ocupados por los componentes dentinarios (ver gráfico N° 1 y 2) (Baratieri, LN., 2002). Los numerosos túbulos dentinarios se distribuyen desde la pulpa a través del espesor completo de la dentina, haciendo de ésta un tejido altamente permeable. El diámetro de los túbulos disminuye de 2.5 μm del lado pulpar hasta 0.8 μm en la unión amelodentinaria. Igualmente el número de túbulos disminuye desde los 45.000 por mm^2 cerca de la pulpa hasta 20.000 por mm^2 cerca de la unión amelodentinaria. Cada túbulo está rodeado por dentina peri tubular hipermineralizada. La dentina inter tubular es menos mineralizada y con más fibras colágenas. Cerca de la pulpa, la dentina peri tubular representa el 66% y la dentina inter tubular solamente el 12% del área de superficie, mientras que el 22% del área de superficie está ocupado por agua. Por lo tanto, la dentina es un tejido intrínsecamente húmedo.

La dirección y orientación de la estructura del esmalte difiere en preparaciones que involucran pequeñas porciones de esmalte cervical. En la región del último milímetro de la unión cemento adamantina, los prismas del esmalte son perpendiculares al eje mayor del diente o, en cerca del 30% del diente, están inclinados en el cuello dental en un ángulo de cerca de 10 grados de la horizontal (Fernández y Chevitere, 1991; Radlanski, 1997). Por lo tanto, los prismas del esmalte en esta área son frecuentemente cortados paralelos a su eje mayor, si bien el esmalte es biselado. En algunas ocasiones, el esmalte cervical puede estar completamente libre de prismas de esmalte (Milton y Ferracane, 1999; Schröder, 1997). Grabar esmalte pobremente estructurado

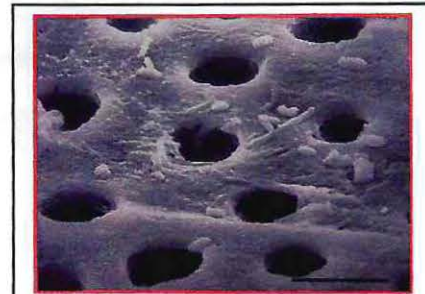


Figura N° 2 Dentina cercana a pulpa



Figura N° 3 Dentina cercana al límite amelodentinario.

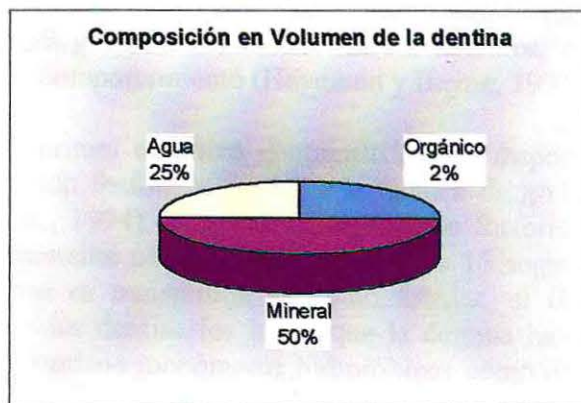
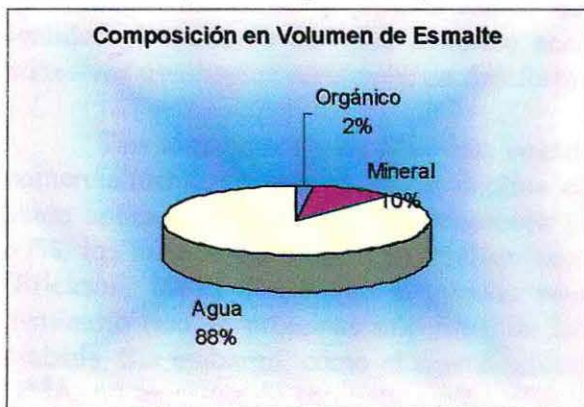
en áreas biseladas o no biseladas contribuye de manera importante a establecer la adhesión marginal en ubicaciones que están a una distancia de 1 a 1,5 mm. o menos desde la unión cemento adamantina (Haak y Cols., 1996) y no resulta en menos micro infiltración que en dentina (Milton y Ferracane, 1999).

Tabla N° I Composición de los tejidos duros dentarios por unidad de peso.

	<i>Esmalte</i>	<i>Dentina</i>
Inorgánico (hidroxiapatita)	96 %	65 %
Orgánico (Colágeno tipo I)	2 %	22 %
Agua	2 %	13 %

Obtenido de Brown y Cols, 1991

Gráfico N° 1 y 2 Composición por unidad de volumen de Esmalte y dentina.



Modificado de Baratieri, y Cols. 2002.



2.- Desarrollo De Los Sistemas Adhesivos

Si bien en 1952, Mc Lean y Kramer publicaron los resultados de un estudio que comprendía a un agente adhesivo y monómeros ácidos para mejorar la adhesión entre la dentina y las resinas, el progreso decisivo en el campo de la adhesión a dentina sólo ha sido logrado en los últimos 10 años (McLean y Kramer, 1952). La zona de inter difusión, la cual es llamada en este estudio por los dos autores como "zona intermediaria" (Kramer y McLean, 1952), es más o menos comparable con la adhesión micro mecánica entre el monómero polimerizado y el colágeno dentinario. Esta adhesión fue descrita primero por Nakabayashi en 1982 como capa híbrida y es bien documentada ahora (Nakabayashi y Cols., 1982; Nakabayashi y Cols., 1991). El lento desarrollo de los adhesivos dentinarios puede ser atribuido a la idea que las escuelas dentales europeas y americanas consideraron el grabado dentinario como una mala práctica. Los adhesivos dentinarios tempranos estaban basados en el principio de la producción de una unión química por medio de la polimerización del material sobre la dentina. Este principio fue en realidad el resultado del tabú histórico acerca del grabado dentinario. En los estudios, estos adhesivos usualmente mostraron un desafortunado comportamiento (Heymann y Bayne, 1993).

Tan temprano en los sesentas, cuando el primer adhesivo dentinario estuvo disponible comercialmente, se intento grabar dentina con ácido fosfórico similar a la técnica de grabado ácido aplicada en esmalte (Van Meerbeek y Cols., 1994). Si grabamos con ácido fosfórico al 37%, los túbulos dentinarios se vuelven completamente permeables en menos de 15 segundos (Erickson, 1989). Dado que la presión sanguínea es transmitida al fluido tubular, el fluido dentinario rico en proteínas sale fuera de los túbulos dentinarios luego que la dentina ha sido grabada. Sin embargo, como el agente adhesivo contiene monómeros hidrofóbicos como el Bis GMA, no es capaz de competir contra el agua, que tiene mayor afinidad con la dentina. Por lo tanto, falla en humedecer la dentina de manera efectiva. Desde el punto en el cual comienza la contracción de polimerización, el agente adhesivo se contrae lejos de la dentina hidrofílica. Como resultado se produce sensibilidad post operatoria, invasión de bacterias a través de los márgenes e inflamación de pulpa. Sin embargo, Fusayama da cuenta de resultados clínicamente exitosos que han sido logrados a partir de los años 70, usando sistemas adhesivos dentinarios que involucran el grabado de dentina con ácido fosfórico (Fusayama 1993).

Desde 1992 en adelante el grabado ácido y polimerización en dentina ha sido descrito como una estrategia acerca de como obtener adhesiones durables y resistentes a la carga entre el composite y la dentina (Gwinnett y Kanca, 1992). Si bien el asunto del grabado en dentina sigue siendo controversial, las nuevas estrategias de adhesión han ganado una popularidad en ascenso. Si este procedimiento es aplicado, una interfase, que ahora es llamada capa híbrida, se forma por la penetración y polimerización de los monómeros metacrilatos en la dentina grabada. Esta capa híbrida finalmente consiste en una red inter penetrada de polímeros de metacrilatos y las cadenas polipeptídicas del colágeno (Van Meerbeek y Cols., 1992) Adicionalmente los monómeros difunden en los túbulos dentinarios abiertos los cuales forman tags de resina retentivos durante la polimerización (Titley y Cols., 1995). Nakabayashi dice que dos tercios de la resistencia adhesiva de la dentina es derivada de la capa híbrida y solo un tercio de los tags de resina (Retief y Cols.,

1992). Un factor decisivo para el éxito clínico fue la idea que luego del grabado ácido, el pasaje de bacterias a la pulpa fue bloqueado por medio de los tags de resina, los cuales sellaban los túbulos dentinarios (Heitmann y Unterbrink, 1995; Liebenberk, 1999).

Durante los últimos años, la aplicación de esta técnica de grabado dentinario reciente y los descubrimientos relacionados han dado auge al desarrollo e introducción de una variedad de sistemas adhesivos dentinarios, tales como:

- ✦ Sistemas adhesivos multicomponentes con o sin primer acondicionador.
- ✦ Adhesivos de grabado total en sistemas multi o mono componente.

Más aún varias técnicas de trabajo han surgido:

- ✦ Grabado ácido total o selectivo
- ✦ Técnica de adhesión seca o húmeda
- ✦ Adhesión selectiva o total
- ✦ Adhesión única o dual

2.1.- Técnicas de Grabado

2.1.1.- Técnicas de grabado selectivo

Convencionalmente el esmalte es grabado selectivamente usando ácido fosfórico. Después de esto la dentina es grabada (o acondicionada según los fabricantes) con un ácido diferente, tales como el cítrico, nítrico, oxálico o maléico (Van Meerbeek y Cols 1998). Durante el grabado dentinario el componente mineral de la dentina (hidroxiapatita) es disuelto y se expone la red colágena. En el proceso la dentina es desmineralizada entre los túbulos (dentina inter tubular) así como también alrededor de los túbulos (dentina peri tubular). Hay diferentes opiniones acerca de cual ácido es mejor para el grabado dentinario, la concentración ideal de ácido y el tiempo de grabado óptimo (Perdigado y Cols., 1996; Van Meerbeek y Cols., 1998). Las diferencias en opiniones se producen por el hecho que la estructura del esmalte y la dentina puede variar considerablemente entre pacientes individuales. Por ejemplo la dentina esclerótica requiere un grabado más fuerte que la dentina menos dura encontrada en lesiones cariosas cavitadas. De hecho, la dentina esclerótica puede ser grabada de la misma manera que el esmalte debido a su alto grado de mineralización de las superficies dentinarias (Ferrari y Kugel, 1998).



Figura N° 4 Grabado ácido selectivo.

Hay diferentes opiniones acerca de cual ácido es mejor para el grabado dentinario, la concentración ideal de ácido y el tiempo de grabado óptimo (Perdigado y Cols., 1996; Van Meerbeek y Cols., 1998). Las diferencias en opiniones se producen por el hecho que la estructura del esmalte y la dentina puede variar considerablemente entre pacientes individuales. Por ejemplo la dentina esclerótica requiere un grabado más fuerte que la dentina menos dura encontrada en lesiones cariosas cavitadas. De hecho, la dentina esclerótica puede ser grabada de la misma manera que el esmalte debido a su alto grado de mineralización de las superficies dentinarias (Ferrari y Kugel, 1998).

2.1.2.- Técnica de grabado total

El acondicionamiento simultáneo de ambos tejidos duros dentales parece ser una innovación reciente. Es, sin embargo, una técnica que ha estado bajo estudio por más de dos décadas. Ataque ácido de la dentina, imitando la técnica de grabado ácido usada para el esmalte con ácido fosfórico con una concentración del 35 al 37% (Swift y Cols., 1995), quita la capa de

barrillo dentinario y es responsable de la desmineralización dentinaria a profundidades de 0,5 a 7,5 μm , dependiendo del tipo, de la concentración, del pH, y de la viscosidad del ácido y de la duración de aplicación. Así, incluso los sistemas hidrofóbicos obtuvieron resultados de laboratorio mejores para la fuerza adhesiva que cuando el grabado ácido no era realizado. Estos sistemas hidrofóbicos muestran, en unos pocos estudios in-vitro, la formación de tags de la resina en túbulos dentinarios, pero estas proyecciones no difundieron en la micro estructura de dentina peri tubular e inter tubular desmineralizada. Además, estos tags de resina eran muy frágiles, contribuyendo poco a la adhesión. (Ario y Aasen, 1994; Frankenberger y Cols., 1999; Gordan y Cols 1998; Gwinnett y Dickerson, 1992; Swift y Cols., 1993)



Figura N° 5 Grabado ácido total.

Algunos autores toman una posición crítica sobre el grabado dentinario con ácido fosfórico (Retief y Cols., 1992). Un estudio muestra que el ácido fosfórico al 35% puede alcanzar una profundidad de 2,5 μm en la dentina cuando se le deja reaccionar por 15 segundos. Cuando se le deja reaccionar por 60 segundos puede incluso grabar la dentina a una profundidad de 10 μm . (Paul y Cols., 1999). Una profundidad de desmineralización de 10 μm puede disminuir la resistencia adhesiva dado que los monómeros fallan en penetrar completamente la base de la dentina desmineralizada para formar una adhesión estable con la red colágena (Paul y Cols., 1999; Pioch y Cols 1999). En otro estudio un tiempo de grabado de 60 segundos con ácido fosfórico al 37% resultó en la desnaturalización de las cadenas polipeptídicas del colágeno (Shimokobe y Cols., 1988). A la fecha poco se sabe sobre los efectos a largo plazo cuando el colágeno ha sido desnaturalizado por un grabador sobre la dentina adherida. Dada su capacidad búfer la hidroxiapatita puede atenuar el efecto de desnaturalización mientras no sea completamente disuelta durante el grabado (Sano y Cols 1994).

La conclusión obtenida de estos estudios es que la desmineralización dentinaria debería ser restringida a una profundidad de unos pocos micrones (Pashley y Cols., 1995). Si la desmineralización esta limitada a la dentina superficial más hidroxiapatita es preservada para proteger las fibras colágenas y los monómeros son capaces de llenar completamente la capa híbrida (Nakabayashi y Cols., 1998, Paul y Cols., 1999). Para prevenir a los clínicos del sobre grabado de la dentina, los fabricantes recomiendan grabar la dentina por un tiempo corto (entre 10 a 15 segundos) aproximadamente, con ácido fosfórico al 37% (Perdigado y López 1999)

2.2.- Humectación dentinaria.

En orden a generar adhesión entre dos materiales por medio de un agente adhesivo, este debe establecer contacto íntimo entre las superficies de los substratos dentarios. Para este propósito el agente adhesivo necesita demostrar capacidades de humectación favorables. Un líquido es capaz de de mojar apropiadamente una superficie si, cuando una gota de él es puesta sobre una superficie forma un glóbulo pero luego se difunde en una capa regular, lo que se conoce como ángulo de contacto (a menor ángulo de contacto mejor humectabilidad y viceversa). Con el fin de demostrar propiedades de humectación favorables un agente adhesivo

debe tener una tensión superficial (γ) que es igual o esta ligeramente bajo la energía superficial crítica (γ_c) de los substratos dentarios (Eliades, 1994 y Erickson, 1994)

$$\gamma \leq \gamma_c$$

Un agente adhesivo cuya tensión superficial este entre 0.040 u 0.042 N/m (Erickson, 1994) es capaz de mojar el esmalte grabado de manera efectiva pero fracasa en humedecer la dentina grabada. Dado que el colágeno baja la energía superficial, y que esta presenta un alto contenido de colágeno, de aproximadamente 25% en volumen, este es responsable de la baja energía superficial de la dentina. Sin embargo la hidroxiapatita, un fosfato de calcio complejo ($\text{Ca}_{10} [\text{PO}_4] [\text{OH}]_2$) que esta en un 50% en volumen del material dentinario, la aumenta (Akinmade y Nicholson, 1993, Baratieri, LN., 2002). Particularmente el calcio contenido en la apatita se correlaciona con la capacidad del agente adhesivo de humedecer la dentina (Panighi y G'Sell, 1992). Durante el grabado dentinario, la hidroxiapatita es disuelta de la dentina lo cual resulta en una disminución de la energía superficial de la dentina grabada.

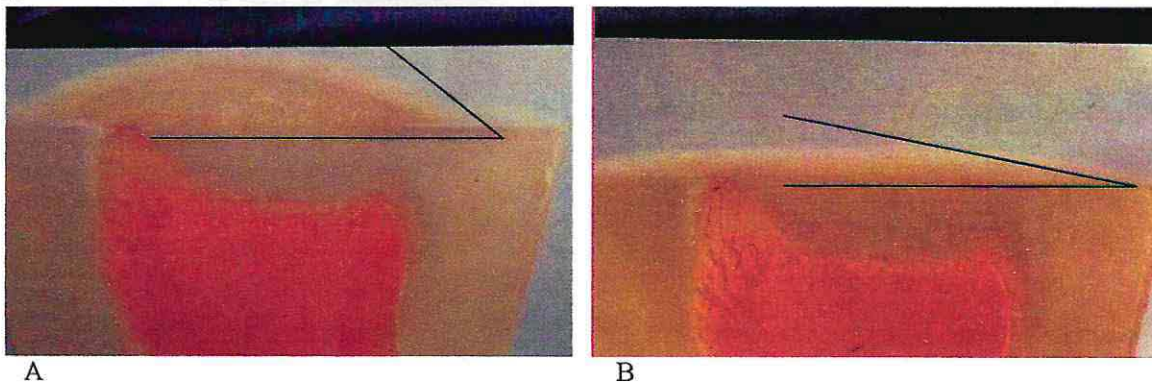


Figura Nº 6 Humectación de la dentina con y sin primer En la figura A se puede apreciar una gota de adhesivo sobre dentina sin primer, nótese el ángulo de contacto, en la figura B se aprecia la misma gota de adhesivo sobre dentina pero esta vez previa aplicación de un primer, nótese la disminución del ángulo de contacto y por consiguiente la mejora en la humectación.

Los primers mejoran la humectación de la dentina aumentando la energía superficial crítica, γ_c , de la dentina (Erickson, 1994). Como resultado, el agente adhesivo puede humectar y penetrar de manera efectiva la dentina (figura 5). En estudios in vitro, la humectabilidad mejorada de la dentina lleva a valores de resistencia adhesiva al cizallamiento superiores (Benediktsson y Cols., 1991) y aumentó el largo y la adaptación de los tags de resina de los túbulos dentinarios (Erickson, 1994).

2.3.- Adhesión

La palabra adhesión es la unión de una sustancia a otra. La superficie o sustrato que es adherida es llamada adherente. El adhesivo es el llamado agente adhesivo o sistema adhesivo, el cual es definido como el material que, cuando es aplicado a superficies de sustancias, puede unir las, resistir la separación y transmitir cargas a través de la unión.

La adhesión se refiere a la energía entre los átomos o moléculas en una interfase que mantiene juntas dos fases. Si la unión falla entre las dos fases, el modo de falla es referido como adhesiva, en cambio si la falla ocurre en una de las fases es referido como cohesiva.

Schwartz y Cols, en 1999, establecen que existen 4 teorías para explicar el fenómeno de adhesión:

- ✚ El adhesivo solidificado traba micro mecánicamente con las irregularidades de la superficie.
- ✚ Las teorías de adsorción abarcan toda clase de uniones químicas entre el adhesivo y el adherente, incluyendo fuerzas de valencia primarias (iónica y covalente) y secundarias (hidrógeno, interacción bipolar).
- ✚ Las teorías de difusión proponen que la adhesión es el resultado de la unión de moléculas móviles, las cuales atraviesan la interfase y reaccionan con las del otro lado, desapareciendo la interfase y las dos partes se volverán una sola.
- ✚ Las teorías electrostáticas establecen que se forma una capa doble eléctrica en la interfase entre un metal y un polímero.

Los mecanismos elementales que controlan la adhesión del agente adhesivo a la estructura dentinaria son:

- ✚ Capa Híbrida.
- ✚ Tags de resina en túbulos dentinarios.
- ✚ Microtags de resina en las ramas colaterales.
- ✚ Adhesión Química.

Hay algo de controversia acerca de los roles que los mecanismos de adhesión micro mecánicos individuales juegan en la adhesión a la dentina (Perdigao y López, 1999). Se asume que el mecanismo de adhesión química también entra en juego (Van Meerbeek y Cols., 1996), pero su contribución a la adhesión a dentina parece ser comparativamente menor (Erickson, 1994).



3.- Componentes y Función De Los Sistemas Adhesivos

3.1.- Acondicionador (ácido grabador)

El propósito del acondicionador es alterar la superficie dentinaria de tal forma que es posible una óptima penetración y humectación por el primer. La mayoría de los acondicionadores son líquidos ácidos que remueven o modifican el barro dentinario. Básicamente, son usados dos tipos de procedimientos de acondicionamiento.

Con la mayoría de los sistemas adhesivos, la dentina es grabada con un ácido inorgánico por un corto período de tiempo y luego lavado con agua. El ácido desmineraliza la dentina superficial, abre los túbulos dentinarios y expone las fibrillas colágenas. Con algunos sistemas adhesivos, el acondicionador es secado luego de la aplicación en vez de ser lavado. Tales



Figura N° 7 Acondicionador Total Etch, Vivadent.

acondicionadores hacen un proceso de modificación más que de remoción del barro dentinario. Los acondicionadores que no son lavados contienen ácidos orgánicos y monómeros de metacrilatos ácidos o hidrofílicos, los cuales reaccionan subsecuentemente con el primer.

3.2.- Primer

El primer entrega la unión entre el sustrato dentinario hidrofílico y el adhesivo hidrofóbico. Son soluciones hidrofílicas de monómeros de metacrilato hidro y ambifílicos. Frecuentemente, son incluidos los ésteres de ácido fosfórico o metacrilatos de ácido fosfórico, los cuales se pueden unir a los iones cálcicos de la hidroxiapatita. En adición a los monómeros, algunos productos contienen agentes de cadenas cruzadas, tales como el glutaraldehído.

Durante la aplicación, los monómeros penetran en los túbulos dentinarios en la malla expuesta de las fibras de colágeno. Para los primers que contienen solventes orgánicos mezclables con agua, como la acetona o el etanol, es de entendimiento actual que el mezclado de estos con el agua presente en la superficie dentinaria y en los túbulos dentinarios resulta en un efecto captador de agua. Así que, la presión de vapor del agua es incrementada. Consecuentemente, el agua se evapora fácilmente junto con el solvente orgánico (Kanca, 1992). Este proceso lleva a la sustitución del agua en los túbulos dentinarios y la malla colágena con monómeros (Jacobsen y Söderholm, 1995). Cuando el primer ha sido secado, la dentina está lista para ser cubierta con un agente adhesivo hidrofóbico.

3.4.- Solvente

Como las generaciones previas de adhesivos dentinarios veían al agua como un obstáculo para lograr una adhesión eficaz a dentina se orientó a lograr adhesivos que funcionaran bien en ambientes húmedos. Muchos de estos adhesivos combinan la presencia de monómeros hidrofóbicos e hidrofílicos en un solo frasco, estos monómeros están disueltos en líquidos orgánicos tales como etanol o acetona, resultando en valores elevados de adhesión in vitro, especialmente cuando eran aplicados en dentina húmeda. El beneficio de la técnica húmeda deriva de la capacidad del agua de mantener una red de colágeno íntegra para permitir la difusión de los monómeros. Si la superficie se sobre seca con aire la malla colágena colapsa e impide una buena difusión de los monómeros dentro de ella. Si se utilizan adhesivos con solventes como acetona o etanol sobre dentina desecada se obtienen valores inferiores de resistencia adhesiva, por lo que se promueve la re humectación de la dentina antes de la aplicación del sistema adhesivo. (Baratieri, LN., y Cols., 2002).

Tabla N° II Características básicas de tres solvente comúnmente usados en adhesivos.

Acetona
<ul style="list-style-type: none">• Altamente volátil, se evapora rápidamente.• Excelente captador de agua.• Agente de desecado fuerte (riesgo de sobre secado).• Problemas de almacenamiento y dispensado.
Etanol (agua)
<ul style="list-style-type: none">• Excelente capacidad de penetración.• Buen compromiso respecto de la evaporación.• Buena energía superficial para humedecer la malla de colágeno expuesto.
Agua
<ul style="list-style-type: none">• Buena capacidad de penetración.• Permite la capacidad de autograbado de monómeros ácidos.• Se evapora lentamente y por lo tanto es más difícil de remover.• Agua remanente puede impedir penetración y/o polimerización.

Modificado de Van Meerbeek y Cols. 2001

3.3.- Adhesivos

El adhesivo es una resina sin relleno, o en algunos casos micro rellena que contiene los sistemas iniciadores para el fotocurado y/o el auto curado. Luego que el adhesivo ha sido aplicado, el primer y el adhesivo son curados. La capa inhibida de oxígeno sobre la superficie del agente adhesivo contiene algunos monómeros sin reaccionar que asegura una subsecuente unión química con el primer incremento de composite.

3.4.- Combinaciones primer adhesivo

En la mayoría de los sistemas adhesivos de una botella, la dentina es grabada primero. Luego de esto, es aplicado un agente primer/adhesivo. Por lo tanto, tales sistemas son los sistemas una botellas. En contraste a los sistemas de multi-botellas, los sistemas de una botella tienen que cerrar el espacio entre la dentina hidrofílica y el material de relleno del composite hidrofóbico o el cemento de resina en un solo paso. Por lo tanto, tales productos incluyen monómeros acídicos, tales como ésteres de ácido fosfórico de compuestos de metacrilatos o metacrilatos de ácido fosfórico, y monómeros solubles en solventes hidrofílicos, por ejemplo, acetona, etanol e incluso agua. Luego de la aplicación, el sistema solvente se comienza a evaporar, así alterando la solubilidad de los diversos componentes. Se piensa que esto lleva a una organización de los monómeros remanentes, con los monómeros acídicos hidrofílicos que cubren la hidroxiapatita y el colágeno, mientras los monómeros menos hidrofílicos permanecen en la matriz. (Lopes GC., y Cols. 2002)



Figura N° 8 Combinación primer adhesivo monofrasco.

3.5.- Primers autograbantes

Algunos sistemas emplean primers que son fuertemente acídicos. Esto es logrado por un contenido muy alto de monómeros acídicos de metacrilato y ácidos orgánicos. Tales primers disuelven el smear layer y abren los túbulos dentinarios. Luego, los monómeros acídicos cubren la hidroxiapatita y el colágeno. Luego del secado, los componentes del barro dentinario disuelto se precipitan de nuevo y son incorporados en el primer. Así, los adhesivos auto acondicionates ofrecen un uso clínico más simple que los sistemas de grabado ácido total, porque son capaces de acondicionar la superficie del diente y simultáneamente la preparación de ella para la adhesión (Lopes GC., y Cols. 2002)

La remoción del ácido llega a ser innecesaria, impartiendo al procedimiento facilidad y seguridad, además de evitar los problemas críticos causados por el grabado ácido. La dificultad en encontrar una humectación ideal de la dentina se elimina, y las influencias negativas posibles en la adherencia son reducidas. Si el grabado ácido se realiza para quitar la capa de barrillo dentinario totalmente, desmineralizando superficialmente la dentina, esta la posibilidad que los monómeros de la resina no difundan en profundidad en la dentina alterada, debilitando así la fuerza de adhesión. Esto aparentemente no sucede con los sistemas eficientes de auto grabado, porque estos imprimantes acídicos tienen cierta cantidad de monómeros de resina que interactúan simultáneamente con el tejido dentinario. Clínicamente, esto se traduce a una reducida posibilidad de la sensibilidad postoperatoria (Lopes GC., y Cols. 2002).



Figura N° 9 Prompt L-Pop, uno de los primers adhesivos autograbantes que salio al mercado.

Muchos adhesivos auto acondicionantes o auto gravables están disponibles en el mercado en este momento, pero no mucho se sabe de la capacidad que cada uno tiene de adherirse a los tejidos dentales. En el nivel del conocimiento de hoy, parece que la capacidad de los sistemas auto acondicionantes para desmineralizar el dentina es inversamente proporcional a la capacidad tampón exhibida por el sustrato. Así, algunos de estos sistemas pudieron ofrecer resultados totalmente distintos cuando estaban aplicados a los tejidos dentales duros (esmalte y dentina) debido a diferencias en la composición de estos dos sustratos. Por ejemplo, Prompt-L-Pop (3M Dental-ESPE) crea un patrón de grabado similar a del ácido fosfórico al 32% o al 40%, dando por resultado una alta fuerza de adhesión a esmalte. Sin embargo, llega a ser más difícil lograr un enlace fuerte a dentina. (Lopes GC., y Cols. 2002).

Por otra parte, la evolución del ClearFil Liner Bond (Kuraray) merece la atención; no graba el esmalte tan profundamente como lo hace el ácido fosfórico pero alcanza altas fuerzas de adhesión a esmalte y a dentina. El sistema también tiene una resistencia a micro infiltración similar a de los sistemas de grabado total para el esmalte y para dentina. (Lopes GC., y Cols. 2002).

Algunas preguntas existen con respecto a la capacidad de los imprimantes auto acondicionantes en capas gruesas de barrillo dentinario. Sin embargo, las pruebas de laboratorio han demostrado que el grueso no tiene ninguna influencia en la capacidad adhesiva de tales agentes. (Lopes GC., y Cols. 2002).

Incluso si la capacidad de adhesión a la dentina exhibida por la mayoría de imprimantes auto gravables parece adecuada, evaluaciones clínicas se necesitan para la corroboración. Se sabe que en un termo ciclado prolongado, la adherencia con imprimantes auto gravables se disminuye; lo mismo no ocurre con los adhesivos cuando el grabado del ácido fosfórico ha sido realizado. Cuando es aplicado in vivo a las cavidades de clase V en los premolares indicados para la extracción ortodóncica, el sistema SE Bond (Kuraray) y Prompt-L-Pop no produjo ninguna formación de brechas después de 30 días según lo determinado por el análisis de SEM. Resultados clínicos positivos también fueron divulgados para cavidades de clase I restauradas con Prompt-L-Pop; había una reducción significativa en sensibilidad postoperatoria. Sin embargo, evaluaciones clínicas siguen siendo necesarias para confirmar estas observaciones a largo plazo. (Lopes GC., y Cols. 2002).

3.6.- Adhesivos de Ionómero Vítreo resino modificados

Este tercer método de adhesión involucra a un ionómero vítreo que interactúa con el sustrato dental. Un corto pretratamiento con ácido polialquénico limpia la superficie del diente removiendo el smear layer y exponiendo alrededor de 0.5 a 1 μm . de profundidad de fibras colágenas; dentro de esta red colágena expuesta, la resina establece una capa híbrida consiguiendo unión micro mecánica a la estructura dentaria. Este pretratamiento con ácido polialquénico es mucho menos invasivo que el tratamiento con ácido fosfórico, ya que las fibras colágenas expuestas no están completamente desprovistas de hidroxiapatita. Adicionalmente a la adhesión micro mecánica se obtiene una adhesión química gracias a la interacción iónica de los grupos carboxílicos del ácido polialquénico con el calcio de la hidroxiapatita que permaneció adherida a la fibra de colágeno (Yoshida y Cols., 2000).

4.- Clasificación De Los Sistemas Adhesivos

Por la rápida evolución de los sistemas adhesivos estos se fueron clasificando según surgían en el mercado, esto dio una clasificación por generaciones que se expone a continuación, que toma en cuenta más que nada la aparición comercial cronológica de los sistemas adhesivos, sin tener una base científica para realizar la clasificación (Van Meerbeek y Cols., 2001)

4.1.- Clasificación de los Sistemas Adhesivos por Generaciones

4.1.1.- Adhesivos dentinarios de 1º generación

En 1956, Buonocuore imitando su técnica de grabado ácido reportó que el GPDM podía unirse a las superficies grabadas con ácido clorhídrico, pero las fuerzas de unión obtenidas con esta técnica fueron muy bajas (entre 2 a 3 Mpa.), desarrollándose nuevos sistemas adhesivos con complejas fórmulas con el objeto de promover la adhesión química, es así como aparecieron los monómeros orgánicos bifuncionales con grupos reactivos específicos que pretendían reaccionar químicamente con el calcio inorgánico-hidroxiapatita y/o componente de colágeno orgánico de la dentina. A fines de 1960 se desarrolla una molécula de N-fenil-glicina glicidil metacrilato, conocida como NPG-GMA, siendo la base del primer adhesivo dentinario que se unió al esmalte y la dentina mediante quelación por calcio a la superficie dentaria, aumentando la resistencia al agua. Se comercializó con el nombre de *Cervident* (SS White) y era usado en restauraciones de lesiones cervicales (Schwartz y Cols, 1999).

4.1.2.- Adhesivos dentinarios de 2º generación

Se caracterizaron por ser productos que podían adherirse no sólo a la parte inorgánica de la dentina, sino también a la orgánica. Se basan en ésteres fosfóreos derivados del metacrilato, su mecanismo adhesivo involucra una humectación mejorada de la superficie, así como también la interacción iónica entre los grupos fosfatos cargados negativamente y el calcio cargado positivamente. Su resistencia de unión era baja no excediendo los 5-6 Mpa. Consistían en sistemas bifuncionales, ya que poseían un grupo hidrófilo que se unía a la parte orgánica de la dentina, y un grupo hidrófobo con grupos metacrilatos que se unen a la resina.

La unión con el componente orgánico de la dentina se produce a través de grupos isocianatos, carboxílicos, aldehídos y anhídridos, de naturaleza covalente y se produce con la liberación de una molécula de agua. La unión a su vez con la resina adhesiva BIS-GMA, se produce con la apertura de las uniones dobles de los grupos metacrílicos.

Además se especuló que el fracaso de estos agentes se debió a una baja estabilidad hidrolítica en el medio oral y porque la adhesión principal se producía sobre el barro dentinario, lo que provocaría un mínimo contacto entre resina y dentina.

Pertencen a esta generación el *Clearfil Bond System F* (Kuraray), el primero de esta generación, introducido en 1978, el cual contenía HEMA y fenil fosfato, posteriormente aparecieron *Bondlite* (Kerr/Sybron), *Dentin Bonding Agent* (Johnson & Johnson Dental) y

Scotchbond (3M Dental). La mayoría de estos productos contenían ésteres halofosfórico rellenos de resina, como el Bis-GMA o HEMA. (Van Meerbeek y Cols. 2001)

4.1.3.- Adhesivos dentinarios de 3^o generación

Aparecen cuando surge la importancia del grabado ácido en dentina para eliminar o modificar el barro dentinario. Esto permite que exista una retención micro mecánica entre la dentina grabada y la resina compuesta, permitiendo que el agente adhesivo penetre dentro de los túbulos dentinarios y por lo tanto se produzca una adhesión directa con la dentina ínter tubular. Sin embargo, la presión opuesta del fluido dentinario y su abundante presencia en la superficie impidió la unión micro mecánica de las primeras resinas hidrofóbicas. Sus fuerzas de adhesión se aproximan a las del esmalte en relación a las resinas compuestas, en dentina alcanzó niveles entre 8 a 18 Mpa, logrando reducir la micro infiltración marginal, pero no del todo (Schwartz y Cols, 1999). Adhesivos de esta generación tenemos: *Clearfil New Bond* (Kuraray), *Scotch Bond II* (3M/ESPE), *Gluma* (Bayer Dental), *Xr-Bond* (Kerr), *Prisma Universal Bond 2 y 3* (Caulk Dentsply). Estos sistemas adhesivos con la utilización de un primer fueron un importante avance en relación a los anteriores. (Van Meerbeek y Cols. 2001)

4.1.4.- Adhesivos dentinarios de 4^a generación

Estos sistemas se basan en la técnica de hibridación de dentina y requieren de la eliminación del barro dentinario, tanto peri tubular (smear layer) como ínter tubular (smear plug). Son capaces de soportar más de 20 Mpa y alcanzan un valor muy superior de adhesión. Por cerca de 10 años este mecanismo fue poco conocido y sólo en los años 90 se revalorizó la importancia de la formación del estrato híbrido dentinario como base vital del sellado de túbulos y de la adhesión. Se caracterizan por ser sistemas de 3 pasos, es decir, primero se acondiciona el esmalte y dentina con un ácido grabador, luego se aplica un primer y luego la resina adhesiva. Dentro de las marcas más destacadas se encuentran: *Scotch Bond multipropósito* (3M/ESPE), *Scotch Bond multipropósito plus* (3M/ESPE), *Amalgambond Plus* (Parkell), *All Bond II* (Bisco), *Optibond* (Kerr), *Gluma Bonding System* (Bayer), *Gluma CPS* (Bayer), *Clearfil Liner Bond* (Kuraray), *Permaquick* (Ultradent), *Dyract PSA* (Dentsply), *Syntac* (Vivadent). (Van Meerbeek y Cols. 2001)

Tabla Nº III Ventajas y desventajas de los sistemas adhesivos de tres pasos de grabado ácido total.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Aplicación separa del ácido, primer y la resina adhesiva.• "Menor" sensibilidad a la técnica.• Test in-vitro como in-vivo prueban la adhesión a esmalte y dentina.• Mejor unión a esmalta.• Resultados más efectivos y consistentes.• Posibilidad de un adhesivo relleno.	<ul style="list-style-type: none">• Riesgo de sobre grabar la dentina (ácidos grabadores altamente concentrados).• Consumo de tiempo clínico por los tres pasos separados.• Paso de lavado post grabado (consume tiempo clínico y riesgo de contaminación de la superficie si no se utiliza goma dique).

("absorbedor de fuerzas").	<ul style="list-style-type: none">• Sensible a sobre humectación o sobre desecado de la dentina.• Débil interacción monómero colágeno (lo cual puede llevar a una nanoinfiltración y a una temprana degradación de la adhesión).
----------------------------	---

Modificado de Van Meerbeek y Cols. 2001

4.1.5.- Adhesivos dentinarios de 5ª Generación

Ante la necesidad de simplificar las etapas clínicas y disminuir la sensibilidad de la técnica, aparecieron los adhesivos monocomponentes. Estos se caracterizan por realizar un pretratamiento de la dentina por medio de acondicionadores y/o imprimadores que hacen del sustrato dentinario heterogéneo e hidrofílico más receptivo a la adhesión, diferenciándose de sus predecesores en que presentan sólo dos envases, uno en donde viene el ácido y otro en donde se reúnen el Primer y el Adhesivo, razón por la cual se denominan monocomponentes.

Dentro de esta generación encontramos una serie de adhesivos que comparten la característica de tener el primer y el adhesivo juntos como monocomponente, sin embargo, podemos encontrar algunas diferencias en cuanto a su composición, principalmente en la cantidad y tipo de relleno. (Van Meerbeek y Cols. 2001).

Es por esto, que para un mejor entendimiento y por ser esta 5ª generación de completa vigencia actual hemos clasificado a sus representantes en:

4.1.5.1.- Sistemas Adhesivos de 5ª Generación Convencionales:

A esta categoría pertenecen los primeros adhesivos que unieron en un sólo frasco el primer y el adhesivo. Dentro de estos tenemos a: *Prime & Bond 2.0 y 2.1* (Dentsply), *Single Bond* (3M/ESPE), *One Step* (Bisco), *Fuji Bond LC* (GC), *Gluma 2000* (Bayer), *Syntac Single Component* (Vivadent), *Syntac Sprint* (Vivadent):

4.1.5.2.- Sistemas Adhesivos de 5ª Generación Nanorrellenados:

Siempre en búsqueda de la excelencia, aparecen estos adhesivos en respuesta a la necesidad de mejorar aún más a los adhesivos convencionales de 5ª generación, especialmente lo que a adhesión e integridad marginal y el hacer posible una aplicación aún más sencilla. Así aparecieron estos adhesivos, que se caracterizan por presentar en su resina un relleno de tamaño nanométrico. Los primeros en presentar un adhesivo con esta característica fue la Dentsply con la introducción en 1998 del *Prime & Bond NT* (nano technology).

Gracias a este relleno se facilita la formación de una película uniforme y con una matriz más estable. Esencialmente la idea es crear materiales que tengan las ventajas de materiales orgánicos e inorgánicos, es decir, que combinen la flexibilidad y dureza de la red orgánica con la resistencia de los compuestos inorgánicos. Esto se obtiene con materiales que consisten en una

matriz orgánica con componentes inorgánicos de escala nanométrica. Como este nanorrelleno es muy pequeño y la superficie se modifica químicamente, la viscosidad del adhesivo prácticamente no aumenta. Esto es importante puesto que el adhesivo idealmente tiene que poseer una baja viscosidad para ser capaz de penetrar profundamente en la dentina. Incluso el nanorrelleno es tan pequeño que es capaz de formar parte de la capa híbrida, compuesto por el adhesivo y la dentina modificada, reforzándose el área más importante de la interfase adhesiva. El utilizar el nanorrelleno en los adhesivos los refuerza, haciéndolos más similar tanto a dentina y al material restaurador. El nanorrelleno aporta resistencia y la matriz de resina suministra la dureza necesaria. Algunos representantes de los adhesivos nanorrellenados son: Prime & Bond NT y Excite

Tabla IV Ventajas y desventajas de dos pasos de grabado ácido total

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Características básicas de los sistemas de tres pasos.• Procedimiento clínico más simple, por la reducción de un paso.• Posibilidad de dispensado en monodosis:<ul style="list-style-type: none">○ Composición y consistencia estable.○ Evaporación del solvente controlada.○ Aplicación higiénica (infección cruzada).• Posibilidad de un adhesivo relleno (“absorbedor de fuerzas”).	<ul style="list-style-type: none">• Substancialmente no es una aplicación más rápida (múltiples capas).• Mayor sensibilidad de la técnica (múltiples capas).• Efectos del grabado ácido total (Tabla III).

Modificado de Van Meerbeek y Cols. 2001

4.1.5.3.- Sistemas Adhesivos de 5ª Generación Macrorrellenados:

Tal como su nombre lo dice, estos adhesivos contienen en su composición una alta concentración de material de relleno (hasta un 40%), los que les otorga una viscosidad agregada. Pudiera pensarse que con tal cantidad de relleno, (lo que les da consistencia de leche condensada) no se lograría penetrar bien en la dentina y lograr una adecuada adhesión, sin embargo, esto se compensa mediante la aplicación y frotación del producto dentro de las cavidades con tips especiales, lográndose así altos valores de adhesión. Además, la gran cantidad de relleno hace que el primer sea una especie de tejido, adquiriendo un carácter elástico cuando polimerizan, pueden liberar flúor, son rápidos de usar y presentan largo tiempo de almacenamiento. Dentro de esta categoría encontramos: One Coat Bond, PQ-1, Permaquick y OptiBond Solo plus (Van Meerbeek y Cols. 2001)

4.1.6.- Adhesivos de 6ª Generación

Esta generación de sistemas adhesivos aún no está claramente definida. Para algunos, especialmente sus creadores, corresponde a aquellos adhesivos que poseen nanorrelleno, sin embargo, para otros, esta generación se caracteriza por la aparición de los denominados primers auto gravables que eliminan la etapa independiente del grabado ácido y su posterior lavado y secado. La aparición de los primers auto gravables es un avance significativo en la evolución histórica de los sistemas adhesivos, más que la disminución nanométrica de los relleno de la resina adhesiva, por lo que dejaremos dentro de esta generación a los sistemas auto gravables. Esto no quiere decir que la 5ª generación sea inferior en términos de adhesión o propiedades que la 6ª, pero creemos que la evolución va encaminada hacia la simplificación de las etapas clínicas, tal como lo hace esta última generación. (Van Meerbeek y Cols. 2001)

Por esto, y en la búsqueda de mejores alternativas y simplificación de la técnica, aparecieron los imprimadores auto gravables (primer self-etching) o condiprimers, considerados como la 6ª generación de adhesivos, introducidos por primera vez por la Kuraray (J. Morita USA) en 1994 en su agente adhesivo de cementación Panavia 21.

Tabla Nº V Ventajas y desventajas de los adhesivos autograbantes.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Desmineralización e infiltración de la resina simultanea.• No hay lavado post acondicionamiento.• No sensibilidad debido a que la dentina esta húmeda.• Baja sensibilidad a la técnica.• Posibilidad de empaque mono dosis (Tabla IV).• Posibilidad de un adhesivo relleno (“absorbedor de fuerzas”).• Interacción adecuada monómero colágeno	<ul style="list-style-type: none">• Insuficientes investigaciones clínicas a largo plazo• Insuficientes investigaciones in vitro.• Adhesión a esmalte aún necesita ser clínicamente probada• Indicios de hidrólisis de la capa híbrida en esmalte luego de un año.

Modificado de Van Meerbeek y Cols. 2001

Es necesario concluir con la revisión realizada por Van Meerbeek, M. Vargas, S. Inoue, Y. Yoshida, M. Peumans, P. Lambrechts y G. Vanherle para el Operative Dentistry Supplement del 2001. La que señala que la clasificación más usada de adhesivos se basa en la aparición comercial cronológica de estos, categorizándolos en 5 o 6 generaciones. Sin embargo, esta clasificación en generaciones, no posee un trasfondo científico y no permite clasificar a los adhesivos con un criterio objetivo. Por lo anterior, la clasificación de los adhesivos será presentada siguiendo el criterio del número de pasos clínicos a seguir, y más importante aún, como estos interactúan con la superficie dental”. (Operative Dentistry Supplement del 2001).

4.2.- Clasificación de los Sistemas Adhesivos por Número de Pasos y Tipo de Interacción con el sustrato Dentinario.

Una nueva clasificación es entregada por la Clinical Research Associates: Newsletter (CRA) en su publicación de noviembre del 2000. Al mismo tiempo la CRA hace comparaciones entre los diferentes tipos de sistemas adhesivos, más aún, hace comparaciones con diferentes tipos de marcas comerciales, en donde se evalúan fuerza de adhesión a dentina y esmalte, características clínicas y el aspecto de la dentina y el esmalte al ser tratados con diferentes sistemas adhesivos.

A continuación algunos de los conceptos más importantes publicados por la CRA.

- ✚ **Tipo I:** Grabador aplicado y lavado para remover el smear layer, primer y adhesivo son aplicados por separado. Remueve completamente el smear layer, crea capa híbrida.
- ✚ **Tipo II:** Grabador aplicado y lavado para eliminar el smear layer, primer y adhesivo aplicado en una misma solución. Remueve completamente el smear layer, crea capa híbrida.
- ✚ **Tipo III:** ácido aplicado para disolver el smear layer y no debe lavarse, adhesivo se aplica separadamente. No elimina smear layer, lo modifica dejándolo incluido dentro de la capa híbrida.
- ✚ **Tipo IV:** Primer auto-grabador y adhesivo aplicado en una misma solución para tratar y disolver el smear layer simultáneamente, lo modifica, dejándolo incluido dentro de la capa híbrida.

4.3.- Clasificación de los Sistemas Adhesivos de Van Meerbeek.

Clasificación de Van Meerbeek.

1- Adhesivos de Grabado Total:

- A) Sistemas Adhesivos de tres pasos.
- B) Sistemas adhesivos de dos pasos (grabado ácido en un frasco y primer con adhesivo en otro).

2- Adhesivos auto-grabadores:

- A) Sistemas adhesivos de 2 pasos (grabado ácido con primer en un frasco, y adhesivo en otro).
- B) Sistemas adhesivos de un paso

3.- Adhesivos de ionómero vítreo resino modificados: Sistemas de dos pasos



5.- Mecanismos De Adhesión

5.1.- Mecanismos de Adhesión a esmalte

Hoy, la adhesión de esmalte es ampliamente aceptada como una técnica adecuada, y clínicamente probada. Grabando con ácido fosfórico al 30-40% se crea una morfología ideal de la superficie para la adhesión macro mecánica de resinas, ya que se duplica la energía libre superficial. Los niveles diferentes de solubilidad a los ácidos de los prismas de esmalte en el centro y los márgenes resultan en una estructura rugosa que permite el flujo de adhesivos no rellenados y rellenados produciendo una unión íntima para el esmalte vía foto polimerización.

La adhesión resultante es suficiente para contrarrestar a las fuerzas causadas por la contracción de polimerización en una manera. En el pasado la consecuencia clínica era el tener que cubrir las áreas de la dentina de la cavidad con materiales convencionales de base, después de esto los márgenes de esmalte de la cavidad eran acondicionados con ácido fosfórico (Hickel, R., y Cols. 2001).

Generalmente, el ácido fosfórico a 35% o el 40% se ha preferido para acondicionar el esmalte. Ácidos alternativos, tales como ácido maléico del 10%, ácido cítrico del 10%, ácido oxálico 2,5%, y el ácido nítrico 2,5%, han sido la causa de la controversia. Su uso no conduce al aspecto blanco escarchado conocido con el ácido fosfórico. Mientras que algunos estudios indican que este hecho no afecta negativamente la fuerza adhesiva, otra investigación señala una reducción significativa de la fuerza adhesiva. Así, evaluaciones clínicas o pruebas de laboratorio que simulan longevidad son necesarias para confirmar la longevidad de la unión del esmalte por medio de tales acondicionadores. En este tiempo, el ácido fosfórico sigue siendo el ácido de elección para lograr un enlace fuerte a esmalte. (Lopes, CG., y Cols. 2002)

5.2.- Mecanismos de Adhesión a Dentina.

Los mecanismos, con los cuales los sistemas adhesivos dentinarios forman una fuerte unión con la resina compuesta y la estructura dentaria, no están completamente comprendidos. Sin embargo, muchas publicaciones sugieren que el primer paso en la adhesión es la remoción o modificación del barro dentinario, lo cual permite a los tres tipos de interacciones se lleven efecto, las cuales pueden jugar un importante rol en establecer la adhesión. Primero, las interacciones iónicas entre los ésteres de ácido fosfóricos metacrilatos o ácidos fosfónicos y los iones cálcicos de la hidroxiapatita, proveen una unión directa con la hidroxiapatita. Segundo, la polimerización del adhesivo dentro del colágeno expuesto forma un enmarañamiento micro mecánico entre las fibrillas colágenas y el composite, la llamada capa híbrida que sustituye la hidroxiapatita disuelta. Tercero, la formación de tags de resina dentro de los túbulos dentinarios y sus ramas resultan en retención mecánica. A continuación revisaremos en detalle los pasos que llevan a la adhesión a dentina.

5.3.- Smear Layer (Barro Dentinario).

Al instrumentar la superficie dentaria con instrumental rotatorio o manual para la confección de una restauración, las virutas de detritus son diseminadas sobre la superficie de esmalte y dentina, formando lo que se conoce como *smear layer*. Esta capa de detritus tiene una gran influencia sobre la adhesión entre el diente y el material restaurador. Su composición indica la estructura de la dentina subyacente, principalmente hidroxiapatita pulverizada, colágeno alterado mezclado con saliva, bacterias y otros detritus. Su espesor varía entre 0.5 a 5.0 μm . Se reporta que esta capa de *smear layer* reduce la permeabilidad dentinaria en un 86% (Schwartz y Cols. 1999).

Su permanencia al realizar una técnica adhesiva ha estado sujeto a muchas controversias, mientras algunos autores, incluyendo a Uribe Echeverría, apoyan su conservación porque sella los túbulos impidiendo la entrada de microorganismos y fluidos, o que incrementa las fuerzas adhesivas, en cambio otros como Baratieri, optan por su eliminación ya que reduce la energía superficial y existe el peligro de albergar bacterias, además al sellar los túbulos dentinarios se impide que el adhesivo penetre y forme tags más profundos junto con que la adhesión estaría condicionada por la fuerza de unión entre el barro y la dentina. Además hoy se asume que el barro dentinario no es un agente infeccioso importante ya que sus bacterias no son viables y además con los sistemas adhesivos actuales se puede modificar para no interferir con la adhesión.

5.4.- Remoción del barro dentinario.

Los sistemas adhesivos dentinarios iniciales no remueven el barro dentinario logrando solo una resistencia adhesiva de aproximadamente 5 MPa. Los estudios en microscopia electrónica de los planos de fractura mostraban partículas de barro dentinario en ambos lados. Esto significa que la resistencia adhesiva de 5 MPa fue en realidad una medición de la resistencia a la fractura del barro dentinario (Nakabayashi y Pashley, 1998). Muchas investigaciones nuevas sobre agentes adhesivos modernos también proveen una adhesión fuerte a dentina que no puede ser lograda sin la remoción o modificación del barro dentinario. Por ejemplo, si los agentes adhesivos fuesen aplicados a dentina no acondicionada no se forma capa híbrida y los tags de resina serían raramente evidentes en las investigaciones de SEM (Ferrari y Cols., 1997). Los estudios que comparaban la resistencia adhesiva de la dentina no grabada y la dentina grabada con ácido fosfórico al 10% mostró una disminución dramática en la resistencia adhesiva de los grupos de sin grabado ácido (Gwinnett, 1993; Gwinnett, 1994). La remoción del barro dentinario con *Prophy Jet* también aumenta la resistencia adhesiva (Gwinnett, 1994).

Por lo tanto, uno puede fácilmente imaginar que la remoción o la modificación del barro dentinario es necesaria para que las interacciones descritas anteriormente puedan llevarse a cabo. Ciertamente, muchos autores explican la falta de adhesión si el barro dentinario no es removido, con, primero, adhesión insuficiente del barro dentinario al diente, segundo, la falta de colágeno expuesto, con el cual puede formar una capa híbrida, y tercero, la barrera que el barro dentinario forma contra la penetración del primer en los túbulos dentinarios (Nakabayashi y Pashley, 1998).

La importancia de la remoción del barro dentinario no es sólo confirmada con los estudios in vitro, sino también por dos publicaciones clínicas que sugieren que los agentes adhesivos a dentina que remueven el barro dentinario exhiben mejores tasas de retención in vivo que aquellos que sólo modifican el barro dentinario (Alhadainy Y Adballa, 1996; Van Meerbeek y Cols., 1994).

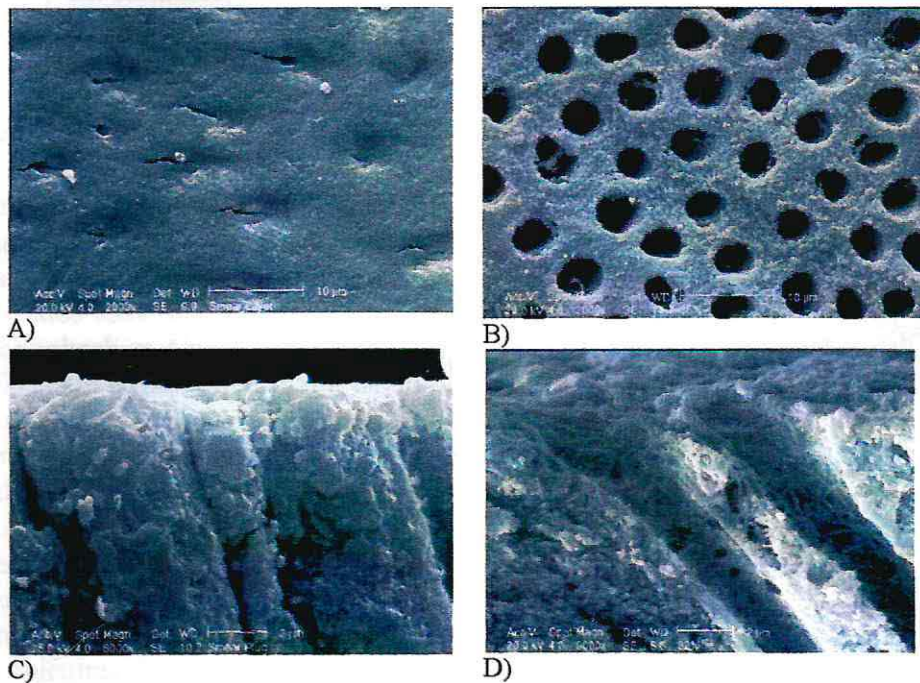


Figura N° 10: En estas micrografías se puede observar el smear layer y el smear plug (A y C), y el efecto del grabado ácido, obsérvese la malla colágena presente en la superficie de la dentina y en la dentina peri tubular (B y D). Obtenido de Lopes, CG., y Cols. 2002.

5.5.- Moléculas anfipáticas bifuncionales (bipolares) unidas a la hidroxiapatita

En contraste con el esmalte grabado seco, el cuales fácilmente mojado por las resinas hidrofóbicas, la dentina falla en unirse directamente a las resinas compuestas. Por lo tanto, los primers contienen moléculas que mojan bien la dentina hidrofílica y el colágeno y formen una capa menos hidrofílica que es subsecuentemente mojada mejor por los monómeros de metacrilato y que también pueden reaccionar con él. Por lo tanto, la mayoría de esas moléculas bifuncionales son metacrilatos o acrilatos ácidos. Tales moléculas pueden unirse a los iones calcio de superficie con su grupo fosfato. Luego de la polimerización, estas moléculas reaccionan con los monómeros tales como el HEMA, TEGDMA, Bis-GMA y los dimetacrilatos. Esto lleva a una unión entre la hidroxiapatita y el adhesivo. Actualmente, no se ha establecido aún si tal unión directa a la hidroxiapatita es de sustancial contribución a la resistencia adhesiva total, dado que las uniones iónicas entre los monómeros ácidos y los iones cálcicos de la hidroxiapatita son muy susceptibles al agua que contiene iones disueltos. Así que, incluso una nanoinfiltración mínima permita a los iones libres penetrar en la unión pueden llevar a la disociación de ésta.

5.6.- Capa Híbrida

El autor que describió primero la capa híbrida incluyó en esta estructura a los tejidos dentales duros (esmalte, dentina y cemento) que permitieran la infiltración de monómeros y su subsecuente polimerización en su superficie y subsuperficie desmineralizada (Nakabayashi y Pashley, 1999). En contraste, muchas publicaciones actuales se refieren a la capa híbrida como la infiltración y polimerización del monómero dentro de la red colágena expuesta de la dentina.

De acuerdo al conocimiento actual, la adhesión vía capa híbrida es establecida por una serie de pasos consecutivos durante el procedimiento de adhesión. Primero, durante el acondicionamiento, las superficies minerales de la dentina y los túbulos dentinarios son desmineralizados hasta una profundidad de 5 a 10 μm (Schüpbach y Cols., 1997; Vargas y Cols., 1997). Esto expone una malla de fibras colágenas dentinarias. Segundo, la aplicación del primer reemplaza el agua ocupando el espacio desmineralizado entre la malla colágena con los monómeros de metacrilatos hidrofílicos. Tercero, la polimerización de los monómeros embebe la malla colágena en una

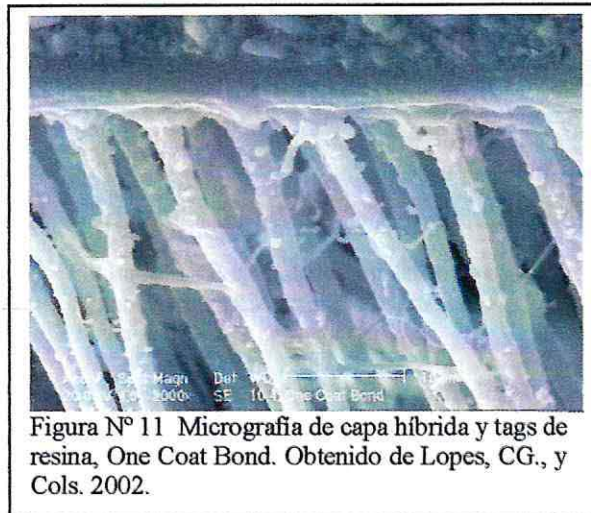


Figura Nº 11 Micrografía de capa híbrida y tags de resina, One Coat Bond. Obtenido de Lopes, CG., y Cols. 2002.

matriz de resina, lo cual resulta en una capa híbrida. Las fibras de colágeno proveen una unión a la dentina mientras la resina provee la unión al adhesivo o al material de composite. Un microscopio electrónico de fluorescencia mostró que la capa híbrida es de 3,2 +/- 0,8 μm de grosor con los túbulos dentinarios perpendiculares a la superficie adhesiva y de 1,3 +/- 0,6 μm para los túbulos dentinarios paralelos a la superficie adhesiva (Schüpbach y Cols., 1997).

Muchos investigadores han intentado determinar experimentalmente la contribución de la capa híbrida a la dentina adherida. Frecuentemente, la importancia de una estructura particular en un complejo sistema puede ser mejor estudiado si esta ausente. Por lo tanto, la adhesión dentinaria fue estudiada en la ausencia de colágeno expuesto. La mayoría de los investigadores usaron hipoclorito de sodio para remover el colágeno dentinario expuesto. Un estudio de microscopía electrónica sugiere que tal tratamiento previene la formación de una capa híbrida (Pioch y Cols., 1999). Alternativamente, el colágeno dentinario expuesto puede ser removido por digestión por la encima colagenasa (Gwinnett y Cols., 1996).

Cuando comparamos los valores de resistencia adhesiva de las muestras de control con aquellos en que la dentina ha sido tratada con hipoclorito de sodio, uno puede encontrar reportes que muestran resistencia adhesiva disminuida (Frankenberger y Cols., 2000; Pioch y Cols., 1999; Vargas y Cols., 1997), similar (Armstrong y Cols., 1998; Gwinnett, 1994; Kanca y Cols., 1998; Uno y Finger, 1995; Vargas y Cols., 1997) y aumentada (Pioch y Cols., 1999; Nakabayashi y Cols., 1994) respecto del grupo tratado por hipoclorito. No se observaron diferencias si el barro dentinario fue removido con un tratamiento de colagenasa (Gwinnett y Cols., 1996). Si bien la

mayoría de los autores citados arriba reportaron valores de resistencia adhesiva similares, esta cantidad de datos es algo confusa.

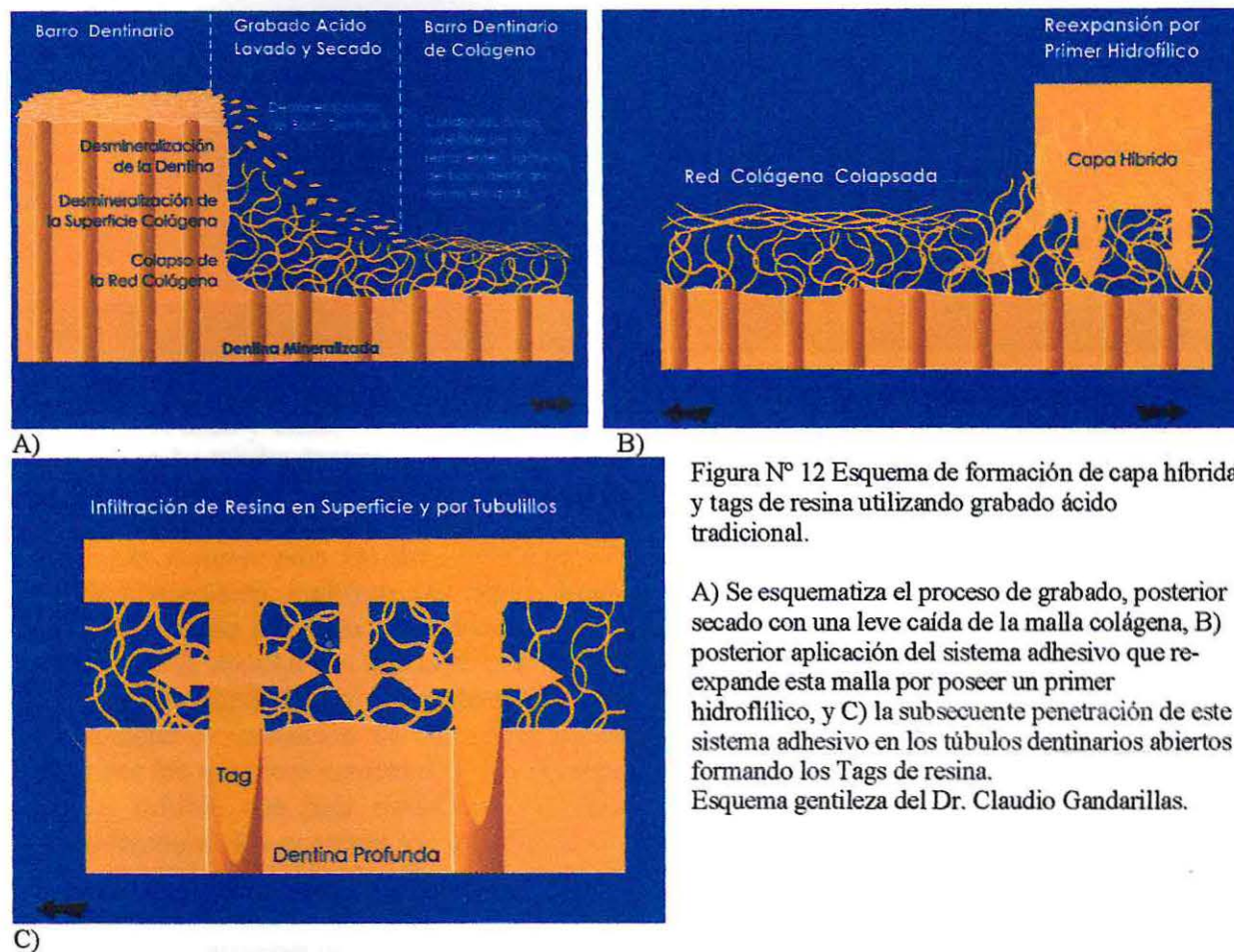
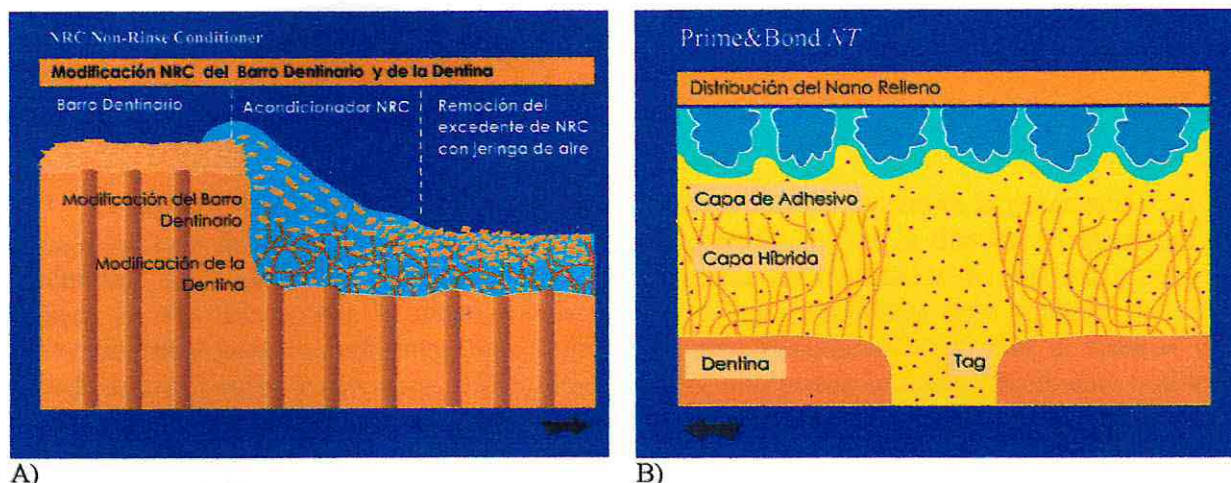


Figura N° 12 Esquema de formación de capa híbrida y tags de resina utilizando grabado ácido tradicional.

A) Se esquematiza el proceso de grabado, posterior secado con una leve caída de la malla colágena, B) posterior aplicación del sistema adhesivo que re-expande esta malla por poseer un primer hidrofílico, y C) la subsecuente penetración de este sistema adhesivo en los túbulos dentinarios abiertos formando los Tags de resina. Esquema gentileza del Dr. Claudio Gandarillas.

Cuando se consideran tales resultados solos, uno puede concluir que la hibridización del colágeno no es relevante para la adhesión dentinaria. Sin embargo, tales experimentos han sido criticados, porque no está claro si el colágeno es totalmente removido por este procedimiento. Por ejemplo, un estudio de microscopía electrónica mostró que si bien los extremos de las fibrillas de colágeno habían sido removidas por el tratamiento de dos minutos con hipoclorito de sodio al 5%, la superficie aún se parecía a la dentina grabada (Kanca y Sandrik, 1998). Por lo tanto, el colágeno expuesto no pudo haber sido completamente retirado si bien una capa híbrida no puede ser vista en microfotografías electrónicas. Adicionalmente, dos estudios mostraron que la calidad marginal fue afectada adversamente por la remoción del colágeno expuesto (Frankenberger y Cols., 2000; Uno y Finger, 1995). Los autores especularon que la capa híbrida se compensa por el stress de curado. Estas observaciones sobre el rol de la capa híbrida pueden ser explicados analizando los patrones de fractura en la interfase resina-dentina, la cual mostró que la plasticidad de la unión puede ser beneficiosa a la resistencia al crack (Gwinnett, 1994).



A) Figura Nº 13 Esquema de formación de capa híbrida con un sistema adhesivo Tipo III, ácido no lavable (NRC). A) Aplicación del ácido y secado de este y B) formación de capa híbrida y penetración de la resina entre la malla colágena y en los túbulos dentinarios, dejando incorporado el barro dentinario modificado. Esquema gentileza del Dr. Claudio Gandarillas

Las razones para las dificultades en la interpretación de los experimentos sobre capa híbrida ciertamente incluyen las alteraciones del colágeno dentinario expuesto durante el procedimiento de adhesión. Es sabido y se discute más adelante, que los correctos grados de humedad de la dentina son cruciales para la adhesión. La red de colágeno expuesta colapsa si la dentina es desecada luego del grabado. Esto puede obstruir los túbulos dentinarios abiertos y comprometer la formación de una capa híbrida. Adicionalmente, la red de colágeno se puede alterar por los químicos presentes en los primers. Por ejemplo, la matriz de dentina descalcificada humana exhibió una baja retención (7 MPa) si es empapada en agua. El tratamiento con glutaraldehído al 5% aumenta irreversiblemente la retención a cerca de 50 MPa (Maciel y Cols., 1996). Este estudio sugiere que la actividad de enlaces cruzados del glutaraldeído provee estabilidad a la red de colágeno expuesta. El descubrimiento que el tratamiento con glutaraldehído preserva parcialmente el barro dentinario contra la remoción por EDTA apoya esta idea (Dijkman y Cols., 1994).

Función de la Capa Híbrida

El hecho que la capa híbrida sea la verdadera fuerza dominante para la adhesión dentinaria (Gwinnett, 1993; Perdigao y López, 1999) es demostrado por la baja resistencia de la adhesión a la dentina profunda, donde el área de superficie de la dentina inter tubular rica en colágeno es limitado (Pashley, 1990). Sin embargo, si estas observaciones son aplicables a todos los adhesivos dentinarios, permanece una pregunta abierta en la literatura dental. Una cantidad de estudios han mostrado que la fuerza adhesiva o la adaptación marginal de los adhesivos dentinarios, no se ve afectada mayormente si la red colágena expuesta es removida o disuelta con hipoclorito de sodio al 10% (NaOCl) por 60 segundos luego del procedimiento de grabado con ácido fosfórico (Armstrong y Cols., 1998; Blunck y Cols., 1997; Inai y Cols., 1998). Sin embargo, no se debe inferir de estos resultados que la capa híbrida inter tubular no es relevante en producir adhesión a dentina, como la investigación ha demostrado que el tratamiento de dentina

grabada con hipoclorito de sodio causó una descalcificación adicional y no removió todo el colágeno expuesto (Perdigao y Lopes, 1999).

5.7.- Tags de resina

El grabado ácido de la dentina abre los túbulos dentinarios y permite la penetración de la resina. Los tags de resina resultantes se extienden hasta 100 μm en la dentina (Brännstrom y Nordenwall, 1977). Los tags de resina no sólo se extienden en los túbulos dentinarios, sino que también en sus ramas, por lo menos cerca de la dentina superficial. Este proceso ha sido observado tanto para los adhesivos que utilizan un autoimprimante como con el sistema de grabado ácido (Ferrari y Davidson, 1996). Por lo tanto, uno puede imaginar fácilmente que los tags de resina forman una retención mecánica en la dentina.

Sin embargo, algunos autores argumentan que, si bien se notan impresionantes en las imágenes de microscopía electrónica, los tags de resina contribuyen poco a la retención mecánica de los agentes adhesivos, porque la adaptación a las paredes tubulares y la polimerización en la profundidad de la dentina sería insuficiente (Swift y Cols., 1995). El descubrimiento que el ángulo entre los túbulos dentinarios y la superficie de la preparación tiene poca influencia sobre la resistencia adhesiva apoya tales argumentos. No se encontraron diferencias para dos agentes adhesivos diferentes si los túbulos estaban orientados perpendicular o paralelos a la superficie de adhesión (Phrukkanon y Cols., 1999). Adicionalmente, los tags de resina estaban ausentes si los túbulos corrían paralelos a la superficie adhesiva (Schübach y Cols., 1997). Mientras esas publicaciones sugieren que los tags de resina cumplen un rol menor en la retención, las imágenes de microscopía electrónica de las interfases dentina-composite fracturadas frecuentemente muestran que los tags de resina permanecen en los túbulos y no son desgarrados (Lin y Douglas, 1994). Esto demuestra convincentemente que los tags de resina proveen retención. Más aún, considerando la durabilidad de la unión entre un composite y la dentina, uno puede imaginar que, tan pronto con la nano o micro infiltración se produzca, la unión química directa es susceptible de infiltrar agua con iones. Más aún, las encimas proteo líticas infiltradas pueden degradar el colágeno dentinario. Los tags de resina, en contraste, son resistentes a ambas actividades. Así que, los tags de resina son

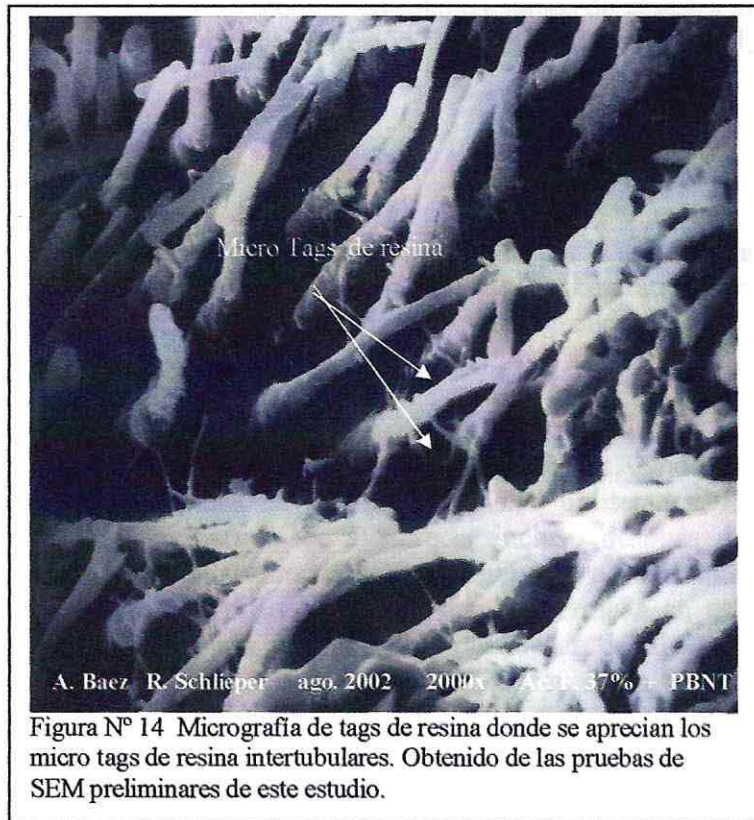


Figura N° 14 Micrografía de tags de resina donde se aprecian los micro tags de resina intertubulares. Obtenido de las pruebas de SEM preliminares de este estudio.

ciertamente cruciales en la mantención de la adhesión a la estructura dentaria por un largo tiempo.

Función de los tags de resina

Originalmente, la adhesión a dentina fue completamente atribuida a la formación de tags de resina en los túbulos dentinarios (Nordenvall y Brannström, 1980). Tales tags inter tubulares consisten típicamente de un núcleo de resina. Los núcleos son rodeados por una delgada capa híbrida que es formada en la pared interna de los túbulos dentinarios. Esta unión íntima con la dentina peri tubular no solo mejora la adhesión a dentina, sino que también sella los túbulos y es relevante en la protección contra la sensibilidad postoperatoria (Pashley, 1991; Titley y Cols., 1995). Los que son conocidos como microtags en las ramas laterales entre los tags de resina principales también contribuyen a la adhesión dentina resina (Chappell y Cols., 1994). Más aún, estudios han probado que la formación de tags no solo se produce en túbulos vacíos de muestra in vitro, así como también en túbulos de muestras in vivo bajo presión fisiológica (Ferrari, 1998; Nakabayashi y Cols., 1995)

5.8.- Adhesión a Sustrato Dentinario Modificado

Los sistemas adhesivos actualmente usados son al parecer capaces de lograr la adherencia eficaz a los tejidos dentales. Sin embargo, las pruebas de adhesión conducidas en laboratorios se realizan comúnmente en el dentina inalterada sana, que no es la situación clínica generalmente.

5.8.1.- Dentina esclerótica:

Es un sustrato clínico común en el cual la dentina es patológicamente alterada, dando por resultado un tejido dentinario donde están los túbulos en parte o totalmente obliterados. La obliteración de túbulos en la dentina esclerótica permanece al parecer incluso después del grabado ácido, dando por resultado tags de resina del sistema adhesivo mínimos o no existentes al interior de los túbulos. Además, la zona de inter difusión resina-dentina formada en este sustrato es más estrecha que la formada en dentina normal, esto puede ser debido a la hipermineralización de este tejido, que es más resistente a la desmineralización ácida por los sistemas adhesivos. (López, CG., y Cols, 2001)

5.8.2.- Dentina inter tubular:

La formación de la capa híbrida en dentina inter tubular debe también contribuir a la retención de la resina proporcionalmente a la cantidad de dentina inter tubular que esta disponible para la adhesión. La cantidad de dentina inter tubular disminuye a medida que la profundidad hacia la pulpa aumenta. En suma, la cantidad de túbulos dentinarios crece de 20,000/mm² en la unión del esmalte-dentina a 45,000/mm² cerca de la pulpa. El diámetro de estos túbulos aumenta con mayores profundidades, midiendo 0,7 µm en dentina superficial y 2,2 µm en dentina profundo. La razón para tal variación es la disminución del contenido mineral que existe en dentina profunda. Por consiguiente, la permeabilidad pulpar aumenta como el espesor dentinario decrece. (Lopes, CG., y Cols, 2001).

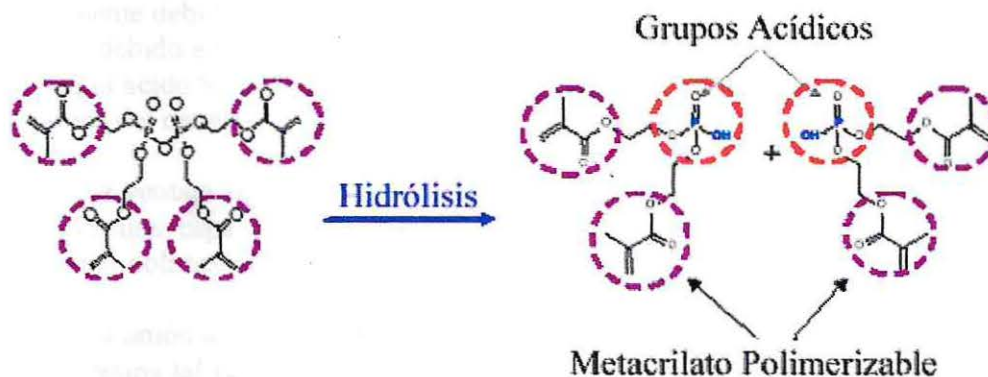
6.- Química en los adhesivos autograbantes.

Para poder comprender a cabalidad el funcionamiento de un sistema adhesivo auto gravante es necesario conocer su química, la cual difiere substancialmente de los adhesivos tradicionales Tipo II.

6.1.- Química del sistema adhesivo Xeno III (Dentsply DeTrey)

Los adhesivos autograbantes se presentan generalmente como en dos botellas con líquidos que se mezclan en proporción uno a uno y posteriormente se aplica a la dentina. La primera botella contiene solventes, generalmente agua y etanol; hidroxietil metacrilato (HEMA) que actúa como primer. La segunda botella contiene monómeros ácidos polimerizables que realizan el grabado, dimetacrilato de uretano que contribuye a la fuerza cohesiva, el foto iniciador que generalmente es la canforquinona y estabilizantes.

Al mezclar ambos líquidos los monómeros ácidos se activan por hidrólisis de la molécula al entrar en contacto con el agua, dejando libre los grupos ácidos que comienzan a interactuar con el barrillo dentinario y la dentina subyacente y se produce la desmineralización de la hidroxiapatita, los iones de calcio que son liberados de la hidroxiapatita desmineralizada van a neutralizar los grupos ácidos vía interacción iónica.



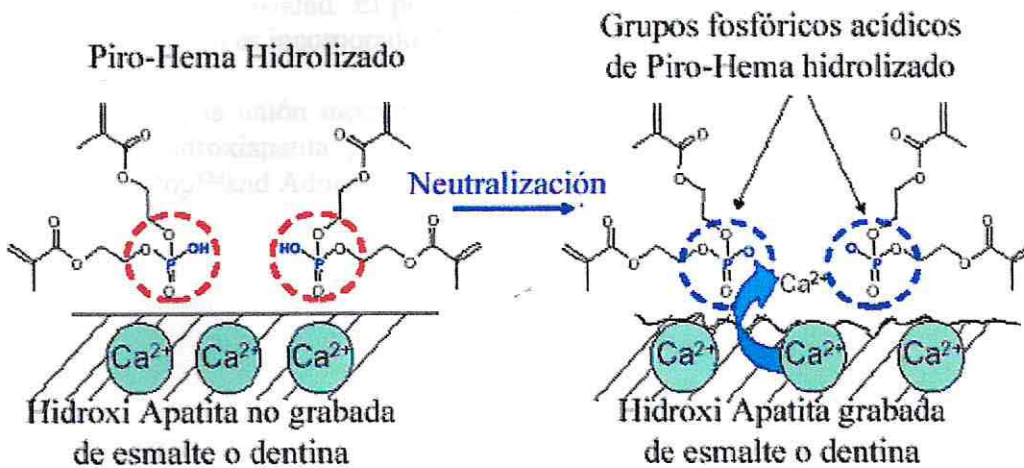


Figura N° 15 Química del adhesivo autograbante Xenio III, se explica su activación mediante hidrólisis y su interacción con el sustrato dentinario. (Obtenido de Xenio III Scientific Compendium.)

Después de la interacción con el sustrato dentinario se produce la polimerización donde los monómeros ácidos inactivados quedan incluidos dentro del polímero formado. (Xenio III, Dentsply DeTrey, Scientific Compendium)

5.9.2.- Química del sistema adhesivo Adpter Prompt (3M-ESPE)

El éxito de el adhesivo auto gravante Adper™ Prompt™ se basa en sus esteres fosfóricos, inicialmente debido al hecho que la solución acuosa de esteres disuelve la superficie de esmalte y dentina, debido a su bajo PH. Adper™ Prompt™ graba el esmalte de una manera similar a como lo hace el ácido fosfórico, esto da como resultado un patrón de grabado para la retención micro mecánica del material restaurador

La ventaja del adhesivo Adper™ Prompt™ es que no tiene que ser lavado con agua. Solo se aplica una capa de adhesivo y se seca con una jeringa de aire, los esteres fosfóricos sin reaccionar polimerizan dentro de la matriz en el subsecuente paso de foto curado.

La unión a dentina es llevada a cabo por la formación de una capa híbrida y la creación de tags de resina tal como el los sistemas convencionales. Además Adper™ Prompt™ causa que el componente mineral de la dentina se disuelva. Los monómeros responsables de la desmineralización también lo son de la adhesión. La profundidad de la penetración de los monómeros se corresponde con la profundidad de grabado. La nano infiltración, como resultado de la insuficiente penetración del adhesivo en dentina grabada, dejando dentina grabada sin adherir en profundidad, puede ser prevenida por este mecanismo.

Durante el proceso de grabado el pH. de estos esteres fosfóricos aumenta, esto detiene el proceso de desmineralización. En el subsecuente paso de secado, los monómeros de Adper™ Prompt™ ya no pueden ser removidos de la zona desmineralizada, o de los túbulos dentinarios,

debido a su alta viscosidad. El precipitado producido durante este proceso y la eliminación del exceso de adhesivo es incorporado dentro de la matriz durante el proceso de foto curado

En suma la unión mecánica entre el adhesivo y la dentina, y la unión química entre el calcio de la hidroxiapatita y la matriz esta determinada por los esteres fosfóricos. (AdperTM PromptTM L-PopTM and AdperTM PromptTM Self-Etch Adhesives Technical Product Profile).

6.- Métodos Para Probar Adhesivos

Entre 1990-2000 hemos visto la publicación de 2,177 estudios científicos ocupándose del tema adhesión de la dentina que en su mayor parte ha sido llevado a cabo por estudios de laboratorio (in vitro).

Aunque hay consenso que el estudio prospectivo clínico representa la medida de todas las cosas para la evaluación de adhesivos, el período largo de tiempo que se requiere para obtener resultados significativos a menudo significa que el agente adhesivo testado está ya no esta en el mercado. Ahora sigue una comparación entre varios procedimientos de prueba in-vitro.

En su estado actual también posible llevar a cabo pruebas en diferentes substratos dentinarios, la categorización es de acuerdo al substrato usado y la prueba.

Los procedimientos de separación

✚ Los dientes de ganado

En principio todas las pruebas también pueden ser efectuadas en los dientes de ganado. Sin embargo, por el bien de la claridad sólo estudios implicando dientes humanos ha sido citados.

✚ La dentina saludable (húmedo)

La variante estándar de evaluación preclínica es llevada fuera en dientes sin cambios, extraídos recientemente (molares del juicio). Esto resulta en las fuerzas más altas de unión.

✚ La dentina saludable (impregnado)

Simular el fluido de la dentina de los especímenes experimentales es usando una presión de una columna de agua 30 cm.

✚ La dentina cambiada por la caries

Como la prueba clínica generalmente tiene que ser efectuada en dentina cambiada por la caries, la dentina alterada también debería ser evaluada como el substrato.

Tabla VI Test de cizallamiento (Fig. 16)

Polimerización de un cilindro de material restaurativo sobre una superficie dentaria plana y resistencia al cizallamiento después del almacenaje y/o termo ciclado.	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Rápido ✚ Relativamente Simple ✚ Muchos estudios comparativos 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Contracción no esta tomada en cuenta ✚ Bajo factor C ✚ Evaluación sobre dentina evaluada por caries virtualmente imposible. ✚ Máximo 2 test por diente

(Obtenido de Hickel, R.,y Cols. 2001)

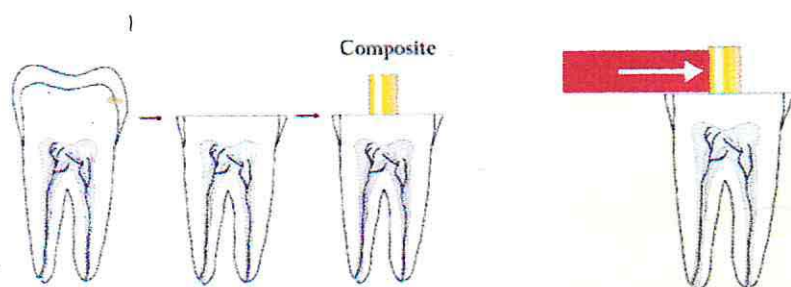


Figura Nº 16 Test de cizallamiento (Obtenido de Hickel, R.,y Cols. 2001)

Tabla VII Test de desalojo (Fig. 17)

Polimerización de un cilindro de material restaurativo sobre una superficie dentaria plana y resistencia al desalojo después del almacenaje y/o termo ciclado.	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Rápido. ✚ Relativamente Simple. ✚ Muchos estudios comparativos. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Contracción no esta tomada en cuenta. ✚ Bajo factor C. ✚ Evaluación sobre dentina evaluada por caries virtualmente imposible. ✚ Máximo 2 especimenes de prueba por diente.

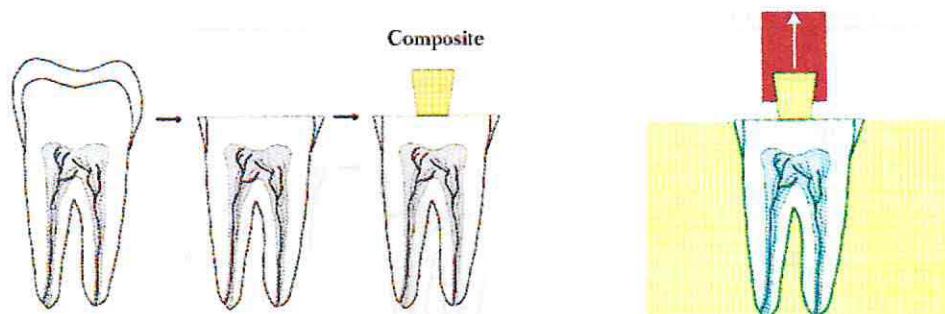


Figura Nº 17 Test de desalojo, (obtenido de Hickel, R.,y Cols. 2001).

Tabla VIII Test de dislocación (Fig. 18)

Rellenado de una "cavidad" en un disco de dentina y dislocado del relleno luego del almacenaje y/o termo ciclado.	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Se toma en consideración la contracción. ✚ Alto factor C. ✚ Es posible test de fatiga. ✚ Posible análisis de espacios marginales. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Es necesaria una gran experiencia. ✚ Muy laborioso. ✚ No es posible la evaluación en dentina modificada por caries. ✚ Solo un espécimen de prueba por diente.

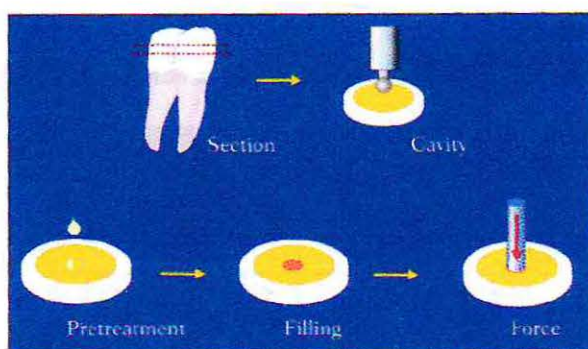
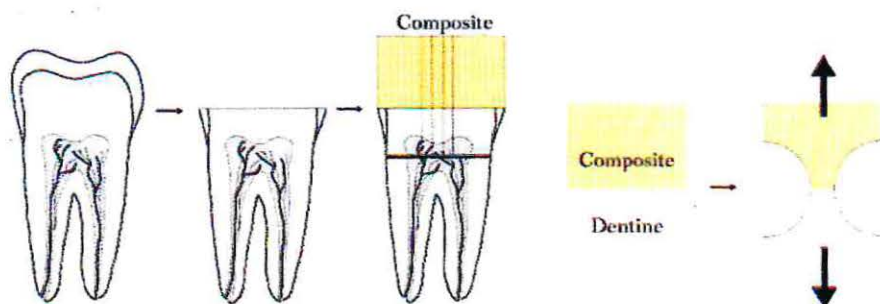


Figura N° 18 Test de dislocación. (Obtenido de Hickel, R., y Cols. 2001)

Tabla IX Test de desalojo en miniatura (procedimiento de micro tensión A: forma de reloj de arena) (Fig. 19)

Polimerización de un bloque de material restaurador sobre superficies dentarias planas. Corte de los dientes en discos y preparación de especímenes de prueba con forma de reloj de arena	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Evaluación de fiabilidad con pequeños especímenes. ✚ Es posible la evaluación en dentina modificada por caries. ✚ Hasta 10 especímenes de prueba por diente. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Se necesita una gran experiencia. ✚ Riesgo de desecado. ✚ Adhesivos con adhesión a 5 Mpa fracasan cuando se preparan los especímenes. ✚ Laboriosa preparación en forma de reloj de arena.



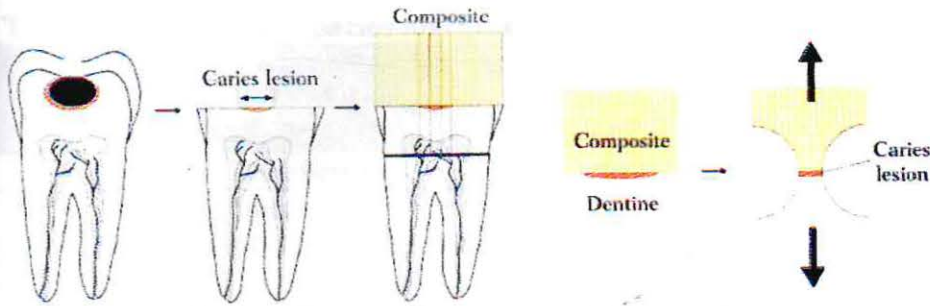


Figura Nº 19 Test de desalajo en miniatura, esquematizado para dentina sana y dentina afectada por caries (obtenido de Hickel, R., y Cols. 2001).

Tabla X Test de desalajo en miniatura (procedimiento de micro tensión B: forma de barra) (Fig. 20)

Polimerización de un bloque de material restaurador sobre superficies dentarias planas. Corte de los dientes en discos y preparación de especímenes y sección en forma de varillas. Separación.

Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Evaluación de fiabilidad con pequeños especímenes. ✚ Es posible la evaluación en dentina modificada por caries. ✚ Hasta 40 especímenes de prueba por diente. ✚ Evaluación de diferencias en distintas regiones de dentina. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Se necesita una gran experiencia. ✚ Riesgo de desecado. ✚ Adhesivos con adhesión a 5 Mpa fracasan cuando se preparan los especímenes. ✚ Procedimiento de sección sensible.

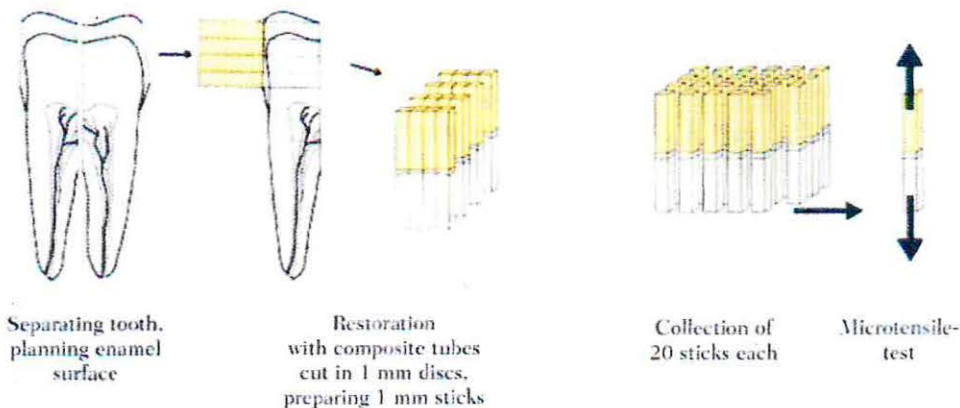


Figura Nº 20 Test de desalajo en miniatura, procedimiento B. (obtenido de Hickel, R., y Cols. 2001)

Tabla XI Análisis de espacios marginales

Toma de impresión y replicación de una cavidad para un análisis cuantitativo de espacios marginales usando SEM. Idealmente combinado con evaluación de la adaptación interna y test de infiltración.	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Factor C clínicamente relevante ✚ Simulación 1 a 1 de circunstancias clínicas ✚ Es posible un test de fatiga con simulador de masticación y termo ciclado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Procedimiento laborioso. ✚ Solamente un máximo de dos especímenes de prueba por diente.

Tabla XII Evaluación de adaptación interna.

Toma de impresión y replicación de una cavidad seccionada sagital mente para un análisis cuantitativo de espacios marginales de la adhesión dentina-material restaurador utilizando SEM, idealmente combinada con análisis de espacios marginales y test de infiltración.	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Factor C clínicamente relevante. ✚ Simulación 1 a 1 de circunstancias clínicas. ✚ Es posible un test de fatiga con simulador de masticación y termo ciclado. ✚ Verificable la profundidad del Gap o espacio marginal y su curso posterior. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Procedimiento laborioso. ✚ Solamente un máximo de un espécimen de prueba por diente.

Tabla XIII Test de Infiltración

Así como para el análisis de espacios marginales, se establecieron como parámetros de infiltración la penetración de colorante y sección sagital de par ala medición de la profundidad de penetración. Idealmente combinada con análisis de espacios marginales y evaluación de la adaptación interna o individualmente en un procedimiento de difusión de gel de acuerdo con Hofmann	
Beneficios	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✚ Evaluación en profundidad de los espacios marginales. ✚ En combinación con el análisis de espacios marginales se logra un amplio conocimiento. ✚ Evaluación de dentina cambiada por caries es posible. ✚ Sobre 40 especímenes por diente. ✚ Evaluaciones de diferencias en distintas regiones es posible. 	<ul style="list-style-type: none"> ✚ Es necesaria una gran experiencia. ✚ Riesgo de desecado. ✚ Adhesivos con menos de 5 Mpa. Fallan durante la preparación de especímenes. ✚ Procedimiento de seccionado sensible.

6.-Cuadro Resumen Sistemas adhesivos utilizados y sus componentes

Tipo	Nombre	Marca	Ácido	Composición
Tipo II (de baja viscosidad)	Prime And Bond® NT	Dentsply, DeTrey.	Ácido Fosfórico 37%	Resinas de di y tri metacrilato Sílice amorfa funcionalizada PENTA. Foto iniciadores, Estabilizantes Hidrofluoruro de cetilamina Acetona.
	SingleBond	3M™ ESPE™	Ácido Fosfórico 32%	HEMA Ácido polialquenoico Ácido poli acrílico BisGMA Etanol Agua.
Tipo II (de alta viscosidad)	One Coat Bond	Coltene®	Ácido fosfórico al 15%	Hidroxietilmetacrilato (HEMA) Hidroxipropilmetacrilato. Dimetacrilato de glicerina Polialquenoato metacrilizado Dimetacrilato de Uretano Agua
	PQ1®	Ultradent Usa	Ácido fosfórico 35%	2-hidroxietilmetil metacrilato (15%) Alcohol Camforquinona (menos del 1%) Relleno FluorVite® 40 %
Tipo III	NRC™	Dentsply® DeTrey	-	Ácidos/monómeros orgánicos en solución acuosa.
Tipo IV	Adper™ Prompt™	3M™ ESPE™	-	Líquido 1 (ampolla roja): Esteres fosfóricos de Metacrilato Bis-GMA Iniciadores basados en la Camforquinona Estabilizadores
				Líquido 2 (ampolla amarilla): 2-Hidroxietil methacrilato (HEMA) ácido polialquenoico Estabilizantes, Agua
	Adhesivo Experimental	Coltene®	-	Primer contiene: Agua ácido archilamido-sulfónico Hidroxietilmetacrilato (HEMA) Glicerol mono y di metacrilato Polialquenoato metacrilizado Iniciadores, Estabilizadores. Agente de Unión contiene: Hidroxietilmetacrilato (HEMA) Glicerol mono y di metacrilato Dimetacrilato de Uretano Polialquenoato metacrilizado Iniciadores Estabilizadores

Hipótesis y objetivos

Hipótesis:

“Los adhesivos autograbantes tendrán tags de resina de menor longitud que los sistemas adhesivos que utilizan grabado ácido tradicional”

Objetivo principal

Demostrar que el uso de sistemas adhesivos autograbantes (Tipo III y Tipo IV) presentan largos de tags de resina mucho menores que los sistemas adhesivos convencionales (Tipo II)

Objetivos específicos

- Establecer un protocolo para la observación de tags de resina y capa híbrida en microscopía electrónica de barrido.
- Determinar si existen diferencias el largo de tags de resina dentro de los sistemas adhesivos tipo II de baja densidad.
- Determinar si existen diferencias en el largo de tags de resina dentro de los sistemas tipo II de alta densidad.
- Determinar si existen diferencias en el largo de tags de resina dentro de los sistemas adhesivos tipo IV.
- Determinar si existen diferencias en el largo de tags de resina entre los sistemas adhesivos tipo III y los sistemas adhesivos tipo II y IV.



Materiales y Métodos

Universo y Marco Muestral

El presente estudio se realizó en las dependencias de la Facultad de Odontología de la Universidad de Valparaíso y en Departamento de Microscopía Electrónica de la Dirección de Investigación de la Universidad de Concepción.

Para el siguiente estudio se utilizaron 70 dientes premolares superiores extraídos por indicación ortodóncica, que fueron divididos en cuatro grupos de estudio, 3 grupos de 20 dientes y 1 de 10.

Para determinar el marco muestral el Método Utilizado fue el de Curvas Características de Operación, para más información ver anexo N° 3 en el cual se detalla el método utilizado.

Obtención de las Muestras

1. Dientes

Los dientes fueron solicitados a los alumnos de 4°, 5° y 6° año de la Escuela de Odontología de la Universidad de Valparaíso. Dentro del protocolo de manejo de los dientes post extracción, se realizó:

- Almacenar los dientes en una solución de suero fisiológico.
- Desinfección en una solución de clorehixidina al 12% sin alcohol por 30 minutos
- Depositar en una solución de suero fisiológico hasta el día en que fueron preparadas las muestras.

2. Sistemas Adhesivos

Los adhesivos a utilizar fueron de tres distintos tipos, los cuales se nombran a continuación:

Tipo II

- Prime and Bond NT más ácido fosfórico al 37%.
- SingleBond más ácido fosfórico al 32%
- PQ1 más ácido fosfórico al 35%
- One Coat Bond más ácido fosfórico al 15%

Tipo III

- Prime and Bond NT más NRC (Non Rise Conditioner)

Tipo IV

- Adpter Promp
- Adhesivo Experimental Coltene

3. Preparación de las muestras y distribución de grupos de estudio

Para cada grupo de estudio, un operador único talló una cavidad oclusal estandarizada a mano alzada de 3 mm. de profundidad y 3 mm de ancho vestibulo palatino llegando hasta 1 mm del rodete marginal mesial y distal, con una fresa cilíndrica de extremo redondeado de alta velocidad ISO 156 524 010 y una turbina con refrigeración de agua W&H Top Air 700.

Para estandarizar la medición, el operador y un observador midieron independientemente la profundidad de la cavidad con una sonda periodontal William-Goldman-Fox, tomando como referencia el rodete marginal mesial y distal para realizar las mediciones en profundidad. La fresa fue recambiada cada 5 preparaciones. Los dientes preparados fueron almacenados en suero fisiológico previo a la restauración.

A continuación, los dientes fueron distribuidos en 4 grupos de estudio al azar, según el tipo y composición del sistema adhesivo a utilizar. Fueron rotulados en su porción radicular con un marcador indeleble.

La distribución se realizó de la siguiente manera:

- ✚ **Grupo I:** dos adhesivos Tipo II de baja viscosidad (Prime & Bond NT, Dentsply; Single Bond 3M);
- ✚ **Grupo II:** dos adhesivos Tipo II de alta viscosidad (PQ1 Ultradent Usa; One Coat Bond Coltene);
- ✚ **Grupo III:** un adhesivo Tipo III con ácido no lavable (Non Rise Conditioner, Dentsply) más sistema adhesivo monofrasco (Prime & Bond NT);
- ✚ **Grupo IV:** dos adhesivos auto gravables o tipo IV (Adpater Prompt 3M, Adhesivo Experimental Coltene).

Una vez distribuidos los grupos, se aplicaron los sistemas adhesivos en los dientes correspondientes, siguiendo las indicaciones del fabricante y los protocolos adhesivos standard

4. Preparación de las muestras: Aplicación de los sistemas adhesivos

Los diferentes dientes fueron preparados para la adhesión con el siguiente protocolo.

4.1 Grupo 1 "Adhesivos tipo II de baja viscosidad":

- Prime and Bond NT más ácido fosfórico al 37%
1. Aplicación del ácido fosfórico al 37% por 15 segundos en dentina, comenzando por el borde cavo de esmalte.
 2. Lavado del ácido por el mismo tiempo que se gravó.
 3. Se secaba la cavidad con trozos pequeños de papel absorbente para realizar así la técnica de adhesión húmeda.

4. Aplicación de la primera capa de adhesivo con un tip frotando vigorosamente.
5. Aireado leve de la cavidad
6. Aplicación de la segunda capa de adhesivo frotando vigorosamente.
7. foto polimerización por 20 segundos
8. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización
(Prime & Bond® NT™. Directions For Use Made By: Dentsply Caulk Dentsply International Inc.)

- SingleBond más ácido fosfórico al 37%

1. Aplicación del ácido fosfórico al 37% por 15 segundos en dentina, comenzando por el borde cabo de esmalte.
2. Lavado del ácido por el mismo tiempo que se gravo.
3. Se secaba la cavidad con trozos pequeños de papel absorbente para realizar así la técnica de adhesión húmeda.
4. Aplicación de la primera capa de adhesivo con un tip frotando vigorosamente.
5. Aireado leve de la cavidad
6. Aplicación de la segunda capa de adhesivo frotando vigorosamente.
7. foto polimerización por 20 segundos
8. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización
(3M Single Bond Dental Adhesive System Technical Product Profile. 3M Dental Products Laboratory)

4. 2. Grupo 2 "Adhesivo tipo II de alta viscosidad"

- PQ1 más ácido fosfórico al 35% 15 segundos

1. Aplicación del ácido fosfórico al 35% Ultra Etch por 15 segundos en dentina, comenzando por el borde cabo de esmalte.
2. Lavado de la cavidad por el mismo tiempo que se gravo.
3. Se secaba la cavidad con trozos pequeños de papel absorbente para realizar así la técnica de adhesión húmeda.
4. Aplicación de la primera capa de adhesivo con un tip frotando vigorosamente.
5. foto polimerización por 20 segundos
6. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización
(Ultradent Products, Inc. Material Safety Data Sheet)

- One Coat Bond más ácido fosfórico al 15%

1. Aplicación del ácido fosfórico al 15% por 15 segundos en dentina, comenzando por el borde cabo de esmalte.
2. Lavado de la cavidad por el mismo tiempo que se gravo.

3. Se secaba la cavidad con trozos pequeños de papel absorbente para realizar así la técnica de adhesión húmeda.
 4. Aplicación de la primera capa de adhesivo con un tip frotando vigorosamente.
 5. Aireado leve de la cavidad
 6. foto polimerización por 20 segundos
 7. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización.
- (One Coat Bond Safety Data Sheet, Coltène AG)

4.3 Grupo 3 “Adhesivos tipo III”

- Prime And Bond NT más NRC
1. Aplicación de NRC, dejando actuar por 15 segundos
 2. Se secaba la cavidad con un aireado leve.
 3. Aplicación de la primera capa de adhesivo con un tip frotando vigorosamente.
 4. Aireado leve de la cavidad
 5. Aplicación de la segunda capa de adhesivo frotando vigorosamente.
 6. foto polimerización por 20 segundos
 7. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización
- (DFU NRC™ Refill - Master Versión, Dentsply Caulk, Dentsply International Inc)

4.4 Grupo 4 “Adhesivos tipo IV”

- Adper™ Prompt™
1. Depositar una gota de la botella A en el mezclador.
 2. Depositar una gota de la botella B en el mezclador.
 3. Mezclar ambas gotas por 10 segundos
 4. Frotado del adhesivo en la estructura dentaria por 15 segundos.
 5. Secado, si la superficie no se aprecia brillante y lisa se repetía la aplicación.
 6. Foto polimerización por 20 segundos
 7. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización.
- (Adper™ Prompt™ L-Pop™ and Adper™ Prompt™ Self-Etch Adhesives Technical Product Profile, Dental Products 3M Center)

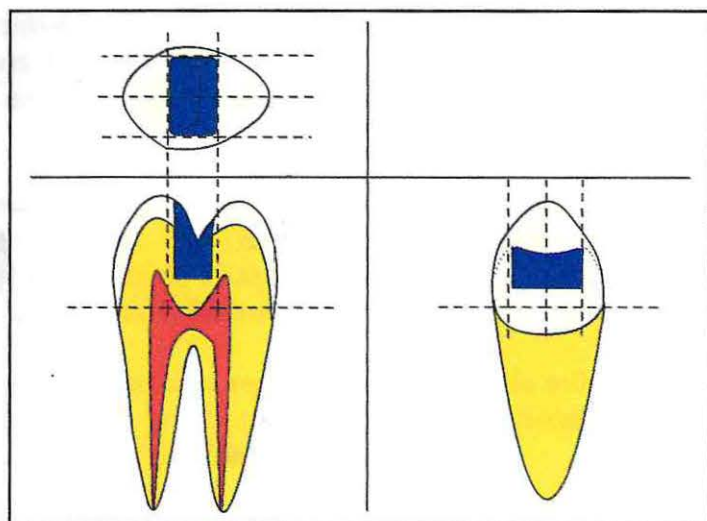
- Adhesivo experimental Coltene
1. Aplicación y frotado de una gota de la botella A en el diente por 15 segundos con un tip.

2. Aplicación y frotado de una gota de la botella A en el diente por 15 segundos con un tip.
3. Foto polimerización por 20 segundos.
4. Restauración con Z 250 de 3M, utilizando la técnica de capas verticales para reducir el estrés de polimerización.

5. Preparación de las muestras: Corte Dentario

Una vez realizada la restauración se procedió a marcar el centro de la cara oclusal de la restauración con un marcador indeleble. Las muestras fueron cortadas en un dispositivo de corte, Isomet™ Low Speed Saw™ (Buehler Ltd, Lake Bluff, Illinois, USA) para corte a baja velocidad con un disco de diamante de baja velocidad Isomet Wafering Blade 15LC Diamond 11-4253 (Buehler Ltd., Lake Bluff, Illinois, USA). Los cortes realizados fueron los siguientes:

1. Corte paralelo al eje mayor del diente en sentido vestibulo palatino uniendo ambas cúspides.
2. Dos cortes a 1 mm de ambos rodetes marginales proximales paralelos al corte anterior atravesando la interfase dentina-resina de la restauración.
3. Dos cortes paralelos al eje mayor del diente en sentido mesio distal a nivel de la unión dentina-resina vestibular y palatina de la restauración.
4. Todos los cortes anteriores se realizaban hasta llegar a 1 o 2 mm en cemento.
5. Un corte perpendicular al eje mayor del diente a nivel del limite amelocementario que atravesara los cortes anteriores.



De este procedimiento se obtuvieron seis partes, dos de los cuales correspondían a la restauración y su correspondiente sección de dentina.

Las muestras fueron desmineralizadas en placas petri pequeñas con ácido clorhídrico al 30% por 36 horas, lavadas con abundante agua bidestilada y dejadas secar al aire con la tapa de la placa petri a medio tapar.

Las muestras fueron trasladadas en placas petri con papel fieltro en su base para evitar el daño y dejar pelusas o residuos en las muestras, para su posterior tratamiento y observación en SEM en la Dirección de Investigación, departamento de Microscopia Electrónica de la Universidad de Concepción.

5. Preparación de las muestras: Tratamiento para SEM

Se realizó el siguiente protocolo de preparación de muestra para SEM:

1. Observación bajo lupa marca Carl Zeiss modelo 459300 (Oberkochen, Germany) para determinar cual era la cara a observar bajo microscopía electrónica, para esto se había marcado la superficie media de la restauración, la cual quedo cortada en dos.
2. Montaje en porta objetos para SEM, con pegamento conductor de grafito marca Neo Lube N°1 (Huron Industries Inc., Port Huron MI., USA). Se montaron 4 a 5 muestras por porta objeto, con las caras a observar mirando hacia el centro.
3. Metalizado de las muestras con oro en una metalizadora S150 Sputter Coater (Edwards, Zivy, Basel, Switzerland), a $10 \times E^{-1}$ torr de presión de argón. (Ver anexo 4)

6. Observación bajo SEM y Fotografía

Las muestras fueron observadas en un Microscopio Electrónico de Barrido AUTOSCAN (ETEC, Inc., Pine Street, Peabody, MA., USA), con filamento de tungsteno emisor de electrones nuevo al rojo-blanco a un voltaje constante de 30 Kv, y un vacío total de aproximadamente $10 \times E^{-4}$ a $10 \times E^{-5}$ torr.

Se tomó una fotografía por muestra con una maquina fotográfica Minolta, película blanco y negro Kodak T-Max 100 (Eastman Kodak Company, Rochester, NY, U.S.A), unida al microscopio y un barrido de 1000 líneas por minuto. El procesado del negativo fue realizado por el técnico del laboratorio de Microscopia Electrónica de dicha Universidad.

Para cada fotografía se registraba el número de rollo, número de fotografía, nombre del investigador, aumento, grupo de estudio, y observaciones especiales (protocolo estándar para observación de muestras en microscopio electrónico).

Se tomaron un total de 70 fotografías, una por cada muestra (10 por sistema adhesivo), procurando que todas fuesen tomadas en 90° respecto del corte paralelo al eje mayor del diente vestibulo palatino que pasó por la parte más superior de ambas cúspides, con el fin de tener una imagen estándar de los tags de resina perpendiculares al observador.

7. Obtención de los datos

Para la medición se escogieron 7 micrografías por cada sistema adhesivo. La selección se basó en la imagen de los tags de resina obtenidos teniendo en consideración la angulación de la imagen, la nitidez de los tags de resina (que se pueda observar claramente la base y el final del tag). Esto nos da un nivel de confianza del 94% lo que está muy cercano al 95%, que es lo ideal (ver anexo N° 3 Selección Marco Muestral) además se compensa por el hecho que sólo se midieron los tags de resina de las mejores micrografías. De estas 7 micrografías midieron con regla 5 tags de resina por cada una, llevando los resultados (en milímetros) a una tabla realizada en el programa Microsoft Excel 2002 (XP) versión 10.2614.2625 (Microsoft Corporation, USA), en la cual se registraban los datos de cada fotografía (número de registro de la fotografía, grupo de estudio, y aumento). Dado que el aumento de las micrografías era variable, se realizó una fórmula que calculaba la proporcionalidad en micrones del largo del tag de resina:

$$\text{Largo de Tag de resina } (\mu\text{m}) = \frac{L \text{ (mm)}}{a * 1000}$$

Siendo L (largo del tag de resina en mm), a (aumento)

Por lo tanto, de esto se obtuvieron 35 medidas para cada sistema adhesivo.

8.- Metodología Estadística

La metodología a usar en nuestra investigación requiere de la descripción de las variables desde un punto de vista gráfico como numéricamente. La escala de medición de las variables dentro del estudio es de tipo cuantitativa. Es por ello, que el tipo de técnicas estadísticas serán de acuerdo a la medición definida para las variables en estudio en virtud de nuestros objetivos específicos. Para analizar la variable en estudio (largo de tags), se buscó una significación estadística entre los grupos de estudio.

Respecto del análisis estadístico se aplicaron los siguientes test:

- Curva característica de operación, para determinar el marco muestral.
- Comparación de medias y análisis de variancia uní factorial para determinar si existen diferencias significativas dentro de un mismo grupo. Se calculó la media, desviación Standard, el estadístico t y f con el valor p correspondiente.
- Método de mínima diferencia significativa (LSD: Low Significant Difference) para determinar diferencias entre los grupos y entre los sistemas adhesivos.

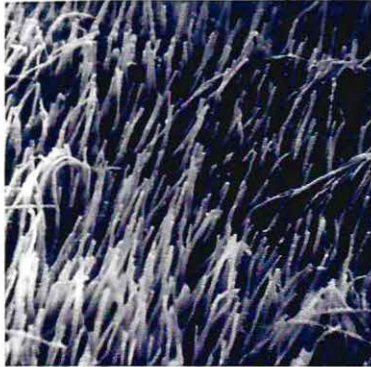
Hipótesis de Interés.

H_0 : No existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos.

H_a : Existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos.

Resultados

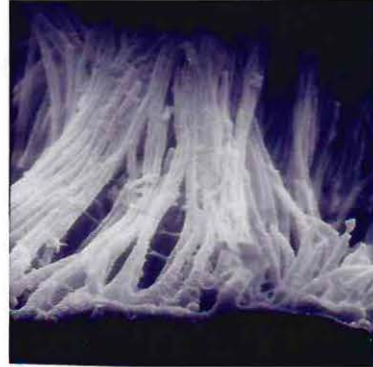
Algunas de las micrografías más representativas para cada sistema adhesivo se mostraran a continuación, para más detalle ver anexo N° 1.



PBNT
600X



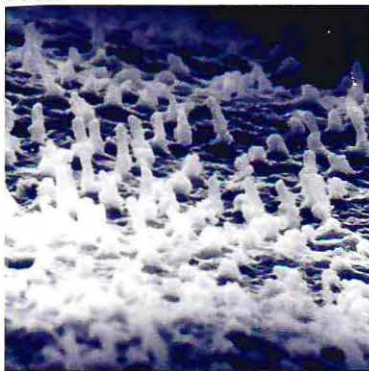
SB
800X



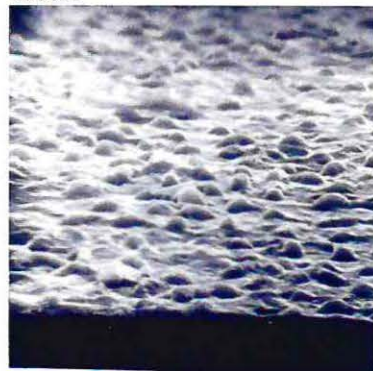
OCB
1200X



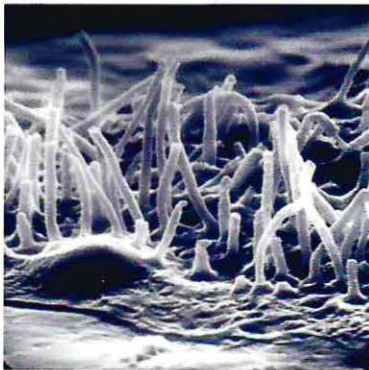
PQ 1
800X



NRC
1600X



ADP
1500X



EXII
1500X

Los resultados fueron analizados comparando medias y realizando un análisis de variancia uní factorial para comprobar las hipótesis planteadas. Primero se analizó si existía diferencia dentro de los grupos de estudio y posteriormente se analizó comparando si existía diferencia entre los grupos.

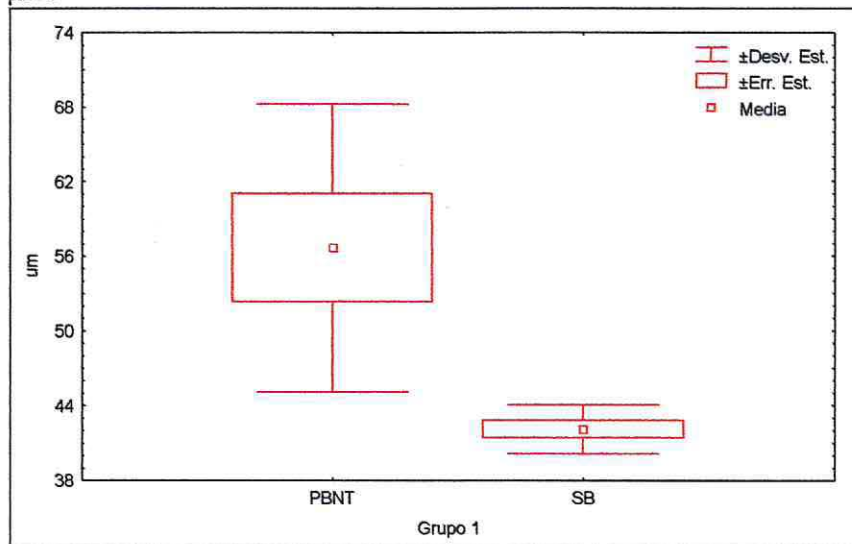
Para simplificar la realización de tablas y gráficos se utilizaron las siguientes siglas que corresponden a los nombres de los adhesivos utilizados:

- ✚ **PBNT:** Prime & Bond[®] NT[™] (Dentsply International Inc., York, Pennsylvania)
- ✚ **SB:** Sigle Bond[®] (3M-ESPE St. Paul, MN)
- ✚ **PQ1:** PQ 1 (Ultradent Products, Inc. South Jordan, Utah USA).
- ✚ **OCB:** One Coat Bond (Coltène whaledent, Altstätten, Switzerland)
- ✚ **NRC:** Non Rice Conditioner (Dentsply International Inc., York, Pennsylvania)
- ✚ **ADP:** Adper[™] Prompt[™] (3M-ESPE St. Paul, MN)
- ✚ **EXII:** Adhesivo Experimental Coltene (Coltène whaledent, Altstätten, Switzerland)

Objetivo 1: Verificar si de los dos adhesivos pertenecientes a un grupo hay diferencias significativas en cuanto a las mediciones de los tags de resina.

Grupo 1: Sistemas adhesivos PBNT y SB.

Gráfico 1: Gráfico de caja para la comparación de medias de mediciones de tags entre los adhesivos PBNT y SB medidos en μm .



H_0 : No existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos PBNT y SB

H_a : Existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos PBNT y SB.

Tabla XIV: Comparación de medias de mediciones de tags con varianzas desconocidas y tamaño de muestra menor a 30.

	PBNT		SB		Comparación de medias			Comparación de varianzas	
	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	Estadístico t	g.l.	Valor p	Estadístico F	Valor p
Tags de resina (μm)	56,61	11,56	42,06	1,928	3,28	12	0,0065	35,95	0,0004

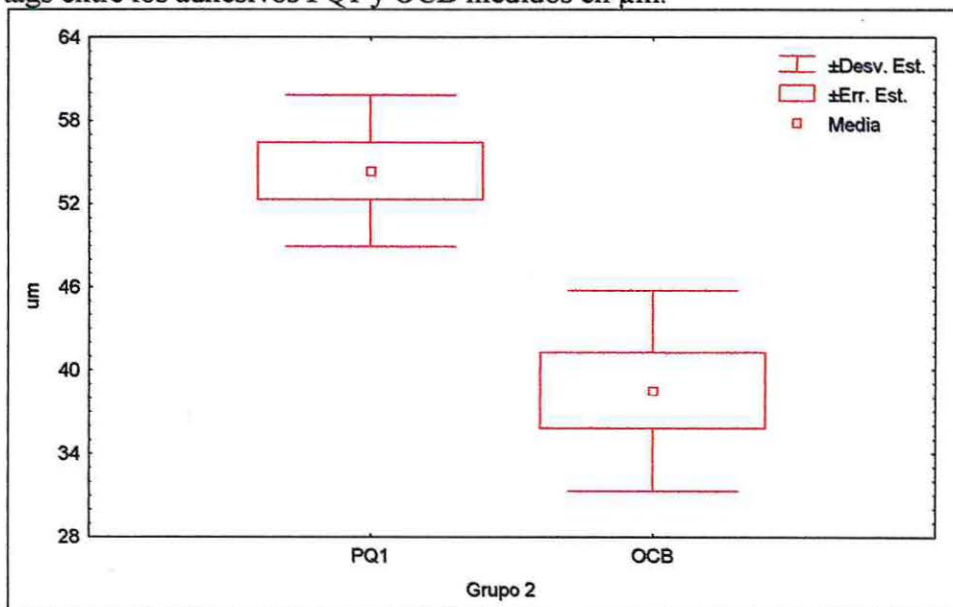
Según el valor p asociado al estadístico t de la tabla 1, concluimos que se debe rechazar H_0 y concluir que con un nivel de confianza del 95% existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de resinas de los sistemas adhesivos PBNT y SB.

En el gráfico 1 podemos observar que la medición media de tags en el adhesivo PBNT es mayor que la del adhesivo SB.

En cuanto a las varianzas de las mediciones de tags medidas en μm , el estadístico F concluye que existen diferencias en las varianzas de ambos adhesivos. Observando el mismo gráfico de caja observamos que el adhesivo SB tiene mediciones más homogéneas que el adhesivo PBNT.

Grupo 2: Sistemas adhesivos PQ1 y OCB.

Gráfico 2: Gráfico de caja para la comparación de medias de mediciones de tags entre los adhesivos PQ1 y OCB medidos en μm .



H_0 : No existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos PQ1 y OCB.

H_a : Existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos PQ1 y OCB.

Tabla XV: Comparación de medias de mediciones de tags con varianzas desconocidas y tamaño de muestra menor a 30.

	PQ1		OCB		Comparación de medias			Comparación de varianzas	
	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	Estadístico t	g.l.	Valor p	Estadístico F	Valor p
Tags de resina (μm)	54,32	5,473	38,46	7,216	4,634	12	0,0006	1,738	0,5183

Según el valor p asociado al estadístico t de la tabla 1, concluimos que se debe rechazar H_0 y concluir que con un nivel de confianza del 95% existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de resinas de las dos clases de adhesivo.

En el gráfico 2 podemos observar que la medición media de tags en el adhesivo PQ1 es mayor que la del adhesivo OCB.

En cuanto a las varianzas de las mediciones de tags medidas en μm , el estadístico F concluye que no existen diferencias significativas en las varianzas de ambos adhesivos, sus medidas por lo tanto son homogéneas en ambos adhesivos.

Grupo 3: Sistema adhesivo NRC.

Gráfico 3: Gráfico de caja para las mediciones de tags del sistema adhesivo NRC

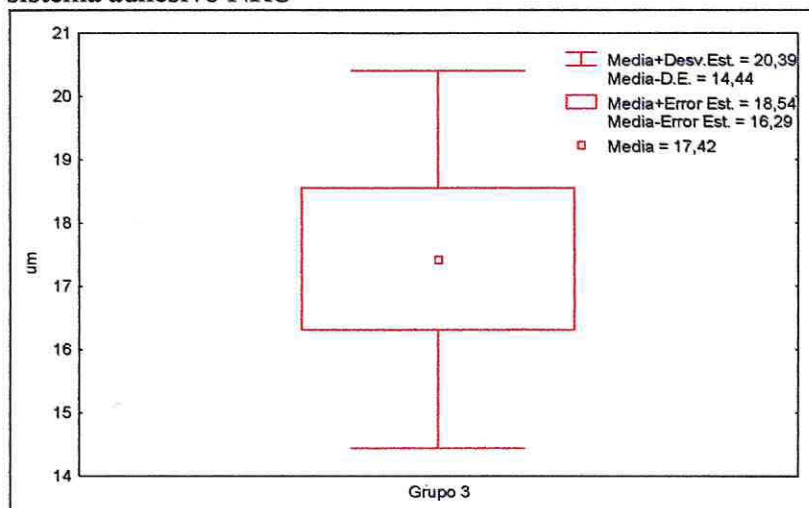


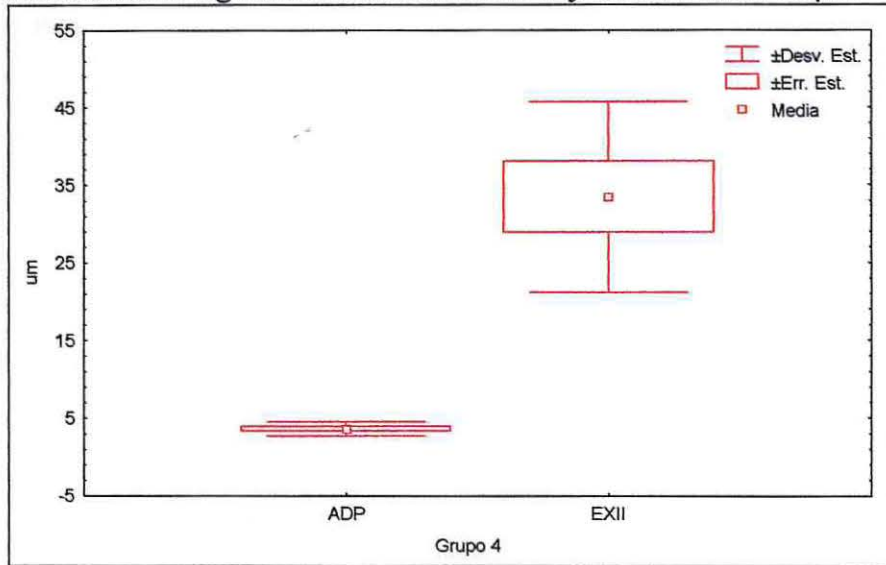
Tabla XVI: Medidas descriptivas de resumen

	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Varianza	Desv. Est.
Grupo 3	17,4155	18,133	13,375	22,33333333	8,875	2,979

Este sistema adhesivo no requiere mayor análisis en esta parte por constituir el solo un grupo de estudio.

Grupo 4: Sistemas adhesivos ADP y EXII.

Gráfico 4: Gráfico de caja para la comparación de medias de mediciones de tags entre los adhesivos ADP y EXII medidos en μm .



H_0 : No existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos ADP y EXII.

H_a : Existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de los adhesivos ADP y EXII.

Tabla XVII: Comparación de medias de mediciones de tags con varianzas desconocidas y tamaño de muestra menor a 30.

	ADP		EXII		Comparación de medias			Comparación de varianzas	
	Medi a	Desv. Est.	Media	Desv. Est.	Estadístico t	g.l.	Valor p	Estadístico F	Valor p
Tags de resina (μm)	3,56	0,893	33,39	12,284	-6,408	12	0,00003	189,38	0,000003

Según el valor p asociado al estadístico t de la tabla 4, concluimos que se debe rechazar H_0 y concluir que con un nivel de confianza del 95% existe diferencia en el nivel medio de las mediciones de tags de resinas de las dos clases de adhesivo.

En el gráfico 4 podemos observar que la medición media de tags en el adhesivo EXII es mayor que la del adhesivo ADP.

En cuanto a las varianzas de las mediciones de tags medidas en μm , el estadístico F concluye que existen diferencias en las varianzas de ambos adhesivos. Observando el mismo gráfico de caja observamos que el adhesivo ADP tiene mediciones más homogéneas que el adhesivo EXII, sin embargo su media es mucho menor.

Objetivo 2: Verificar si existen diferencias en las mediciones de tags de resina entre los grupos de sistemas adhesivos.

Para cumplir este objetivo se tomaran los resultados de ambos sistemas adhesivos de cada uno de los grupos para hacer el análisis, sin importar el sistema adhesivo al que pertenecen, aplicaremos el análisis de varianza uní factorial, y luego si es necesario realizaremos comparaciones de medias por grupo.

H₀: No existen diferencias en el nivel medio de las mediciones de tags en los cuatro grupos de sistemas adhesivos.

H_a: Existe diferencias en el nivel medio de las mediciones de tags en los cuatro grupos de sistemas adhesivos.

Hipótesis Estadísticas:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

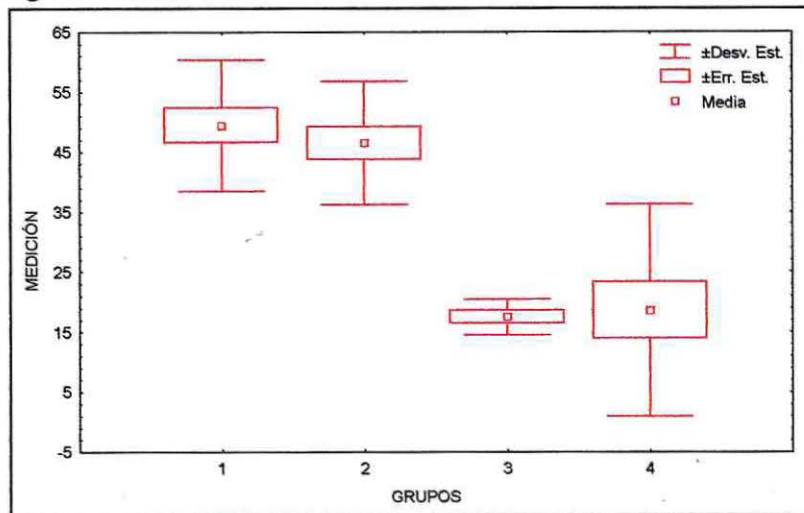
$$H_a : \mu_i \neq \mu_j, \text{ donde } i = 1, \dots, 4, j = 1, \dots, 4.$$

Tabla XVIII: Análisis de variancia para los datos de las mediciones de tags de resina medidos en μm .

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F ₀	Valor p
Tags de Resina (μm)	10680,2	3	3560,1	22,831	$3,9 \cdot 10^{-9}$
Error	1017	45	155,9		
Total	11697,2	48			

En la tabla 5 se resume el análisis de variancia. Hay que notar que la media de cuadrados entre los grupos de sistemas adhesivos (3560,1) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de los grupos de sistemas adhesivos (155,9). Esto indica que es improbable que las medias de tags de resinas sean iguales. Comparando la razón F₀ con el valor de tabla $F_{(0,5; 3; 45)} = 2,8115$, como la razón F₀ es mayor que el valor de tabla debe rechazarse H₀ y concluir que con un nivel de confianza del 95% que las medias de las mediciones de tags de resinas difieren; en otras palabras los distintos grupos de sistemas adhesivos producen una variación en los tags de resina.

Gráfico 5: gráfico de caja para los datos de las mediciones de tags de resina.



Comparaciones Múltiples entre grupos de estudio

Para comparar por parejas de medias utilizaremos el siguiente método:

1. Método de la mínima diferencia significativa (LSD)

Tabla XIX: Valores p resultantes al aplicar el método LSD

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
	Media = 49,3	Media = 46,4	Media = 17,4	Media = 18,5
Grupo 1		0,535	1,588*10 ⁻⁶	4,936*10 ⁻⁸
Grupo 2	0,535		8,827*10 ⁻⁶	4,186*10 ⁻⁷
Grupo 3	1,588*10 ⁻⁶	8,827*10 ⁻⁶		0,855
Grupo 4	4,937*10 ⁻⁸	4,187*10 ⁻⁷	0,855	

Los valores marcados con rojo indican parejas de medias que son significativamente diferentes. Los únicos pares que no difieren significativamente son el grupo 1 con el grupo 2 y el grupo 3 con el grupo 4. Esto se puede observar gráficamente en el gráfico1, donde se gráfica las medias y las desviaciones estándar de cada grupo.

Debido a que las mediciones medias de tags dentro de los grupos son diferentes y en la mayoría de los casos las varianzas también son diferentes, se propone realizar el análisis de varianza para comparar los siete sistemas adhesivos por separado, y no por los cuatro grupos propuestos.

Objetivo 3: Verificar si existen diferencias en las mediciones de tags de resina entre los sistemas adhesivos.

H_0 : No existen diferencias en el nivel medio de las mediciones de tags en los siete sistemas adhesivos.

H_a : Existe diferencias en el nivel medio de las mediciones de tags en los siete sistemas adhesivos.

Hipótesis Estadísticas:

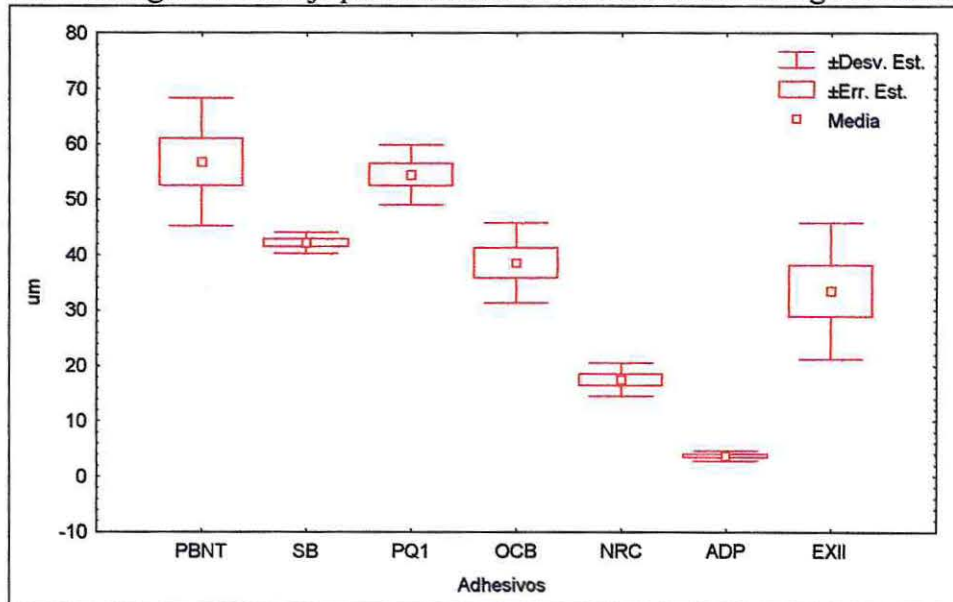
$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7$
 $H_a : \mu_i \neq \mu_j, \text{ donde } i = 1, \dots, 7, j = 1, \dots, 7.$

Tabla XX: Análisis de variancia para los datos de las mediciones de tags de resina medidos en μm .

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F_0	Valor p
Tags de Resina (μm)	15416,67	6	2569,45	47,324	$3,992 \cdot 10^{-17}$
Error	2280,35	42	54,29		
Total	17697,02	48			

En la tabla 7 se resume el análisis de variancia. Hay que notar que la media de cuadrados entre los sistemas adhesivos (2569,45) es mucho mayor que la media de cuadrados dentro de los sistemas adhesivos (54,29). Esto indica que es improbable que las medias de tags de resinas sean iguales. Comparando la razón F_0 con el valor de tabla $F_{(0,05; 6; 42)} = 2,324$, como la razón F_0 es mayor que el valor de tabla debe rechazarse H_0 y concluir que con un nivel de confianza del 95% que las medias de las mediciones de tags de resinas difieren; en otras palabras los distintos sistemas adhesivos producen una variación en las mediciones medias de tags de resina.

Gráfico 6: gráfico de caja para los datos de las mediciones de tags de resina.



Comparaciones Múltiples

Para comparar por parejas de medias utilizaremos el siguiente método:

- ♦ Método de la mínima diferencia significativa (LSD)

Tabla XXI: Valores p resultantes al aplicar el método LSD

	PBNT	SB	PQ1	OCB	NRC	ADP	EXII
	Media = 56,62	Media =42,06	Media =54,32	Media =38,46	Media =17,42	Media =3,56	Media =33,39
PBNT		0,00063	0,56344	3,734*10 ⁻⁵	1,293*10 ⁻¹²	7,699*10 ⁻¹⁷	5,593*10 ⁻⁷
SB	0,00063		0,00332579	0,36561	1,695*10 ⁻⁷	2,207*10 ⁻¹²	0,03328
PQ1	0,56344	0,00333		0,00023	7,539*10 ⁻¹²	3,459*10 ⁻¹⁶	3,816*10 ⁻⁶
OCB	3,733*10 ⁻⁵	0,36561	0,00023		3,480*10 ⁻⁶	3,659*10 ⁻¹¹	0,20535
NRC	1,293*10 ⁻¹²	1,695*10 ⁻⁷	7,539*10 ⁻¹²	3,480*10 ⁻⁶		0,00106	0,00021
ADP	7,699*10 ⁻¹⁷	2,207*10 ⁻¹²	3,459*10 ⁻¹⁶	3,659*10 ⁻¹¹	0,00106		2,224*10 ⁻⁹
EXII	5,593*10 ⁻⁷	0,03328	3,816*10 ⁻⁶	0,20535	0,00021	2,224*10 ⁻⁹	

Los valores marcados con rojo indican parejas de medias que son significativamente diferentes. Los únicos pares que no difieren significativamente son los adhesivos PBNT con el PQ1, el OCB con el SB, el OCB con el EXII. Esto se puede observar gráficamente en el gráfico 6, donde se grafica las medias y las desviaciones estándar de cada grupo.



Discusión

La hipótesis para este estudio era esperar diferencias en el largo de los tags de resina producidos con los adhesivos autograbantes respecto de los sistemas adhesivos que utilizan grabado ácido tradicional. Con los datos obtenidos en las diferentes observaciones, se intentó demostrar que el uso de sistemas adhesivos autograbantes (Tipo III y Tipo IV, según la clasificación de CRA, 2000) no sellan completamente la dentina debido a que el largo de los tags de resina es mucho menor al de los sistemas adhesivos tradicionales (Tipo II)

Walshaw y Mc Comb; Swift Jr. y Hanaizumi y cols., señalan la importancia de los requerimientos de los sistemas adhesivos dentinarios de infiltrar completamente la red colágena y la zona parcialmente desmineralizada, para encapsular el colágeno y los cristales de hidroxiapatita en el frente de la dentina desmineralizada, y producir una capa híbrida polimerizada durable.

En general, se señala que los mecanismos que controlan la adhesión del agente adhesivo a la estructura dentaria son la *capa híbrida*, los *tags de resina* en los túbulos dentinarios, los *microtags de resina* y en pequeña proporción, como lo señalan Johnson y cols, la *unión química*. Perdigão y López, señalan la controversia sobre los roles que juegan los mecanismos de adhesión micro mecánica individualmente en la adhesión a dentina.

En la literatura existe poca evidencia científica con respecto a la medición de tags de resina, aunque se destaca la importancia de esta estructura en la adhesión de una resina a la estructura dentaria. El grabado ácido de la dentina abre los túbulos dentinarios. Titley y cols. señalan que los monómeros difunden en los túbulos abiertos, los cuales forman tags de resina retentivos durante la polimerización. Un estudio de Brännstrom y Nordenwall señala que los tags de resina resultantes se extienden hasta 100 μm en la dentina, además de penetrar en las ramas de los túbulos. En nuestro estudio encontramos mediciones medias entre 38 y 56 μm para los adhesivos tipo II en general.

Ferrari y Davidson señalan que este proceso ha sido observado tanto para los adhesivos que utilizan un autoimprimante como con el sistema de grabado ácido, esto solo corrobora uno de los sistemas tipo IV estudiados, sin embargo ambos mostraron un largo de tag inferior en longitud (entre 3 y 33 μm), respecto de los tipo II.

A pesar de ello, señalan los autores Lin y Douglas, uno puede imaginar fácilmente que los tags de resina forman una retención mecánica en la dentina, al ver imágenes de microscopía electrónica de interfases dentina-composite fracturadas con tags de resinas adheridos a túbulos y no son desgarrados. Esto demuestra convincentemente que los tags de resina proveen retención y son cruciales en la mantención de la adhesión a la estructura dentaria por un largo tiempo, junto con sellar la dentina.

Originalmente, como señalan Nordenvall y Brannström, la adhesión a dentina fue completamente atribuida a la formación de tags de resina en los túbulos dentinarios. Tales tags inter tubulares consisten típicamente de un núcleo de resina, rodeados por una delgada capa híbrida que es formada en la pared interna de los túbulos dentinarios. Pashley; y Titley y Cols señalan que esta unión íntima con la dentina peri tubular no solo mejora la adhesión a dentina, sino que también sella los túbulos y es relevante en la protección contra la sensibilidad postoperatoria. Heymann y Unterbrink, y Liebenberk, en estudios por separado, demuestran que un factor fundamental para el éxito clínico de restauraciones adhesivas es el hecho que luego del grabado ácido, el pasaje de bacterias a la pulpa es bloqueado por medio de los tags de resina formados.

Ahora bien, los llamados microtags, ubicados en las ramas laterales, también contribuyen a la adhesión dentina resina, fueron observados, más no cuantificados en este estudio.

La probable explicación del escaso interés por estudiar específicamente el largo de los tags de resina se puede deber a al hecho que desde los comienzos del estudio de la adhesión dentinaria manifestaron su presencia, y su formación no se ponía en duda. Esto lo corroboran estudios de Ferrari; y Nakabayashi y Cols., donde demuestran que la formación de tags no solo se produce en túbulos vacíos de muestra in vitro, así como también en túbulos de muestras in vivo bajo presión fisiológica. Además, el convencimiento de la idea que los tags de resina proveen retención y son cruciales en la mantención de la adhesión a la estructura dentaria por un largo tiempo, han enfocado los estudios a la investigación, cuantificación y evaluación de la resistencia adhesiva al cizallamiento de los sistemas adhesivos, y no a la medición de los tags de resina propiamente tal.

Además, el advenimiento de los sistemas adhesivos autograbantes ha generado un nuevo interés en el estudio de los tags de resina, debido en cierta forma a su importancia en la adhesión (representan 1/3 de la fuerza adhesiva, como lo señalan Retief y cols.), pero muy fundamentalmente a su rol en la consecución del sellado de la estructura dentaria subyacente a la restauración, tema más fundamental que la fuerza adhesiva en este caso.

Los descubrimientos en este estudio mostraron una verdadera hibridización y formación de tags de resina dentro de los túbulos dentinarios en casi todos los grupos estudiados. En primera instancia se evaluó la posibilidad de realizar comparaciones dentro de cuatro grupos de estudio independientes, a saber, 1) adhesivos tipo II de baja viscosidad, 2) tipo II de alta viscosidad, 3) un adhesivo tipo III y 4) un adhesivo tipo IV. Los resultados encontrados evidenciaron que las mediciones medias de tags dentro de los grupos anteriormente mencionados son diferentes y en la mayoría de los casos las varianzas también son diferentes; por lo que se determinó hacer un análisis estadístico de mínima diferencia significativa, para comparar los siete sistemas adhesivos *por separado*, y no por los cuatro grupos propuestos en primera instancia.

La importancia de la remoción del barro dentinario es patente en nuestro estudio, ya que los adhesivos tipo III y IV sólo modifican esta estructura, y obtuvieron valores de largo de tags significativamente inferiores (a excepción del adhesivo experimental Coltène) a los adhesivos tipo II estudiados. Esto es también corroborado por otros estudios in vitro, y por estudios clínicos, como los desarrollados por Alhadainy y Adballa, en 1996 y van Meerbeek y Cols., en 1994 que

sugieren que los agentes adhesivos a dentina que remueven el barro dentinario exhiben mejores tasas de retención in vivo que aquellos que sólo lo modifican.

Cabe señalar que una de las ventajas de los sistemas adhesivos autograbantes destacada por empresas fabricantes es que la profundidad de la penetración de los monómeros se corresponde con la profundidad de grabado. La nanoinfiltración, como resultado de la insuficiente penetración del adhesivo en dentina grabada, dejando dentina grabada sin adherir en profundidad, puede ser prevenido por este mecanismo. (3M Adper™ Prompt™, Technical product profile). Esto se corrobora con lo reportado por Ario y Aasen en 1994 y por Frankenberger y Cols en 1999, quienes señalan que las profundidades de grabado son de 0.5 a 7.5 μm , y por los resultados obtenidos en este estudio para largo de tags de resina para este sistema adhesivo (media de 3.6 μm). Pero al analizar la profundidad de penetración de tags para adhesivos tipo II (media de 38 μm para el adhesivo que menos penetra) se contraponen con la idea de que se generaría nanoinfiltración como resultado de una insuficiente penetración del sistema adhesivo.

Otro punto importante de destacar es que según los resultados obtenidos el factor más determinante para la penetración de tags de resina es el tipo de solvente utilizado, y no la viscosidad como se pensó al momento de dividir los grupos de estudio. Obteniendo diferencias estadísticamente significativas para adhesivos Tipo II de baja viscosidad y Tipo II de alta viscosidad dentro del grupo de estudio, y diferencias no significativas cuando los comparamos independientemente según solvente, PBNT (acetona) similar a PQ1 (Etanol), y SB (Etanol/Agua) similar a OCB (Agua).

Respecto al patrón morfológico encontrado respecto a la formación de capa híbrida y tags de resina cabe destacar que es diferente para todos los sistemas adhesivos, teniendo distintas formas para cada uno de los sistemas. Por la dificultad de cuantificar estas diferentes formas es que no se pudo realizar una comparación estadística entre cada uno de los grupos de estudio o entre cada sistema adhesivo, pero al observar las imágenes se puede apreciar a simple vista que son diferentes. Esto se puede comprobar si vemos la desviación estándar para cada sistema adhesivo, el que más presentó variaciones entre la máxima y mínima medida de tags de resina medido fue el EXII, seguido por PBNT, mientras que el más regular fue el ADP.

Si vemos los adhesivos según lo expuesto anteriormente fueron los adhesivos de alta viscosidad Tipo II los que como grupo de estudio dieron patrones de penetración más homogéneos.

Otro punto a destacar es que en el sistema adhesivo Adpter Prompt se produjo un artefacto de técnica anormal (ver anexo 1, micrografía 16) el cual se produce cuando queda agua dentro de la muestra, o bien quedan grupos OH libres de alguna molécula, los cuales por el bombardeo electrónico que sufre la muestra, adquieren la energía como para reaccionar entre sí, formando moléculas a agua que salen de la muestra rompiendo el metalizado. Todo lo anterior significa que o bien el sistema adhesivo queda con moléculas de agua dentro de él una vez polimerizado o su polimerización no es completa, ya que solo de esta manera se puede explicar que queden grupos libres para poder reaccionar cuando se produce el bombardeo electrónico. Para comprender mejor este fenómeno ver anexo N° 4.

La realización de este estudio no estuvo exenta de problemas, los cuales se centraron en la metodología para preparación de muestras para SEM, debido a que muchos de los investigadores que trabajan en esta área son bastante celosos de sus metodologías para preparación de muestras. Debido a lo anterior fue necesaria la preparación de varias muestras de estudio, lo que se llevo a cabo durante el segundo semestre del año 2002, llegando al final a un protocolo propio para preparación de muestras para SEM, que si bien dio resultado, aún es susceptible de mejorar.

El otro problema que surgió fue que se pretendía observar capa híbrida, cosa que debido a artefactos de técnica no pudo observarse en todas las micrografías tomadas, por lo que se decidió solo estudiar el largo del tags de resina.

La otra limitante de este estudio es la poca evidencia científica que existe respecto al largo de tags de resina, solo pocos estudios reportan largo de tags de resina, y no existe ninguno que correlacione largo de tags de resina con resistencias adhesivas. Un estudio de Shinchi MJ., y Cols., correlaciona estas variables, pero fue desarrollado en esmalte. La realización de un estudio posterior que mida resistencias adhesivas utilizando los mismos sistemas adhesivos ocupados en este estudio, con el mismo protocolo de aplicación, nos entregaría una valiosa información respecto a si el largo de tags influye en resistencia adhesiva.

Conclusiones

Según los resultados obtenidos nos damos cuenta que nuestra hipótesis se ve confirmada solo parcialmente, ya que solo uno de los dos adhesivos tipo IV lanzado al mercado hace poco tiempo presenta casi nula existencia de tags de resina, a la vez cabe destacar que el adhesivo tipo IV que si presenta tags de resina comparables con sistema tipo II es solo un adhesivo en etapa experimental, por lo que aún no sabemos cuando aparecerá en el mercado y por lo mismo no se puede esperar que todos presenten un comportamiento similar.

Se pudo establecer un protocolo de preparación de muestras para SEM, en el cual era factible apreciar tags de resina, pero la capa híbrida solo apareció en pocas muestras. Fue muy difícil hallar la manera de preparar las muestras donde a la vez se pudiera observar capa híbrida y tags de resina. Es necesario un más estudio de los medios y técnicas existentes en microscopia electrónica de barrido para poder llevar a cabo este objetivo.

Para agrupar los adhesivos tipo II es recomendable hacerlo basado en su composición, especialmente en el solvente utilizado, más que en la cantidad de relleno inorgánico que presente o en su viscosidad.

El sistema tipo III estudiado dio valores intermedios entre el tipo II y los tipo IV, si consideramos que el sistema tipo III estudiado es una variante de el sistema tipo II que dio los resultados más altos en largo de tags de resina podemos concluir que solo la modificación del barrillo dentinario y no su eliminación total es una dificultad para la penetración del sistema adhesivo en la profundidad de la dentina.

Es recomendable antes de establecer la utilización clínica de sistemas adhesivos tipo IV como una práctica diaria en la clínica odontológica, que existan más estudios, tanto in vitro simulando situaciones clínicas, como estudios clínicos propiamente tales. Quizás las casas dentales en su afán de generar productos innovadores antes que la competencia nos están entregando productos no lo suficientemente testados, y que en definitiva, ponen en riesgo el éxito de nuestras restauraciones y sobre todo la salud del paciente.

Sugerencias

Antes de llevar a cabo estudios de microscopia electrónica de barrido es necesario conocer bien el funcionamiento de este tipo de microscopio, las técnicas para la preparación de las muestras, para conocer las limitantes que se tienen.

Como complemento a este estudio sería interesante poder testear los mismos adhesivos utilizados con pruebas tanto de resistencias adhesivas seguido de observación bajo SEM, para determinar los tipos de fractura y observar la permanencia de los tags de resina dentro de los túbulos dentinarios posterior a la fractura y así determinar si la diferencia del largo del tags de resina tiene influencia en la fuerza adhesiva, así como también estudios de micro infiltración, simulando situaciones clínicas, como el estrés masticatorio o las variaciones de temperatura.

Resumen

La longitud de los tags de resina es un tema no muy definido pero aceptado, con la aparición de los adhesivos autograbantes este tema toma importancia. Este estudio compara el largo de tags de resina de tres tipos de sistemas adhesivos (siete sistemas en total: dos tipo II de baja viscosidad, dos tipo II de alta viscosidad, uno tipo III, y dos tipo IV). Para ello se tallaron cavidades estándares en premolares extraídos por indicación ortodóncica, cortados y preparados para microscopia electrónica de barrido. Se prepararon un total de 10 muestras por sistema adhesivo y se tomaron igual cantidad de micrografías, utilizando solo 7 de estas para el estudio. Se realizaron 5 medidas de tags por micrografía. Los resultados muestran que el largo de tags fue muy variable, incluso dentro de los mismos grupos de estudio, pero con una reducción marcada de la longitud para los tipo IV, siendo un sistema adhesivo tipo IV el que genero los tags más cortos (media de 3.56um). De los resultados se concluye que los sistemas autogravantes generan largo de tags menores que los sistemas tipo II.



Referencias Bibliográficas

Akinmade, A. O., Nicholson, J.W.: Glass-ionomer cements as adhesives. Part I. Fundamental aspects and their clinical relevance(1993). *Journal of Material Science: Materials in Medicine* 4, 95-101.

Alhadainy, H. A., Abdalla, A. I. (1996): 2 year clinical evaluation of dentin bonding systems. *Am J Dent* 9, 77-79.

Ario, P. D., Aasen, S. M (1994): Scotchbond Multi-Purpose bond stability with maleic and phosphoric acid etchants. *J. Dent Res* 73, 132, Abstr. 247.

Armstrong SR, Boyer DB, Keller JC, Park JB (1998): Effect of hybrid layer on fracture toughness of adhesively bonded dentin-resin composite joint. *Dent Mater*. Mar;14(2):91-8.

Baratieri, LN., (2002) Adesao Aos Tecidos Dentarios "Odontología Restauradora, Fundamentos y Posibilidades". Rui Santos, Sao Paulo, Brasil. Livraria Santos Editora Comp. Imp. Ltda. Pags 83-129

Benediktsson, S., Retief, D. H., Rusell, Mandras, R. S. (1991): Critical surface tension of wetting of dentin. *J Dent Res* 70, 362, Abstr. 777

Bertschinger, C., Paul, S. J., Lüthy, H., Schärer, P. (1996): Dual application of dentin bonding agents: effect on bond strength. *Am J Dent* 9, 115-119

Blunck, U., Speyer, F., Roulet, J. F.(1997): Effect of hypochlorite treatment of conditioned dentin on the margin adaptation of composite resin restoration. *J Den Res* 76, 19, Abstr. 46.

Brämström, M., Nordenvall, K. J. (1977): The effect of acid etching enamel, entin, and the inner surface of the resin restoration: a SEM investigation. *J Dent Res*. 56, 917-923.

Bowen, R. L. (1965): Adhesive bondig of varius materials to hard tooth tissues, II Bonding to dentin promoted by a surface active comonomer. *J Dent Res* 44, 895-902.

Buonocuore, M. G. (1955): A simple method of increasing adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34, 849-853.

Chapell, R. P., Cobb, C. M., Spencer, P., Erick, J.D. (1994): Dentinal tubule anastomosis: a potential factor in adhesive bonding? *J Prosthet Dent* 72, 183-188.

Charlton, D. G., Beatty, M. W. (1994): The effect of dentin surface moisture on bond strength to dentin bonding agents. *Oper Dent*. 19, 154-158.

Christensen, G. J.: (1998): Preventing sensitivity in class II composite resin restorations. *J Am Dent Assoc* 129, 1469-1470.

Davidson, C. L., Feilzer, A. J. (1997): Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Den* 25, 435-440.

De la Macorra, J. C., Gomez-Fernandez, S. (1996): Quantification of the configuration factor in Class I and II cavities and simulated cervical erosions. *Eur J Prostodont Res Dent* 4, 29-33

Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) (1999): Gemeinsame Stellungnahme mit der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ). Kompositkunststoffe im Seitenzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 596-597.

Dietschi, D., Scampa, U., Campanile, G., Holz, J. (1995): Marginal adaptation and seal of direct and indirect Class II Composite resin restorations: an in vitro evaluation. *Quintessence Int* 26, 127-138.

Dietschi, D., Spreafico, R. (1997): Adhesive metal-free restorations. Quintessence Chicago-Berlin

Dijkman, G. E. H. M., Jongebloed, W. M., de Vries, J., Ögard, B., Arends, J. (1994) : closing dentinal tubules by glutaraldehyde treatment, a SEM study. *Scand J Dent Res*. 102, 144-150.

Eliades, G. (1994): Clinical relevance of formulation and testing of dentine bonding systems. *J Dent* 22, 73-81.

Erickson, R. L. (1994): Oberflächen-Interaktionen von dentin-Adhäsiv-Materialien. *Phillip J* 11, 149-158.

Fernandes, C. P., Chevitarese, O. (1991): The orientation and direction of rods in dental enamel. *J Prosthet Dent* 65, 793-800.

Ferrari, M. (1998): Sealing ability of last generation of adhesive restorative materials placed on vital teeth. *Trans Acad Dent Mater (Hrsg): Proceeding of conference of critical reviews of restorative materials*, 75-102.

Ferrari, M., Cagidiaco, M. C., Davidson, C. L. (1997): Resistance of cementum in Class II and Class V cavities penetration by an adhesive system. *Dent Mater* 13, 157-162

Ferrari, M., Kugel, G. (1998): Handling characteristics of resin composites in posterior teeth. *Compend Contin Educ Dent* 19, 879-892.

Ferrari, M., Mason, P. N., Fabienelli, A., Cagidiaco, M. C., Kugel, G., Davidson, C. L. (1999): Influence of tissue characteristics at margins on leakage of Class II indirect porcelain restorations. *Am J Dent*, 134-142

Frankenberger, R., Krämer, N., Petschelt, A. (1999): Fatigue behaviour of different dentin adhesives. *Clin Oral Invest* 3, 11-17 (1999)

Frankenberger, R., Krämer, N., Oberschachtsiek, H., Petschelt, A. (2000): Dentin bond strength and marginal adaptation after NaOCl pre-treatment. *Oper Dent* 25, 40-45.

Fusayama, T. (1993): A simple pain-free adhesive restorative system by minimal reduction and total etching. Ishiyaku EuroAmerica, Tokyo-St. Louis.

Gordan, V. V., Vargas, M. A., Cobb, D. S., Denehy, G. E. (1998): Evaluation of acidic primers in microleakage of Class V composite resin restorations. *Oper Dent* 23, 224-249.

Gwinet, A. J. (1992) Moist vs dry dentin: its effect on shear bond strength. *Am J Dent* 5, 127-129.

Gwinet, A. J. (1993): Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentine bonding. *Am J Dent* 6, 7-9.

Gwinet, A. J. (1994): Dentin bond strength after air drying and rewetting. *Am J Dent* 7, 144-148.

Gwinet, A. J., Dickerson, W. G., Yu, S. (1992): Dentin bond shear strength and microleakage for Syntac/Heliomolar: a comparison between the manufacturer's and total etch technique. *J Esthet Dent* 4, 164-168.

Gwinet, A. J., Tay, F. R., Pang, K. M., Wei, S. H. Y. (1996): Quantitative contribution of the collagen network in dentin hybridization. *Am J Dent* 9, 140-144.

Gwinet, A. J., Kanca, J. (1992): Micromorphological relationship between resin and dentin in vivo and in vitro. *Am J Dent* 5, 19-23.

Haak, R., Lösche, G. M., Roulet, J. F. (1996): Bond strength of composite resin to cervical enamel and dentin. *J Dent Res* 75, 41, Abstr 190.

Haller, B. (1994): Mechanismus und wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 750-759.

Hanning, M., Reinhardt, K. J., Bott, B. (1999): Self etching primers v/s phosphoric acid: an alternative concept for composite-to-enamel bonding. *Oper Dent* 24, 172-180.

Heitmann, T., Unterbrink, G. (1995): Direct pulp capping with a dentinal adhesive resin system: a pilot study. *Quintessence Int* 26, 765-770.

Heymann, H. O., Bayne, S. C. (1993): Current concepts in dentin bonding: focusing on dentinal adhesion factors. *J Am Dent Assoc* 124, 26-36.

Hickel, R., Frankenberger, R., Kunzelmann, KH., Lambrechts, P., Fundingsland, J., Kultermann, G., Ramil, M., Richter, R., Windmüller, B., De Munck, J., Perdigo, J., Van Meerbeek, B., Vanherle, G., Randall, R., (2001) Theoretical Part; Product Overview of Dentine

Adhesive "Adhesive Technology, Theoretical and Practical Guidelines" 3M-ESPE AG. Seefeld, Germany. Pags 12-27; 104-105.

Hilton, T. J., Ferrance, J. L. (1999): Cavity preparation factors and microleakage of Class II composite restorations filled at intraoral temperatures. *Am J Dent* 12, 123-130.

Holtan, J. R., Nystrom, G. P., Phelps, R. A., Anderson, T. B., Becker, W. S. (1995): Influence of different etchants and etching times on shear bond strength. *Oper Dent* 20, 94-99.

Inai, N., Kanemura, N., Tagami, J., Watanabe, L. G., Marshall, S. J., Marshall, G. W. (1998): Adhesion between collagen depleted dentin and dentin adhesive. *Am J Dent* 11, 124-127.

Kanca, J. (1992): Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5, 213-215.

Kanca, J. (1997): One step bond strength to enamel and dentin. *Am J Dent* 9, 5-8.

Kanca, J., Sandrik, J. (1998): Bonding to dentin. Clues to the mechanism of adhesion. *Am J Dent* 11, 154-159.

Kemp Scholte, C. M., Davidson, C. L. (1990): Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 64 658-664.

Kramer, I. R. H., McLean, J. W. (1952): Alterations in the straining reaction of dentine resulting from a constituent of a new self polymerising resin. *Br Dent J* 93, 150-153.

Liebenberg, W. H., (1999): Intentional pulp capping: a clinical perspective of the adhesive experience. *J Adhesive Dent* 1, 345-363.

Lopes GC, Baratieri LN, de Andrada MA, Vieira LC. (2002) Dental adhesion: present state of the art and future perspectives. *Quintessence Int.* Mar;33(3):213-24

Lutz, F. (1996): State of the art of tooth-colored restoratives. *Oper Dent* 21, 237-248.

Lutz, F., Krejci, I., Schüpbach, P. (1993): Adhäsivsysteme für zahnfarbene Restauratioten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103, 537-549.

Macari, S., Goncalvez, M., Nonaka, T., Santos, JM., (2002) Scanning electron microscopy evaluation of the interface of three adhesive Systems. *Braz Dent J* 13(1) 33-38

Maciel, K. T., Carvalho, R. M., Ringle, R. D., Preston C. D., Russel, C. M., Pasley, D. H. (1996): The effects of acetone, ethanol, HEMA, and air on the stiffness of human decalcified dentin matrix. *J Dent Res* 75, 1851-1858.

McCabe, J. F., Rusby, S. (1992): Dentine bonding agents- characteristic bond strength as a function of dentine depth

McLean, J. W., Kramer, I. R. H. (1952): A clinical evaluation of a sulphinic acid activated resin for use in restorative dentistry. *Br. Dent J* 93, 255-269.

Nakabayashi, N., Ashizawa, M., Nakamura, M. (1992): Identification of a resin-dentin hybrid layer in vital human dentin created in vivo: durable bonding to vital dentin. *Quintessence Int* 23, 135-141.

Nakabayashi, N., Kojima, K., Masuhara, E. (1982): The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res* 16, 256-273.

Nakabayashi, N., Nakamura, M., Yasuda, N (1991): Hybrid layer as a dentin-bonding mechanism. *J Esthet Dent* 3, 133-138.

Nakabayashi, N., Pashley, D. H. (1998): Hybridization of dental hard tissues. Quintessence, Tokyo-Chicago.

Nakabayashi, N., Wanatabe, A., Ikeda, W. (1995): Intra-Oral bonding of 4-META/MMA-TBB resin to vital human dentin. *Am J Dent* 8, 37-42.

Nordenvall, K. J., Brännström, M. (1980): In vivo resin impregnation of dentinal tubules. *J Prosthet Dent* 44, 630-637.

Opdam, N. J., Roeters, F. J., Verdonchot, E. H. (1997): Adaptation and radiographic evaluation of four adhesive systems. *J Dent* 25, 391-397.

Panighi, M., G'Sell, C. (1992): Influence of calcium concentration on the dentin wettability by an adhesive. *J Biomed Mater Res* 26, 1081-1089.

Pashley, D. H. (1990): Interactions of dental materials with dentin, in: *Trans Acad Dent Mater (Hrsg): Proceedings of conference on enamel-dentin-pulp-bone-periodontal tissue interactions with dental materials*, 55-73.

Pashley, D. H. (1991): Clinical correlations of dentin structure and function. *J Prosthet Dent* 66, 777-781.

Pashley, D. H. (1992): The effect of acid etching on the pulpodentin complex. *Oper Dent* 17, 229-242.

Pashley, E. L., Tao L., Matthews, W. G., Pashley, D. H. (1993): Bond strength to superficial, intermediate and deep dentin in vivo with four dental adhesives. *Dent Mater* 9, 19-22.

Paul, S. J., Shärer, P., (1997): The dual bonding technique: a modified method to improve adhesive luting procedures. *Int J Periodont Rest Dent* 17, 536-545.

Paul, S. J., Welter, D. A., Ghazi, M., Pashley, D. H. (1999): Nanoleakage at the dentin adhesive interface vs microtensile bond strength. *Oper Dent* 24, 181-188.

Perdigao, J., Lopez, L., Lambrechts, P., Leitao, J., Van Meerbeek, B., Tome, A. R., Vanherle, G., Lopes, A. B. (1996): Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentine. *Dent Mater* 12, 262-271.

Perdigao, J., Lopes, M. (1999): Dentin bonding – questions for the new millennium. *J Adhesive Dent* 1, 191-209.

Pioch, T., Kobaslija, S., Schagen, B., Götz, H. (1999): Interfacial micromorphology and tensile bond strength of dentin bonding systems after NaOCl treatment. *J Adhesive Dent* 1, 135-142.

Prati, C., Chersoni, S., Mongiorgi, R., Montanari, G., Pashley, D. H. (1999): Thickness and morphology of resin-infiltrated dentin layer in young, old and sclerotic dentin. *Oper Dent* 24, 66-72.

Radlanski, R. J. (1997): Morphogenetic and morphological aspects of prism structure in human dental enamel: a review. *Acta Med Dent Helv* 2, 86-95.

Reinhardt, K. J. (1997): Aktuelle perspektiven der dentin-haftvermittlung. *Phillip J* 14, 101-112.

Retief, D. H., Mandras, R. S., Russell, C. M., Denys, F. R. (1992): Phosphoric acid as dentin etchant. *Am J Dent* 5, 24-28.

Sano, H., Ciucchi, B., Matthews, W. G., Pashley, D. H. (1994): tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentine. *J Dent Res* 73, 1205-1211.

Schärer, P., Che, L. (1998): Composite-zemente und Dentinhaftmittel. *Phillip J* 15, 326-334.

Schoch, M., Krämer, N., Frankenberger, R., Petschelt, A. (1999): Direct posterior composite restorations with a new adhesive system: one year results. *J Adhesive Dent* 1, 167-173.

Schröder, H. E. (1987): *Orale strukturbioogie*. Thieme, Stuttgart-New York

Shimokobe, H., Honda, T., Kobayashi, Y., Nakamura, H., Takita, H., Kuboki, Y. (1988): Denaturation of dentin collagen by phosphoric acid treatment. *J Dent Res* 67, 226. Abstr. 908.

Swif, E. J., Denehy, G. E., Beck, M. D. (1993): Use of phosphoric acid etchants with Scotchbond Multi-Purpose. *Am J Dent* 6, 88-90.

Swif, E. J., Perdigao, J., Heymann, H. O. (1995): Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995. *Quintessence Int* 26, 95-110.

Thonemann, B., Federlin, M., Schmalz, G., Grundler, W. (1999): Total bonding vs selective bonding: marginal adaptation of Class II composite restorations. *Oper Dent* 24, 261-271.

Titley, K., Chemecky, R., Chan, A., Smith, D. (1995): The composition and ultrastructure of resin tags in etched dentin. *Am J Dent* 8, 224-230.

Unterbrink, G. L., Lienbenberg, W. H. (1999): Flowable resin composites as "Filled adhesives" literature review and clinical recomendations. *Quintessence Int* 30, 249-257.

Van Meerbeek, B., Braem, M., Lambrechts, P., Vanherle, G. (1994): Dentinhaftung: mechanismen und klinische resultate. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 997-984.

Van Meerbeek, B., Inokoshi, S., Braem, M., Lambrechts, P., Vanherle, G. (1992): Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71, 1530-1540.

Van Meerbeek, B., Perdigao, J., Lambrechts, P., Vanherle, G. (1998): The clinical performance of adhesive. *J. Dent* 26, 1-20.

Van Meerbeek, B., Yoshida, Y., Yamasaki, Y., Nakayama Y., Lambrechts, P., Vanherle, G., Wakasa, K. (1999): Bonding and decalcification mechanism of carboxylic acids. *J Dent Res* 78, 110, Abstr. 38.

Van Meerbeek, B., Vargas, M., Inoue. S., Yoshida, Y., Peumans, M., Lambrechts, P., Vanherle, G., (2001) Adhesives and cements to promote preservation dentistry. *Op Dent. Supplement, Theme 3*, pags 119-144.

DFU's Usados en este Seminario de Tesis. (Directions For Use)

3M Single Bond Dental Adhesive System Technical Product Profile. 3M Dental Products Laboratory. 3M Center, Building 260-2B-12 St. Paul, MN 55144-1000.

Adper™ Prompt™ L-Pop™ and Adper™ Prompt™ Self-Etch Adhesives Technical Product Profile, Dental Products 3M Center, Building 275-2SE-03 St. Paul, MN 55144-1000.

DFU NRC™ Refill - Master Version 1998-04-09 (Supersedes Master Version DFU K100 1997-08-18) DFUK100.DOC. © DENTSPLY DeTrey 1998-04

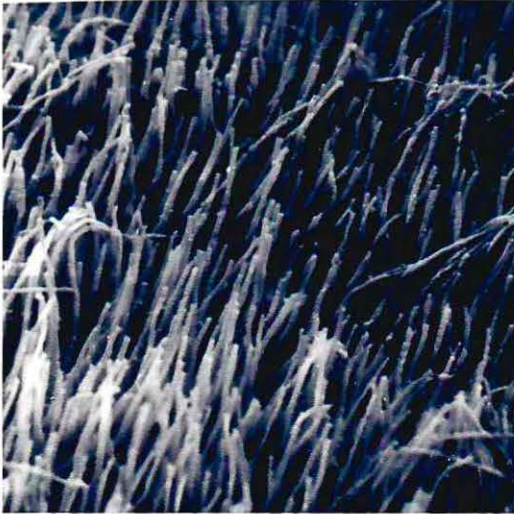
One Coat Bond Safety Data Sheet according to 91/155/EEC Coltène AG Feldwiesenstrasse 20 CH-9450 Altstätten, Switzerland.

Prime & Bond® NT™. Directions For Use Made By: Dentsply Caulk Dentsply International Inc. Milford, De 19963-0359 U.S.A.

Scientific Compendium Xeno® III (2002-10-14), Dentsply De Trey, Clinical Research, DeTrey-Str, Konstanz, Germany

Ultradent Products, Inc. Material Safety Data Sheet. Ultradent Products, Inc. 505 West 10200 South South Jordan, Utah 84095 USA

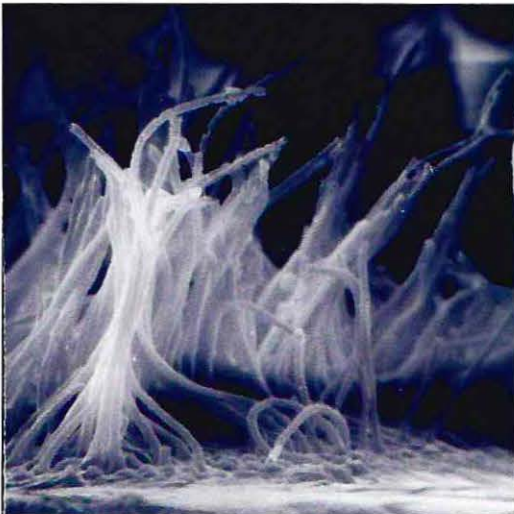
ANEXO 1: Micrografías Electrónicas.



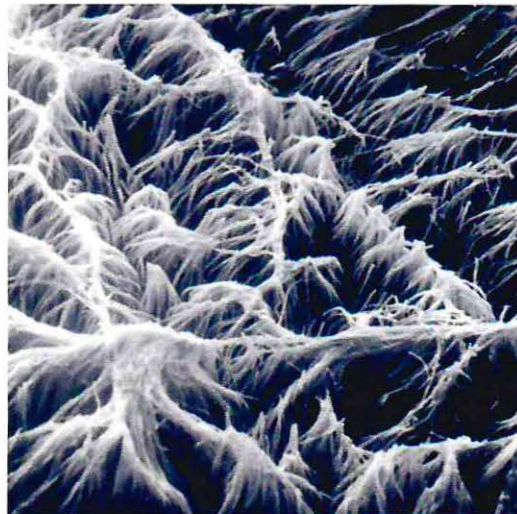
1.- PBNT
600X



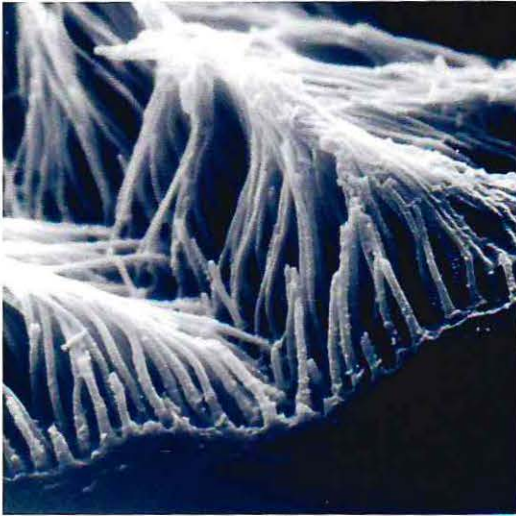
2.- PBNT
1200X



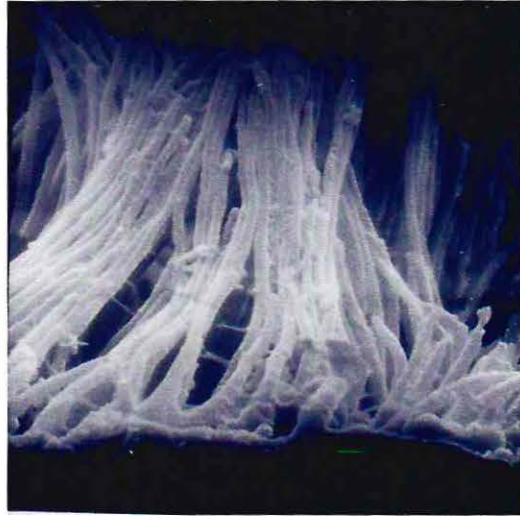
3.- PBNT
900X



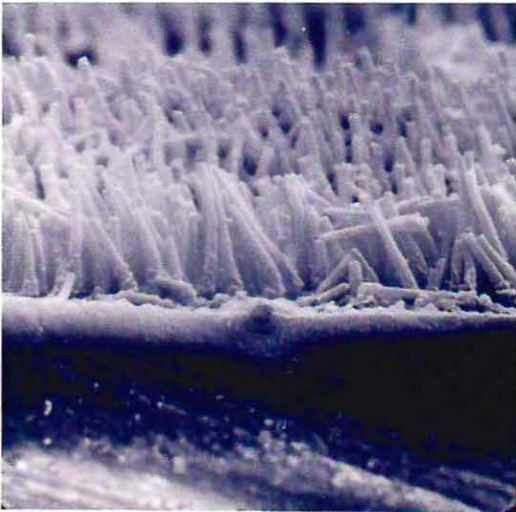
4.- SB
300X



5.- SB
800X



6.- OCB
1200X



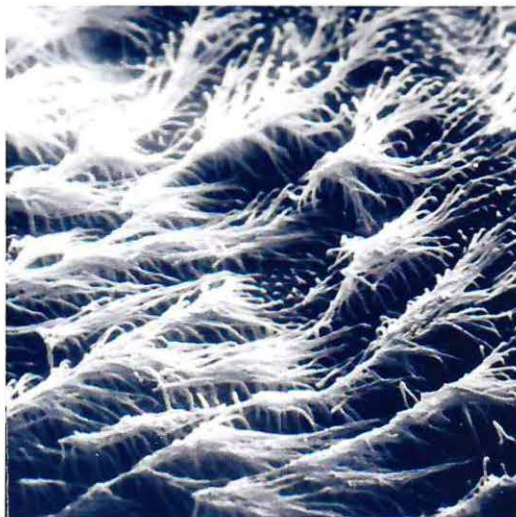
7.- OCB
800X



8.- PQ1
800X



9.- PQ1
800X



10.- PQ1
300X



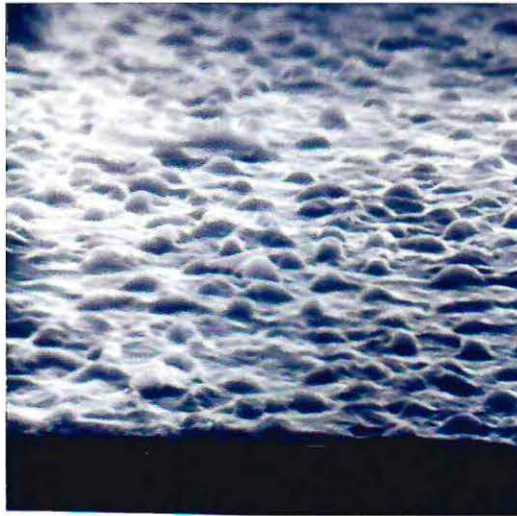
11.- NRC
1500X



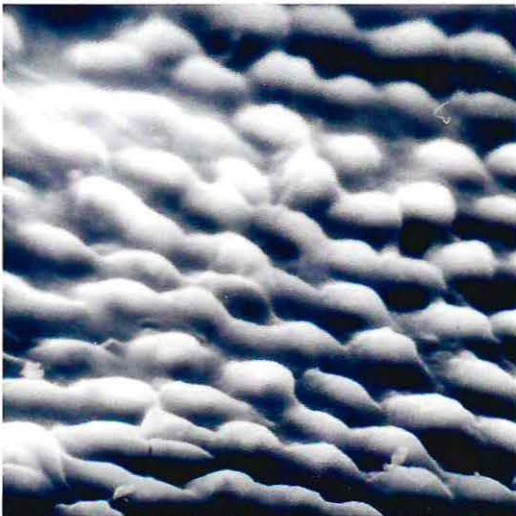
12.- NRC
1600X



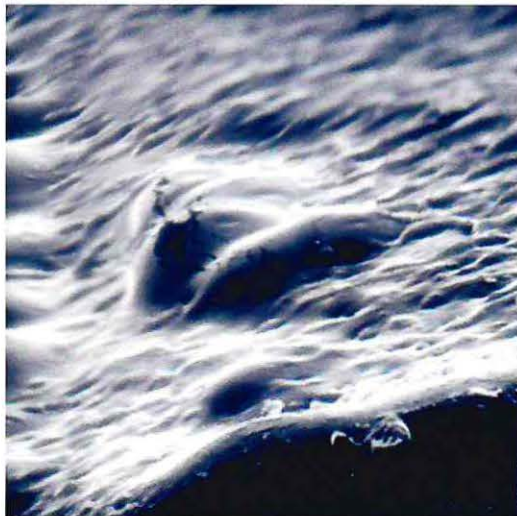
13.- NRC
1600X



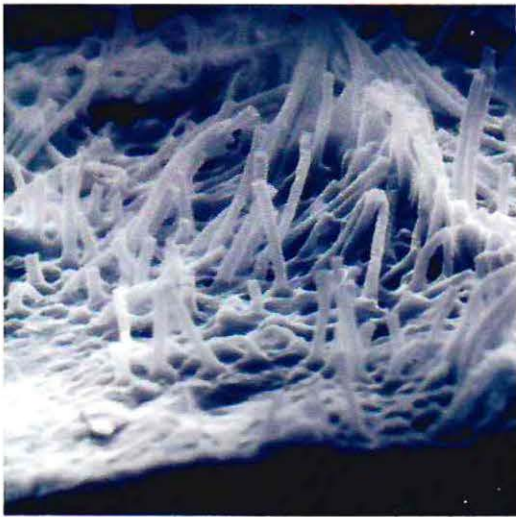
14.- ADP
1500X



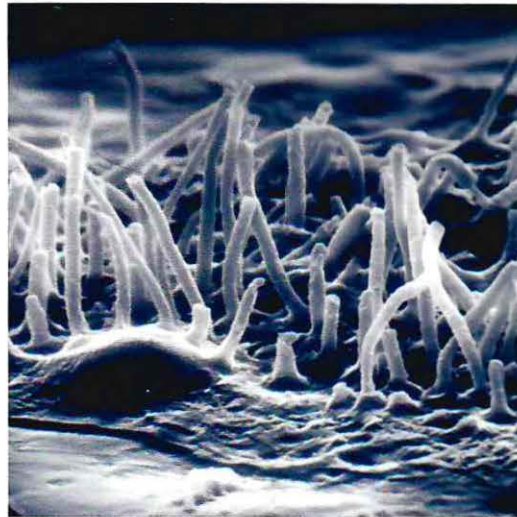
15.- ADP
2000X



16.- ADP
1500X



EXII
1200X



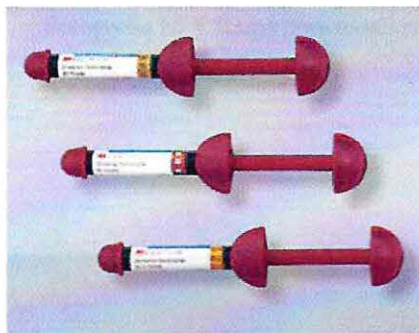
EXII
1500X

ANEXO 2: Fotografías de Materiales y Métodos.

Confección de las muestras



Fotografía N° 1 "Turbina W&H Top Air Utilizada en la confección de las cavidades"



Fotografía N° 3 "Jeringas de Filtek Z250 utilizada en la restauración"



Fotografía N° 2 "Maquina Isomet para corte a baja velocidad"

Preparación de las Muestras para SEM



Fotografía N° 4 “Lupa para montaje de muestras”



Fotografía N° 5 “Adhesivo de grafito, muestras montadas en los porta-objetos”



Fotografía N° 6 “Metalizadora”

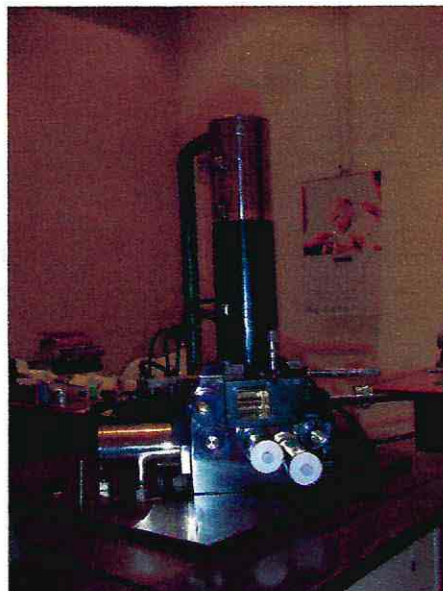


Fotografía N° 7 “Proceso de metalizado”

Fotografías del Microscopio Electrónico de Barrido



Fotografía N° 8 "Montaje de filamento de Tungsteno emisor de electrones"



Fotografía N° 9 "Unidad óptico electrónica y portamuestra del MEB"



Fotografía N° 10 "Microscopio electrónico de barrido, su unidad óptico electrónica a la derecha y panel de controles a la izquierda"

ANEXO 3: Selección del Tamaño Muestral.

Método Utilizado: Curvas Características de Operación

Una curva característica de operación es una gráfica de la probabilidad del error tipo II de una prueba estadística, para un tamaño de muestra particular, contra el parámetro que refleja la extensión en la cual la hipótesis nula es falsa. Estas curvas pueden ser una guía para que el experimentador seleccione el número de réplicas con objeto de que el diseño sea sensible a diferencias potenciales importantes entre los tratamientos.

Primero se considera la probabilidad de error tipo II en el modelo, y en el caso de muestras del mismo tamaño en cada tratamiento, o sea

$$\beta = 1 - P\{\text{Se rechaza } H_0 | H_0 \text{ es falsa}\}$$

Para evaluar esta probabilidad, se requiere conocer la distribución de la estadística F_0 si la hipótesis nula es falsa. Es posible mostrar que si a hipótesis nula H_0 es falsa, la estadística, $F_0 = MS_{\text{tratamientos}}/MS_E$ tiene la distribución F no centrada, con $a-1$ y $N-a$ grados de libertad y un parámetro de descentralización igual a δ . Si $\delta = 0$, la distribución F no centrada se transforma en la usual distribución F (centrada).

Las curvas de operación característica son usadas para evaluar la probabilidad de la ecuación 1. En estas curvas se indica la probabilidad de error tipo II (β) contra el parámetro Φ , donde

$$\Phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a\sigma^2} \quad (1)$$

Φ^2 está relacionado con el parámetro de descentralización δ . Las curvas se proporcionan para $\alpha = 0.01$ y $\alpha = 0.05$, y para diversos valores de los grados de libertad del numerador y del denominador.

El investigador debe especificar el valor de Φ cuando se usan las curvas características de operación. En la práctica, esto, a menudo, resulta difícil. Una forma de determinar Φ es elegir los valores de las medias de tratamiento para los cuales se desea rechazar la hipótesis nula con una probabilidad alta. Por lo tanto, si $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_a$ son medias de tratamiento propuestas, el valor de

τ_i se encuentra usando la ecuación 1, en donde $\tau_i = \mu_i - \bar{\mu} = (1/a) \sum_{i=1}^a \mu_i$ el promedio de las medias individuales de tratamiento. También es necesaria una estimación de σ^2 . En ocasiones ésta puede obtenerse con base en la experiencia pasada, experimentos previos o una estimación propuesta.

Debido a limitantes en el estudio, el investigador solo puede tener una muestra por adhesivo de tamaño 7. Por lo tanto con la información de las medias y desviaciones estándar obtenidas de estas muestras se determinará la potencia de la prueba esto es $1 - \beta$. Lo aceptable en este tipo de estudio es una potencia de 0.95.

Sistema Adhesivo	Medias	Desv. Est.
PBNT	56.62	11.565
SB	42.06	1.929
PQ1	54.32	5.473
OCB	38.42	7.216
NRC	17.42	2.979
ADP	3.56	0.893
EXII	33.39	12.284
Media Total	35,117	

Considerando el promedio de las medias individuales de tags de resina de cada sistema adhesivo y que la desviación estándar en cualquier adhesivo no excede a $\sigma = 15$, se obtiene de la ecuación 1:

$$\Phi^2 = \frac{n \sum_{i=1}^7 \tau_i^2}{a\sigma^2} = \frac{2202,525703n}{7*15^2} = 1,3984n$$

donde a es la cantidad de adhesivos (tratamientos) incluidos en el experimento, τ es la diferencia de cada media con el promedio de las medias individuales

Se utilizará la curva característica de operación de la *tabla V del apéndice del libro "Diseño y Análisis de Experimentos", autor: Douglas C. Montgomery, editorial Iberoamérica, México D.F., 1991*. Considerando los siguientes parámetros en a tabla V, $a-1 = 6$, $N - a = 49 - 7 = 42$ grados de libertad del error y $\alpha = 0,01$.

Como se tienen muestras de tamaño 7, se prueba $n = 7$, esto da $\Phi^2 = 1,3984 * 7 = 9,789$, $\Phi = 3,128$. Por lo tanto, en la tabla V se determina que $\beta = 0,06$. Así se concluye que con $n = 7$ se obtiene una potencia de la prueba de aproximadamente $1 - \beta = 0,94$. Es decir con un nivel de confianza del 94%, la muestra es significativa y tiene un límite para el error de aproximación a los verdaderos valores de la población del 6%. Aunque esta potencia resulte menor a la requerida está muy cercana, por lo tanto el tamaño de muestra $n = 7$, es suficiente.

EXPERIMENTOS CON UN SOLO FACTOR: ANALISIS DE VARIANCIA

Es una prueba estadística para analizar si más de dos grupos difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. La prueba “t” es utilizada para dos grupos y el análisis de variancia se usa para tres, cuatro o más grupos.

Las hipótesis a probar son de diferencias entre más de dos grupos. La hipótesis de investigación (llamada también como hipótesis alternativa) propone que los grupos difieren significativamente entre sí (diferencias de medias) y la hipótesis nula propone que los grupos no difieren significativamente (igualdad de medias).

En el análisis de variancia debe haber una variable independiente y una variable dependiente. La variable independiente es categórica (tipo de adhesivo) y la dependiente es por intervalos o de razón (medición de los tags de resina en um).

El análisis de variancia produce un valor conocido como “F” o razón “F”, que se basa en una distribución muestral, conocida como la distribución F, que es otro miembro de la familia de distribuciones muestrales. La razón “F” compara las variaciones en las puntuaciones debidas a dos fuentes: variaciones entre los grupos que se comparan y variaciones dentro de los grupos.

Si los grupos difieren realmente entre sí sus puntuaciones variarán más de lo que puedan variar las puntuaciones entre los integrantes de un mismo grupo. Es decir esperamos homogeneidad dentro de los grupos y heterogeneidad entre los grupos. De lo contrario no hay diferencia entre los grupos. La razón “F” nos indica si las diferencias entre los grupos son mayores que las diferencias intragrupos (dentro de éstos). Estas diferencias son medidas en términos de varianza. La varianza es una medida de dispersión o variabilidad alrededor de la media y es calculada en términos de desviaciones elevadas al cuadrado. Recuérdese que la desviación estándar es un promedio de desviaciones respecto a la media ($X - \bar{X}$) y la varianza es un promedio de desviaciones respecto a la media elevadas al cuadrado $(X - \bar{X})^2$.

La razón “F”, que es una razón de varianzas, se expresa así:

$$F = \frac{\text{Media cuadrática entre los grupos (tags de resina)}}{\text{Media cuadrática dentro de los grupos (error)}}$$

En donde la media cuadrática implica un promedio de varianzas elevadas al cuadrado. La media cuadrática entre los grupos se obtiene calculando la media de las puntuaciones de todos los grupos (promedio de medias), después se obtiene la desviación de la media de cada grupo respecto al promedio de medias y se eleva al cuadrado cada una de estas desviaciones, después se suman. Finalmente se sopesa el número de individuos en cada grupo y la media cuadrática se obtiene en base a los grados de libertad intergrupales. La media cuadrática dentro de los grupos se calcula obteniendo primero la desviación de cada puntuación respecto a la media de su grupo, posteriormente esta fuente de variación se suma y combina para obtener una medida de la varianza intragrupal para todas las observaciones.

Pues bien, cuando “F” resulta significativa esto quiere decir que los grupos difieren significativamente entre sí. Es decir, se acepta la hipótesis de investigación (H_a) y se rechaza la hipótesis nula (H_0).

Cuando se efectúa el análisis de varianza por medio de un programa estadístico, se genera una tabla de resultados con los elementos de la siguiente tabla:

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F ₀	Valor p
Entre Grupos (Tags de Resina)	SC entre	G.L. entre	SC entre G.L. entre	MC entre MC intra	
Intra Grupos (Error)	SC intra	G.L. intra	SC intra G.L. intra		
Total	SC entre + SC intra	G.L. entre + G.L. intra			

Los grados de libertad constituyen el número de maneras como los datos pueden variar libremente.

El valor p (nivel de confianza o probabilidad a elegir) es de 0.05. Si es menor del 0.05 es significativo a este nivel y se rechaza la hipótesis nula. Este valor es entregado por el paquete estadístico: STATISTICA 5.0. El 0.05 significa un 95% de que los grupos en realidad difieren significativamente entre sí y un 5% de posibilidad de error.



ANEXO 4: Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

La microscopia electrónica de barrido, en sus diversas modalidades, surge en forma experimental entre los años 1930 y 1940, en Alemania. En 1935, Knoll propone un instrumento bastante similar a los actuales, destinado a estudiar fenómenos de emisión secundaria. En 1938, Von Ardenne diseña un nuevo tipo de microscopio, con el objeto de estudiar muestras relativamente gruesas.

En 1942, Zworokin, Hillier y Zinder diseñaron un microscopio con el cual se observaban directamente superficies de muestras metálicas, y publicaron las primeras micrografías electrónicas de barrido.

Luego Smith en 1959 consigue micrografías de muy buena calidad. Como resultado de estas investigaciones, entre los años 1963 y 1965, surgen los primeros microscopios electrónicos de barrido comerciales, que alcanzaban unos 250 Å de resolución. Actualmente se desarrollan a escala comercial microscopios que garantizan una resolución de 35-100 Å (3,5-10 nm).

Descripción del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB).

Un MEB moderno consta esencialmente de las siguientes partes:

- Una unidad óptica-electrónica, que genera el haz que se desplaza sobre la muestra.
- Un portamuestra, con distintos grados de movimientos.
- Una unidad de detección de las señales que se originan en la muestra, seguida de un sistema de amplificación adecuado.
- Un sistema de visualización de las imágenes (tubo de rayos catódicos).
- Un sistema de vacío, un sistema de refrigeración y un sistema de suministro eléctrico, relativamente similares a los del MET.
- Un sistema de registro fotográfico, magnético o de video.
- Un sistema de procesamiento de la imagen con ayuda computacional (optativo).

Sistema de Vacío.

Si se desea obtener un haz uniforme de electrones, es necesario mantener la columna del microscopio a un alto vacío. Se denomina sistema de vacío al conjunto de dispositivos y procedimientos que se utilizan para este fin.

La columna debe mantener un alto vacío, básicamente por cuatro razones:

1.- Para permitir el desplazamiento de electrones. Como la distancia entre el cañón de electrones y la pantalla es de aproximadamente un metro, se debe evacuar el gas de toda la columna. En caso contrario, los electrones serían dispersos o detenidos por moléculas de gas, dada la escasa energía cinética de ellos.

2.- Para evitar descargas de alta tensión en el cañón electrónico. Cualquier molécula de gas presente entre el filamento y la placa anódica se convierte en un ión positivo al ser

bombardeado por los electrones. Esto produciría una descarga eléctrica entre el filamento y el ánodo, lo que impediría la formación de un haz estable de electrones, además de interferir en el contraste de la imagen.

3.- Para evitar contaminación del espécimen y de las aberturas. Los gases residuales se condensan en el espécimen y lo contaminan.

4.- Para incrementar la vida útil del filamento. A bajo vacío, la vida del filamento se reduce significativamente por oxidación del tungsteno. Esta oxidación también afecta la eficiencia de filamento para emitir electrones.

El vacío de la columna se obtiene con diversos tipos de bombas: bomba mecánica o rotatoria, bombas de difusión de aceite o de mercurio, bombas termoiónicas, turbomoleculares, etc. Es difícil crear un alto vacío en una sola etapa. Por lo tanto se utiliza un sistema donde se emplean diferentes tipos de bombas, en serie. Esto es factible gracias a una serie de válvulas de distribución, cuyo movimiento es automático, en los modelos nuevos, y manual en los antiguos.

En una primera etapa se crea un pre-vacío de $\sim 10^{-1}$ a 10^{-3} Torr, que se obtiene con una bomba mecánica de rotación, de gran capacidad pero de bajo rendimiento. En la segunda etapa, se obtiene un alto vacío de aproximadamente 10^{-5} Torr, por medio de dos bombas difusoras que funcionan con vapores de Hg una, y vapores de aceite, la otra.

Las bombas difusoras deben funcionar continuamente mientras el microscopio está trabajando, por las pequeñas fugas de aire que puedan existir, y porque constantemente se producen gases que conviene eliminar ininterrumpidamente.

Sistema de refrigeración.

Es un sistema que permite enfriar tanto las bombas difusoras (que generan considerable cantidad de calor), como las propias lentes, que también se calientan cuando pasa a través de ellas una corriente eléctrica. Esto se consigue haciendo circular a su alrededor agua tratada, filtrada y refrigerada. Deberá existir una unidad de refrigeración con bombas de agua que permitan el movimiento de ésta a través del sistema.

Unidad óptico-electrónica.

Esta unidad incluye un cañón electrónico, un sistema de barrido y un sistema de lentes electromagnéticas que producen un haz finamente colimado.

Cañón electrónico: La fuente emisora de electrones más utilizada es un filamento de tungsteno que se calienta al rojo-blanco por medio de una corriente eléctrica, en un vacío del orden de 10^{-5} Torr. Entre el ánodo acelerador y el filamento se coloca un electrodo adicional, llamado cilindro de Wehnelt o placa catódica, que permite que los electrones emitidos por el filamento se focalicen en un punto ligeramente por debajo del cilindro de Wehnelt.

Sistemas de lentes electrónicas: el microscopio electrónico de barrido emplea dos, tres o cuatro lentes electromagnéticas, cuya función es disminuir el diámetro del haz de electrones de aproximadamente de 50 μm en su origen, a valores comprendidos entre 25 y 10 nm al incidir sobre la muestra. Así se obtiene un haz de electrones extremadamente fino y, de acuerdo con el

voltaje de aceleración, penetra un poco en el espécimen, determinando un volumen de interacción haz/objeto de una forma aproximada, de donde se desprenden electrones secundarios, retrodifundidos y rayos X, además de otras radiaciones.

La resolución de un microscopio electrónico de barrido está directamente relacionada con las dimensiones de la zona de muestra que es excitada por el haz primario. La intensidad de las señales emitidas está influida por las dimensiones de las zonas de donde ellas se generan, y por la absorción por la muestra misma, lo que a su vez está determinado por la composición de la muestra y la energía de los electrones del haz incidente.

Sistema de barrido: este sistema consiste en un campo de deflexión simple o doble, que puede ser electrostático o electromagnético, y que produce el desplazamiento del haz electrónico sobre la superficie de la muestra. Este campo se localiza cerca de la última lente condensadora, mal llamada "objetiva", en algunos casos.

El haz de electrones se mueve en líneas rectas superpuestas, barriendo la superficie del espécimen en un área rectangular. La misma señal que se aplica a las bobinas deflectoras, se utiliza para barrer en forma sincronizada el haz del tubo de rayos catódicos, produciéndose así una correspondencia punto a punto, entre la superficie de la muestra, que es barrida por el haz de electrones y la pantalla donde se observa la imagen. Este sistema es similar al de la televisión, pero con velocidades de barrido más bajas. El tiempo de barrido oscila entre 0,5 y 500 segundos, indicando con estos valores el tiempo que demora el haz para barrer verticalmente la zona de la muestra que se está observando en la pantalla.

Usualmente se trabaja con un tiempo de barrido de 10 segundos, durante la observación preliminar de la muestra. Las fotomicrografías se toman con un tiempo de 50 segundos, con lo cual se tiene un mayor número de líneas de barrido, y por lo tanto, una mayor definición.

Portaespécimen

La cámara portaespécimen está situada en la base de la columna del microscopio y en línea con el haz electrónico. La pieza o platina que sostiene el espécimen permiten varios movimientos:

- a) desplazamiento en coordenadas rectangulares (ejes X e Y) en un plano a lo largo de la superficie observada de la muestra.
- b) Movimiento de rotación sobre el propio plano de la muestra (en $\pm 180^\circ$) y movimiento de inclinación en el plano horizontal entre (-5 y +45°).

Esto permite inclinar el espécimen, tomando como eje cualquier punto que se que se está observando. También es posible inclinar el espécimen sin necesidad de variar el enfoque, lo que es indispensable si se desea tomar un par estereoscópico de fotografías.

Sistema de detección.

La emisión secundaria surge cuando el haz primario tiene energía de varios de cientos de electrón volts. Si bien en un principio la corriente secundaria es proporcional a esa energía, llega un momento que nuevos incrementos energéticos del haz primario saturan la superficie emisora, estabilizándose la salida de electrones, e incluso disminuyendo si la energía aumenta excesivamente.

Cada material presenta un coeficiente de emisión secundaria (δ) que es característico, y que se define como la relación entre los electrones emitidos por la superficie respecto a los primarios que la impactan.

Los electrones secundarios son de menor energía que los primarios, y por esta razón, aún cuando se produzcan profundamente, sólo pueden abandonar la muestra los que se generan muy superficialmente ($< 50 \text{ \AA}$).

La variación de intensidad de las señales generadas por la muestra se convierten en señales eléctricas, lo que permite obtener imágenes en un microscopio de barrido. No es una imagen óptica de superficie, pero sí una buena aproximación.

Sistema de proyección o visualización de las imágenes.

Las imágenes se proyectan en dos tubos de rayos catódicos de alta resolución, que funcionan en sincronización con el barrido electrónico de la muestra. Uno de ellos, para observación visual, tiene una pantalla de gran persistencia. Fijando el tiempo de barrido en 10 segundos, se obtiene una imagen de 500 líneas. La pantalla del segundo tubo es azul, para registro fotográfico y de baja persistencia. Adosada a esta segunda pantalla va la cámara fotográfica. Aquí se utiliza un barrido más lento, de 1000 o más líneas. Cuando mayor sea el número de líneas en la pantalla fotográfica, mayor será la resolución de la imagen final.

Al modular la intensidad del tubo de rayos catódicos con la señal eléctrica dada por los detectores, se obtiene en la pantalla una especie de imagen de la muestra. Es decir, en la pantalla se describe la variación de un tipo dado de emisión producida por la superficie de la muestra barrida por efecto del haz primario.

$$A = \text{largo pantalla} / \text{largo de la región barrida.}$$

El aumento lineal de esta imagen obtenida con un sistema de haces mellizos, es simplemente una relación de tamaño de los rastreos sincrónicos. En otras palabras, el aumento está dado por la relación entre el ancho de la pantalla de observación y la amplitud de la zona barrida por el haz primario. Para altos aumentos, la región barrida del espécimen es muy pequeña comparada con la región rastreada en la pantalla fluorescente. El MEB permite un rango de aumentos que va desde 15 a 100000 veces, dependiendo de la naturaleza y la forma del material examinado.

Imágenes obtenidas por electrones secundarios:

Se ha demostrado que un cambio de inclinación de la superficie de una muestra con respecto al haz electrónico incidente, aún de pocos grados, produce una variación apreciable en el número de electrones secundarios emitidos. Así, un borde agudo o una protuberancia sobre la superficie generan un gran número de electrones secundarios. Lo mismo sucede si se trata de un escalón profundo sobre la superficie de la muestra. Las hendiduras o depresiones producen menos electrones detectables. Estos hechos deben considerarse al analizar las imágenes obtenidas.

Los efectos de variación de la emisión secundario en función de las características topográficas de una superficie, permiten que se pueda interpretar la imagen de electrones secundarios como una imagen óptica de dicha superficie.

Las imágenes obtenidas con electrones secundarios son de gran utilidad para estudios topográficos y como hemos mencionado, sus trayectorias son curvas, de modo que la imagen aparece con sombras suaves y difusas; en un segundo plano se observan las depresiones o áreas escondidas.