



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**ANÁLISIS DEL ESMALTE DENTAL POR MICROSCOPIA
ELECTRÓNICA DE BARRIDO ANALÍTICA DESPUÉS DEL RETIRO DE
BRACKETS. ESTUDIO COMPARATIVO CON LAS FUERZAS DE
DESPRENDIMIENTO**

**Tesis para obtener el grado de
Maestra en Ciencias**

PRESENTA

C.D.E.O Jacqueline Adelina Rodríguez Chávez

TUTORES

Dr. Jesús Ángel Arenas Alatorre IF-UNAM

Dra. Irma Araceli Belio Reyes UAS

México D.F. Octubre de 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



AGRADECIMIENTOS

A mi familia: Guillermo Rodríguez y Martha Chávez Vargas por creer en mí y ayudarme a cumplir mis sueños, en especial a ti mami, por enseñarme que todo lo podemos conseguir a base de trabajo. A mis hermanos Martha Jeanette y Guillermo Alejandro a quien amo tanto y me han apoyado estos años. A Jorge y mis hermosos sobrinos Santiago y Alondra Rochely.

A la Dra. Aida Borges; a quien siempre estaré infinitamente agradecida por motivarme a dejar mi Ciudad y estudiar en la UNAM, por creer en mí y ayudarme siempre.

A la Dra. Elvira Terriquez Casillas del Instituto Jalisciense de Cirugía Reconstructiva por apoyarme en todo, creer siempre en mi y hacerme sentir como una hija.

A mis hermanos del Df a quienes adoro y han estado siempre a mi lado a lo largo de estos años, apoyándome y ayudándome: Fabiola Berdon; me diste una gran regalo de entrada a la maestría no lo hubiera logrado sin ti, Laura Vallejo; siempre incondicional y a mi lado, Lorena Luengas; siempre creyendo en mi. Carlos Alayola; por tu apoyo incondicional.

A mi amigo Hugo Marcelo Flores y Álvaro Pérez García por su asesoría, paciencia, apoyo en este trabajo y formar parte de mi vida en esta etapa.

A mis maestros quienes me motivaron a hacerme cuestionamientos y buscar explicaciones. A mis amigos de especialidad y de maestría; quienes en una etapa u otra de mi vida han sido parte fundamental, por su apoyo los quiero mucho.

IF-UNAM: Cristina Zorrilla por ser mi amiga, apoyarme, motivarme y creer en mí, Jaqueline Cañetas y Mario Monrroy. DEPEI Al Dr. Jorge Guerrero y la Dra. Tere Baeza por su asesoría en este trabajo. A las secretarias: Anita, Gaby y Martita.

A la UNAM por ser mi casa de estudios. Al programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Medicas, Odontológicas y de la Salud, a la Dra. Elba Leyva por su apoyo. A CONACYT por la beca otorgada. Al IFUNAM, Laboratorio de microscopía.

Al Dr. Federico Barceló por sus enseñanzas, por creer en mí, motivarme a seguir preparándome, por apoyarme, por su paciencia y por estar siempre conmigo.

A la Dra. Irma Araceli Belio Reyes por tratarme como una hija desde el momento en que me conoció hace 8 años, por ser parte fundamental en mi preparación y un ejemplo a seguir.

Al Dr. Jesús Ángel Arenas Alatorre, por ser mi amigo, mi confidente, mi padre académico, por defenderme, por estar en los momentos más difíciles y tratándome siempre como a una hija, por todo el apoyo a lo largo de estos 8 años.

Si quieres ser sabio, aprende a interrogar razonablemente, a escuchar con atención, a responder serenamente y a callar cuando no tengas nada que decir.

Johann Kaspar Lavater (1741-1801)



ÍNDICE	
I. Resumen	8
Abstract.....	9
II. Introducción	10
III. Planteamiento del problema	10
IV. Justificación	11
V. Hipótesis	11
VI. Objetivo general	11
VII. Objetivos específicos	12
Capítulo 1:	13
Antecedentes	13
1.1 Esmalte dental	14
1.1.1 Etapas de formación del esmalte	15
1.1.2. Espacio extracelular	16
1.1.3. Formación del esmalte durante la etapa secretoria: alargamiento de los cristales.....	17
1.1.4. Formación del esmalte durante la etapa de maduración: engrosamiento de los cristales	18
1.1.5. Prismas	19
1.1.6. Dirección de los Prismas.....	20
1.1.7. Ultraestructura.....	22
Capítulo 2:	23
Sistema adhesivo y Bracket	23
2.1. Antecedentes	24
2.1.1. Patrones morfoestructurales utilizados en la técnica de grabado	24



2.1.2 Adhesivo Autograbador	26
2.1.3. Resina Transbond XT®.....	30
2.1.4. Características del bracket metálico.....	30
Capítulo 3:	33
Microscopía Electrónica	33
3.1. Antecedentes	34
3.1.1. Microscopio electrónico de barrido (SEM)	37
Capítulo 4:	38
Desarrollo experimental	38
4.1. Metodología	39
4.1.1. Población de estudio.	39
4.1.2. Selección y tamaño de la muestra.	39
4.1.3 Diseño de estudio: Experimental.....	39
4.1.4 Criterios de selección	39
4.1.5. Definición y operalización de las variables	40
Independientes.....	40
Dependientes	41
4.1.6. Preparación de las muestras.....	41
4.1.6.1. Conservación de premolares.....	41
4.1.6.2. Observación inicial con SEM.....	42
4.1.6.3. Grupo control (Réplicas).	43
4.1.6.4. Colocación de los Brackets.	44
4.1.6.5. Prueba de resistencia al desprendimiento.	45
4.1.6.6. Segunda observación en SEM.....	46
4.1.6.7. Criterio para el Índice de adhesivo remanente de Årtun y Bergland (ARI). 46	



4.1.6.8. Estandarización de criterios (kappa)	46
4.1.6.9. Procesamiento de la información	47
4.1.6.10. Análisis estadístico	47
4.1.6.11. Material Empleado	48
Capítulo 5:	50
Resultados	50
5.1. Observaciones en SEM del diente antes y después del retiro de brackets.....	51
5.2. Resistencia al desprendimiento	56
5.3. Índice de adhesivo remanente (ARI).....	58
5.4. Daños al esmalte	59
5.5. autoCAD	60
5.5.1. Resistencia al desprendimiento/área de resina.....	62
5.5.2. Resistencia al desprendimiento/ esmalte perdido	64
5.5.3. Resistencia al desprendimiento/ área de metal libre de resina	65
Capítulo 6:	68
Discusión	68
Capítulo 7:	75
Conclusiones	75
Propuesta a futuro.....	77
Capítulo 9:	78
Bibliografía	78



Índice de Figuras

Figura 1.- Disposición de los prismas en los planos circunferenciales sobre la superficie de la dentina.....	14
Figura 2.- Estructura cristalina de la hidroxiapatita.....	15
Figura 3.- Cambios histológicos durante la formación temprana de los dientes..	17
Figura 4.- Líneas de incremento en secciones de molares primarios humanos...	18
Figura 5.- Secciones transversales de cristales del esmalte.....	18
Figura 6.- Diagrama de las variaciones en la dirección de los prismas.....	20
Figura 7.- Corte transversal de los prismas.....	20
Figura 8.- Corte transversal y longitudinal de los prismas.....	21
Figura 9.- La estructura del esmalte y la estructura de las varillas.....	21
Figura 10.- Grabado ácido patrón I.....	24
Figura 11.- Grabado ácido patrón II.....	24
Figura 12.- Grabado ácido patrón III.....	25
Figura 13.- Bracket GAC®.....	32
Figura 14.- Conservación de las muestras antes de la experimentación.....	41
Figura 15.- Corte y colocación de las marcas de referencia en las muestras.....	42
Figura 16.- Observaciones en SEM de las 4 fotografías iniciales.....	42
Figura 17.- Acetato, marcas de referencia y réplica.....	43
Figura 18.- Réplica y su observación en SEM.....	43
Figura 19.- Procedimiento para la colocación de brackets.....	44
Figura 20.- Montaje de las muestras para resistencia al desprendimiento.....	45
Figura 21.- Prueba de resistencia al desprendimiento colocación de la cizalla....	45
Figura 22.- Índice de Adhesivo Remanente.....	46
Figura 23.- Marcas de referencia e imágenes iniciales de la muestra.....	51
Figura 24.- Observación de una muestra antes y después de desprender el bracket.....	53
Figura 25.- Diferentes patrones de pérdida de esmalte.....	54
Figura 26.- Imágenes procesadas en autoCAD.....	61



Índice de tablas

Tabla 1- Valores de la prueba de resistencia al desprendimiento.....	56
Tabla 2- Prueba de resistencia al desprendimiento.....	57
Tabla 3- Valores del índice ARI de las 30 muestras.....	58
Tabla 4- Medidas de tendencia central del Índice ARI.....	59
Tabla 5- Valores de las muestras que presentaron pérdida de esmalte.....	60
Tabla 6- Valores de área de resina, pérdida de esmalte y área de metal libre de resina.....	61
Tabla 7- Modelo de regresión lineal simple resistencia al desprendimiento/área de resina.....	64
Tabla 8- Modelo de regresión lineal simple resistencia al desprendimiento/área de esmalte perdido.....	65
Tabla 9- Modelo de regresión lineal simple resistencia al desprendimiento/área de metal libre de resina.....	67

Índice de gráficas

Gráfica 1- Muestras/resistencia al desprendimiento.....	57
Gráfica 2- Distribución de las muestras del índice ARI.....	58
Gráfica 3- Frecuencia de Índice de Adhesivo Remanente.....	59
Gráfica 4- Frecuencia de presencia y ausencia de pérdida de esmalte.....	60
Gráfica 5- Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y área de resina	63
Gráfica 6- Muestras/área de resina.....	63
Gráfica 7- Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y esmalte perdido.....	64
Gráfica 8- Muestras/esmalte perdido.....	65
Gráfica 9- Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y área de metal libre de resina.....	66
Gráfica 10- Muestras/Área de metal.....	66
Gráfica 11- Compendio de todas las mediciones.....	67



I. Resumen

Los procedimientos clínicos en la fijación de brackets sugieren fuerzas de adhesión entre 2.8 y 10.0 MPa como las adecuadas. En este trabajo se evaluó mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) la superficie del esmalte dental, antes y después del retiro de brackets. Se utilizaron 30 premolares, se realizó profilaxis, se observaron en SEM, se colocaron brackets metálicos Roth Innovation .022 GAC, adhesivo SEP transbond plus 3M y resina transbond XT 3M. Las muestras se colocaron a 37°C durante 24 horas, después sometidas a fuerzas tangenciales en la máquina universal de pruebas mecánicas Instron con una velocidad de carga de 1.0 mm/min para obtener la resistencia al desprendimiento. Se realizó Índice de adhesivo remanente de Årtun y Bergland (ARI); se observó en SEM la base del bracket y el diente. Las imágenes de SEM de los brackets se procesaron en AutoCAD para determinar el área desprendida de esmalte. En la prueba de resistencia al desprendimiento se obtuvo un valor promedio 6.8MPa (DS \pm 3.2 MPa). El 63.3% de la muestras presentaron valor 1 ARI, El 20% valor 2, el 13.3% valor 3 y el 3.3% presentó el valor de 0. En aquellas muestras donde hubo pérdida de esmalte se presentan diferentes patrones como son fracturas, escalones, pérdida horizontal y vertical en algunos casos, y pequeñas líneas de rayado. No existe asociación entre la resistencia al desprendimiento y la presencia de esmalte. En la mayoría de las muestras se observó menos de la mitad de adhesivo remanente en el esmalte dental al aplicar la prueba de Índice de Adhesivo Remanente (ARI). A medida que aumenta el área de resina también aumenta la resistencia al desprendimiento y a medida que aumenta el esmalte perdido y el área de metal libre de resina menor es la resistencia al desprendimiento.



Abstract

Scanning Electrón Microscopy (SEM) analysis of dental enamel, analítics after debonding the braces. Comparative study with the debonding forces

The clinical procedures when braces fixation suggest adhesion forces between 2.8 and 10.0 MPa as appropriates. The dental enamel edge was evaluated in this study by SEM before and after debonding the braces. 30 bicuspidis with prophylaxis were used and observed with SEM, metallic braces (Roth Inovation .022 GAC) were bonded with Transbond Plus SEP 3M Unitek adhesive and Transbond XT 3M resin. The samples were colocated to 37°C during 24 hours and submitted to tangential forces with the Instron Universal machine with speed load sheading 1.0mm/min to obtain the strength resistance when debonding. ARI test was made, the base of the braces and bicuspidis were observed. All the SEM images of the braces were processed with AutoCAD to determine de enamel detached area. An average value of 6.86MPa (SD±3.2MPa) was obtained to response of the resistance test when debonding. The 63.3% of the samples presented value 1 ARI, the 20% value 2, the 13.3% value 3 and 33% presented value of 0. All those samples with dental enamel lost presented different situations as fractures, steps, horizontal lost, and vertical in some cases, and little lines of scratches. There is no association between the debonding resistance and enamel presence. Less than the half of remanent adhesive on dental enamel in most of the samples when ARI test was applied. When the resin area increases, also increase the debonding resistance, and when the lost enamel increases, the less resin free metallic area is the debonding.



II. Introducción

Existen reportes de fracturas y pérdidas del esmalte al desprender brackets cerámicos, este riesgo se reduce utilizando brackets metálicos, aún así puede ocurrir un pequeño grado de fractura en el esmalte debido a la naturaleza micromecánica de la adhesión entre una resina compuesta, el agente de adhesión y la superficie del esmalte grabada. Por lo tanto será casi inevitable que ocurra cierta pérdida del esmalte. Se han sugerido fuerzas de adhesión entre 2.8 y 10 MPa como adecuados para situaciones clínicas para la fijación de brackets, valores de resistencia al desprendimiento muy elevados son indeseables por la excesiva fuerza que se necesita para desprender el bracket, resultando esto en un posible daño al esmalte. Los sistemas adhesivos están continuamente evolucionando para simplificar los pasos en los procesos de adhesión de brackets. Los diferentes sistemas adhesivos son clínicamente aplicados en dos o tres pasos.

El propósito de este estudio in vitro es obtener información que sirva para identificar el esmalte dental por microscopía electrónica de barrido (SEM) antes y después del retiro de brackets con base al valor de resistencia al desprendimiento en MPa.

III. Planteamiento del problema

El daño al esmalte puede atribuirse a la limpieza con abrasivos antes del grabado, el grabado ácido, fracturas del esmalte causadas por la remoción de los brackets, o la remoción mecánica de la resina compuesta remanente con instrumentos rotatorios. Al mismo tiempo la fuerza de adhesión debe mantenerse a un nivel que permita el desprendimiento de brackets sin causar daños a la superficie del esmalte.

Pregunta de investigación

¿A mayor valor de resistencia al desprendimiento existe mayor pérdida de esmalte dental?.



IV. Justificación

La evaluación con SEM proveerá de información de la posible pérdida de esmalte al momento de remover los brackets en función de la resistencia al desprendimiento. Valores de resistencia al desprendimiento muy elevados son indeseables por la fuerza excesiva que se necesita para desprender el bracket, resultando esto en un posible daño al esmalte. La fuerza de adhesión del adhesivo debe ser suficiente para soportar las fuerzas de masticación, el estrés producido por los arcos y el abuso de los pacientes, así como poder controlar el movimiento de los dientes en los tres planos del espacio.

V. Hipótesis

- Ha1.- A mayor valor de resistencia al desprendimiento entre el bracket y la superficie del diente existe mayor pérdida de esmalte dental.
- H01.- A mayor valor de resistencia al desprendimiento entre el bracket y la superficie del diente existe igual o menor pérdida de esmalte dental.
- Ha2.- La ubicación de la falla de adhesión utilizando el Índice de adhesivo remanente es mayor en el esmalte dental
- H02.- La ubicación de la falla de adhesión utilizando el Índice de adhesivo remanente es igual o menor en el esmalte dental

VI. Objetivo general

Evaluar mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) la superficie del esmalte dental, antes y después del retiro de brackets en premolares extraídos en el mes de Enero a Febrero de 2010 en la clínica de Cirugía Maxilofacial de las clínicas DEPel-FO.



VII. Objetivos específicos

- Evaluar mediante SEM los daños ocasionados en los prismas del esmalte, después del desprendimiento de brackets, con base a los valores de resistencia al desprendimiento en MPa comparar y determinar cual valor de estos producen menos daño al esmalte.
- Determinar el Índice de adhesivo remanente en el esmalte dental en premolares extraídos.



Capítulo 1: Antecedentes

1.1 Esmalte dental

El esmalte es el tejido más duro del organismo, estructuralmente está constituido por millones de prismas altamente mineralizados que lo recorren en todo su espesor, desde la conexión amelodentinaria (CAD) a la superficie externa o libre en contacto con el medio bucal.¹

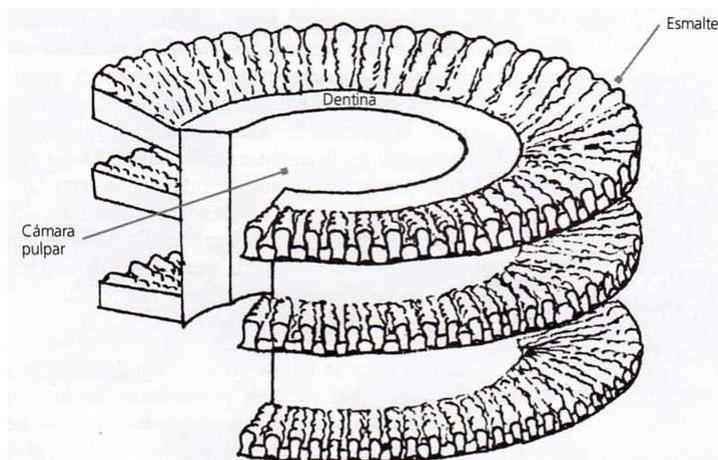


Figura 1.- Diagrama de disposición de los prismas en los planos circunferenciales sobre la superficie de la dentina. (Ferraris G.)¹

La dureza del esmalte se debe a un porcentaje muy elevado (95%) de matriz inorgánica, 4% agua, y muy bajo (1-2%) de matriz orgánica.^{2, 3, 4, 5} Los cristales de hidroxiapatita están constituidos por fosfatos de calcio, que representan el componente inorgánico del esmalte. En esto se asemeja a otros tejidos mineralizados como el hueso, la dentina y el cemento.¹ El esmalte contiene una estructura especial de prismas inorgánicos alineados, los cuales contiene una estructura especial de prismas inorgánicos alineados, los cuales corren aproximadamente perpendicular a la superficie del diente.⁶

El esmalte en su superficie externa está en contacto directo con el medio bucal. En los dientes erupcionados están tapizados por una película primaria (último producto de la secreción ameloblastica) que ejerce una función protectora, ésta desaparece al entrar en oclusión, suele persistir a nivel cervical. Después se cubre con una película secundaria exógena de origen salival y encima la placa dental.¹

Los cristales del esmalte son extremadamente largos respecto a su grosor y están altamente orientados. Generalmente se extienden desde la dentina subyacente hacia la superficie del diente y están organizados en fascículos, denominados prismas. La mineralización involucra el movimiento neto de iones fuera de la solución, en donde sus cargas se disipan por interacciones con las moléculas de agua, para entrar a una estructura sólida estabilizada por enlaces covalentes entre iones con cargas opuestas. La estructura mineral que se forma en los dientes está estrechamente relacionada con la hidroxiapatita cálcica $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ pero contiene impurezas como carbonato que sustituye al fosfato en la red cristalina.^{7, 8}

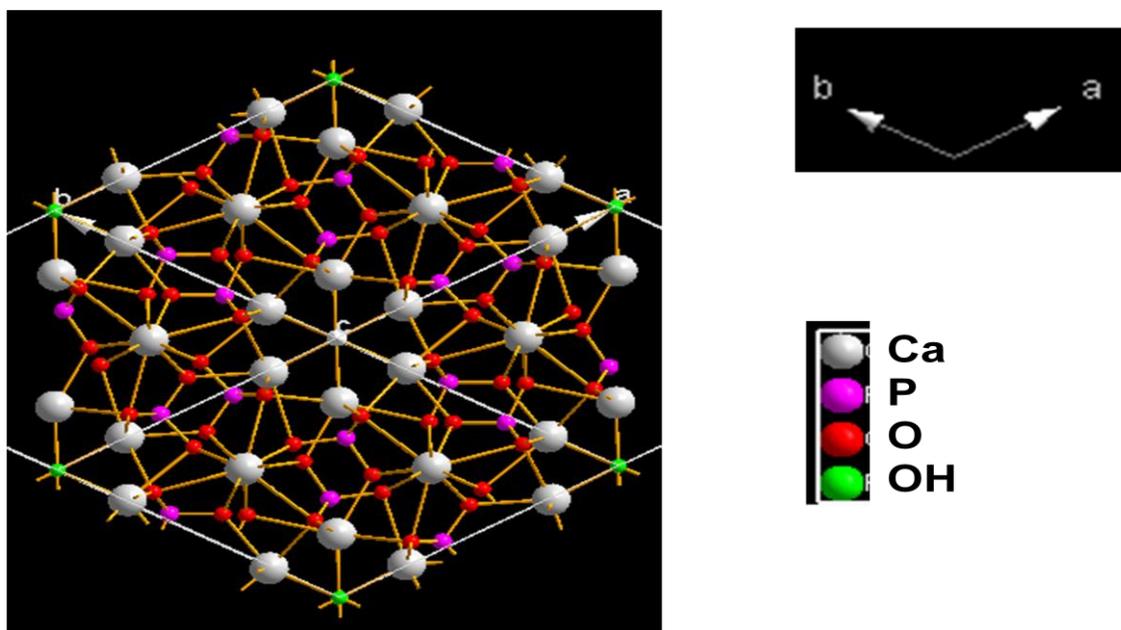


Figura 2.- Estructura cristalina de la hidroxiapatita.

1.1.1 Etapas de formación del esmalte

La amelogenénesis ocurre en dos etapas en un compartimento extracelular bien delineado. La formación de la dentina y el esmalte tienen lugar simultáneamente y ambos procesos empiezan a lo largo de una línea que se convertirá en la unión esmalte-dentina. De lado del esmalte de la unión esmalte-dentina, los núcleos de los cristales se alargan en listones delgados largos. Estos listones están espaciados uniformemente, orientados paralelamente entre sí y se extienden desde la unión esmalte-dentina hasta el frente de mineralización exactamente fuera de la membrana



de los ameloblastos, conforme los ameloblastos secretan proteínas del esmalte, los cristales siguen aumentando de longitud, pero crecen muy poco en ancho y espesor. La longitud final de los cristales está determinada por cuanto tiempo los ameloblastos siguen agregando proteínas del esmalte, lo cual también determina el espesor final de esmalte, el cual es decidido genéticamente, los ameloblastos experimentan una transición que reduce su secreción de proteínas del esmalte, secretando proteinasas, la matriz orgánica se degrada y desaparece repentinamente del compartimiento extracelular. Estos cambios terminan el crecimiento de los cristales del esmalte en cuanto a longitud, y aceleran mucho su crecimiento en cuanto a ancho y espesor. El alargamiento de los cristales se detiene al reprimir la secreción de constituyentes de la matriz del esmalte tales como amelogenina, ameloblastina y enamulina. La deposición de mineral sobre los lados de los cristales se acelera debido a la degradación y eliminación de los productos del desdoblamiento de proteínas del esmalte inhibidores del crecimiento. La etapa de maduración durante la cual los cristales crecen en ancho y espesor, toma aproximadamente de 3 a 4 años, este proceso es necesario para endurecer la capa del esmalte y está dirigido por ameloblastos en la etapa de maduración.⁷

1.1.2. Espacio extracelular

Durante el desarrollo embrionario, las células que cubren la cresta neural invaden el tejido conectivo subyacente y migran a las prominencias maxilar y mandibular. Estas células migratorias comparten características de los tejidos epitelial y conectivo (ectomesenquima). A lo largo de los procesos maxilar y mandibular se da la iniciación de los 20 dientes deciduos, en cada sitio en epitelio oral se engruesa mientras el ectomesenquima subyacente derivado de la cresta neural se concentra o se condensa debajo de él. Las interacciones entre estos dos tipos de tejido conducen finalmente a la formación de dos capas opuestas de células cilíndricas, ameloblastos y odontoblastos. El espacio extracelular entre los ameloblastos y los odontoblastos es en donde se desarrolla cada diente. La dentina se forma del lado de los odontoblastos, y el esmalte se forma del lado de los ameloblastos. Las células en estas capas están conectadas por las uniones intercelulares y constituyen una

barrera que impide el paso de moléculas entre las células. Histológicamente la formación de los dientes se divide en las fases de germen, brote, casquete, campana y folículo dentario.⁷

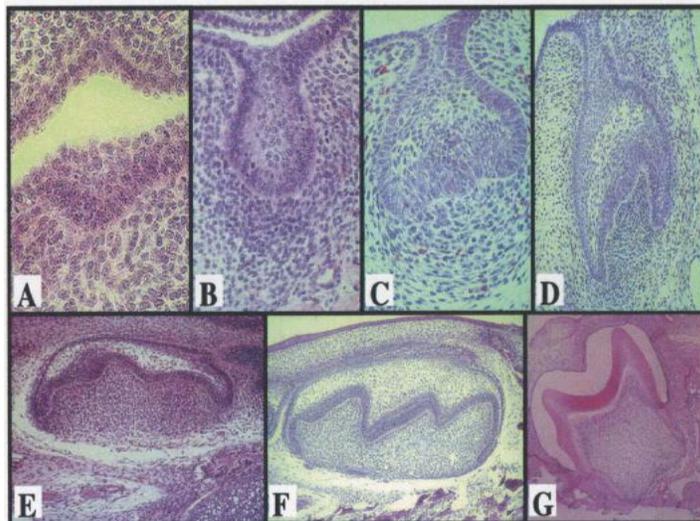


Figura 3.- Cambios histológicos durante la formación temprana de los dientes. Se muestra molares de ratón en procesos de desarrollo A) iniciación del diente B) etapa de germen, C) etapa de capuchón, D-F) etapa de campana, G) formación de las raíces. La corona del molar se presenta antes del comienzo de la mineralización. (Simmer J.P)⁷

1.1.3. Formación del esmalte durante la etapa secretoria: alargamiento de los cristales

Los ameloblastos secretores son células cilíndricas altas con un núcleo polarizado próximamente y uniones célula-célula proximal y distal. Después de depositar la capa de esmalte aprismático, los ameloblastos secretores desarrollan el proceso de Tomes especializado en forma de cono en sus extremos secretores. El depósito de mineral ocurre principalmente en un frente de mineralización muy cerca de la membrana celular de los ameloblastos. Los cristales del esmalte se extienden en sitios de crecimiento extracelulares a una corta distancia de las caras secretoras de la membrana celular ameloblastica, en lo que parece ser una matriz constituida por ensambles de proteína de la matriz del esmalte.⁷

Durante la etapa secretora, los cristales de esmalte no crecen continuamente, se extienden en incrementos, cada uno representa la cantidad de alargamiento del cristal que ocurre en un solo día, y se manifiesta estructuralmente como estrías transversales del prisma, las más sobresalientes ocurren en un periodo de 9 días y se conocen como estrías de Retzius o líneas de incremento, estas terminan en la

superficie del esmalte en el borde de pequeños escalones conocidos como periquimatías.⁷

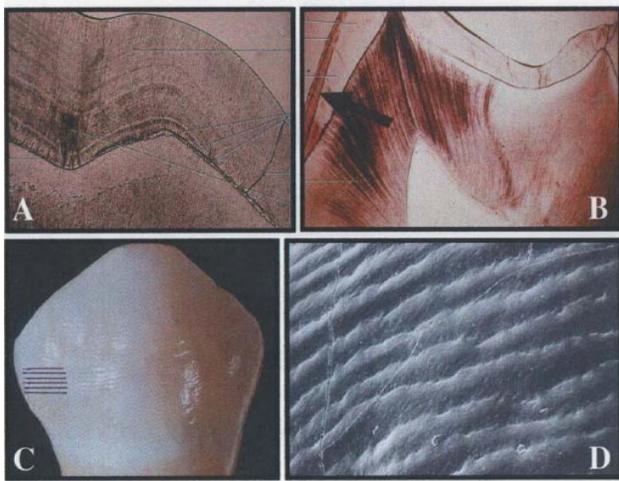


Figura 4.- En la imagen A y B se muestran líneas de incremento en secciones de molares primarios humanos. La flecha indica una línea neonatal. La imagen C y D. muestran periquematías sobre la superficie del diente. Las periquematías ocurren cuando las líneas incrementales alcanzan la superficie del esmalte. (Simmer J.P)⁷

1.1.4. Formación del esmalte durante la etapa de maduración: engrosamiento de los cristales

La mayor parte del mineral en la capa del esmalte se deposita durante la etapa de maduración. Los ameloblastos mueven a los iones de calcio, fosfato y bicarbonato dentro de la matriz y elimina agua. El bicarbonato es generado por la anhidrasa carbónica II, la cual es expresada fuertemente por los ameloblastos, empezando en la etapa de transición. Una característica significativa de la etapa de maduración es que el pH del fluido que rodea a los cristales del esmalte oscila entre 6 a 7.2, estas fluctuaciones son similares a las que el diente experimenta naturalmente, después de su erupción en la cavidad oral. Los cristales del esmalte en proceso de desarrollo no son estructuralmente homogéneos.⁷

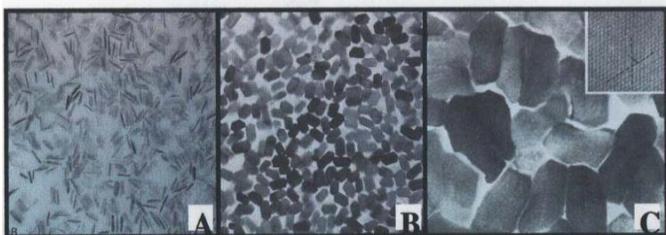


Figura 5.- Secciones transversales de cristales del esmalte. A) Etapa secretora (160,000x), B) etapa de maduración temprana (160,000x) y C) después de la erupción del diente (780,000x).⁷



Los cristales que no son susceptibles a la disolución por ácido son eliminados selectivamente durante el ciclo del pH, por lo tanto durante la etapa de maduración, ocurre un proceso evolutivo en el cual el mineral relativamente lábil ante el ácido es remplazado por apatita más resistente al ácido. Este proceso también ocurre en la cavidad oral después de la erupción, de tal manera que el esmalte se hace más resistente a la caries con el tiempo.⁷

1.1.5. Prismas

El esmalte está formado por bastones o prismas, vainas del esmalte, y sustancia interprismática de unión. A partir de la unión amelodentinaria los prismas siguen una dirección hacia la superficie del diente. La longitud de la mayor parte de los prismas es mayor que el espesor del esmalte, debido a su dirección oblicua y su curso ondulado. El diámetro de los prismas mide $4\mu\text{m}$ en promedio. Se ha dicho que su diámetro aumenta, a partir de la unión amelodentinaria hacia la superficie, en una proporción de 1:2 aproximadamente. El diámetro de los prismas varía entre $4\text{-}10\mu\text{m}$, es menor en su origen y aumenta a medida que se acerca a la superficie libre. El número de prismas varía en relación con el tamaño de la corona entre 5 y 12 millones.¹

Orban menciona que los prismas del esmalte fueron descritos por primera vez por Retzius en 1837. Normalmente tienen aspecto cristalino claro, lo que permite a la luz pasar a través de ellos. En corte transversal aparecen ocasionalmente hexagonales y algunas veces se ven redondos u ovals. Muchos prismas de esmalte humano parecen escama de pescado en cortes transversales.⁹ Vistos a través de SEM en cortes longitudinales, se observan como bastones irregularmente paralelos y en cortes transversales como ojo de cerradura de llave antigua. Lo que permite distinguir dos regiones: cabeza o cuerpo y cola. La cabeza corresponde a la región más ancha y se halla limitada por superficies cóncavas, con un diámetro de $5\mu\text{m}$, la región de la cola es más delgada encontrándose situada debajo de la cabeza. La distancia entre la parte media del borde convexo de la cabeza hasta la cola es de $9\mu\text{m}$, de longitud. Las cabezas de los prismas se encuentran siempre ubicadas entre las colas de los prismas subyacentes, es decir un sistema de engranaje el cual le

proporciona una mayor resistencia ya que la cabeza soporta los choques de las fuerzas masticatorias y las colas las distribuyen y las disipan.¹

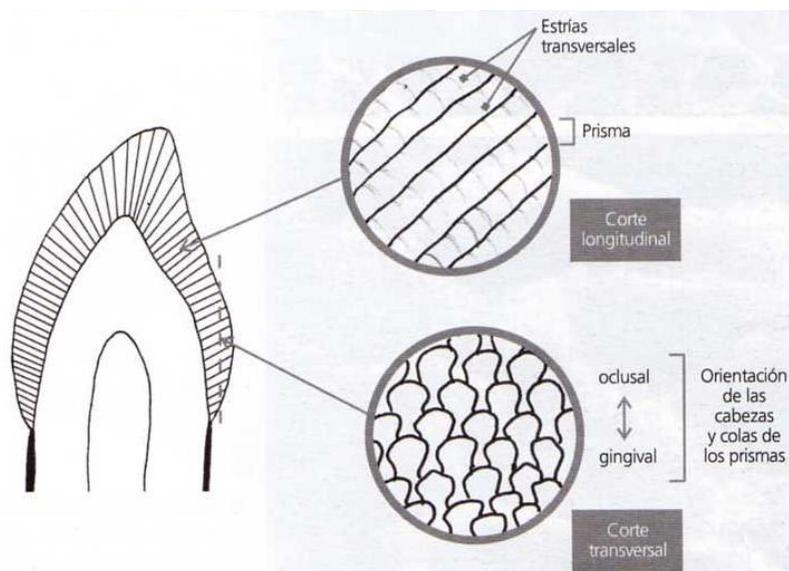


Figura 6.- Diagrama que representa estructuras determinadas por variaciones en la dirección de los prismas; estructuras sin esmalte y el aspecto de la conexión amelodentinaria (Ferraris G.)¹

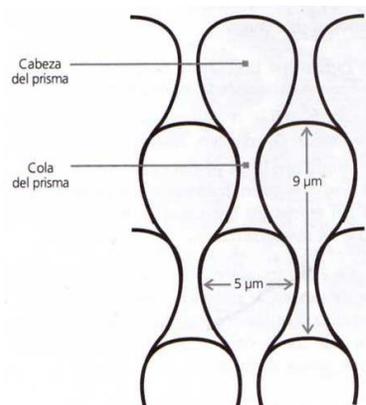


Figura 7.- Corte transversal de los prismas (Ferraris G.)¹

1.1.6. Dirección de los Prismas

Los prismas están orientados en ángulos rectos respecto a la superficie de la dentina. Cerca del borde incisivo o de las puntas de las cúspides cambian hacia una dirección más oblicua, hasta ser casi verticales en la región del borde o de la punta de las cúspides. La disposición de los prismas en los dientes permanentes es similar en los dos tercios oclusales de la corona. Sin embargo, en la región cervical se desvían de la posición horizontal para tomar una dirección apical. Los prismas siguen un curso ondulado desde la dentina hasta la superficie del esmalte. Si la parte media de una corona se divide en discos horizontales delgados, los prismas en los discos adyacentes se doblan en direcciones opuestas. En el tercio

externo del esmalte cambian frecuentemente hacia una dirección radial casi recta. En el disco adyacente los prismas se dirigen hacia la derecha. En esta desviación alterna de los prismas en sentido de las manecillas del reloj, y en dirección inversa a partir de la dirección radial, se pueden observar en todos los niveles de la corona.¹⁰

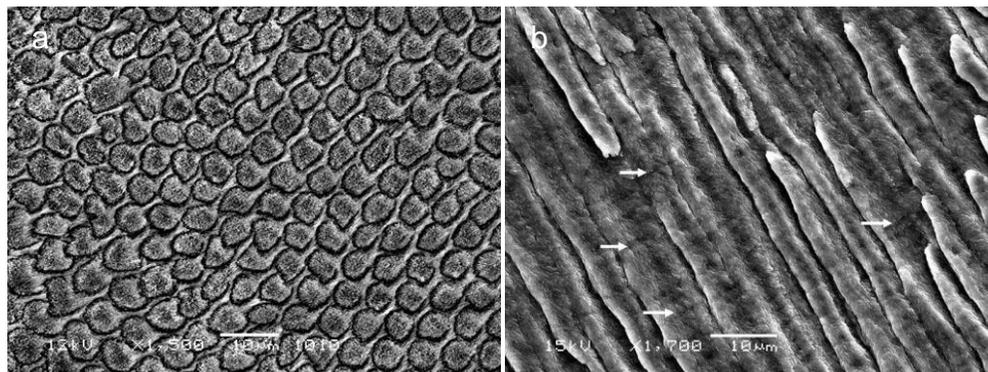


Figura 8.- A) Corte transversal. Se observan distintas formas de los prismas en sección transversal. (Ovoide, circular, en ojo de cerradura) B) Prismas en sección longitudinal que presenta líneas oscuras transversales (estriaciones)¹²

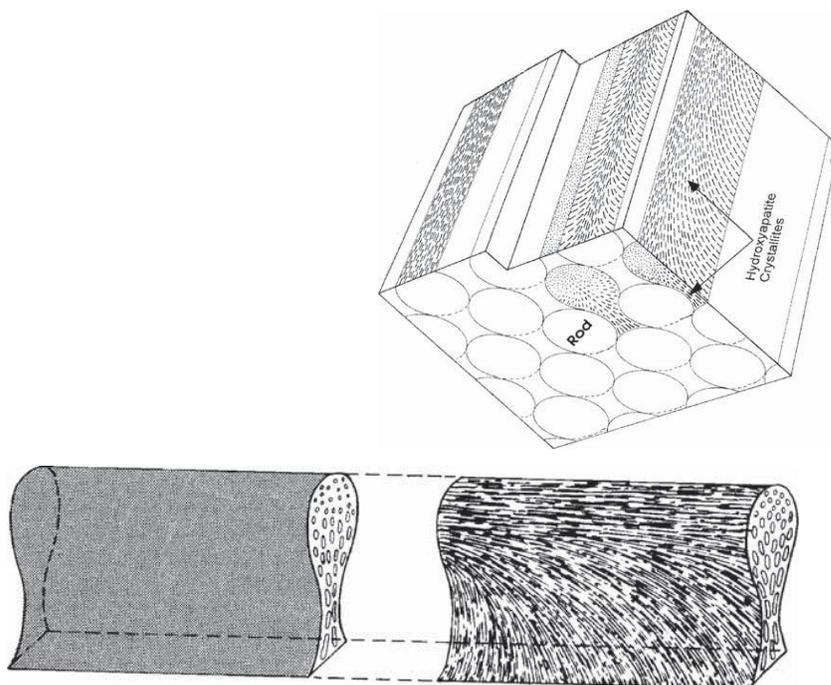


Figura 9.- La estructura del esmalte y la estructura de las varillas.⁹

Si los discos se cortan en un plano oblicuo, especialmente cerca de la dentina, en la región de las cúspides, o de los bordes incisivos, su disposición parece ser más complicada, las bandas de prismas parecen entrelazarse más irregularmente. Este aspecto óptico del esmalte se llama esmalte nudoso. Los prismas del esmalte



que forman las fisuras y las fositas del desarrollo, como las de la superficie oclusal de molares y premolares convergen hacia fuera.⁷

1.1.7. Ultraestructura

El esmalte está compuesto por cristales individuales que son más largos y más orientados que otros tejidos mineralizados, formado por una matriz mediada por una biomineralización. Los cristales se precipitan a partir de una solución saturada dentro de un compartimiento biológico bien delimitado. Los primeros cristales aparecen en la unión amelodentinaria (UAD) y crecen rápidamente en forma de cintas. La forma y el patrón de crecimiento de estos cristales puede ser interpretado como la evidencia de una fase precursora de fosfato octacálcico (POC). Un POC presenta en su plano (100) una superficie que puede actuar como una plantilla para la precipitación de la hidroxiapatita.¹

Ichijo y col.¹¹ examinaron la ultraestructura de los cristales de esmalte, dentina y hueso humanos en una resolución cercana a la atómica y mostraron la configuración de la estructura de la hidroxiapatita a través de cortes transversales y longitudinales de los cristales y fueron capaces de examinar directamente las imágenes de las imperfecciones de la red en los cristales del esmalte y hueso humano, tales como los defectos puntuales, vacancias, segregación de la estructura, y los defectos lineales, fallas de apilamiento y fronteras de grano.



Capítulo 2:

Sistema adhesivo y Bracket

2.1. Antecedentes

La introducción de la técnica de grabado ácido para la adhesión de brackets ha resultado ser un método importante en el tratamiento ortodóntico, reduciendo la incidencia de fallas de adhesión en el esmalte durante el tratamiento.¹²

2.1.1. Patrones morfoestructurales utilizados en la técnica de grabado

El grabado ácido permite eliminar la placa dentaria y diluir el esmalte a una profundidad de 10µm, facilitando la adhesión de los distintos materiales de restauración.¹ Durso G.¹³ y Koenigswald W.¹⁴ menciona que Boyde y Martin denominan patrones a la disposición de los prismas basándose en la clasificación de Boyde de la microestructura del esmalte. La técnica de grabado permite establecer como tres patrones diferentes

- I. El centro del prisma aparece erosionado permaneciendo insoluble la periferia.¹ Los prismas están completamente rodeados por una vaina del prisma y dispuestos en un patrón hexagonal.¹²

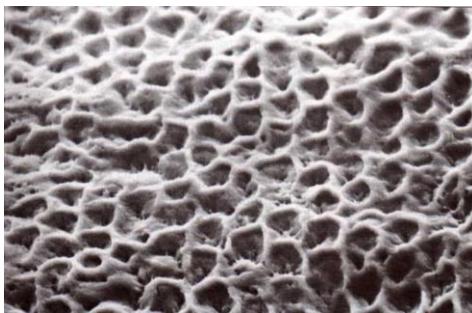


Figura 10- Grabado ácido patrón I. (Ferraris G)¹

- II. La periferia de los prismas aparece erosionada y permanece insoluble la zona central.¹ La vaina del prisma está abierta basalmente y los prismas se ordenan en hileras verticales divididas por laminas entre ellas.¹²

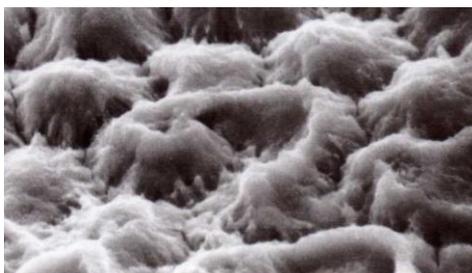


Figura 11- Grabado ácido patrón I y II. (Ferraris G.)¹

III. Se produce una erosión generalizada y se configuran imágenes que vagamente recuerdan la morfología prismática en escamas de pescado o en ojo de cerradura.¹ La vaina del prisma también está abierta basalmente y organizada en hileras horizontales pero en posición alterada.¹²



Figura 12- Grabado ácido patrón III. (Ferraris G.)¹

Silverstone LM¹⁵ evaluó los efectos de la concentración de ácido variando entre el 20% al 70% cuando se aplicaban de 1 a 5 min y sus efectos en la estructura superficial. Reportó observaciones de 3 patrones de grabado básicos incluyendo: tipo I, disolución de los núcleos de los prismas; tipo II disolución de la periferia de los prismas y tipo III una mezcla entre el tipo I y II

Lindauer S.¹⁶ observó un rango completo de patrones de grabado mediante SEM, en muestras con profilaxis y sin profilaxis incluyendo los patrones de grabado tipo I, II y III descritos por Silverston¹⁵. En los dientes con profilaxis encontraron, para el patrón de grabado I, con la característica principal de panal de abeja, los prismas ahuecados con la periferia del esmalte intacta. Reportó también que en unas muestras también exhibieron patrón de grabado tipo II donde preferentemente el grabado se presentó en la periferia. En una menor amplificación a 150x y distribuidos de la misma manera se observaron periquimatis en la superficie del esmalte y ralladuras profundas resultado del pretratamiento de profilaxis, se presentaron en un patrón aleatorio. En las muestras sin profilaxis los patrones de grabado fueron generalmente similares al grupo con profilaxis. Los patrones de grabado tipo I y II fueron evidentes. En algunas áreas también placa dental y/o restos fueron observados como contaminantes del grabado de la superficie del esmalte.¹⁶

Olsen M.¹⁷ menciona que la apariencia microscópica del esmalte grabado ha sido frecuentemente descrito por tener un patrón de panal.



Horiuchi¹⁸ comparo un sistema adhesivo de autograbado, demostró un patrón de grabado más conservador, una menor cantidad de desmineralización, y menor penetración del adhesivo a la superficie del esmalte.

2.1.2 Adhesivo Autograbadador

La tecnología de los adhesivos se ha desarrollado rápidamente desde que se introdujeron hace más de 50 años, la mayor cualidad para los adhesivos dentales es proveer un efecto de adhesión. La adhesión al esmalte ha demostrado ser duradera. El adhesivo de autograbado es comúnmente considerado como una técnica sensible con el menor error en el procedimiento de aplicación clínica.¹⁹

Los adhesivos de autograbado han generado un amplio interés, siendo populares actualmente y de mayor uso debido a sus procedimientos de aplicación simples. Los adhesivos autograbadadores también son reportados por mostrar un patrón de grabado más conservador pero manteniendo una adecuada adhesión.²⁰

Los sistemas de unión convencionales utilizan tres pasos para preparar la superficie del esmalte, a saber: un acondicionador de esmalte, una solución adhesiva y una resina adhesiva. Se han introducido autograbadadores ("Self-Etching Primer") que reducen los pasos de unión clínica y tiempo en el sillón.²¹ Este autograbadador se desarrolló originalmente como un agente potencial de unión de dentina. Las ventajas de un solo paso de grabado/adhesivo incluyen la penetración simultánea del autograbadador evitando así errores técnicos, acortando el procedimiento de adhesión clínico, reducción del tiempo del procedimiento, y la eliminación de la contaminación cruzada de grabador y adhesivo.¹⁴

El adhesivo de autograbado SEP Transbond plus es un sistema de adhesivo dental desarrollado para bondeado ortodóntico. Este sistema cuenta con 3 compartimentos. El primero contiene éster ácido fosfórico metacrilato, iniciadores, estabilizadores; el segundo contiene agua, complejos de fluoruro y estabilizadores, y el tercero está vacío. Para su activación, los químicos de los primeros 2 compartimentos se aprietan hacia el tercer compartimento, obteniendo como resultado una mezcla que puede ser aplicada directamente a la superficie del diente.²² Este adhesivo permite una



adhesión y un grabado simultaneo del esmalte sin requerir el tradicional lavado después de la aplicación del ácido. De acuerdo al fabricante cada porción individual contiene material suficiente de adhesivo autograbado para una arcada.^{22, 23}

La investigación de los autograbadores sobre la eficacia de una fuerza de unión a esmalte ha sido limitada.²⁴ Trites B.¹² menciona que Self-Etching Primer es considerado como un adhesivo hidrofílico biocomponente con complejos fluorhídrico, agua desionizada, un estabilizador, metacrilato ortofosfórico activadores y estabilizadores en un compartimiento separado. Esteres de ácido fosfórico desmineralizan esmalte y la dentina en la misma forma que el de ácido fosfórico al 30%-50% utilizado en la técnica de grabado tradicional.¹² Hosein I.²⁵ menciona que el ácido comúnmente más utilizado es el ácido fosfórico al 37% durante 15 a 30 seg por diente. Cuando la solución mezclada se aplica al esmalte, el monómero se convierte en ácido neutro. El pH se eleva mediante aceptación de iones de calcio de los cristales de hidroxiapatita, deteniendo la desmineralización, y los iones se encapsulan para proporcionar la infiltración por el adhesivo para la adhesión micromecánica de las resinas. El patrón de grabado producido por esterres de metacrilato de ácido fosfórico crea un patrón en el esmalte y la dentina similar a la convencional de grabado ácido.²⁶

La resistencia al desprendimiento de self-etching primer puede variar de 2.8 a 11.5 MPa. Bishara²¹ y de 10.4 a 11.8 MPa para un sistema adhesivo convencional. En otro estudio Bishara²⁴ reportó valores la resistencia al desprendimiento de self-etching primer (Prompt L-Pop) de 7.1 MPa.

Arnold²⁷ reporta resistencia al desprendimiento de 8.0 a 9.8 MPa.

Velo²⁸ reporta para un sistema de self-etching primer, resistencia al desprendimiento a la tracción de 11.5MPa.

Un adhesivo de ortodoncia ideal debe tener una fuerza de unión adecuada, manteniendo el esmalte impecable. Velo¹⁸ y Bishara²⁹ estudiaron fallas de adhesión de self-etchin-primer sin mucho éxito. Fallas adhesivas en la superficie del esmalte



puede ser el resultado de la reducida profundidad de desmineralización, disminuyendo así el tiempo necesario para limpiar la superficie del esmalte.^{15, 19}

El sistema Prompt-L-Pop fue el primer adhesivo de sexta generación en salir al mercado dental.³⁰ La misma composición química se utilizó en el adhesivo de autograbado ("transbond plus self etching primer"; 3M Unitek, Monrovia, California) para ortodoncia. Numerosos estudios in Vitro se publicaron sobre la efectividad de este adhesivo de autograbado.^{31,32}

Cabe destacar que hasta ahora no se han observado diferencias entre la resistencia al desprendimiento del bracket y el esmalte, tratados con el adhesivo de autograbado y por el método convencional.^{22, 33, 34, 20}

Al hablar de adhesivos es necesario definir lo que es la adhesión; ésta se entiende como la propiedad que mantiene dos o más sustratos unidos (similares o diferentes), sin que se separen; se logra principalmente a través de dos mecanismos:

- a) Químico: Mediante la atracción interatómica entre dos o más sustratos, a través de enlaces iónicos, covalentes y enlaces secundarios como podrían ser las fuerzas de Van der Waals, fuerzas polares, puentes de hidrógeno, quelación y fuerzas de dispersión.^{35, 36}
- b) Físico: Este mecanismo de adhesión también se conoce como sistema de traba mecánica, se logra a través de los efectos geométricos y estructurales entre los sustratos adherentes.⁵

Van Meerbeek²⁷, menciona que el fenómeno de adhesión es esencialmente un proceso de remoción de minerales (calcio, fosfatos) e infiltración de monómeros resinosos in situ, con la finalidad de crear una traba mecánica entre el adhesivo y la estructura dentaria.³⁷

Vilchis R.²⁸ utilizó 4 adhesivos autograbadores y un grupo grabado con ácido fosfórico al 37%. Los valores de resistencia al desprendimiento de los grupos I Transbond XT (3M Unitek, Monrovia, California) fueron (19.0 ± 6.7 MPa) y II SEP Transbond Plus (3M Unitek); (16.6 ± 7.3 MPa) fueron significativamente superiores a los de los grupos III Clearfil Mega Bond (Kuraray Medical, Tokyo, Japan) (11.0 ± 3.9



MPa), IV BeautyOrtho Bond (Shofu, Kyoto, Japan) ($10.1 \pm 3,7$ MPa), y V Adhesive and Heliosit Orthodontic (Ivoclar Vivadent) (11.8 ± 3.5 MPa). El fluoruro de liberación de adhesivos (Kurasper F y BeautyOrtho Bond) mostraron valores aceptables clínicamente de resistencia al desprendimiento. Se encontraron diferencias significativas en el ARI y la fractura del esmalte entre los grupos I y II.³⁸

La resistencia al desprendimiento de los brackets debe ser suficiente para soportar fuerzas funcionales a nivel que permita el desprendimiento del bracket sin causar daño al esmalte. Valores de resistencia al desprendimiento muy elevados son indeseables por la excesiva fuerza que se necesita para desprender el bracket, resultando esto en un posible daño al esmalte.³⁹ Keizer S.³⁰ menciona que estudios sugieren resistencia al desprendimiento de 6 a 10 MPa como adecuadas en clínica.⁴⁰ Dorminey J.C³¹, menciona que la resistencia al desprendimiento observada en un estudio in vitro puede ser más alta que la observada clínicamente. Sin embargo, estos estudios proporcionan una guía para la selección del bracket/adhesivo.⁴¹

Wade⁴² evaluó la influencia del adhesivo SEP Transbond plus en diferentes tiempos de aplicación. Utilizó 40 molares en 2 grupos de 20 cada uno, la base del bracket fue de 10.3mm^2 de incisivos laterales, en el grupo I colocó el adhesivo por 3 a 5 s como lo recomienda el fabricante, en el grupo II el adhesivo se aplicó por 15s, obtuvieron valores para el grupo I de 8.0 ± 4.6 MPa y para el grupo II 8.9 ± 3.4 MPa.

Turk⁴³ evaluó el efecto de dos sistemas adhesivos SEP Transbond plus y Transbond MIP a diferentes tiempos de desprendimiento 5, 15, 30, 60 min y 24 h, en 100 premolares divididos en 10 grupos de 10 cada uno, obtuvo valores para SEP Transbond plus a 60 min de 13.1 MPa, a 24 h de 19.1 MPa. Para Transbond MIP a 60 min 12.3 MPa y a 24 h 16.8 MPa, En el índice ARI reportan valor de 3 para la mayoría de las muestras.

Bishara²³ comparó el desprendimiento con dos sistemas adhesivos, polimerizando con lámpara halógena (20 s) y lámpara LED (10 s), en 80 incisivos centrales en 4 grupos de 20 cada uno, colocó brackets metálicos y cerámicos. Obtuvieron valor de desprendimiento en Transbond MIP de 4.6 MPa y SEP Transbond plus de 8.6 MPa.



López⁴⁴ evaluó la fuerza de retención después de aplicar Transbond MIP y SEP Transbond plus, con dos tipos de base de brackets realizando desprendimiento a 48h, obteniendo valores para SEP Transbond plus 7.6 ± 2.8 MPa y para Transbond MIP con un valor promedio de 6.9 ± 2.0 MPa.

2.1.3. Resina Transbond XT®

En el sistema de resina Transbond XT (3M Unitek) su viscosidad fue diseñada para prevenir que continuamente el adhesivo se deslice del bracket. Dentro de sus ventajas extiende el tiempo de trabajo permitiendo una colocación precisa del bracket sobre el diente, puede ser adherido a brackets metálicos o cerámicos, es fácil de limpiar, tienen una fuerza inmediata de adhesión lo que permite colocar de inmediato el arco de alambre una vez polimerizado ⁴⁵

Horiuchi S. ¹⁸ menciona entre los componentes del adhesivo de autograbado Transbond Self-etching primer se encuentran ester de ácido metacrilato fosfórico, aminobenzoato, canforoquinona. La resina Transbond XT contiene TEGDMA (dimetacrilato glicol trietileno), silano-cuarso tratado, Bis-GMA (Bisfenol-glicidilmetacrilato), sílica amorfa y canfotoquinona.

2.1.4. Características del bracket metálico

Los brackets convencionales tienen: 1) una base con configuración en malla, que permite una adecuada adhesión a la superficie dentaria: 2) una ranura, que recibe al alambre, y 3) aletas o ganchos, donde pueden fijarse elásticos, módulos elásticos, ligaduras y resortes, etc.⁴⁶

Los brackets de tipo gemelos constan básicamente de dos barras paralelas orientadas verticalmente, que están separadas por una ranura en cada barra para recibir al arco de alambre principal. Los brackets de tipo simple constan de una barra vertical, con una ranura de tamaño menor que los brackets gemelos, y "aletas" que son activadas para contactar con el arco de alambre principal para control rotacional, según la necesidad mecánica. La principal desventaja de los brackets gemelos es la distancia interbracket estrecha (entre dientes adyacentes), de lo cual resulta un pequeño tramo de alambre entre los brackets, lo que reduce la flexibilidad del arco.



El tamaño de la ranura de cualquier bracket puede ser de 0.018 pulgadas o 0.022 pulgadas (0.46 o 0.56 mm).¹⁵

La retención mecánica era reforzada haciendo socavados en la base de los brackets o soldando diferentes diámetros de arcos de mallas a los brackets, así como incorporar diferentes diseños de malla, otros enfoques innovadores para improvisar la retención incluían bases con estructuras láser usando bases de estructura de metal recubiertas de plasma y fusionando partículas de cerámica o de metal a las bases. Existe controversia en cuanto al uso de base de malla sencilla o doble y sus efectos de resistencia al desprendimiento⁴⁷

Knox J.⁴⁸ evaluó diferentes diseños de bases de brackets incluyendo calibres 60,80 y 100 de grosor (0.93, 0.123, 0.154 pulgadas respectivamente) bases de malla simple, bases de malla doble y bases de metal integradas. Concluyó que el agente adhesivo afecta significativamente la resistencia al desprendimiento y esos diseños particulares de base pueden permitir mejorar la penetración del adhesivo o la penetración de la luz de fotocurado.

Maijer R.⁴⁹ evaluó diferentes mallas de brackets usando SEM e identificó un aumento de variables y observaciones que pueden afectar la adhesión del bracket incluyendo: puntos de soldadura (estos reducen el área retentiva), espuelas de soldadura (pueden reducir la adhesión en brackets con malla de aluminio), puntos de soldadura en la superficie de la unión (pueden evitar mejorar el sellado de la malla con la resina), las bases de los brackets (deben ser diseñadas para prevenir el atrapamiento de aire debajo de la base) y la mejor penetración de resina y adhesión (obtenidas con un tejido fino de la malla).⁴⁷

Los brackets GAC® Roth ovation es una serie con base de metal con una doble malla calibre 81.50 (0.126 pulgadas).⁴⁷ La estructura de la malla, está configurada por un calibre 80 (0.123 pulgadas) sobre un calibre 150 (0.231 pulgadas), microadheridos a una base de aluminio con una configuración diagonal y una aleación de metal pulverizada sobre la base (supermalla).⁵⁰

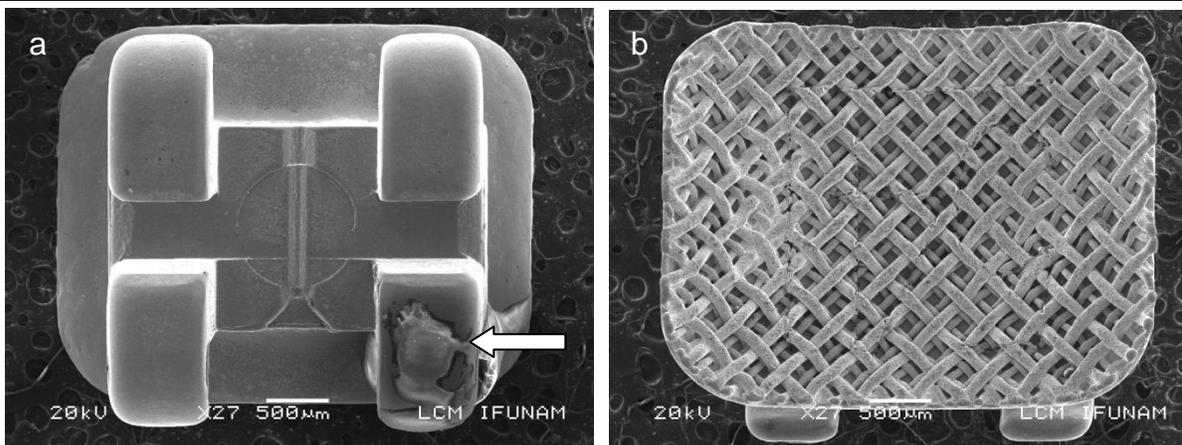


Figura 13- Bracket GAC® a) frente del bracket, donde podemos observar las aletas y el slot, con una flecha se muestra guía d colocación, b) se observa el entramado de la malla así como las uniones de soldadura y defectos en dichas uniones y las varillas que conforman el entramado de la malla como de los espacios entre el entramado, también podemos observar en más detalles los defectos en la unión de la malla.



Capítulo 3:

Microscopía Electrónica



3.1. Antecedentes

Uno de los descubrimientos más importantes y de gran impacto en la historia de observaciones biológicas y de ciencia de materiales es sin lugar a duda el microscopio, el cual nos permite observar objetos más allá de la resolución del ojo humano (aproximadamente 0.1 mm). De ellos, existen actualmente en el mercado una gran variedad de tipos de microscopios con diferentes características, entre ellos podemos destacar la microscopía óptica convencional, la confocal, la estereoscópica, la de fluorescencia, la de fuerza atómica, de efecto túnel y las microscopias electrónicas en sus diferentes modalidades, barrido y transmisión. Estas últimas han sido una fuente inagotable de conocimientos y se ha convertido en los últimos 50 años en una herramienta fundamental de la Física Moderna, la Ciencia de los Materiales, la Medicina y la Biología.

Gracias a que un microscopio electrónico tiene una gran similitud con el microscopio óptico en cuanto a la formación de la imagen, éste tuvo un desarrollo rápido. La dualidad onda-partícula en el concepto cuántico, fue uno de los principios fundamentales en el diseño del microscopio electrónico, dado en los años 20's. Louis De Broglie en 1924 dedujo una ecuación que permitió calcular la longitud de onda esperada para una partícula ⁵¹ de una cierta masa. Esto lleva a la posibilidad de lograr, que las ondas asociadas a las partículas, por ejemplo los electrones, se difractarán, puesto que la difracción es característica del movimiento ondulatorio. Una vez establecido el carácter ondulatorio, el alemán Ernest Ruska, logró el desarrollo de microscopios basados en electrones, en lugar de luz. En este caso en lugar de utilizar lentes de vidrio para enfocar la luz como sucede en el microscopio óptico, se utilizan bobinas electromagnéticas, también llamadas lentes electromagnéticas. Se les llaman lentes porque obedecen a las leyes de la óptica desarrollada para lentes de vidrio las cuales hay de dos tipos: electrostáticas y electromagnéticas: a) *La lente electrostática*, es el casco del cañón de electrones del microscopio electrónico, se compone de diferentes placas mantenidas a diferente potencial, por lo cual, la partícula que pase, se acelera por la diferencia en potencial dependiendo de la carga eléctrica. Estas placas tienen



un orificio en el centro permitiendo el paso de estas y la curvatura del campo eléctrico provoca la acción de enfoque, o sea que cuando una partícula cargada pasa a través de una lente electrostática experimenta una fuerza dirigida hacia el campo eléctrico, la cual tiene un componente hacia el eje óptico y gana impulso en esa dirección, de tal modo que es enfocada en algún punto. *b) La lente electromagnética* depende de las partículas cargadas que viajan dentro de un campo magnético experimentando una fuerza perpendicular al plano formado por la dirección de movimiento y la dirección del campo magnético, de tal manera que cuando el electrón llega al campo sufre un impulso hacia el eje óptico más una rotación alrededor del mismo.³⁸

Cuando el haz de electrones alcanza la muestra se producen varios tipos de señales que permiten establecer la estructura y composición química del material examinado. Estas señales son: Electrones retrodispersados, secundarios, absorbidos, Auger, transmitidos, difractados y Rayos X característicos (RX)^{17, 52, 53,54}

La función atribuida a cada uno de los electrones generados al chocar el haz emitido son: Los electrones retrodispersados y secundarios informan sobre la topografía de la muestra. Los absorbidos dan información sobre la resistividad de la muestra. Los Auger y Rayos X, permiten realizar el análisis químico de la muestra (Microanálisis). Los transmitidos y difractados que son los que atraviesan a la muestra y son los que utiliza la lente objetiva para formar la imagen en el microscopio electrónico de transmisión y por lo tanto dan información las características estructurales de esta.^{17, 55, 56}

Si en lugar de enfocar el plano-imagen de la lente objetiva, se enfoca el plano focal, lo que se observa es un arreglo de puntos luminosos que no son más que el arreglo de los haces difractados y transmitidos, el cual recibe el nombre de Patrón de Difracción, donde es característico observar un punto muy intenso que es el haz transmitido rodeado de varios puntos más pequeños que son los haces difractados presentando un arreglo geométrico diferente que depende del tipo y composición de la muestra observada.¹⁶



Las microscopias electrónicas de barrido y transmisión han alcanzado actualmente una resolución de hasta 0.5nm, respectivamente, lo cual era imposible pensar hace algunos años. Cabe indicar que la resolución en un microscopio óptico está limitada principalmente por la longitud de onda (λ) del espectro visible (centenares de nanómetros), en tanto que los electrones trabajando acelerados a 30 kV tienen una longitud de onda mucho menor, del orden de 0.070nm, lo cual se ve reflejado en la resolución espacial que alcanza un Microscopio Electrónico de Barrido que es de 0.5nm, es decir posee una resolución 1000 veces mayor que un microscopio óptico convencional que en general proporciona una resolución a nivel de micrómetro.^{57,2} Esta capacidad de resolver la estructura de un material hasta la escala de nanómetros en un SEM y a la escala de angstroms (10^{-10} m) en un TEM, han hecho que estas técnicas tengan grandes contribuciones en el estudio de materiales y tejidos dentales, aunado a ello, dado las técnicas analíticas asociadas a un moderno microscopio electrónico, tales como Espectroscopía por Dispersión de Energía de Rayos X (EDS), Espectroscopía por Pérdida de Energía de Electrones (EELS) y Fluorescencia de Rayos X, han propiciado que estas técnicas (SEM, TEM) sean una fuente inagotable de información, ya que es la única técnica que nos permite correlacionar una imagen con su composición química elemental, incluso hasta nivel atómico.^{41,58} Cabe indicar que hoy en día el SEM ha sido utilizado muy frecuentemente para observar tejidos dentales, materiales de relleno, recubrimientos, interfaces, etc.^{59,60,61,62,63} En particular un SEM por su capacidad para proporcionar información morfológica, topográfica, química y cristalográfica, ha contribuido considerablemente al dominio de la biología, histología, medicina, ciencia de materiales y odontología. El futuro de esta técnica resulta muy prometedor debido a su desarrollo tecnológico alcanzado al inicio del siglo XXI, en que se ha alcanzado una resolución de hasta 0.5nm en equipos de emisión de campo y con la posibilidad de trabajar a presión controlada, lo cual facilita la observación de muestras húmedas, evitando de esta manera la necesidad de recubrirlas con materiales conductores (generalmente Au).



3.1.1. Microscopio electrónico de barrido (SEM)

A finales de la década de los sesentas se dio a conocer el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM), inicialmente fue diseñado para estudiar, en alta resolución, la superficie de los sólidos, con esto se podría decir que el resultado es similar al óptico, pero el SEM posee una resolución y profundidad de foco mayores.^{17, 18, 21}

Además, debido a que posee un mayor número de señales que provienen de la interacción de los electrones con la materia, nos permite obtener mayor información sobre la orientación cristalina, la composición química, la estructura magnética o el potencial eléctrico de la muestra.¹⁷

El haz electrónico generado en un SEM barre la muestra, la cual deberá tener un procesamiento específico para materiales compuestos que no son conductores de electricidad, este procedimiento consta de un recubrimiento delgado al alto vacío de oro (Au) o carbono (C) para hacerlas conductoras. Los electrones generados barren a la muestra con un haz de sección transversal pequeño y de alta energía para generar una imagen punto a punto de ella. Los electrones emitidos en un punto son colectados por medio de detectores apropiados y utilizados para modular la polarización de la rejilla de un tubo de rayos catódicos (monitor). Si se repite varias veces este barrido la imagen punto a punto representa las características topográficas de la superficie de la muestra. Así la imagen que aparece en el monitor, es un mapa de las intensidades de los electrones emitidos por la superficie de la muestra.¹⁷

Cuando se requiere estudiar la superficie de la muestra, los electrones secundarios son utilizados para formar la imagen con una excelente resolución, cabe destacar que los electrones retrodispersados provienen de una región que se encuentra a $0.5\mu\text{m}$ por debajo de la superficie; sin embargo, los electrones secundarios provienen de únicamente de 50nm por debajo de la superficie de la muestra.^{17, 21, 22}



Capítulo 4:

Desarrollo experimental



4.1. Metodología

4.1.1. Población de estudio: 30 primeros premolares de pacientes que acudieron a la Clínica de Cirugía Maxilofacial de la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Autónoma de México quienes fueron sometidos a extracción por tratamiento de ortodoncia durante los meses de Enero a Febrero de 2010.

4.1.2. Selección y tamaño de la muestra: 30 primeros premolares superiores e inferiores derechos e izquierdos de pacientes entre 13 y 15 años extraídos con fines de tratamiento de ortodoncia divididos en 4 grupos de 15 cada uno.

4.1.3 Diseño de estudio: Experimental

4.1.4 Criterios de selección

Inclusión: Premolares extraídos por indicación en el tratamiento de ortodoncia, del mes de Enero a Febrero de 2010. (Máximo de 3 meses de haber sido extraídos). Premolares que no presenten líneas de fractura en el esmalte de la corona clínica en la cara vestibular. Premolares conservados en agua desionizada dentro de una cámara de refrigeración a 10°C después de la extracción. Pacientes de 13 a 15 años con una nutrición y talla adecuada a su edad. Que nunca hayan tenido brackets adheridos.

Exclusión: Premolares que presenten líneas de fractura y/o se encuentren muy destruidas de la corona. Premolares deshidratados, o que hayan sido conservados en medios húmedos diferentes al agua bidestilada simple. Pacientes mayores de 15 años y menores de 13 años

Eliminación: Premolares que al momento de la preparación estén deshidratados.



4.1.5. Definición y operacionalización de las variables

Independientes

Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Grabado dental: Degradación de la sustancia interprismática o una combinación de las dos, a profundidades de 10 μ m. ¹	Después de lavar los dientes se aplico adhesivo autograbador de 3 a 5 segundos y aire libre de humedad y aceite por 3 segundos.	Segundos
Brackets ROTH: Constan de una base con configuración en malla (se mide en μ m), una ranura, que recibe al alambre, y aletas o ganchos, donde pueden fijarse elásticos, módulos, ligaduras y resortes, se mide en grados.	Se utilizaron brackets Roth 0.022de GAC con malla para primeros premolares superiores e inferiores derechos e izquierdos	13.86 mm ² 11
Adhesivo remanente: Cantidad de resina adherida al esmalte dental al desprender un bracket	La superficie del diente fue examinada con un microscopio óptico 10X para determinar la ubicación de la interfase de fracaso de la unión.	ARI: Índice de Adhesivo Remanente. <ul style="list-style-type: none"> ✓ 0 se presenta adhesivo remanente en el esmalte ✓ 1 menos del 50% de adhesivo remanente en el esmalte ✓ más del 50% de adhesivo remante en el esmalte ✓ 3 100% de adhesivo remanente en el esmalte.
Resina Transbond XT® Light Cure Adhesive Paste 3M Unitek, USA) Resina fotocurable para brackets	Se colocó sobre la base del bracket y éste colocado en la superficie del esmalte con un posicionador (Calibre Boone MASEL 4000-900) El exceso de la resina se eliminó con un explorador. La resina se polimerizo por 20 s a partir de dos direcciones (mesial y distal) usando una lámpara alámbrica de resina LED (Bluephase C5 Ivoclar vivadent clinical USA, ser. No. 1651190, 100-240 V AC, 50-60 Hz) con una energía de la salida de 600 mW/cm ² .	

Dependientes

Definición conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Resistencia al desprendimiento: Fuerza que actúa sobre el área unitaria en la que se aplica	Una vez Adherido el bracket al esmalte del diente, se monto el espécimen en la máquina universal de pruebas mecánicas Instron, la fuerza se aplica utilizando una velocidad de carga de 1mm/min hasta lograr el desprendimiento del bracket	MPa
Prismas perdidos: cantidad pérdida de estructura compuesta por cristales de hidroxiapatita en forma de varillas o prismas dispuesta oblicuamente sobre la superficie del diente.	Una vez desprendidos los brackets se tomaron fotografías en el SEM donde solo se observo presencia o ausencia de primas	Presente ausente
Área de resina: cantidad de resina adherida a la malla del bracket	Las fotografías adquiridas por microscopía electrónica se procesaron con AutoCAD 2009 calibrando la medida del bracket, se cuantificó la cantidad de resina presente en el bracket	mm ²
Área de esmalte: cantidad de esmalte adherido a la resina	Las fotografías de microscopía electrónica se procesaron con AutoCAD 2009 calibrando la medida del bracket, se cuantificó la cantidad de esmalte presente en el bracket	mm ²
Área de metal: cantidad de metal del bracket libre de resina y esmalte	Las fotografías de microscopía electrónica se procesaron con AutoCAD 2009 calibrando la medida del bracket, se cuantificó la cantidad de metal libre de resina en el bracket	mm ²

4.1.6. Preparación de las muestras

4.1.6.1. Conservación de premolares: Estos se mantuvieron en agua desionizada, se asignaron aleatoriamente etiquetas en recipientes individuales, y fueron refrigerados para mantenerlos a una temperatura constante de 4°C como se muestra en la figura 14



Figura 14- Conservación de las muestras antes del proceso de experimentación

4.1.6.2. Observación inicial con SEM. Los dientes se asearon, se pulieron con pomez y copas de hule para profilaxis durante 10seg, se enjuagaron y se limpiaron. Se realizó una primera observación de la superficie vestibular donde posteriormente se colocaron los brackets, primero se realizó un corte longitudinal mesiodistalmente para obtener la cara vestibular de aproximadamente 3mm de espesor y se cortó 2/3 de la raíz, posteriormente se marcó la corona clínica con tinta permanente la cara vestibular longitudinal y mesiodistalmente, sin tocar el área donde se colocó el bracket, estas marcas servirán como referencia para las observaciones en el microscopio como se muestra en la figura 15 y 16

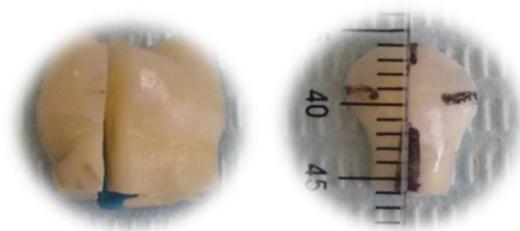


Figura 15- a) Se muestra la manera en la que se realizó el corte de 3mm, b) se le colocaron la marcas con tinta permanente dejando libre el centro con ayuda de una regla

Observaciones en SEM de la cara vestibular. Tomando 4 fotografías por diente.

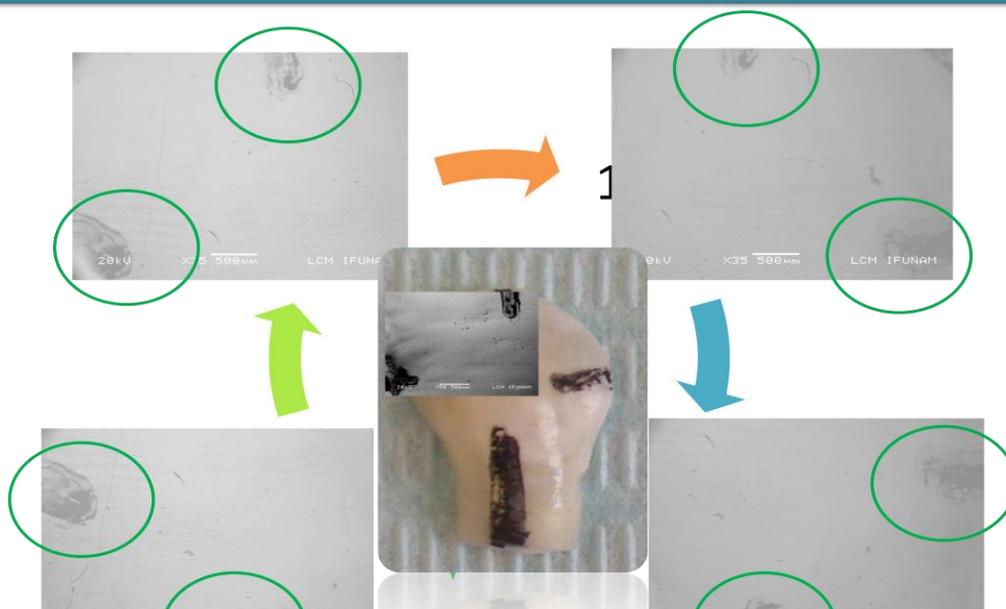


Figura 16- Observaciones en SEM de las 4 fotografías iniciales

4.1.6.3. Grupo control (Réplicas). Después se procedió a tomar una réplica con acetato (Cinta para replicas Buehler No. 57-5000) de la cara vestibular del diente, tomando en cuenta las indicaciones del fabricante, el acetato se sumergió 5s en acetona e inmediatamente se colocó sobre el diente con pinzas y guantes, se esperó a que adquirieran la forma del diente y posteriormente se desprendió del diente y se recortaron excedentes. En la figura 17 se muestra el rollo de acetato, la muestra con las guías de referencia y la réplica de una muestra, posteriormente se procedió a tomar fotografías en SEM como se observa en la figura 18.

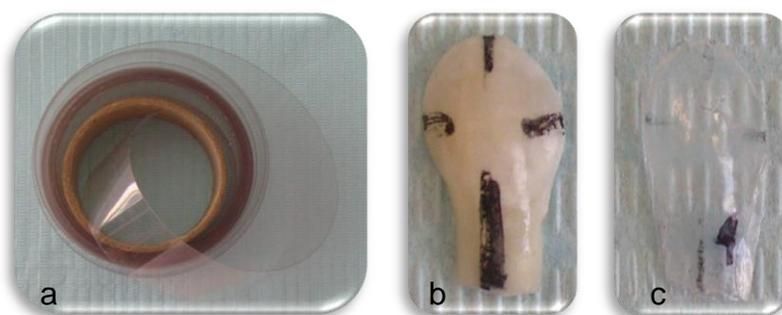


Figura 17- En la figura a) se muestra rollo de acetato, b) marcas de referencia c) réplica

2 réplicas por diente (1 grupo control), observar en SEM ambas junto con el diente

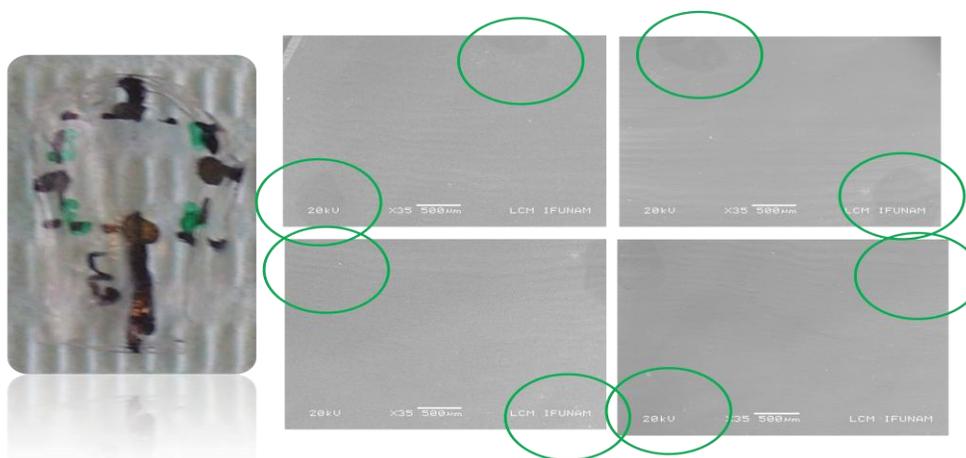


Figura 18- Réplica y su observación en SEM

4.1.6.4. Colocación de los Brackets. Los dientes se asearon, se pulieron con pomez y copas de hule para profilaxis durante 10seg, se enjuagaron y se limpiaron, se les aplicara adhesivo de autograbado Transbond SEP Plus por 5seg con microbrush y posteriormente aire libre de humedad por 2 a 3seg, posteriormente se colocaron brackets metálicos ortodónticos (Roth .022de Ovation GAC), se colocaron con pinzas porta bracket de cementado directo (MASEL 4150-921) con ayuda de posicionador (Calibre Boone MASEL 4000-900), con resina transbond XT de 3M, se retiraron excedentes y se fotopolimerizó por 20seg con lámpara alambrica LED (Bluephase C5 Ivoclar vivadent clinical USA, ser. No. 1651190, 100-240 V AC, 50-60 Hz) como se muestra en la figura 19.



Figura 19- Procedimiento para la colocación de brackets: profilaxis, colocación de adhesivo, colocación de bracket con resina transbond XT® y fotopolimerización

Cada diente fue montado en una resina acrílica en el centro del molde como se muestra en la figura 20 y se almacenaron en agua bidestilada a 37°C.

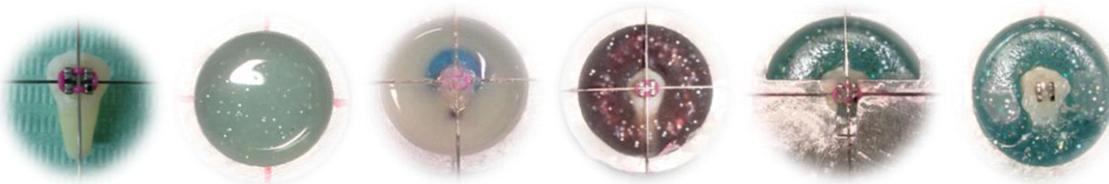


Figura 20- Procedimiento para el montaje de las muestras en los moldes para posteriormente realizar la prueba de resistencia al desprendimiento

4.1.6.5. Prueba de resistencia al desprendimiento. La prueba se realizó después de 24 horas de la colocación de los brackets en una máquina universal de pruebas mecánicas Instron modelo 5567 con una velocidad de carga de 1mm/min, se utilizó una cizalla sujeta a la parte superior de la máquina, la cizalla se colocó en las alas superiores del bracket en dirección paralela al eje longitudinal del bracket como se muestra en la figura 21 hasta provocar el desprendimiento del mismo.



Figura 21. Colocación de la cizalla para la prueba de resistencia al desprendimiento

Se obtuvo un registro de los valores de cada una de las muestras que fue dado en MPa. Una vez que se desprendió el bracket del diente, la muestra se quitó del soporte de aluminio y se colectó (con manos enguantadas para no contaminar las muestras) el bracket desprendido almacenándose con su respectiva muestra. Para que las muestras y brackets desprendidos no se deshidrataran fueron nuevamente introducidos a la cámara de ambientación a 37°C en agua desionizada, hasta

realizar mediante el microscopio óptico la clasificación de acuerdo al índice de adhesivo remanente y las observaciones en SEM

4.1.6.6. Segunda observación en SEM. Se evaluaron los daños ocasionados en los prismas del esmalte en base al valor de resistencia al desprendimiento en MPa.

4.1.6.7. Criterio para el Índice de adhesivo remanente de Ártun y Bergland (ARI). Las superficie del diente fue examinada con un microscopio óptico a 32X (Carl Zeis, Intel. China) para determinar la ubicación de la interfase, usando un índice de adhesivo remanente. La escala ARI tiene un intervalo de 0 a 3 como se muestra en la figura 22, el valor 0 se presenta adhesivo remanente en el esmalte, 1 menos del 50% de adhesivo remanente en el esmalte, 2 más del 50% de adhesivo remanente en el esmalte y 3 100% de adhesivo remanente en el esmalte.^{64, 34}

<p>0</p>	<p>0% Se presenta adhesivo remanente en el esmalte</p>		<p>2</p> <p>+50% de adhesivo remanente en el esmalte</p>	
<p>1</p>	<p>- 50% de adhesivo remanente en el esmalte</p>		<p>3</p> <p>100% de adhesivo remanente en el esmalte</p>	

Figura 22.- Índice de Adhesivo Remanente

4.1.6.8. Estandarización de criterios (kappa)

Para determinar el grado de concordancia entre el examinador estandarizado y el del presente estudio, para índice de adhesivo remanente (ARI) se utilizó la prueba de Kappa ponderada. Se trabajó realizando observaciones en microscopio óptico de los



dientes a fin de obtener una calibración adecuada. Los exámenes se repitieron en 60 dientes. La prueba Kappa, que es un índice de concordancia de medidas independientes de una misma muestra, fue calculada de acuerdo a la estandarización de criterios para el presente estudio. Los resultados indican un coeficiente de ($K= 0.88$) para el índice de adhesivo remanente

4.1.6.9. Procesamiento de la información

Para las imágenes en SEM: Mediante una PC conectada al SEM y a diferentes aumentos se obtuvieron las imágenes iniciales y posteriormente en la segunda observación los daños ocasionados en los prismas del esmalte con base al valor de resistencia al desprendimiento en MPa.

Para la prueba de resistencia al desprendimiento: Mediante una PC conectada a la máquina de pruebas mecánicas Instron. Los valores se calcularon en megapascales (MPa) dividiendo en esfuerzo (MPa) entre el área de la base del bracket (mm^2).

Para el Índice de adhesivo remanente: Todo adhesivo que quede sobre el diente fue medido de acuerdo con el índice ARI y se le asignara un puntaje de 0-3.

Para la obtención de áreas de pérdida de esmalte, resina y metal libre de resina del bracket: Las imágenes obtenidas en SEM se procesaron con el programa autoCAD.

4.1.6.10. Análisis estadístico

La información registrada se capturó en base de datos (EPIDATA) y se analizó con el paquete estadístico SPSS V13, para saber si existe diferencia en la superficie del esmalte dental en base al valor de resistencia al desprendimiento en MPa.



VARIABLES		
Resistencia al desprendimiento MPa Cuantitativa nominal	Área de resina mm ² Cuantitativa continua	Regresión lineal simple
Resistencia al desprendimiento MPa Cuantitativa	Área de esmalte mm ² Cuantitativa continua	Regresión lineal simple
Resistencia al desprendimiento MPa Cuantitativa	Área de metal mm ² Cuantitativa continua	Regresión lineal simple
Resistencia al desprendimiento MPa Cuantitativa nominal	Prismas perdidos Si / No Cualitativa nominal	Xi cuadrada
Resistencia al desprendimiento MPa Cuantitativa nominal	Adhesivo remanente Cualitativa ordinal 0,1, 2,3	Análisis de Varianza

4.1.6.11. Material empleado

- 30 primeros premolares extraídos por indicación en el tratamiento de ortodoncia, del mes de Enero a Febrero de 2010 de la clínica de cirugía maxilofacial de la DEPEI de la UNAM
- Agua desionizada. Hytcel de México SA de C.V. lote 71085
- Cámara de refrigeración a 4°C
- Pómez y copas de hule para profilaxis
- Disco de diamante de doble luz ATK
- Recortadora Cuto 1. Jean Wistz made in Germany
- Evaporadora de oro Anatech LTD. Alexandria V.A.
- Porta muestras de aluminio para microscopio electrónico elaborados en el taller de IFUNAM
- Marcador indeleble
- Cinta para replicas Buehler No. 57-5000
- Aire comprimido
- Cinta de carbón SPI. USA
- Adhesivo de autograbado Transbond SEP Plus (self-etching primer (SEP) 3M Unitek Transbond Plus Self Etching)
- Brackets metálicos ortodónticos Roth .022de GAC
- Pinzas porta bracket de cementado directo MASEL 4150-921



-
- Posicionador Calibre Boone MASEL 4000-900
 - Resina Transbond XT® Light Cure Adhesive Paste 3M Unitek, USA) Resina fotocurable para brackets
 - Microbrush
 - Lámpara alámbrica de resina LED (Bluephase C5 Ivoclar vivadent clinical USA, ser. No. 1651190, 100-240 V AC, 50-60 Hz)
 - Lentes de protección transparente y uv
 - Guantes
 - cubreboca
 - gasas
 - plastilina
 - vaselina
 - Resina acrílica para ortodoncia Pro-dent y monómero autocurable NicTon
 - Alambre .022 x .022 856-002 American Orthodontics
 - Módulos elásticos American Orthodontics 854-452
 - Explorador y cucharilla de dentina
 - Pinzas Mathieu 010-772 American Orthodontics
 - Pinzas de corte 007-001E American Orthodontics
 - Recipientes para conservar las muestras
 - Cámara de ambientación a 37°C (Felisa, Guadalajara , México)
 - Máquina Universal de pruebas Instron modelo 5567 Canton, Massachussets USA).
 - Microscopio Óptico (Carl Zeis, Intel. China)
 - Microscopio electrónico de barrido de bajo vacio JEOL (JSM-5600 LV)
 - Cronometro (Hanhart sprint, Hong Kong)
 - Anillos de aluminio de 2.5cm de diámetro interno y 1cm de altura
 - Radiómetro (Demetron USA)
 - Software autoCAD, EPIDATA, SPSS V13



Capítulo 5: Resultados

5.1. Observaciones en SEM del diente antes y después del retiro de brackets

Se tomaron 4 fotografías iniciales a 35x de cada uno de los dientes. En la figura 23a se muestra un premolar con las marcas mesial, distal, cervical e incisal con tinta permanente para ser tomadas como referencia en el microscopio electrónico. En la figura 23b se observan las 4 fotografías a 35x y la unión de todas. En la figura 23c podemos observar periquematis marcadas con una estrella y líneas de imbricación marcadas con una flecha.

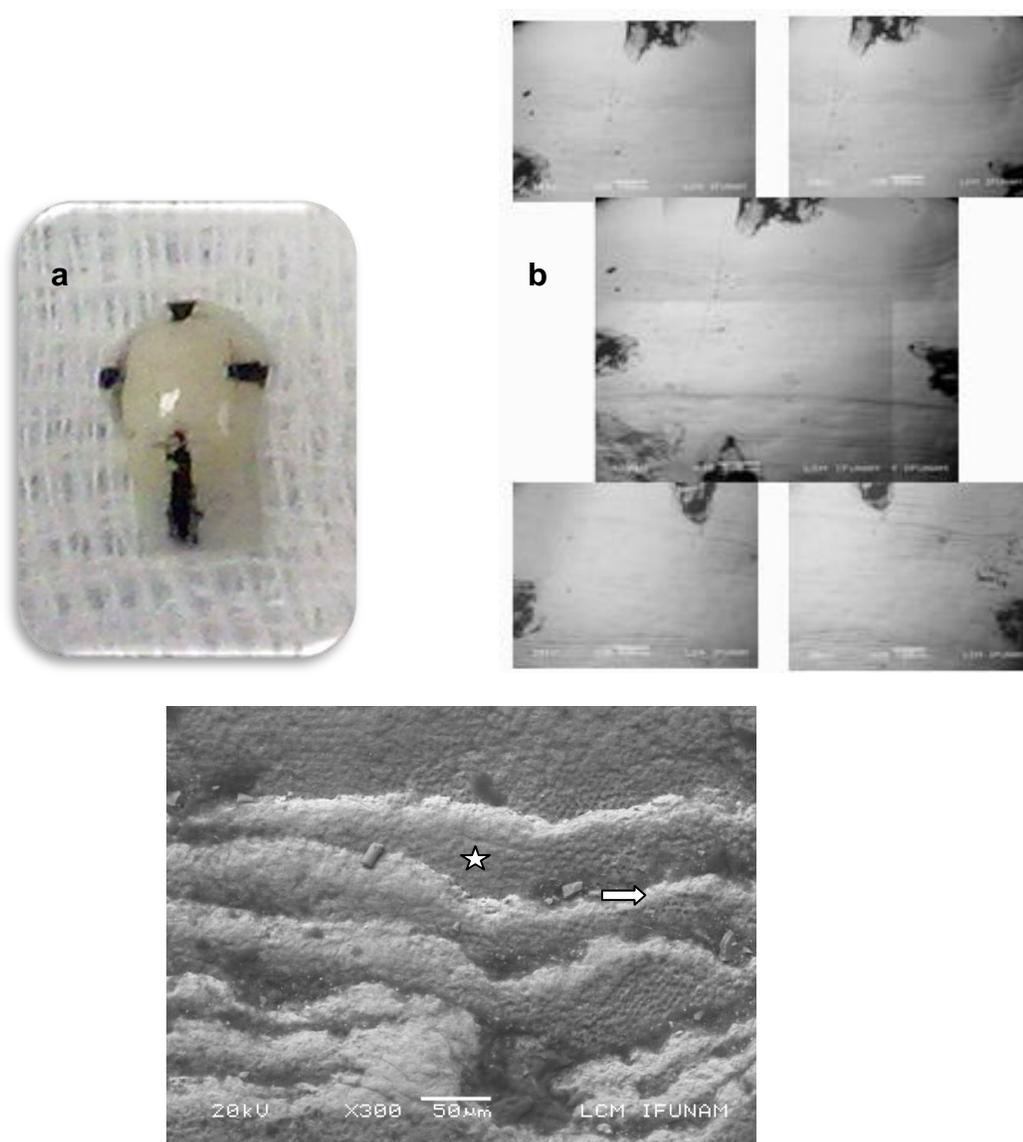


Figura 23- a) Marcas de referencia, b) imágenes iniciales de la muestra y c) imagen donde podemos observa periquematis ☆ y líneas de imbricación ⇨



Al evaluar mediante SEM la superficie del esmalte dental, en un inicio este tiene un aspecto intacto, podemos observar una superficie lisa como se muestra en la figura 23b y en algunas muestras a mayor aumento se observaron periquimatias y líneas de imbricación en la superficie vestibular del esmalte como se muestra en la imagen 23c

Una vez desprendidos: Luego del retiro de brackets (en aquellas muestras donde hubo pérdida de esmalte) se presentan diferentes patrones en la disposición de los prismas donde en algunas muestras encontramos los tres tipos de patrones⁶⁵, tipo 1 los prismas tiene forma circular, patrón tipo 2 los prismas se disponen en hileras longitudinales y el patrón tipo 3 los prismas se disponen en hileras pero se escalonan para adoptar el aspecto de agujeros de cerradura. La variabilidad de la morfología de los prismas depende del plano en que se presenta la pérdida vertical u horizontal y de la orientación de los cristales como se muestra en la imagen 24f

Se observaron a diferentes aumentos la superficie vestibular del diente al desprender el bracket y la malla del bracket. En la figura 24a) se muestra la fotografía inicial de la cara vestibular de las muestras sin daño, podemos observar además las marcas de referencia con la tinta permanente marcadas con una cruz ☒, b) imagen a 35x con el círculo azul donde se observa la pérdida de prismas de esmalte escalonada hacia la parte inferior izquierda observándola de frente, atribuimos estos escalones a la cizalla que se aplica para la prueba de resistencia al desprendimiento sobre la superficie vestibular del premolar, c) podemos observar un acercamiento a 100x de frente de los prismas de esmalte perdido, con un patrón escalonado de manera irregular, en la parte superior derecha se observa un borde donde la superficie del esmalte se encuentra sin pérdida marcado con una estrella ☆, d) imagen a 25x de el bracket desprendido donde se puede observar la resina (r), el área de metal libre de resina (m), detalles de la malla y el esmalte perdido (e) dentro del círculo azul, e y f) imagen a 200x y 1000x de los prismas sobre la malla del bracket, los bordes blancos marcados con flechas son los límites de los escalones, observamos también los diferentes patrones de prismas en cortes transversales⁶⁵ patrón I con un recuadro azul □, patrón II con un recuadro verde □ y III con un recuadro en lila □

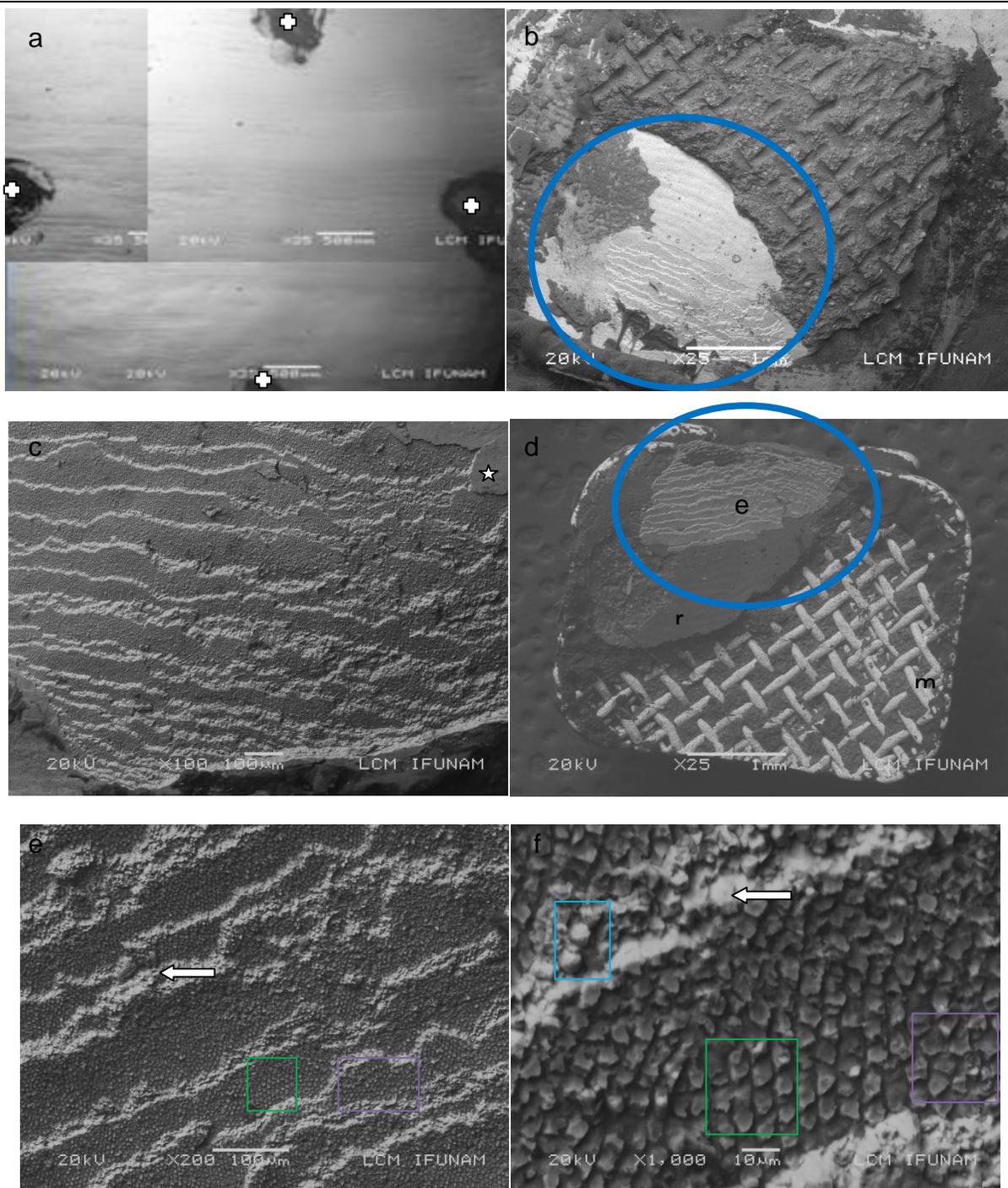
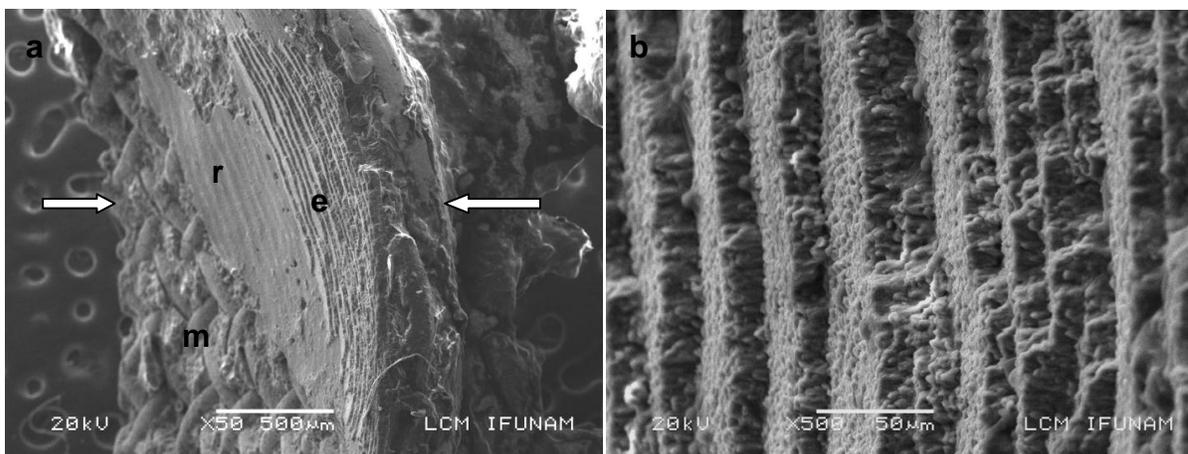
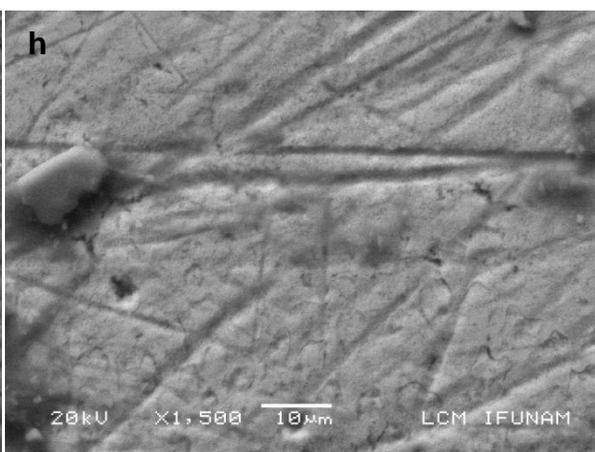
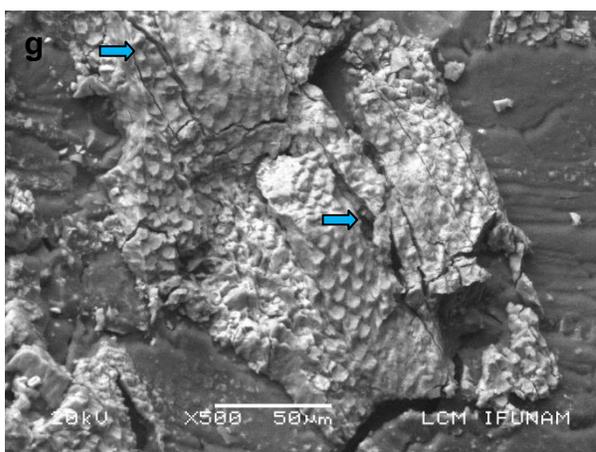
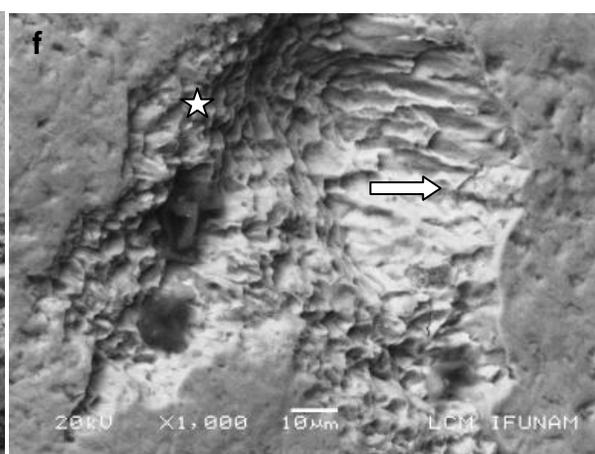
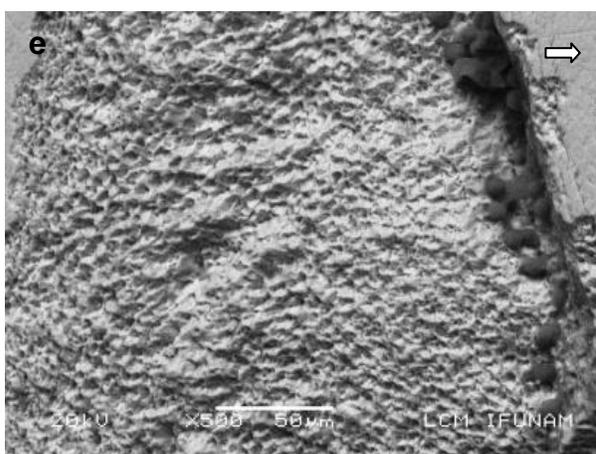
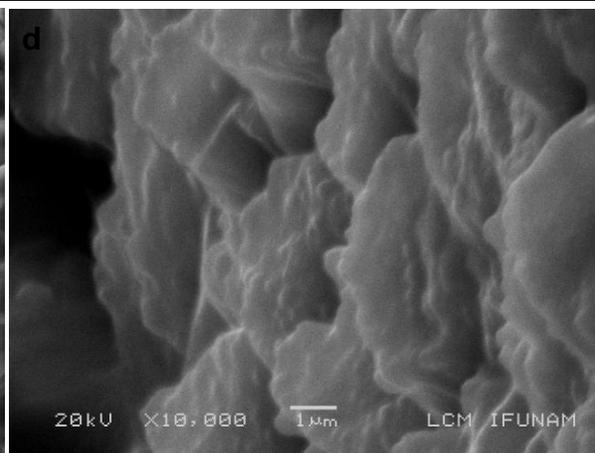
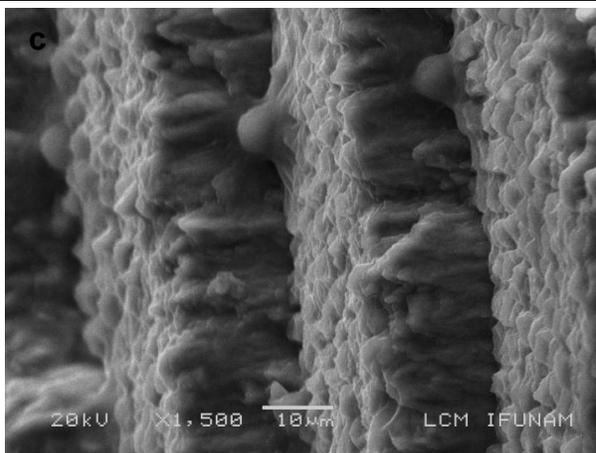


Figura 24- a) Marcas de referencia \oplus , b) imagen del diente al desprender el bracket dentro del círculo azul se encuentra la pérdida escalonada, c) prismas del esmalte perdido, la marca de estrella \star indica el limite o borde donde termina la pérdida escalonada de esmalte, d) bracket desprendido podemos observar la resina (r), el esmalte perdido dentro del círculo azul (e) y áreas de metal de la malla (m), e) y f) prismas en la malla del bracket y patrones I donde los prismas tiene forma completamente circular \square , II los prismas se disponen en hileras longitudinales \square y III los prismas se disponen en hileras escalonadas adoptando es aspecto de agujeros de cerradura \square de la disposición de los prismas

En la figura 25 se muestran diferentes patrones de pérdida de esmalte al desprender los brackets. a) se muestra un bracket montado en una platina a 45° a 50x para observar los escalones de pérdida de esmalte presentes en la muestra, con la letra (m) la malla, con la letra (r) la resina, con la letra (e) los escalones y con las flechas blancas los límites del bracket; b) 500x y c) 1,500x, muestra el patrón de pérdida en escalones que presentan cierta regularidad hacia el centro y un mayor acercamiento de estos donde se observa una mayor regularidad en el corte; d) 10,000x prismas a un mayor aumento donde observamos hacia la parte más superficial la irregularidad del patrón de corte; e) 500x muestra pérdida horizontal y en la parte superior derecha indicado con un flecha el límite de la pérdida y el esmalte liso; f) pérdida horizontal en algunos extremos marcados con una estrella y pérdida vertical marcados con una flecha; g) 500x donde podemos observar fracturas en la pérdida de esmalte marcados con una flecha azul; h) 1,500x se observa pequeñas líneas de ralladura en el esmalte donde no se presentó pérdida de esmalte como resultado del autograbado; i) 1000x donde se observa un patrón de pérdida horizontal indicado con una estrella y con una flecha se indica una línea de fractura en donde se presentó pérdida vertical y j) 500x donde observamos una pérdida de esmalte y hacia los extremos se observan áreas de esmalte con fracturas indicado con una flecha blanca.





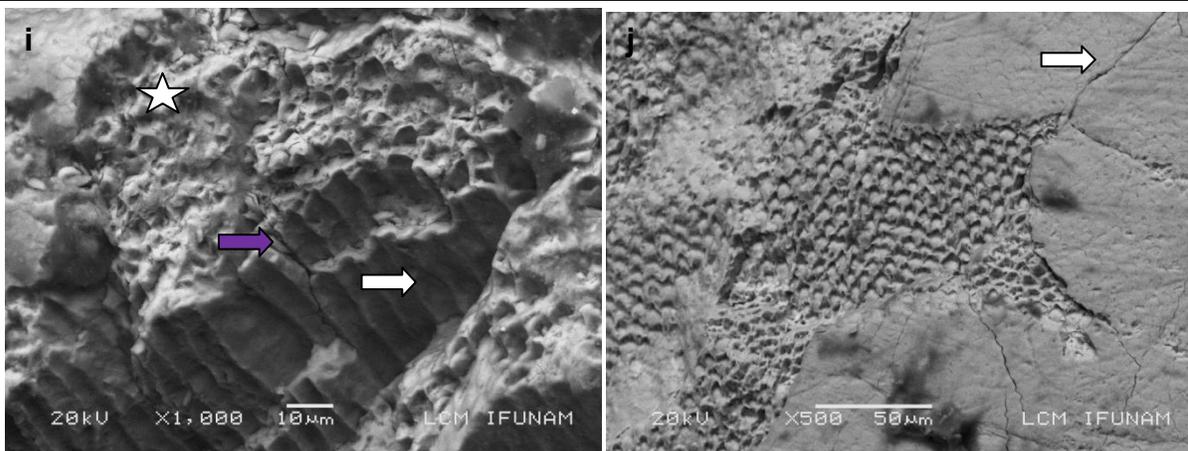


Figura 25.- Diferentes patrones de pérdida de esmalte a) bracket en un soporte a 45° con las flechas en color blanco se indican los límites del bracket \Rightarrow con la letra (r) la resina, (e) esmalte perdido, (m) áreas de metal de la malla, b) pérdida en forma de escalones, c) mayor acercamiento de los escalones donde se observa la regularidad de estos, d) pérdida horizontal y un mayor acercamiento de los prismas donde se observa el corte, e) imagen en el diente donde se observa pérdida horizontal y limite donde comienza la pérdida marcado con una flecha \Rightarrow , f) pérdida horizontal marcada con una flecha \Rightarrow y vertical marcada con una estrella ☆, g) fracturas en la pérdida \Rightarrow , h) ralladuras en el esmalte donde no se presento pérdida, i) pérdida horizontal \Rightarrow , vertical ☆ y fractura de la pérdida de esmalte \Rightarrow y j) bordes del límite de la pérdida de esmalte con fracturas ☆

5.2. Resistencia al desprendimiento

En la tabla 1 se muestran los 30 valores de la prueba de resistencia al desprendimiento.

Número de muestra	MPa	Número de muestra	MPa
1	6.7	16	16.0
2	6.8	17	7.6
3	4.8	18	3.8
4	4.6	19	8.3
5	5.7	20	9.6
6	4.5	21	5.9
7	3.3	22	6.3
8	6.0	23	6.7
9	12.1	24	12.7
10	4.8	25	6.0
11	2.6	26	13.2
12	4.7	27	5.3
13	6.6	28	3.8
14	4.2	29	2.9
15	4.9	30	13.9

Tabla 1.- Valores de la prueba de resistencia al desprendimiento

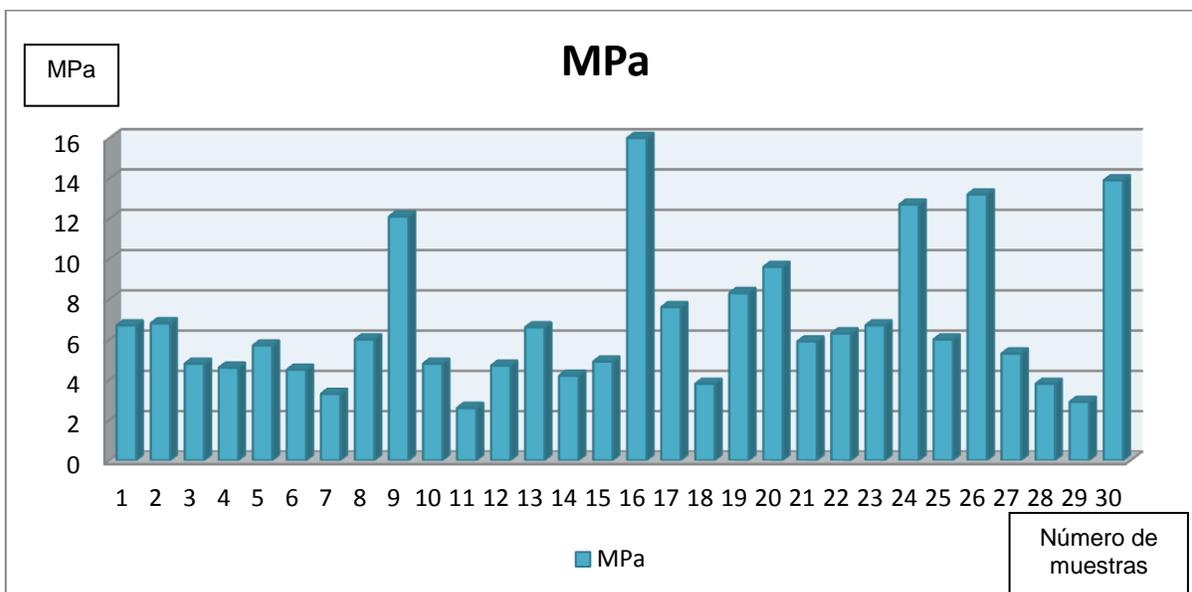


En la tabla 2 el máximo valor presente al desprendimiento es de 16.0MPa y el mínimo es de 2.6MPa, podemos observar en el análisis estadístico una media de 6.8MPa y una desviación estándar de ± 3.4 MPa.

	Número de muestras	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Resistencia al desprendimiento	30	6.8MPa	3.4MPa	2.6MPa	16.0MPa

Tabla 2- Prueba de resistencia al desprendimiento

En la siguiente gráfica se presenta la distribución de la resistencia al desprendimiento con el número de muestras.



Gráfica 1- Muestras/ resistencia al desprendimiento

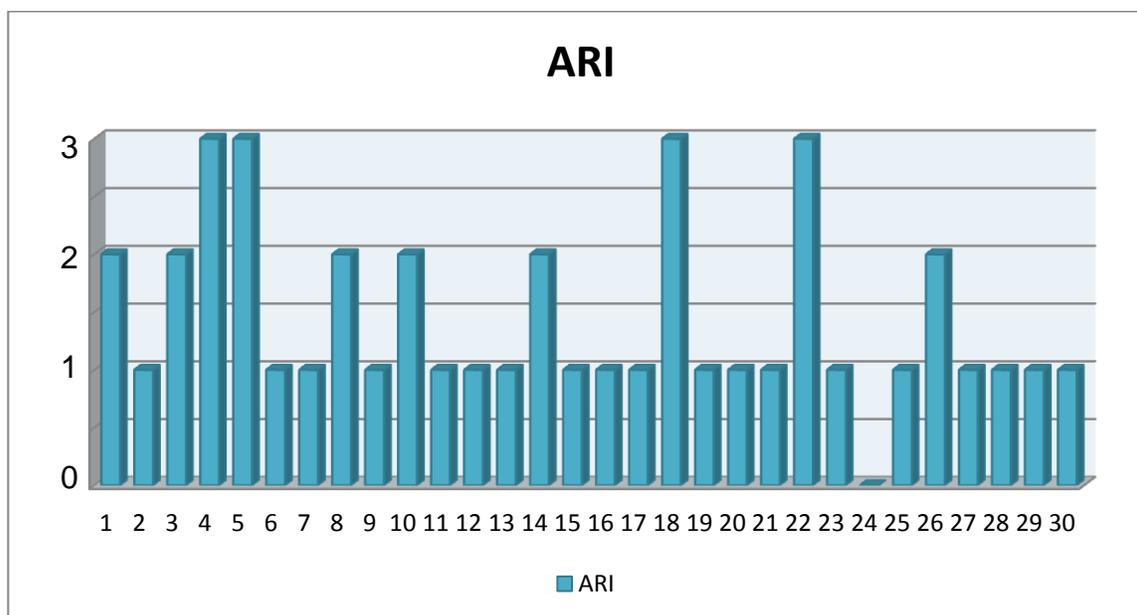


5.3. Índice de adhesivo remanente (ARI):

Valores del Índice ARI para las 30 muestras

Muestra	ARI	Muestra	ARI	Muestra	ARI
1	2	11	1	21	1
2	1	12	1	22	3
3	2	13	1	23	1
4	3	14	2	24	0
5	3	15	1	25	1
6	1	16	1	26	2
7	1	17	1	27	1
8	2	18	3	28	1
9	1	19	1	29	1
10	2	20	1	30	1

Tabla 3- Valores de índice ARI de las 30 muestras



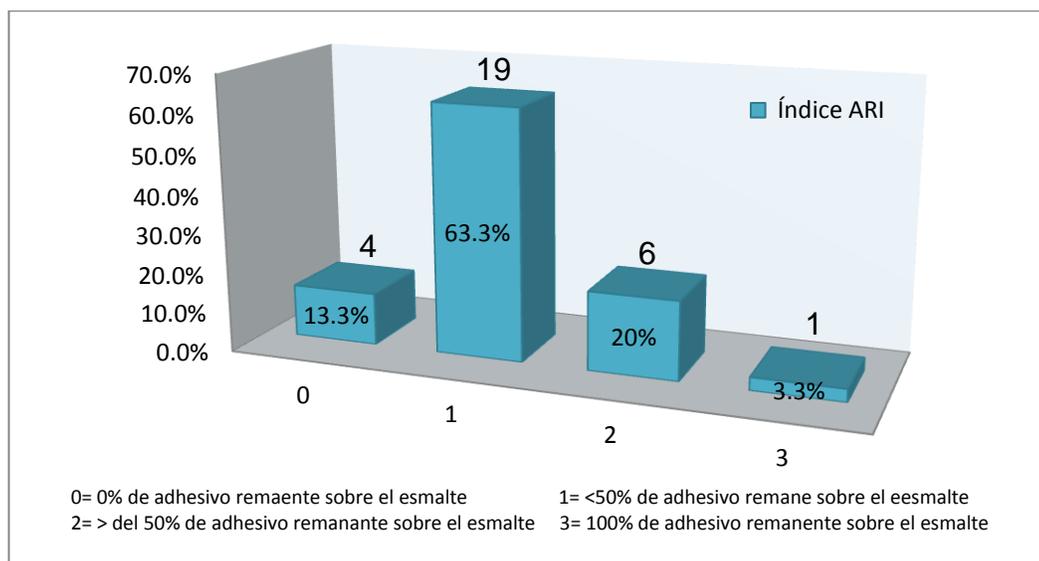
Gráfica 2- Distribución del índice ARI

El 63.3% de las muestras presentaron menos del 50% de adhesivo remanente sobre el esmalte, el 20% presentó más del 50% de adhesivo remanente sobre el esmalte, el 13.3% presentó 0% de adhesivo remanente sobre el esmalte y el 3.3% presentó 100% de adhesivo remanente sobre el esmalte.

Valor	frecuencia	Porcentaje %
100% de adhesivo remanente sobre el esmalte	1	13.3
>50% de adhesivo remanente sobre el esmalte	19	63.3
<50% de adhesivo remanente sobre el esmalte	6	20
0% de adhesivo remanente sobre el esmalte	4	3.3
total	30	100

Tabla 4-. Medidas de tendencia central del índice ARI

En la siguiente gráfica se muestra la distribución de valores por porcentaje de índice ARI y el número de muestras que obtuvo cada valor.



Gráfica 3-. Frecuencia de índice de adhesivo remanente

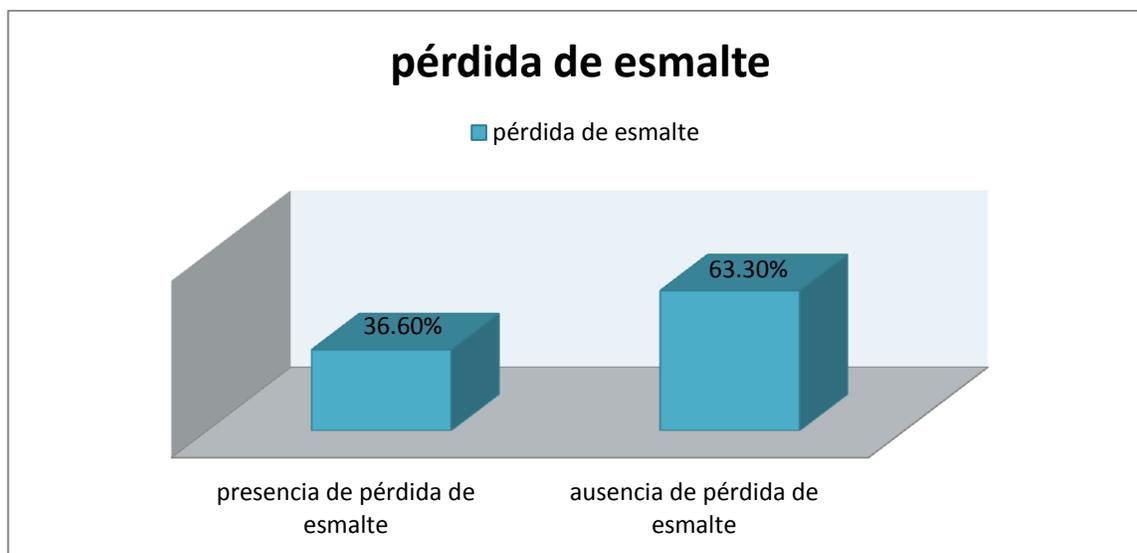
5.4. Daños al esmalte

Resistencia al desprendimiento/ esmalte perdido: De acuerdo a la prueba asociación de χ^2 entre la variable resistencia al desprendimiento y la variable presencia de esmalte en la base del bracket no existe asociación entre estas 2 variables $\chi^2=30$ $p= 0.414$

En la tabla 5 aparecen con marcadas con una X las muestras que presentaron pérdida de esmalte.

Número de muestra	Pérdida de esmalte	Número de muestra	Pérdida de esmalte	Número de muestra	Pérdida de esmalte
1		11		21	X
2	X	12	X	22	
3		13	X	23	
4		14		24	
5		15	X	25	
6		16	X	26	
7	X	17		27	X
8	X	18		28	X
9	X	19		29	
10		20		30	

Tabla 5- Valores de las muestras que presentaron pérdida de esmalte



Grafica 4 - Frecuencia de presencia y ausencia de pérdida de esmalte

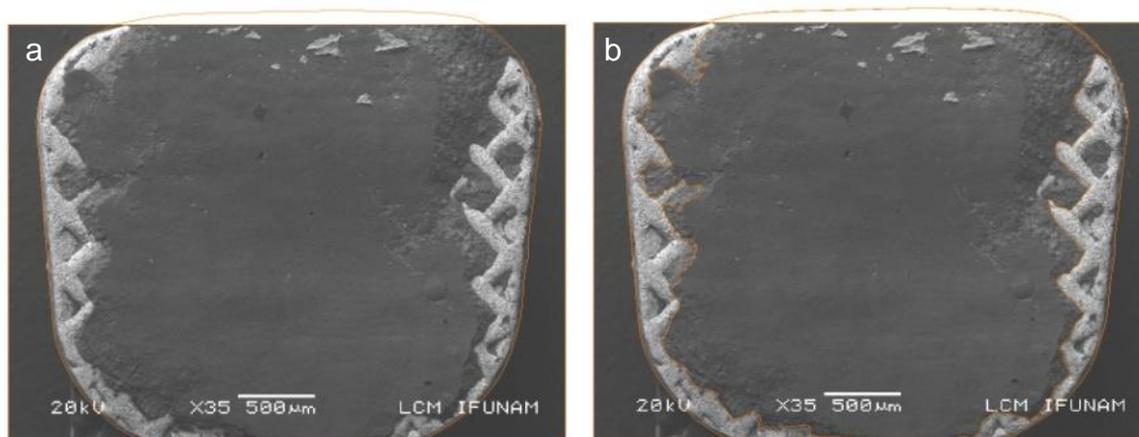
5.5. autoCAD

Se utilizó programa autoCAD para medir el área que quedó en la base del bracket tanto de resina, esmalte perdido y de metal libre de resina obteniendo los siguientes valores en mm²

Número de muestras	Área de resina mm ²	Área de esmalte mm ²	Área de metal mm ²	Área de resina total mm ²
1	1.22	0.00	0.00	1.22
2	8.32	0.13	5.40	8.45
3	0.62	0.00	12.25	0.62
4	0.00	0.00	0.00	13.86
5	1.61	0.00	0.00	1.61
6	12.99	0.00	0.87	12.99
7	10.92	1.13	1.80	12.05
8	5.84	1.80	6.21	12.05
9	9.97	0.29	3.59	10.27
10	3.01	0.00	10.85	3.01
11	9.43	0.00	4.43	9.43
12	11.42	0.12	2.31	11.55
13	10.09	0.59	3.18	10.68
14	5.51	0.00	8.35	5.51
15	11.15	0.05	2.65	11.20
16	12.08	0.20	1.56	12.29
17	10.69	0.00	3.15	10.70
18	1.36	0.00	12.50	1.36
19	0.28	0.00	13.58	0.28
20	13.51	0.00	0.34	13.51
21	12.31	0.30	1.24	12.61
22	1.32	0.00	12.53	1.32
23	12.98	0.00	0.86	12.99
24	13.61	0.00	0.24	13.61
25	13.47	0.00	0.38	13.47
26	1.10	0.00	12.75	1.10
27	13.14	0.12	0.58	13.27
28	13.24	0.45	0.16	13.70
29	13.69	0.00	0.16	13.69
30	13.58	0.00	0.27	13.58

Tabla 6- Valores de área de resina, esmalte perdido y de metal libre de resina

Se obtuvieron imágenes como las siguientes:



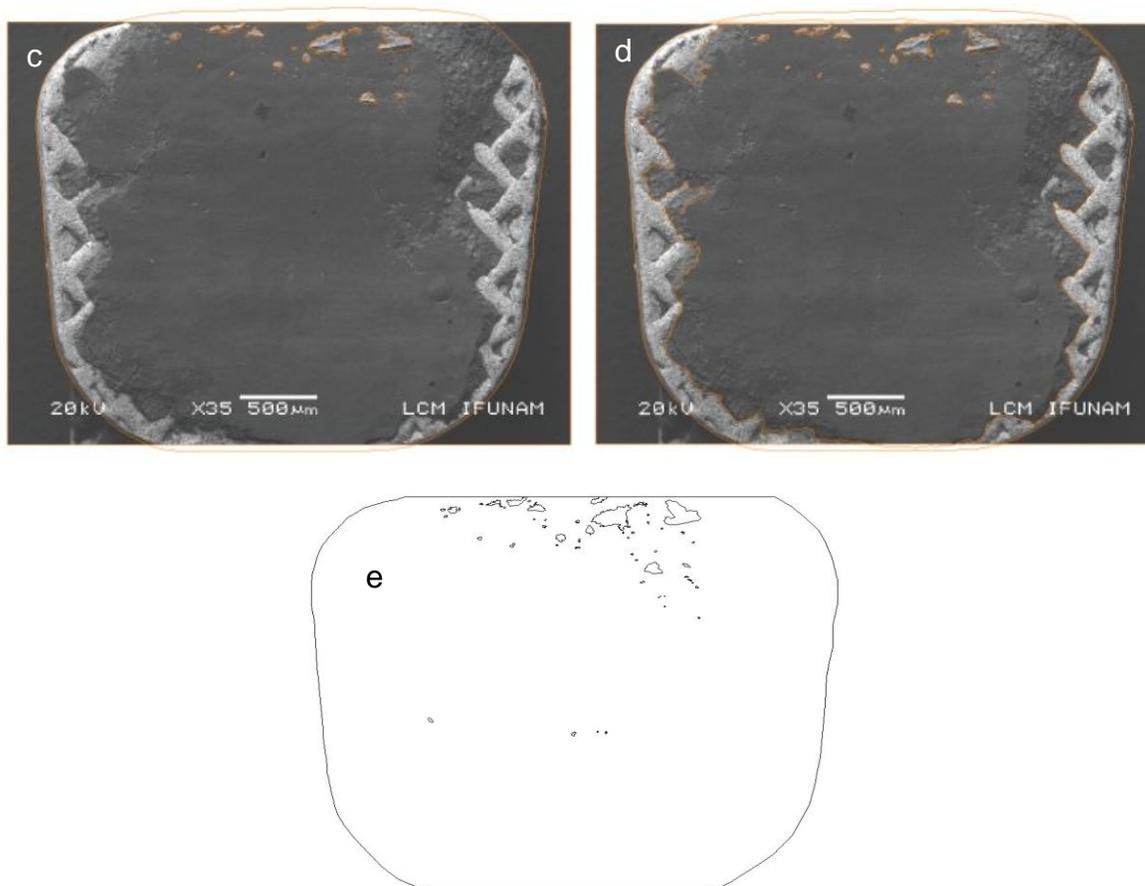
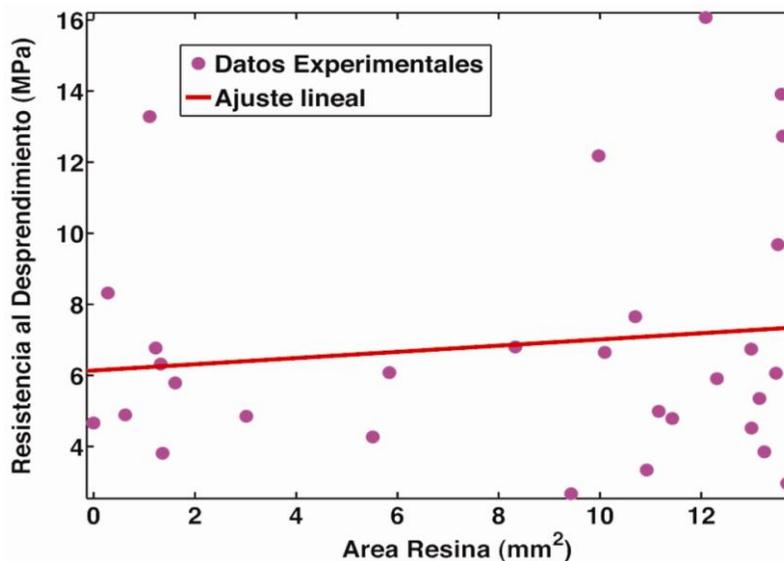


Figura 26.- Imágenes procesadas en autoCAD a) calibración de el área inicial a 13.86mm^2 , b) medición del área de resina, c) medición de los prismas del esmalte perdido, d) unión de todas las marcas y e) esquema en blanco y negro de la imagen del bracket

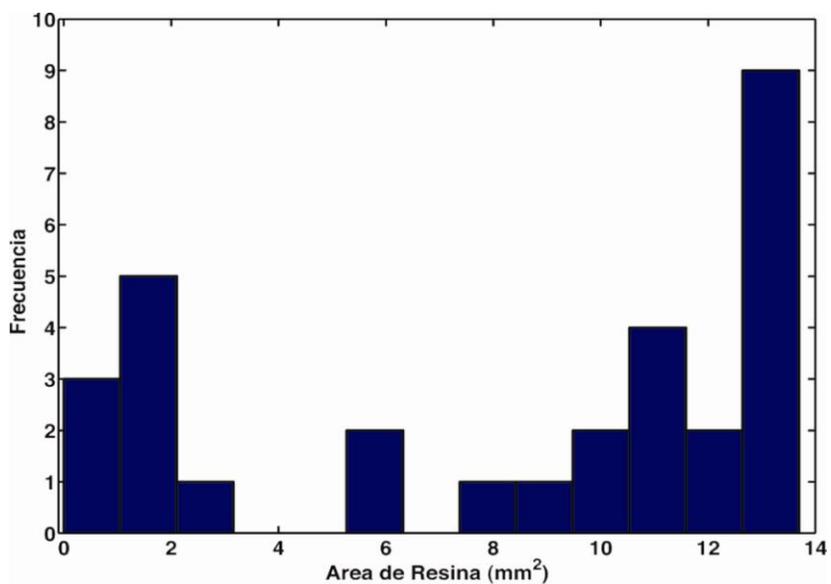
5.5.1. Resistencia al desprendimiento/área de resina

Se realizó un modelo de regresión lineal simple que se muestra en la gráfica 5 entre la variable dependiente (resistencia al desprendimiento) y la variable independiente (área de resina).



Gráfica 5- Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y área de resina

Del total de 30 muestras 9 de ellas presentan una área mayor de 0.13mm² de resina y fue superior a las otras muestras como se observa en la gráfica 6



Gráfica 6- Muestras/ área de resina



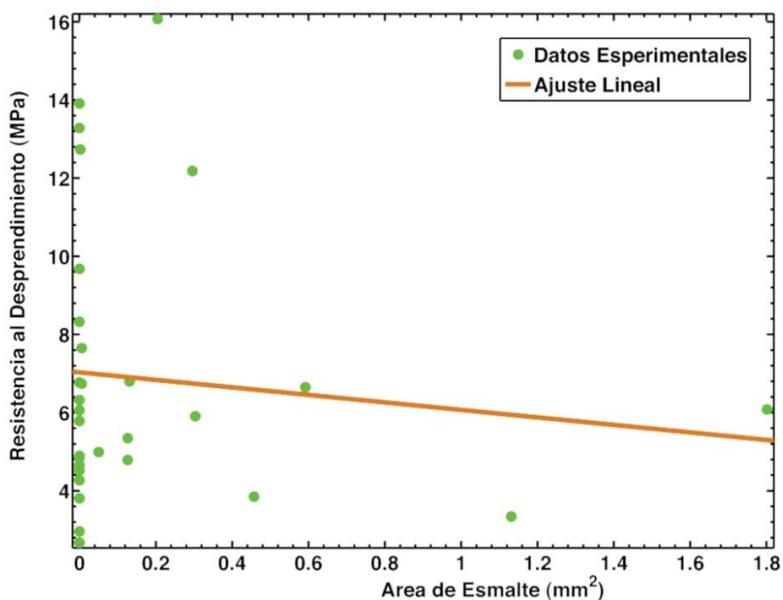
Donde a medida que aumenta el área de resina también aumenta la variable la resistencia al desprendimiento, en 0.08 unidades como se muestra en la tabla 7

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Significancia	Intervalos de confianza	
	constante	Error estándar		Límite inferior	Límite superior
constante	6.13	1.2	0.00	3.62	8.64
Área de resina en el bracket	0.08	0.12	0.49	-0.17	0.34

Tabla 7-. Modelo de regresión lineal simple

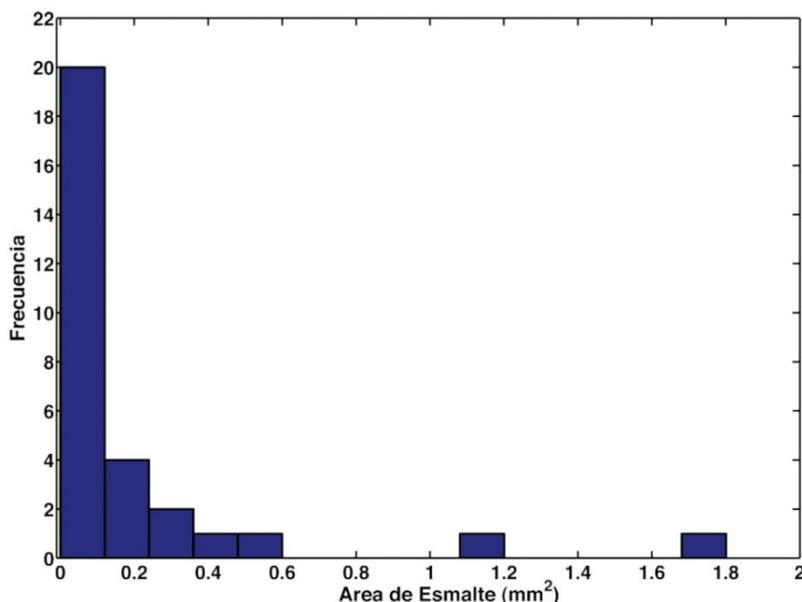
5.5.2. Resistencia al desprendimiento/ esmalte perdido

Se realizó un modelo de regresión lineal simple como se muestra en la gráfica 7 entre la variable dependiente (resistencia al desprendimiento) y la variable independiente (esmalte perdido)



Gráfica 7-. Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y esmalte perdido

Del total de 30 muestras 20 de ellas presentan una area menor a 0.01mm² de esmalte perdido y fue superior a las otras muestras como se observa en la gráfica 8



Gráfica 8- Muestras/esmalte perdido

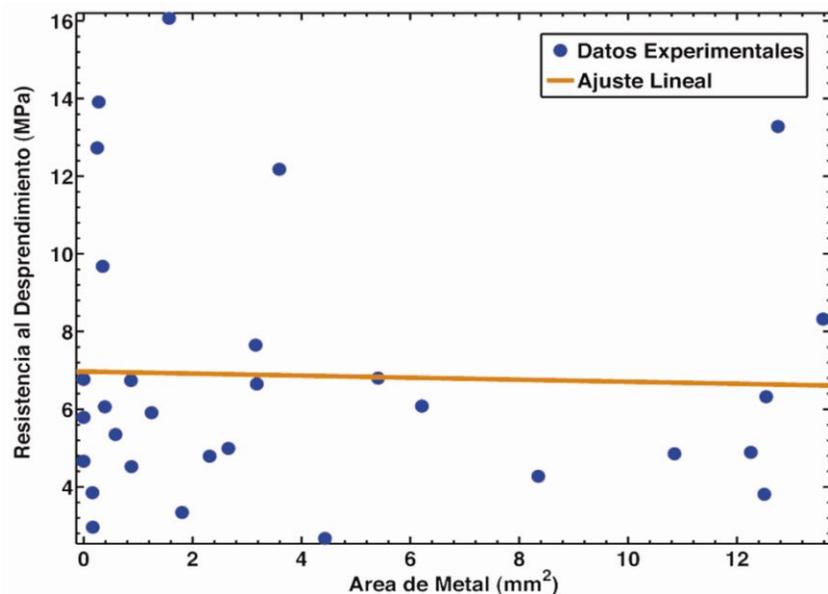
A medida que aumenta el esmalte perdido menor es la resistencia al desprendimiento dándonos una pendiente cuyo valor es negativo -0.96 como se muestra en la tabla 8

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Significancia	Intervalos de confianza	
	constante	Error estándar		Límite inferior	Límite superior
constante	7.03	0.70	0.00	5.58	8.47
Área de esmalte perdido en el bracket	-0.96	1.67	0.57	-4.38	2.46

Tabla 8- Modelo de regresión lineal simple

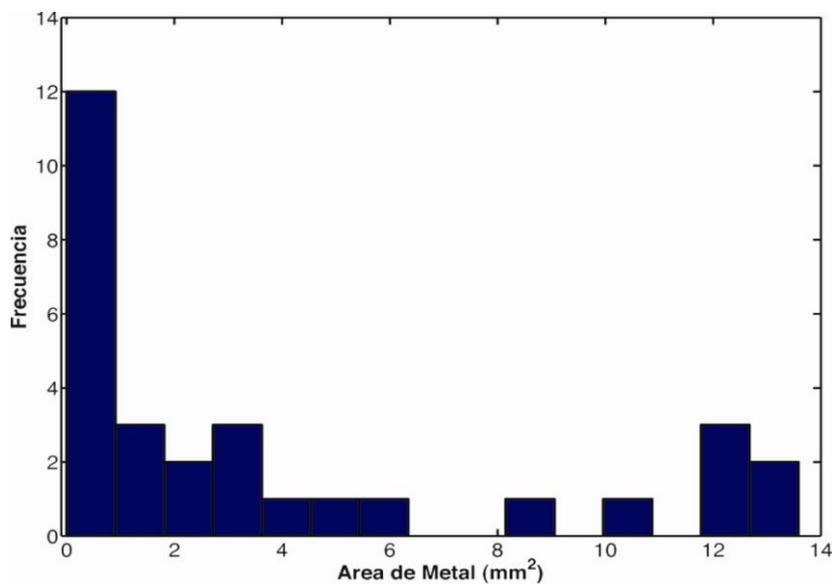
5.5.3. Resistencia al desprendimiento/ área de metal libre de resina

Se realizó un modelo de regresión lineal simple como se observa en la gráfica 9 entre la variable dependiente (resistencia al desprendimiento) y la variable independiente (área de metal libre de resina).



Grafica 9- Regresión lineal de resistencia al desprendimiento y área de metal libre de resina

Del total de 30 muestras 12 de ellas presentan una area menor a 0.1mm² de metal libre de resina y fue superior a las otras muestras como se observa en la gráfica 10



Gráfica 10- Muestras/Área de metal

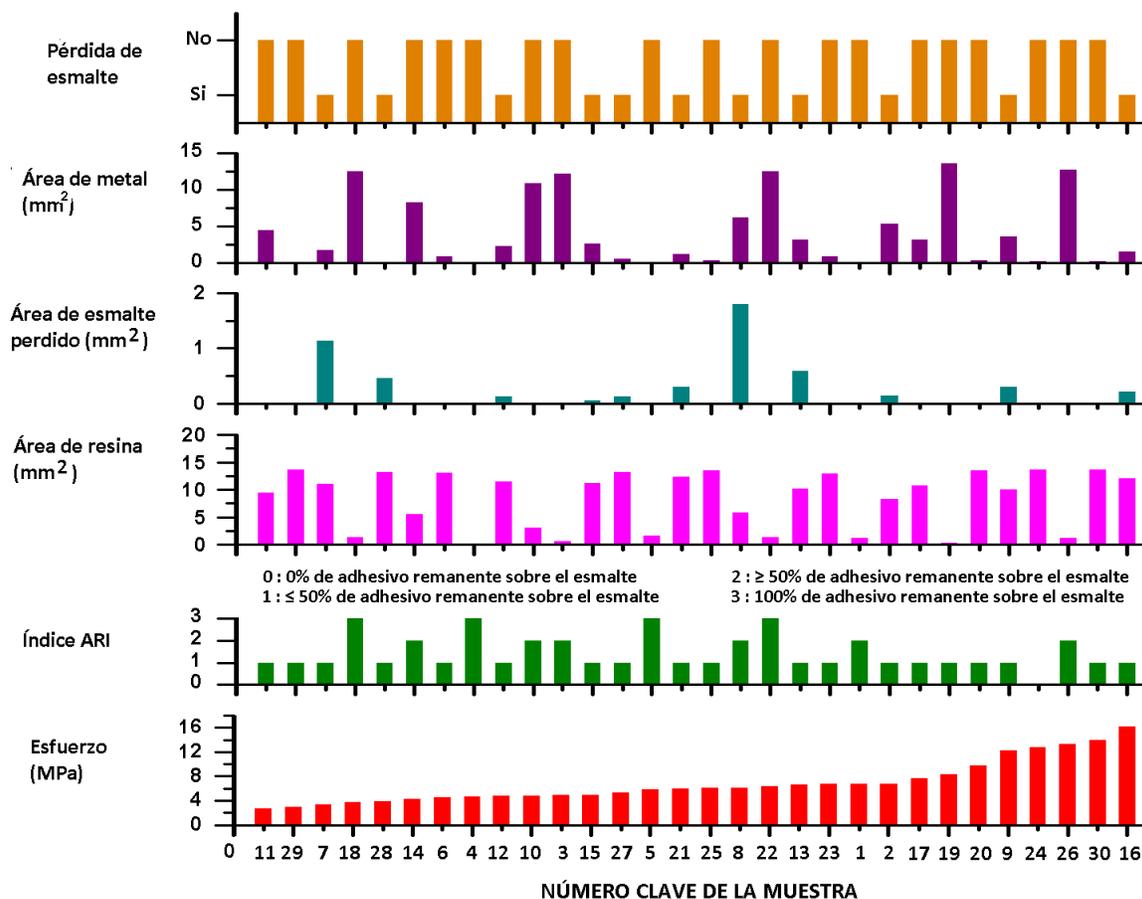


A medida que aumenta el área de metal libre de resina menor es la resistencia al desprendimiento dándonos una pendiente cuyo valor es negativo -0.026 como se muestra en la tabla 9

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Significancia	Intervalos de confianza	
	constante	Error estándar		Límite inferior	Límite superior
constante	6.97	0.86	0.00	5.20	8.73
Área de metal en el bracket	0.02	0.14	0.85	-0.31	0.26

Tabla 9- Modelo de regresión lineal simple

En la grafica 11 se muestra un compendio de todas las mediciones que se realizaron, ordenadas con base al esfuerzo y sus resultados de las diferentes valoraciones



Gráfica 11- Compendio de todas las mediciones



Capítulo 6: Discusión



En este estudio se utilizaron 30 premolares extraídos de pacientes entre 13 a 15 años, conservados a 4°C, y a los que se les cambio el agua cada semana para evitar el crecimiento bacteriano, y no mayores a 3 meses de su extracción al momento de la experimentación, tomando apego a las recomendaciones del ISO/TS 11405 2da edición 2003 (Dental Materials-Testing of adhesión tooth structure) ⁶⁶, sistema adhesivo el SEP Transbond plus®, brackets Roth .022 GAC®, se realizaron observaciones en el SEM antes y después del desprendimiento, la prueba de desprendimiento se realizó a las 24h de su fijación en la máquina universal de pruebas mecanicas Instron a una velocidad de carga de 1mm/min, se realizó el índice de análisis de adhesivo remante ARI modificado, las imágenes obtenidas en microscopia electrónica de los brackets fueron procesada en autoCAD para medir áreas.

Årtun y Bergland⁶⁴ Implementaron el sistema ARI para evaluar la cantidad de adhesivo remante sobre el diente después del desprendimiento y determinar el sitio donde ocurría la falla de adhesión, utilizaron acido fosfórico al 37% grabando por 60seg y midieron el índice clínicamente obteniendo en la mayoría de las muestras un valor de 2, es decir más de la mitad de adhesivo remanente sobre el diente. Nosotros encontramos valor 1 para la mayoría de las muestras, es decir menos de la mitad de adhesivo remante, esto podría atribuirse al sistema adhesivo utilizado, por su parte Årtun y Bergland utilizaron el método convencional que consta de acido fosfórico, adhesivo y resina, nosotros utilizamos un sistema de 2 pasos que consta de adhesivo de autograbado y resina, el cual de acuerdo a las instrucciones del fabricante se aplica de 3 a 5seg, nosotros utilizamos dientes extraídos y ellos lo hicieron directamente en pacientes, nosotros utilizamos brackets GAC de una malla de 80μ mientras que ellos no especifican el tamaño de la malla solo mencionan que utilizaron brackets estándar edgewise.

Por su parte Brosh *et. al* ⁶⁷ estudiaron 30 brackets desprendidos de pacientes en SEM y midieron el EDAX (índice de adhesivo remanente y remanente de esmalte). Los resultados sugirieron potencialmente el daño al esmalte durante el desprendimiento, encontraron que el 54.5% de las muestras presentó pérdida de



esmalte. Nosotros en el total de las muestras encontramos pérdida del esmalte en el 36.66%, esto podría deberse a que los desprendimientos los hicieron calibrando una pinza y nosotros los realizamos en la máquina Instron a una velocidad de carga de $1\text{min}/\text{mm}^2$, ellos utilizaron diferentes brackets (Victory 0.22 3M) y diferentes áreas de mallas siendo la menor área 8.97mm^2 y la mayor 10.52mm^2 mientras que nosotros utilizamos la misma área para todos los brackets que fue de 13.86mm^2 , utilizamos la misma resina transbond XT, sin embargo Brosh no especifica que método de grabado utilizado, ni el tiempo de grabado, en cuando a la resistencia al desprendimiento reporta valores de $10.06\pm 6.27\text{MPa}$ realizando el desprendimiento por detrás de las aletas y con los bocados de la pinza, nosotros obtuvimos valores de $6.86\pm 3.48\text{MPa}$, es decir coincidimos debido a la desviación estándar que ambos presentamos aunque el procedimiento de desprendimiento fue diferente nosotros utilizamos cizalla detrás de las aletas superiores.

Turk⁴³ evaluó el efecto en los sistemas adhesivos Transbond Plus SEP y MIP, realizando desprendimientos a 5, 15, 30, 60min y 24h, en 100 premolares divididos en 10 grupos de 10 c/u, obtuvo valores de resistencia al desprendimiento para el sistema Transbond Plus SEP a 24h de $19.11\pm 3.40\text{MPa}$. En este estudio encontramos valores menores, esto podría deberse a que en los criterios de inclusión de nuestro estudio para la selección de dientes tenían máximo de 3 meses de extraídos y fueron refrigerados a 4°C después de la extracción mientras que ellos no especifican estos datos, ellos utilizaron brackets Gemini 3M Unitek con un área de 10.62mm^2 , la velocidad de carga al desprendimiento fue igual a la nuestra y el procedimiento de adhesión fue el mismo. Para el índice ARI, reportan en la mayoría de las muestras un valor de 3, seguido de 2 y solo en una muestra un valor de 1, no coincidimos con estos resultados y esto podría deberse a que su grupo de estudio fue de 10 muestras mientras que el nuestro fue de 30.

Trites¹² evaluó 3 sistemas adhesivos entre ellos el Transbond plus SEP en 270 premolares extraídos en 9 grupos de 30c/u, realizó prueba de resistencia al desprendimiento a 24h, 30 días y 3 meses a una velocidad de carga de $2\text{min}/\text{mm}^2$ utilizó brackets Victory 3M Unitek, evaluó también el índice ARI. Obtuvo valores de



10.96±3.78MPa a las 24h con los que coincidimos, para el índice ARI reporta el 53.3% para el valor 1, es decir menos de la mitad de adhesivo remante sobre el diente con el cual coincidimos a pesar de que su grupo de experimentación solo fue de 10 premolares, esto puede deberse a que el sistema adhesivo que utilizamos fue el mismo y siguiendo las instrucciones del fabricante, también concluyen que la mayor pérdida de esmalte y fractura se presentó a las 24h y 3 meses utilizando Transbond SEP, sin embargo no mencionan como observaron esto mientras que nosotros observamos en SEM cada uno de los brackets para comprobar la pérdida de esmalte.

Eminkahyagil⁶⁸ determinó la resistencia al desprendimiento utilizando SEP Transbond plus y un agente antibacterial en brackets metálicos, utilizó 24 premolares en 2 grupos, realizó desprendimientos a 48h a una velocidad de carga de 5min/mm² obteniendo valores de media de 8.53MPa, mínimo de 4.59MPa y máximo de 12.63MPa, utilizó el sistema ARI de 0-5 medido en el bracket, obteniendo para la mayoría de las muestras valor de 1 es decir menos de la mitad de adhesivo remante a la izquierda del bracket, a pesar de las diferencias metodológicas coincidimos en los valores de resistencia al desprendimiento, mas no para el índice ARI ya que ellos manejan una modificación en el índice en el cual sus mediciones las realizan sobre el bracket.

Bishara³² comparó el desprendimiento con 2 sistemas adhesivos en 80 molares divididos en 4 grupos de 20 c/u y a su vez subdivididos en grupos de 5 dientes, colocó brackets metálicos de incisivos centrales (Victory series 12mm²) y cerámicos (Clarity 14.6mm²), polimerizando con lámpara halógena (20 s) y lámpara LED (10 s), realizaron prueba de resistencia al desprendimiento a una velocidad de carga de 5min/mm² Obtuvieron valor de desprendimiento en SEP Transbond plus de 8.6MPa±2.6MPa. A pesar de las diferencias en la metodología coincidimos en los valores de desprendimiento en brackets metálicos, con lo que podríamos relacionar que el tipo de lámpara y el tamaño de la base del bracket no inciden en la fuerza de desprendimiento con este sistema adhesivo. En otro estudio, el mismo autor ²¹ comparó 2 sistemas adhesivos, determinó los efectos del uso de Prompt L-Pop SEP



adhesivo de autograbado y la resistencia al desprendimiento en brackets a 48h en 45 molares, brackets victory 3M 12.2mm², obteniendo valores de 7.1MPa±4.4MPa, obtuvo un valor ARI en la mayoría de las muestras de 3 es decir más del 10% de adhesivo remanente sobre el diente pero menos del 90%, nosotros coincidimos en el valor de resistencia al desprendimiento, a pesar de no manejar el mismo índice coincidimos en que encontramos más del 50% de adhesivo remante sobre el diente, esto puede deberse a que manejamos varias cosas similares en la metodología dentro de los criterios de inclusión como son; esmalte bucal intacto, que no presentaran agentes químicos, que no presentaran líneas de fractura, realizaron profilaxis por 10seg, utilizamos la misma resina Transbond XT, el tiempo de fotopolimerización de 20seg, y una vez colocados los brackets se mantuvieron a una temperatura de 37°C.

Attilio M.⁶⁹ evaluó la adhesión de brackets determinó la resistencia al desprendimiento y la falla de adhesión después del desprendimiento, utilizó 80 premolares en 2 grupos, las muestras se conservaron a una temperatura de 37°C antes de la prueba de resistencia al desprendimiento que se realizó a las 72h a una velocidad de carga de 1min/mm², se realizó índice ARI, las muestras representativas de cada grupo fueron examinadas en SEM, obteniendo valores de 23.4MPa±4.8, nosotros no coincidimos con estos valores a pesar de que utilizamos la misma resina Transbond XT ellos grabado con ácido fosfórico al 37% por 30seg, esto puede deberse a las diferencias en la metodología como fueron el desprendimiento a 72h, para el índice ARI reportan un valor de 3, es decir todo el adhesivo remante sobre el diente, no coincidimos en esto podría deberse además del sistema adhesivo, el grabado y el tiempo de desprendimiento a los brackets utilizados, es decir el tipo de malla (Edwise Apollo class). En cuanto a las observaciones en SEM sólo fueron observados 2 brackets y a diferentes aumentos 52x y 57x, por lo que concluyen que son necesarios otros estudios a diferencia del nuestro nosotros observamos los 30 brackets y en aquellos donde se mostró pérdida de esmalte se realizaron observaciones a diferentes aumentos tanto de diente como del bracket.



Wade⁴² evaluó la influencia del adhesivo SEP Transbond plus en diferentes tiempos de aplicación. Utilizó 40 molares en 2 grupos de 20 cada uno, la base del bracket fue de 10.3mm² de incisivos laterales, grupo I aplicó el adhesivo de autograbado por 3 a 5s, en el grupo II por 15s en el grupo I obtuvo valores de resistencia al desprendimiento de 8.0MPa \pm 4.6 MPa y para grupo II 8.9 \pm 3.4 MPa. Coincidimos con los valores del grupo I donde se respetaron las indicaciones del fabricante, y el manejo de la muestra fue similar.

Yamada⁷⁰ determinó la resistencia al desprendimiento en brackets con 4 sistemas adhesivos, observó la superficie de los dientes antes del grabado ácido en un microscopio de FE-SEM (microscopio electrónico de barrido de emisión de campo) utilizó 72 dientes de bovino, 18 para cada grupo, brackets metálicos Edgewise de 9.64mm², obtuvieron el índice ARI, y reportan un valor de resistencia al desprendimiento de 7.9MPa \pm 2.7MPa, coincidimos con estos valores a pesar de las diferencias en la metodología, como fue que no siguieron las instrucciones del fabricante en el tipo de aplicación del adhesivo SEP transbond plus, esto podría deberse a la desviación estándar, para el índice ARI reportan para mayoría de las muestras valor de 1, de igual manera coincidimos, en cuanto a las observaciones en microscopía, no especifican el número de muestras que se observaron en FE- SEM.

Pont H.⁷¹ menciona que la resistencia al desprendimiento puede ser influenciada por muchos factores: el tipo de agente acondicionador del esmalte (ácido fosfórico, adhesivo de autograbado, ácido poliacrílico), resina adhesiva, cemento, métodos de polimerización, tipo de bracket o tipo de malla de la base del bracket. Un incremento en la resistencia al desprendimiento causa un mayor riesgo al daño del esmalte. Por las variaciones del espesor del esmalte o la orientación de los prismas del esmalte se pueden esperar diferentes tipos de fractura dependiendo del tipo de diente. Dentro de nuestros criterios de inclusión fueron primeros premolares superiores e inferiores derechos e izquierdos podríamos atribuir las diferencias en el daño al esmalte debido a las variaciones en el espesor del esmalte entre primer premolar superior e inferior. También menciona que cuando hay más remanentes de resina en la base del bracket el % de Ca fue más alto, el daño de iatrogenia a la superficie del



esmalte después del retiro del bracket es inevitable, si la pérdida elemental del esmalte tiene diferencias clínicas tiene que realizarse un seguimiento clínico de largo plazo. En nuestro estudio en las muestras que se presentó pérdida de esmalte existía más del 50% de adhesivo remanente sobre el bracket y siempre la pérdida se presentó sobre remanente de resina, solo en 2 de las 30 muestras se presentó una pérdida mayor a 1mm^2

No obstante que nuestra muestra fue de 30 premolares, sin bien es pequeña, pero el costo de cada una es elevado, la mayoría de los reportes sólo realizan observaciones en algunas de las muestras y no son específicos en el número, mientras que nosotros observamos los 30 brackets, los 30 dientes inicialmente y en aquellos que presentaron pérdida de esmalte se realizaron más observaciones a diferentes aumentos tanto del diente como del bracket.



Capítulo 7: Conclusiones



Bajo la metodología en la que se realizó esta investigación los resultados indican:

- Al evaluar mediante SEM la superficie del esmalte dental, en un inicio está intacto, luego del retiro de brackets (en aquellas muestras donde hubo pérdida de esmalte) se presentan diferentes patrones como son fracturas, escalones, pérdida horizontal y vertical en algunos casos, y pequeñas líneas de rayado.
- Los valores de resistencia al desprendimiento reportados como adecuados para la clínica, van de 2.8MPa a 10MPa ³⁹ sin embargo a pesar de que nuestros resultados coinciden con estos valores, observamos que existe pérdida de esmalte y no existe asociación entre la resistencia al desprendimiento y la presencia de esmalte.
- En la mayoría de las muestras se observó menos de la mitad de adhesivo remanente en el esmalte dental al aplicar la prueba de Índice de Adhesivo Remanente (ARI). Utilizando el programa autoCAD indicó que a medida que aumenta el área de resina en el esmalte también aumenta la resistencia al desprendimiento, y a medida que aumenta la cantidad de esmalte perdido y cuando el área de metal está libre de resina, menor es la resistencia al desprendimiento.



Propuesta a futuro

- Sugerimos realizar estudios en cuanto a la relación fósforo/calcio en aquellas muestras donde se presente pérdida de esmalte.
- El índice ARI sólo categoriza de 0 a 3, no es específico, por lo que se recomienda optimizar el uso del programa autoCAD para establecer mediciones más precisas de la pérdida de esmalte al desprendimiento de brackets.
- Recolectar brackets de pacientes y realizar las mediciones de áreas de esmalte perdido incluyendo diferentes sistemas adhesivos y diferentes mallas de brackets para observar lo que se presenta in-vivo.
- Uno de los problemas que se presentaron al inicio de este trabajo fue la medición de la pérdida de esmalte con Microscopia de Fuerza Atómica debido a la sensibilidad del cantiléver y la convexidad que presentan tanto el premolar como el bracket, por lo que sugerimos hacerlo en incisivos inferiores por presentar una superficie vestibular mas plana al igual que la malla del bracket para incisivo inferior.
- Realizamos una prueba piloto con microscopia confocal con la finalidad de realizar una reconstrucción tridimensional tanto del diente como del bracket y realizar la medición de la pérdida de esmalte, sin embargo es una técnica que aún requiere ser optimizada para este tipo de estudios.



Capítulo 9: Bibliografía



-
- ¹ Gómez de Ferraris M, Campos Muñoz A. *Histología y Embriología Bucodental. Bases Estructurales de la Patología, El diagnóstico, la terapéutica y la prevención odontológica.* 2da reimpresión. Madrid: Editorial Medica Panamericana, 2001
 - ² Spears I.R. A Three-dimensional Finite Element Model of Prismatic Enamel: A Re-appraisal of the Data on the Young's Modulus of Enamel. *J Dent Res* 1997; 76(10): 1690-1697
 - ³ Reyes G. J, Estudio del esmalte dental humano por microscopia electrónica técnicas afines. *Rev. LatinAm Met Mat.* 2001; 21(2)
 - ⁴ Mihaela C. Tooth Enamel, the Result of the Relationship between Matrix Proteins and Hydroxyapatite Crystals. *Applied Medical Informatics* 2008; 23(3-4): 68 - 72
 - ⁵ Tanaka R., Shibata Y., Manabe A., Miyazaki T. Mineralization potential of polarized dental enamel. *Plos One* 2009; 4(6):1-6.
 - ⁶ Anjum A., Otsuki M., Martin K., Tagami J. Preservation in the liquid media produces alterations in enamel surface properties. *Journal of Dentistry* 37(2009)884-890
 - ⁷ Simmer J.P, Hu J.C. Molecular mechanisms of dental enamel formation. *Crit Rev. Oral Biol Med.* 1995; 6(2): 84-108
 - ⁸ Espírito S. A., Peres L. S. The enamel organic matrix: structure and function. *Brazil J Oral Sci.* 4(13):716-724
 - ⁹ Orban B. J., Bhaskar S.N. *Histología y Embriología Bucal.* México: Editorial Prado,1991
 - ¹⁰ Xie Z.H., Swain M.V., Swadener G., Munroe P., Hoffman M. Effect of microstructure upon elastic behavior of human tooth enamel. *J of Biomechanics* 2009; 42:1075–1080
 - ¹¹ Ichijo T., Yamashita Y., Terashima T. Observations on structural features and characteristics of biological apatite crystals. Observation on lattice imperfection of human tooth and bone crystals II. *Bull. Tokyo Med Dent.* 1993; 40:193-205
 - ¹² Trites B., Foley T., Banting D. Bond strength comparison of 2 self-etching primers over a 3-month storage period. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2004;126:709-716
 - ¹³ Durso G., Abal A., Variabilidad de la morfología de los Prismas del Esmalte Dental Humano. *Acta microscópica* 2008; 17(1): 1-8
 - ¹⁴ Koenigswald W. Tooth enamel of the cave bear (*Ursus spelaeus*) and the relationship between diet and enamel structures. *Ann. Zool. Fennici* 1992;28:217-227
 - ¹⁵ Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fajerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res* 1975;9:373-87
 - ¹⁶ Lindauer S. Browning H., Shroff B. Marshall F., Anderson R., Moon Peter. Effect of pumice prophylaxis on the bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1997;111:599-605.
 - ¹⁷ Olsen M., Bishara S., Boyer D., Jakobsen J. Effect of varying etching times on the bond strength of ceramic brackets *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1996;109:403-9.
 - ¹⁸ Horiuchi S., Kaneko K., Mori H., Kawakami E., Tsukahara T., Yamamoto K., Hamada K., Asaoka K., Tanaka E. Enamel bonding of self-etching and phosphoric acid-etching



- orthodontic adhesives in simulated clinical conditions: Debonding force and enamel surface. *Dental Materials Journal* 2009;28(1):419-425
- ¹⁹ Meerbeek V., Yoshihara K., Yoshida Y., Mine A., De Munck J. Landuyt V. State of art self-etch adhesives. *Dental Materials* 27 (2011)17-28
- ²⁰ Joo H., Lee Y., Lee D., Kim Y., Lim Y. Influence of orthodontic adhesives and clean-up procedures on the stain susceptibility of enamel after debonding. *Angle Orthod.* 2011;81:334-340
- ²¹ Bishara S., VonWald L., Laffoon F., Warren J. Effect of a self-etch primer/adhesive on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;119:621-624
- ²² Pithon M., Oliveira A., Sant'Anna E., Oliveira M. Bernardes L. Shear bond strength of brackets bonded to enamel with a self-etching primer. *Angle Orthod.* 2009;79:133-137
- ²³ Abdelnaby Y., Al-Wakeel E. Effect of early orthodontic force on shear bond strength of orthodontic brackets bonded with different adhesive systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138:208-14
- ²⁴ Bishara S., Gordan V., VonWald L., Jakobsen J. Shear bond strength of composite, glass ionomer, and acidic primer adhesive systems. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;115:24-28
- ²⁵ Hosein I., Sherriff M., Ireland A. Enamel loss during bonding, debonding and cleanup with use of a self-etching primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:717-24
- ²⁶ Pashley D., Tay F. Aggressiveness of contemporary self-etching Adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater* 2001;17:430-444
- ²⁷ Arnold R.W., Combe E. C., Warford J.H. Bonding of stainless steel brackets to enamel with a new self-etching primer. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2002;122:274-276
- ²⁸ Velo S., Carano A., Carano A. Self-etching vs. traditional bonding systems in orthodontics: an in vitro study. *J Orthod Craniofac Res* 2002;5:166-169
- ²⁹ Bishara S., Gordan V., VonWald L., Jakobsen J. Shear bond strength of composite, glass ionomer, and acidic primer adhesive systems. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;115:24-28
- ³⁰ Millar R.A. Laboratory and clinical evaluation of a self-etching primer. *J. Clin Orthod.* 2001;35:42-45
- ³¹ Arnold R.W., Combe E. C., Walford J.H. Bonding of stainless steel brackets to enamel with a new self-etching primer. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;122:274-276
- ³² Bishara S.E., Oonsombat C., Ajlouni R., Laffoon J.F. Comparison of the shear bond strength between a conventional and a new integrated bonding system. *Angle Orthod* 2005;75:233-238
- ³³ Dorminey J.C., Duna W.J., Taloumis L.J. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a modified 1-step etch-ant-and-primer technique. *Am J. Orthod Dentofac Orthop.* 2003;124:410-413
- ³⁴ Kimura T, Duna WJ. Taloumis LJ. Effect of fluoride varnish on the in vitro bond strength of orthodontic brackets using a self-etching primer system. *Am J. Orthod Dentofac Orthop.* 2004;125:351-356



- ³⁵ Abate P., Bertacchini S., Machi R. Adhesion of compomer to dental structures. *Quintessence International*. 2000; 28(8): 509 – 512.
- ³⁶ Meerbeek B. V., Braem M., Vanherle G. Morphological characterization of the interface between resin and sclerotic dentin. *Journal of Dentistry*. 1994; 22 (3): 141-146
- ³⁷ Meerbeek B. V., Braem M., Vanherle G. The clinical performance of adhesives. *J of Dent Res* 1998; 26 (1): 1 – 20.
- ³⁸ Vilchis R.J., Yamamoto S., Kitai N., Yamamoto K. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with different self-etching adhesives. *Am J of Orthod y Dentofac Orthop* 2009;136:425-30
- ³⁹ Pickett K, Sadowsky P. Jacobson A, Lacefield W. Orthodontic In Vivo Bond Strength: Comparision with In Vitro Results. *Angle Orthod* 2001;71:141-148
- ⁴⁰ Keizer S., TenCate J.M., Arends J. Direct bonding of orthodontic brackets. *Am J Orthod*. 1976; 69:318–327.
- ⁴¹ Dorminey J.C., Duna W.J., Taloumis L.J. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a modified 1-step etch- ant-and-primer technique. *Am J. Orthod Dentofac Orthop*. 2003;124:410-413
- ⁴² Wade A.O., Bishara S.E., Laffoon J., Warren J.J. Influence of Self-etching Aplication Time on Bracket Shear Bond Strength *Angle Ortod* 2007;77:885-889
- ⁴³ Turk T. Effects of Self-Etching Primer on Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets at Different Debond Times. *Angle Orthod* 2007;77:108-112
- ⁴⁴ López F. S, Palma C.J. Gerrero I.J, Ballesteros L. M, Elorsa P.H. Fuerza de retención al esmalte con adhesivos usados en ortodoncia, utilizando dos tipos de bases de brackets (estudio comparativo in vitro) *Revista odontológica Mexicana* 2004;8:122-126
- ⁴⁵ Transbond XT Light Cure Adhesive. 3M Unitek ficha técnica USA 2005.
- ⁴⁶ Anthony D. Viazis. Atlas de Ortodoncia. Principios y Aplicaciones Clínicas. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 1ra edicion.1995.
- ⁴⁷ Bishara S., Soliman M., Oonsombat Ch., Laffon J., Ajlouni R. The effect of variation in mesh-base desing on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2004;74:400–404.
- ⁴⁸ Knox J., Kralj B., Hubsch P., Middleton J., Jones ML. An evaluation of the quality of orthodontic attachment offered by single and double mesh bracket bases using finite element method of stress analysis. *Angle Orthod*. 2001;71:149–155.
- ⁴⁹ Maijer R., Smith DC. Variables influencing the bond strength of metal orthodontic bracket bases. *Am J Orthod*. 1981;79:20–34.
- ⁵⁰ Sharman-Sayal S., Rossouw P., Kulkarni G. The influence of orthodontic bracket base design on shear bond strength. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003;124:74-82
- ⁵¹ Yacamán M.J., Reyes J. *Microscopia Electrónica, Una Visión del Microcosmos*. México D. F., Fondo d Cultura Económica, 1995.
- ⁵² Jelkins G. *An Introduction to R-Ray Spectrometry*. London: Ed. Heyden,1976
- ⁵³ Heimendhal M. V. *Electron Microscopy of Materials*. New York: Academic Press, 1980



- ⁵⁴ Barrio-Paredes R. A. Formation de Images Through Intact Animal with Uptake by Bloodstream and Thyroid Gland. *J Dent Res*, 1951; 30: 728-733
- ⁵⁵ Otley C. W. *The Scanning Electron Microscope. Part, The instrument Great Britain*, 1972
- ⁵⁶ Goldstein J.L. et al. *Scanning Electron Microscopy and X Ray Microanalysis*. New York: Plenum Press, 1981
- ⁵⁷ Pawley J. The development of field-emission scanning electron microscopy for imaging biological surfaces. *Scanning* 1997;19: 324–336.
- ⁵⁸ Feninat F, Poulin S, Ellis TH, Sacher E, Stangel I. Moisture dependent renaturation of collagen in phosphoric acid-etched human dentin. *J Biomed Mater Res* 1998;42:549–553.
- ⁵⁹ Takuma S. Electron microscopy of the structure around the dentinal tubule. *J Dent Res* 1960;39:973–981.
- ⁶⁰ Thomas HF. The lamina limitans of human dentinal tubules. *J Dent Res* 1984;63:1064–1066.
- ⁶¹ Mjor IA, Nordahl I. The density and branching of dentinal tubules of human teeth. *Arch Oral Biol* 1996;41:401–412.
- ⁶² VanMeerbeek B, Dhem A, Goret-Nicaise M, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Comparative SEM and TEM examination of the ultrastructure of the resin–dentin interdiffusion zone. *J Dent Res* 1993;72:495–501.
- ⁶³ Walshaw PR, McComb D. SEM characterization of the resin dentin interface produced in vivo. *J Dent Res* 1995;23:281–287.
- ⁶⁴ Årtun J., Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333–340
- ⁶⁵ Berkovitz B., Holland G. Moxham B. *Atlas en color y texto de anatomia oral. Histologia y embriología*. Madrid Mosby/Doyma Libros 2da edición pp 112-123
- ⁶⁶ International Organization for Standardization (ISO) with Technicaql Specification (ISO/TS) 11405. Second edition. 2003-02-01 Reference number ISO/TS 11405:2003(E).
- ⁶⁷ Bosh T, Kaufman A., Balabanovsky A. Vardimon A. In vivo debonding strength and enamel damage in two orthodontic debonding methods. *Journal of Biomechanics* 38 (2005) 1107-1113
- ⁶⁸ Eminkahyagil N., Korkmaz Y., Gokalp S. Baseren M. Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets with Newly Developed Antibacterial Self-Etch Adhesive. *Angle Orthod* 2005;75:843-848
- ⁶⁹ Attilio M., Traini T., Di Iorio D., Varvara G., Festa F. Tecco S. Shear Bond Strength, Bond Failure, and Scanning Electron Microscopy Analysis of a New Flowable Composite for Orthodontic Use. *Angle Orthod* 2005;75;410-415
- ⁷⁰ Yamada R., Hyakama T., Kasai K. Effect of Using Self-Etching Primer for Bonding Orthodontic Brackets. *Angle Orthod* 2002;72;558-564
- ⁷¹ Pont H., Özcan M., Bagis B., Ren Y. Loss of surface enamel after bracket debonding: An in-vivo and ex-vivo evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010;138:387.e1-387.e9