



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
ESCUELA DE POSGRADO

**INFLUENCIA DE DIFERENTES
PERIODOS DE TIEMPO DE
GRABADO DEL ESMALTE
DENTARIO CON ÁCIDO FOSFÓRICO
EN LA RESISTENCIA DE UNIÓN DE
CEMENTOS RESINOSOS
AUTOADHESIVOS**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTOR EN ESTOMATOLOGÍA**

MIGUEL ÁNGEL SARAVIA ROJAS

**LIMA-PERÚ
2018**

ASESORA PRINCIPAL

PhD. Lidia Yileng Tay Chu Jon

Departamento Académico de Clínica Estomatológica UPCH

CO ASESORA

PhD. Regina María Puppín Rontani

Coordinadora de la Maestría y Doctorado de Materiales Dentales UNICAMP,

2017, Sao Paulo, Brasil

JURADO EXAMINADOR

Presidente : Dr. Wilson Delgado Azañero

Vocal : Dr. Abraham Meneses López
Dr. Juvenal Castromonte Salinas

Secretario : Dra. María Quintana Cáceda

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 20/12/2018

CALIFICATIVO : Magna Cum Laude

DEDICATORIA

A mis padres, a mi amada esposa, a mis amigos y a mi Alma Mater. Gratitud eterna.

AGRADECIMIENTO

- A mi familia por su incondicional apoyo.
- A mi amada esposa Fanny; por su amor, resiliencia y empatía.
- A mis asesores; PhD Lidia Yileng Tay Chu Jon y PhD Regina María Puppini Rontani por su apoyo incondicional en la investigación.
- A mis colegas Gabriel Nima y Gabriel Abuna por su compromiso y colaboración en esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1. Área problema	3
2.2. Planteamiento del problema	4
2.3. Justificación	5
III. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Antecedentes	7
3.2. Base teórica	14
3.2.1. Adhesión en odontología	14
3.2.1.1. Facilitadores físicos	14
3.2.1.2. Facilitadores químicos	14
3.2.2. Sustrato dentario	15
3.2.3. Adhesión a esmalte	17
3.2.3.1. Grabado ácido sobre el esmalte dental	19
3.2.3.1.1. Tipos de grabado ácido en esmalte	21
3.2.3.1.2. Tiempo de grabado ácido	22
3.2.4. Agentes cementantes	23
3.2.4.1. Agentes cementantes: Definición	23
3.2.4.1.1. Biocompatibilidad	24
3.2.4.1.2. Consistencia y espesor de película	24
3.2.4.1.3. Estabilidad en el medio bucal	24
3.2.4.1.4. Resistencia mecánica	25
3.2.4.1.5. Tiempo de trabajo y de fraguado final	25
3.2.4.1.6. Adhesión al diente y a la restauración	25
3.2.4.1.7. Radiopacidad	26
3.2.4.1.8. Efecto cariostático	26
3.2.4.2. Cementos resinosos	26
3.2.4.3. Cementos autoadhesivos	28
3.2.4.3.1. Composición química	30
3.2.4.3.2. Comportamiento de los cementos	35
3.2.4.3.2.1. Sobre esmalte	35
3.2.4.3.2.2. Sobre dentina	36
3.2.5. Métodos para evaluar la resistencia de unión de Medios cementantes	37

3.2.5.1. Prueba de microcizallamiento.	37
3.2.5.1.1. Ventajas	38
3.2.5.1.2. Desventajas	38
3.2.6. Dientes bovinos como sustitutos de dientes humanos en investigación	38
3.2.6.1. Descripción Macroscópica	39
3.2.6.2. Descripción Microscópica	40
3.2.7. Degradación de la interfase adhesiva	41
3.2.7.1. Degradación química	42
3.2.7.2. Degradación mecánica	42
3.2.8. Envejecimiento por fatiga térmica	43
IV. OBJETIVOS	46
4.1. Objetivo general	46
4.2. Objetivos específicos	46
V. HIPÓTESIS	47
VI. MATERIAL Y MÉTODOS	48
6.1. Diseño del estudio	48
6.2. Muestra	49
6.2.1. Criterios de inclusión	50
6.2.2. Criterios de exclusión	50
6.3. Variables	52
6.4. Técnicas y/o procedimientos	53
6.4.1. Prueba piloto	53
6.4.2. Laboratorio	53
6.4.3. Preparación de la muestra	53
6.5. Plan de análisis	62
6.6. Consideraciones éticas	62
VII. RESULTADOS	63
VIII. DISCUSIÓN	77
IX. CONCLUSIONES	86
X. RECOMENDACIONES	88
XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Media aritmética y desviación estándar de la Resistencia de unión de los cementos RelyX U200 y Maxcem Elite, según el tiempo de grabado y la presencia o no de tratamiento de termociclado.	66
Tabla 2. Supuesto de homogeneidad de varianzas.	66
Tabla 3. Supuesto de homocedasticidad.	67
Tabla 4. Prueba ANOVA 3 factores.	67
Tabla 5. Tipo de fractura según tipo de tratamiento y termociclado.	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Patrones de fractura por termociclado según tipo de cemento, tiempo de grabado y termociclado.	69
Gráfico 2. Resistencia de unión de los cementos RelyX U200 y Maxcem Elite según el tiempo de grabado y la presencia o no de tratamiento de termociclado.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Seccionamiento de la raíz.	54
Figura 2. Recorte de esmalte.	54
Figura 2a. Recorte de esmalte.	55
Figura 3. Guía patrón para réplica con silicona.	57
Figura 3a. Colocación del medio cementante.	58
Figura 4. Microscopía confocal láser de barrido.	71
Figura 5. Microscopía electrónica de barrido identificando el tipo de fractura adhesiva, cohesiva y mixta. Microfotografías 01, 02 y 03.	72
Figura 6. Microscopía electrónica de barrido interfase medio cementante y Maxcem Elite. Se observa las imágenes de MEB del grupo control y grupos experimentales.	73
Figura 7. Microscopía electrónica de barrido interfase medio cementante y RelyX U 200 Grupo control y grupos experimentales.	75

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

μm	: Micrómetros.
0 s	: Grupo control.
5 s	: Grupo experimental tiempo de grabado 5" con ácido fosfórico al 37 %.
10 s	: Grupo experimental tiempo de grabado 10" con ácido fosfórico al 37 %.
20 s	: Grupo experimental tiempo de grabado 20" con ácido fosfórico al 37 %.
4-META	: 4-metacril-oxi-etil-trimelitato anhídrido.
Bis-GMA	: Ácido de bisglicilmetacrilato.
Ca	: Ion calcio.
CLSM	: Microscopía confocal laser de barrido.
CP	: Cuerpo de prueba. Esmalte de bovino de 8 x 4 mm.
Fig.	: Figura.
FVM	: Fotovideomicroscopía con analizador de imágenes Metamorph.
FVM.CID	: Fotovideomicroscopía de contraste Nomarsky.
GDMA	: Ácido glicildimetacrilato.
HEMA	: Ácido hidroxietilmetacrilato.
MC	: Maxcem Elite.
MDP	: 10 Metacriloxietil trimetacrilato anhidro.
MEB	: Microscopía electrónica de barrido.
MET	: Microscopía electrónica de transmisión.
mW/mm²	: Miliwatios por milímetro cuadrado.
mm	: Milímetros.
MPa	: Megapascales.
Nm	: Nanómetros.
°C	: Grados Celsius.
pH	: Potencial de hidrógeno.

PV	:	Panavia F2.0.
RPM	:	Revoluciones por minuto.
s	:	Segundos.
SiC	:	Carburo de silicio.
TC	:	Termociclado.
TEGDMA	:	Ácido trietilenglicilmetacrilato.
TMPTMA	:	Ácido trimetilolpropano trimetil olipropano de trimetacrilato.
UC	:	RelyX Unicem.
UDMA	:	Ácido dimetacrilato de uretano.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la influencia de diferentes tiempos de acondicionamiento (ácido fosfórico al 37 % por 5", 10" y 20") a nivel del esmalte y su efecto en la resistencia adhesiva (RA) con cementos autoadhesivos (CA) sometidos a termociclado (TC).

Materiales y métodos: 128 bloques de esmalte bovino de 8 x 4 x 2 mm fueron distribuidos aleatoriamente en 2 cementos: RelyX U200 (XU) y Maxcem Elite (MC). Fueron conformados 4 subgrupos (n = 16) para cada CA de acuerdo a cada tiempo de acondicionamiento. G1: Control, G2: 5 segundos, G3: 10 segundos, G4: 20 segundos. Fueron construidos tres cilindros de CA (1 x 1 mm) sobre cada bloque. Los especímenes fueron almacenados en agua destilada a 37 °C por 24 horas. Posteriormente, la mitad de ellos fueron sometidos a una prueba de microcizallamiento en una máquina de ensayos universales, aplicando carga constante a 0,5 mm/min hasta producir la fractura. La otra mitad fue sometida a 5000 ciclos térmicos (5 °C – 55 °C) antes de la prueba. El tipo de fractura fue analizado con microscopio electrónico de barrido (MEB). Los resultados (MPa) fueron analizados con la prueba de ANOVA de tres factores y las diferencias intergrupos con T-Student o U de Mann Whitney ($p < 0,05$). La capa de interfase fue analizada con microscopía de escaneamiento laser confocal y MEB.

Resultados: El acondicionamiento mejora significativamente la RA cuando fue comparado con los grupos de control ($p < 0,05$). El TC afectó negativamente la RA de los grupos sin condicionamiento ($p < 0,05$). Entre los grupos con condicionamiento, la RA no mostró diferencias entre sin TC y con TC ($p > 0,05$). Se observaron fracturas predominantemente adhesivas y mixtas en los grupos sin acondicionamiento y con acondicionamiento, respectivamente. Hubo ausencia de “tags” resinosos en los grupos sin acondicionamiento.

Conclusión: El acondicionamiento sobre esmalte debe preceder al uso del XU y MC. TC no afecta la resistencia de unión en los grupos experimentales, pero sí de

manera importante en los grupos control. Los periodos de tiempo de acondicionamiento no influyeron en la resistencia de unión en el XU; mientras que, en el MC en los periodos de tiempo de 5" y 10" la RA aumentó y para 20", disminuyó. El tipo de falla fue adhesiva, cohesiva y mixta después de TC.

PALABRAS CLAVE: Esmalte, Microcizallamiento, Cementos resinosos autoadhesivos, Fatiga térmica, Termociclado, Acondicionamiento ácido.

ABSTRACT

Objective: Evaluate the influence of different conditioning times (37 % acid phosphoric for 5", 10" and 20") in the enamel and the effect on the bond strength (BS) with self-adhesive cements (SC) subjected to thermocycling (TC).

Materials and methods: 128 blocks of bovine enamel of 8 x 4 x 3 mm were randomly divided in 2 cements, RelyXU200 (XU), Maxcem Elite (MC). 4 subgroups (n = 16) were formed for each cement, according to the conditioning time. G1: Control, G2: 5 seconds, G3: 10 seconds, G4: 20 seconds. Three SC cylinders (1 x 1 mm) were built on each block. The specimens were stored in distilled water at 37 °C for 24 hours. After that, half of them were subjected to a microshear test in a universal testing machine, applying a crosshead speed of 0.5 mm/min, to produce the fracture. The other half was subjected to 5000 thermal cycles (5 °C - 55 °C) before the test. The type of failure was analyzed with a scanning electron microscope (SEM). The results (MPa) were analyzed using the three-way ANOVA test and the intergroup differences with the Student's T test or Mann-Whitney U test ($p < 0,05$). The interface layer was analyzed with confocal laser scanning microscopy and SEM.

Results: Conditioning significantly improves the BS when compared with control groups ($p < 0,05$). The TC negatively affect the BS of the groups without conditioning ($p < 0,05$). Among the groups with the conditioning, the BS didn't show difference between without TC and with TC ($p > 0,5$). Predominantly adhesive and mixed fractures in the groups without conditioning and conditioning were observed, respectively. There were not resin tags in the groups without conditioning.

Conclusion: Conditioning on the enamel must precede the use of (XU) and (MC). The SC of control group was affected by thermocycling process.

Keywords: Enamel, Microshear, Adhesive resin cements, Thermocycling, Acid conditioning.

I. INTRODUCCIÓN

Los agentes cementantes autoadhesivos han permitido superar las deficiencias de los cementos convencionales y reducir los pasos en el procedimiento de cementación de restauraciones indirectas a estructuras dentarias, al obviar el paso del grabado ácido previo al sustrato dentario y la aplicación de un sistema adhesivo.

Desde la aparición de la primera generación hasta la fecha, los cementos resinosos autoadhesivos han experimentado mejoras importantes desde el punto de vista mecánico, biológico y óptico; que de una u otra manera han generado una mayor expectativa por parte del facultativo, logrando una aceptación razonable en la práctica clínica.¹⁻¹¹

La adhesión sobre el sustrato dentinario se ve altamente favorecida; sin embargo, no sucede lo mismo sobre el sustrato adamantino,¹¹ ya que el esmalte dental está compuesto principalmente por materia inorgánica (95 %) y en menor cantidad materia orgánica (0.36 - 2 %).^{12,13}

Por otro lado, los cementos autoadhesivos no actúan de manera similar a los convencionales. Estos últimos requieren el grabado con ácidos inorgánicos; como el ácido fosfórico al 32 – 37 %, EDTA u otros ácidos orgánicos débiles, como el ácido poliacrílico;¹⁴ siendo fundamental el uso de estas soluciones para preparar el sustrato adamantino previo a su cementación. Estos ácidos desmineralizan la

superficie dental, generando microrretenciones; y, por lo tanto, un mejor embricamiento micromecánico.

Hay evidencia científica de que los medios cementantes resinosos autoadhesivos mejoran cuando se usa el grabado previo sobre esmalte con ácido fosfórico al 37 %;⁵⁻¹¹ sin embargo, estos medios cementantes han experimentado mejoras en su composición química que lo colocarían en una situación más adecuada para generar interfaces de unión sobre el esmalte dentario.^{10,15} Estas mejoras permitirían una mayor resistencia de unión a la superficie del esmalte, mayor estabilidad de color y un mayor grado de polimerización del agente de unión.^{10,15}

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de diferentes periodos de tiempo de grabado previo con ácido fosfórico al 37 % sobre el esmalte y su impacto en la resistencia de unión, haciendo uso de medios cementantes autoadhesivos, siendo comparados con sus protocolos convencionales recomendados.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Área problema

En las últimas dos décadas los procedimientos adhesivos han incrementado sus indicaciones a las restauraciones indirectas, lo que ha permitido el desarrollo de nuevas posibilidades terapéuticas adhesivas alternativas.^{16,17} Como consecuencia, se han desarrollado muchos agentes cementantes, cada uno con indicaciones y limitaciones.

Los agentes cementantes duales fueron desarrollados para conciliar las propiedades de los agentes cementantes de autocurado y fotocurado, con la finalidad de tener un material que brinde un tiempo de trabajo más amplio y que sea capaz de reaccionar con un alto grado de conversión en ausencia o presencia de luz.^{18,19} Por otro lado, estos cementos han mostrado tener una mayor resistencia frente a la carga oclusal.¹⁹ Sin embargo, el uso de agentes cementantes requiere de un procedimiento adhesivo, para ello necesitamos la preparación de la estructura dentaria,¹⁹ lo que genera que el procedimiento de cementación se torne complicado debido al número de pasos a realizar, convirtiéndose en una técnica muy sensible.¹⁹⁻²¹

Es así que se dispone de agentes cementantes duales autoadhesivos, que han sido desarrollados con el fin de combinar el fácil manejo con las propiedades mecánicas, adhesivas y estéticas. Esto tiene como meta conseguir niveles de adhesión óptimos, sin la necesidad de pasos previos como es el grabado ácido, imprimación,

silanización, entre otros.^{9,10,15} Para lograrlo, en esta generación de agentes cementantes se han desarrollado monómeros, tecnología de relleno y un sistema iniciador completamente nuevo.^{10,15}

2.1. Planteamiento del problema

La aparición de los agentes cementantes resinosos a inicios de este siglo generó una gran expectativa dentro de la comunidad odontológica mundial. No presentar sensibilidad post cementación, fácil uso, resistencia de unión aparentemente adecuada sobre la dentina y el esmalte, color similar al diente, estabilidad óptica adecuada y simplicidad en la técnica de unión fueron los principales argumentos con los que se socializaron esta generación de agentes cementantes.^{5,9,10,15}

Ha quedado claro que la superficie adamantina es altamente predecible usando procedimientos adhesivos. Esta generación de agentes cementantes se desarrolló para que los procedimientos indirectos de cementación con materiales poliméricos, cerámicos, cerámicos infiltrados con resina y metálicos, puedan ser más fáciles disminuyendo los riesgos de presentar una sensibilidad post-cementación y lograr una mayor eficacia en los procedimientos y satisfacción del paciente.^{5,9,10,14,15,22}

En nuestro medio existen diferentes agentes cementantes resinosos autoadhesivos que son usados por los facultativos para los procedimientos restauradores indirectos. Las cualidades adhesivas de los cementos autoadhesivos se ven altamente favorecidas sobre el sustrato dentinario, no sucede lo mismo sobre el sustrato adamantino.^{10,15} Contrariamente, el sustrato adamantino es el más

predecible para poder lograr una conducta adhesiva óptima.¹⁵ Se conoce que el grabado previo con ácido fosfórico al 37 % mejora la resistencia de unión;^{4,7,10,11} sin embargo, es conveniente conocer si aún es necesario seguir grabando la superficie del esmalte o tal vez ya no sea necesario.

Es por esto que en esta investigación se planteó responder la siguiente interrogante: ¿Cuál de los períodos de tiempo (5 s, 10 s y 20 s) de grabado ácido al 37 % sobre esmalte genera mayor o igual resistencia de unión usando dos medios cementantes resinosos autoadhesivos y si la fatiga térmica, como el tipo de medio cementante usado, genera alguna influencia sobre la resistencia de unión?

2.3. Justificación

Desde el punto de vista teórico, la investigación es importante ya que no existe información concluyente en relación al tema. Oportunidad para permitir observar cómo estos medios cementantes interactúan sobre el sustrato y desarrollar un protocolo de cementación con esta generación de agentes cementantes que permita mejorar la resistencia de unión al esmalte, e identificar si existen diferencias entre los medios cementantes y cómo ellos se ven o no afectados por diferentes periodos de tiempo de grabado con ácido fosfórico al 37 %, además de emplear una prueba mecánica adecuada para tal fin.²³

Resulta justificable desde el punto de vista social y clínico que se realice esta experiencia en vista que se podría lograr una manera sencilla, accesible, segura y predecible de trabajar con estos agentes cementantes. De esta manera, el facultativo

eventualmente podría incorporarla en su actividad diaria con la posibilidad de incrementar la resistencia de unión de la restauración indirecta al sustrato y potencialmente aumentar la vida promedio de la restauración, generando una mejor calidad de servicio en su práctica clínica.

II. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

De Munck y Col, (2004) realizaron una investigación que tuvo como finalidad evaluar la resistencia de unión sobre la superficie del esmalte utilizando el medio cementante RelyX Unicem, 3M ESPE y Panavia F, KURARAY, haciendo uso de una prueba de microtensión; así como, la observación del tipo de fractura que presentan las interfaces usando microscopía de barrido y de transmisión. Producto de dicha experiencia, encontraron que el grupo de esmalte que se grabó previamente con ácido fosfórico al 35 % durante 15 segundos obtuvo una resistencia de unión de 35.6 MPa a diferencia del grupo de esmalte que no fue grabado previamente cuyo valor fue de 19.6 MPa; encontrándose diferencias estadísticamente significativas, demostrando que sería conveniente grabar el esmalte previamente con ácido fosfórico previo al uso de los agentes cementantes.⁴

Dos Santos y Col, (2014) evaluaron la resistencia de unión de los cementos resinosos autoadhesivos RelyX Unicem, 3M ESPE y BisCem, BISCO empleados para cementar discos de resina compuesta sometidos previamente a distintos tratamientos de superficie. G1: Sin tratamiento (control); G2: Grabado con ácido fosfórico al 35% por 15 s; G3: Aplicación de silano; G4: Ácido fosfórico + silano; G5: Ácido fosfórico + adhesivo; G6: Ácido fosfórico + silano + adhesivo (n = 6). Encontraron que independientemente del cemento usado, el grupo donde se empleó Ácido fosfórico + Silano + adhesivo (G6) mostró la mayor resistencia de unión. No habiendo diferencias estadísticamente significativas entre los otros grupos. Concluyendo que el pretratamiento de las superficies influye en la resistencia de unión de los materiales.²⁴

Vicente y Col, (2005) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la resistencia de unión utilizando una prueba de cizallamiento de brackets unidos a esmalte empleando el medio cementante RelyX Unicem, 3M ESPE. Los resultados demostraron que cuando se unía el medio cementante resinoso autoadhesivo a la superficie del esmalte de dientes premolares (caras vestibulares) usando el protocolo del fabricante, los valores de resistencia de unión fueron de 8.16 MPa. Los otros medios cementantes como el Transbond XT, 3M ESPE y el Light-bond, Reliance, Itasca III, presentaron 11.30 MPa y 14,27 MPa, respectivamente. La experiencia mostró que los valores obtenidos del medio cementante resinoso autoadhesivo fueron significativamente menores que los otros dos medios cementantes.²²

Abo-Hamar y Col, (2005) evaluaron la resistencia de unión del RelyX Unicem sobre esmalte y dentina comparados con otros cuatro medios cementantes, usando pruebas de cizallamiento. Los otros medios usados en esta experiencia fueron: Syntac –Variolink II, IVOCLAR; ED-Primer I I-Panavia F2.0, KURARAY, Japan y primer Bond NT- DyractCem Plus, DENTSPLY. La prueba usó la fatiga térmica. Los materiales usados se utilizaron con los protocolos sugeridos por el fabricante. Los valores de resistencia de unión promedio encontrados para este material sobre esmalte fueron de 14.5 MPa sin termociclado, con termociclado los valores de unión bajaron a 6.6 MPa; encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre ambos.¹

Hikita y Col, (2007) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la efectividad adhesiva de cinco medios cementantes sobre esmalte y dentina humana utilizando diferentes procedimientos de aplicación. La experiencia demostró que cuando se usó el protocolo del medio cementante resinoso autoadhesivo RelyX U 100, 3M ESPE sobre esmalte con grabado ácido al 35 % durante 15 segundos, los valores de resistencia de unión fueron de 35.2 MPa; mientras que, cuando no se grabó, la resistencia de unión fue de 19.6 MPa. Asimismo, observaron que el colocar el sistema adhesivo Prompt L-Pop, 3M ESPE después del grabado ácido al 35 % durante 15 segundos, la resistencia de unión no se incrementó significativamente al ser comparada con sólo el grabado ácido. La experiencia demostró lo valioso de grabar previamente el esmalte para mejorar la resistencia de unión.²

Duarte y col, (2008) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la resistencia de unión a nivel del margen cervical usando medios cementantes resinosos autoadhesivos. Los medios cementantes usados fueron RelyX Unicem, Multilink y como control RelyX ARC. Se trabajó sobre esmalte humano. Los grupos experimentales fueron previamente tratados con ácido fosfórico al 35 % durante 30 segundos. Los resultados de la investigación demostraron que el RelyX Unicem previamente grabado obtuvo el valor promedio de 32,92 MPa; sin grabado ácido fue de 13.03 MPa; encontrándose diferencias significativas entre ambos grupos. Mientras que para el medio cementante Multilink, con grabado y sin grabado fue respectivamente de 5.23 MPa y 5.38 MPa; no encontrándose diferencias significativas entre ambos medios cementantes. Pero si se encontró

diferencias estadísticamente significativas entre el RelyX Unicem, previamente grabado con ambos grupos, sin y con grabado, del medio cementante Multilink.⁶

Benetti y Col, (2011) tuvieron como meta evaluar la eficacia de unión entre dos nuevos medios cementantes resinosos autoadhesivos usando la prueba de microtracción. Usaron esmalte bovino como sustrato adamantino y los medios cementantes resinosos autoadhesivos Bifix de VOCO y RelyX Unicem de 3M ESPE. Los resultados mostraron que los valores de resistencia de unión promedios encontrados en el RelyX Unicem en esmalte previamente grabado con ácido fosfórico al 36 % por 30 segundos, lavados con 60 segundos + Single Bond 2, 3M ESPE, fue de 27.9 MPa; y en el no grabado, fue de 9.9 MPa; existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Para el medio cementante Bifix en el grupo de grabado ácido al 36 % por 30 segundos, lavados con 60 segundos + Solobond, VOCO, fue de 30.3 MPa; y el no grabado, fue de 6.0 MPa; existiendo diferencias significativas entre ellos. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos que se les trató previamente con ácido fosfórico y adhesivo, y entre los medios que no fueron acondicionados. La investigación concluye que ambos medios cementantes no proveen una adecuada resistencia de unión a un esmalte sin previo grabado con ácido fosfórico.⁷

Souza y Col, (2011) realizaron una investigación en donde se tuvo como meta evaluar el efecto del termociclado en tres medios cementantes resinosos autoadhesivos y un medio cementante resinoso convencional de curado dual. Los medios cementantes usados fueron: Biscem, BISCO, USA; RelyX U100, 3M

ESPE; Maxcem Elite, KERR SYBRON, USA; y Variolynk II de IVOCLAR. Los medios cementantes fueron unidos a cerámica feldespática con grabado ácido fluorhídrico al 10 % por 5 minutos + silanización y sin grabado ácido sobre la superficie de cerámica feldespática. Los resultados mostraron que el Biscem con termociclado (TC) fue de 9.2 MPa; sin TC, 18 MPa. RelyX U100 con TC, 22.1 MPa; sin TC, 23.5 MPa; Maxcem Elite con TC, 9.7 MPa y sin TC, 27.8 MPa. El grupo control Variolink fue sin TC 24.5 MPa y con TC 18.8 MPa. No se encontraron diferencias significativas en el medio cementante RelyX U100, con y sin TC. Sí se encontró diferencias estadísticamente significativas entre este medio cementante y los demás medios cementantes. La investigación concluye que es importante grabar la cerámica feldespática con ácido fluorhídrico al 10 % por 5 minutos + silanización para lograr que haya una mayor resistencia de unión de estos medios cementantes resinosos autoadhesivos sobre cerámica feldespática y que el termociclado influye en la resistencia de unión de todos los otros medios cementantes a excepción del RelyX U100.²⁵

Kim y Col, (2011) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la resistencia de unión de diferentes medios cementantes sobre la superficie de circonio previamente arenada. Los especímenes fueron sometidos a fatiga térmica usando 10,000 ciclos entre 5 °C y 55 °C previamente conservado a 37 °C por 48 horas. La superficie de circonio fue previamente arenada antes de interactuar con el medio cementante. Los medios cementantes usados fueron dos ionómeros convencionales de vidrio, dos cementos de ionómero modificados con resina y dos cementos resinosos de resina. Los cementos resinosos usados fueron RelyX

Unicem, 3MESPE (UC) y Panavia F 2.0, KURARAY (PV). Los resultados promedios de las resistencias de unión mostraron que UC con termociclado obtuvo 7.13 MPa y sin termociclado, 6.75 MPa; mientras que, PV con termociclado fue 10.31 MPa y sin termociclado fue de 11.31 MPa. No existieron diferencias entre las resistencias de unión antes y después del termociclado de los medios cementantes ante la superficie del circonio. Se concluye que el arenado previo con óxido de aluminio brindará aceptable resistencia de unión antes y después del termociclado.²⁶

Rodrigues y Col, (2014) realizaron una investigación que tuvo como fin evaluar la resistencia de unión usando una prueba mecánica de cizallamiento con los medios cementantes resinosos autoadhesivos RelyX U100, RelyX U200 y RelyX ARC sobre esmalte y dentina bovina. Ambos sustratos fueron grabados y no grabados. Los especímenes fueron colocados en saliva artificial durante 7 días, luego se utilizó una maquina universal de ensayos mecánicos con una velocidad de 0.5 mm/min. Los resultados de resistencia de unión promedio fueron los siguientes: sobre esmalte RelyX U100 sin grabado con ácido fosfórico al 37 % fue de 5.24 MPa; con grabado con ácido fosfórico al 37 %, fue de 17.81 MPa. RelyX U200 sin grabado con ácido fosfórico al 37 % fue de 5.29 MPa; con grabado ácido fosfórico al 37 %, de 17.52 MPa; existiendo diferencias estadísticamente significativas entre ambas resistencias para cada cemento. Para el grupo control RelyX ARC la resistencia de unión fue de 9.96 MPa. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el RelyX ARC y el RelyX U200, usando el protocolo sin grabado.¹¹ Sí se encontró diferencias significativas entre el RelyX U100 y RelyX U200 al ser comparados con el RelyX ARC cuando éstos fueron previamente

grabados con ácido fosfórico al 37 %.¹¹ El trabajo concluye que el RelyX U200 presenta la misma resistencia de unión que el RelyX ARC cuando previamente se graba con ácido fosfórico. Debemos señalar que en el artículo no figura el tiempo de grabado ácido usado sobre esmalte y dentina.¹¹

Hattar y Col, (2015) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la resistencia de unión de un nuevo cemento resinoso autoadhesivo sobre las estructuras de esmalte y dentina. Los medios cementantes resinosos autoadhesivos usados en la experiencia fueron: SmartCem 2, DENTSPLY; RelyX Unicem, 3M ESPE y seT, SDI. La prueba usada para evaluar fue la de cizallamiento. No se realizó fatiga térmica en ninguno de los grupos evaluados. Los resultados de los valores de la resistencia de unión promedio sobre esmalte humano fueron: RelyX Unicem: 6.81 MPa, SmartCem2: 5.41 MPa, seT: 3.76 MPa. No se encontraron diferencias significativas entre los valores de resistencia de unión entre los tres medios cementantes a nivel del esmalte. La conclusión de los autores es que estos medios cementantes deben ser usados con cuidado; ya que, se encuentran muy distantes de los valores de medios cementantes de múltiples pasos convencionales, debido a sus limitadas cualidades adhesivas.²⁶

Al revisar la literatura no hemos encontrado estudios que revelen la conducta de esta nueva generación de medios cementantes resinosos autoadhesivos de diferente naturaleza química que se enfrenten a pruebas mecánicas específicas para evaluar la resistencia de unión, como es el caso de la prueba mecánica de microcizallamiento sobre la superficie del esmalte,²³ que sean sometidos a diferentes periodos de tiempo usando el grabado ácido previo sobre la superficie

del esmalte y que sean expuestos a fatiga térmica; y cómo estas variables se relacionan entre sí. Además de determinar el tipo de falla adhesiva, cohesiva o mixta que puedan experimentar estos diferentes sustratos frente a estas condiciones y la integración de los medios cementantes en el esmalte usando microscopía laser confocal.

3.2. Base teórica

3.2.1. Adhesión en odontología

La adhesión es la fuerza de atracción entre átomos o moléculas de dos superficies diferentes en contacto íntimo.¹⁸ En 1955, Bounocore²⁷ propuso la técnica de grabado ácido del esmalte para “hacer la estructura dentaria más receptiva a la adhesión”. Este hecho supuso un cambio en la concepción de los tratamientos dentales, la adhesión se convirtió en la nueva herramienta de la odontología contemporánea.²⁷

En odontología restauradora existen dos mecanismos principales para la fijación de una restauración a la cavidad dentaria preparada:¹⁸

3.2.1.1. Facilitadores físicos: se genera a través de retenciones macromecánicas (usadas con la amalgama de plata) o retenciones micromecánicas (encontradas en restauraciones de ionómero de vidrio y resina compuesta).

3.2.1.2. Facilitadores químicos: considerados éstos como la auténtica adhesión, se generan mediante enlaces primarios de naturaleza atómica (iónicos, covalentes

y metálicos) o enlaces secundarios que son de naturaleza molecular (fuerzas de Vander Waals, fuerzas polares, puentes de hidrógeno) encontradas en los ionómeros y en los policarboxilatos.¹⁸

3.2.2. Sustrato dentario

El esmalte dentario embriológicamente deriva del órgano del esmalte de naturaleza ectodérmica y se caracteriza por ser una sustancia extracelular altamente mineralizada.¹² Presenta un elevado contenido de materia inorgánica (95 %), y en menor cantidad de materia orgánica (0.36 - 2 %).^{12,13} La matriz orgánica del esmalte es de naturaleza proteica con agregado de polisacáridos y en su composición química no participa el colágeno.

Su composición inorgánica está constituida por cristales de hidroxiapatita, fluoruro y formas carbonatadas; a su vez, posee calcio y fosfato en altas concentraciones. Esta naturaleza inorgánica le confiere un aspecto translúcido, debido a ello el color adamantino proviene de la dentina subyacente.^{12,13}

El esmalte, que se constituye micro-morfológicamente de los llamados “prismas mineralizados del esmalte”, es denominado esmalte prismático¹² y es el que constituye la mayor parte de la matriz extracelular mineralizada. El número de estos prismas van de los 5 millones en los incisivos inferiores laterales hasta los 12 millones en los primeros molares, están fuertemente yuxtapuestos y tienen 4 μm de diámetro aproximadamente llegando algunos a medir 8 μm .¹²

Cada prisma se extiende a lo largo de todo el grosor del esmalte con orientación oblicua y trayectoria ondulada. Tienen apariencia cristalina permitiendo que la luz pase a través de ellos. Los pequeños intersticios entre prismas adyacentes están ocupados por cristales de hidroxiapatita que están dispuestos casi paralelamente al eje longitudinal del prisma en la región de la cabeza. En la zona de unión de la cabeza con la cola se van inclinando progresivamente respecto al eje longitudinal del prisma hasta que los cristales adquieren una posición perpendicular y se desvía unos 65° de este eje hasta encontrarse dentro de las “colas” de los prismas.^{12,13} Esta disposición es fruto de la síntesis y formación del esmalte por parte de los ameloblastos, la distancia entre los cristales ocupada por una sustancia orgánica nunca es más de 2 a 3 nm.¹³ Por ello los valores de dureza y del módulo elástico de Young son más bajos (mayor elasticidad) en la cola del prisma que en la cabeza, y aún más bajos en la vaina del prisma. Ello se debe al mayor contenido orgánico existente en estas áreas. Estos cristales son irregulares, de espesor promedio de 30 nm y un ancho de 90 nanómetros.¹²

Así como el esmalte prismático forma parte importante de la matriz extracelular mineralizada, también encontramos zonas de esmalte aprismático; es decir, esmalte carente de prismas. Este se localiza en la superficie externa del esmalte prismático, posee un espesor de 30 a 100 μm . El esmalte aprismático está presente en todos los dientes primarios (en la zona superficial de toda la corona) y en un 70 % de los dientes permanentes. En estos últimos se encuentra ubicado en mayor medida en las regiones cervicales y en zonas de fisuras y microfisuras, y en menor medida en las superficies cuspídeas.^{12,13}

Dentro de las propiedades físicas del esmalte se destaca su dureza relacionada con la deformación. La dureza adamantina decrece desde la superficie libre a la conexión amelodentinaria; es decir, está en relación directa con el grado de mineralización. Así mismo, posee un módulo elástico y una fuerza a la tensión relativamente baja, lo que le permite ser un tejido duro-quebradizo, lo cual es compensado por la elevada resistencia a la compresión de la dentina subyacente.^{12,13,18}

3.2.3. Adhesión a esmalte

El esmalte humano es el único tejido hipermineralizado derivado del ectodermo que no posee poder regenerativo, siendo afectado por la desmineralización ácida (caries, erosiones y grabado ácido), por la acción de pastas, sustancias abrasivas (abrasiones) y traumatismos (fracturas). Sin embargo, el esmalte puede reproducir el fenómeno de remineralización, mas no de reconstrucción como sucede en otros tejidos ectodérmicos del organismo.^{12,13}

Nuevas investigaciones sobre aspectos de la microestructura adamantina, a través de modernas técnicas, han permitido conocer algunos detalles más. Se ha observado en las imágenes microscópicas a la unidad estructural del esmalte: varilla o bastón adamantino, el cual tiene una dirección perpendicular a la superficie externa del diente, donde en premolares y molares las varillas adamantinas forman ángulos agudos hacia la profundidad de los surcos y fosas de las caras oclusales. Esta estructura aportará un sustrato adamantino adhesivo diferente según la sección o

dirección de las paredes cavitarias y la necesidad o no de efectuar un bisel de unión o de protección para lograr mecanismos de adhesión.^{12,13}

La adhesión a esmalte requiere de una superficie:

A) Bisel coincidente con la dirección de las varillas adamantinas: En preparaciones cavitarias que involucren las caras libres y proximales, se debe efectuar un bisel para obtener una mejor resistencia estructural, disminuyendo el riesgo a la filtración y pigmentación marginal, con reducción del riesgo de lesiones cariosas secundarias y de microfracturas. Sin embargo, las preparaciones en caras oclusales no llevan bisel; debido a que, las varillas del esmalte son acondicionadas longitudinalmente y superior cuando las varillas son atacadas transversalmente.²⁸

B) Activa y de alta energía superficial: La acción fundamental de un ácido débil o fuerte (brinda protones) aplicado sobre una base (receptor de protones) como es el esmalte sería:

- Activar la superficie del tejido adamantino para transformar estas áreas de baja energía superficial en una de alta energía superficial.
- Desmineralización y disolución de la matriz inorgánica de las varillas adamantinas, creando microporos que transforman al tejido en un sólido cristalino y microporoso, fenómeno conocido como efecto geométrico.

Los tipos o patrones de grabado adamantino se determinan de acuerdo a la desmineralización producida por los ácidos débiles o fuertes en alta concentración. Generan un ataque a las estructuras inorgánicas del esmalte a través de una reacción

ácido-base con la hidroxiapatita y la formación de sales solubles de fosfato de calcio que posteriormente son eliminadas por el agua de lavado.²⁸

Cuando el ácido desmineraliza los cristales de hidroxiapatita de la cabeza o el cuerpo de la varilla adamantina, se obtiene el patrón de grabado tipo I; cuando el ácido actúa sobre los cristales de hidroxiapatita del cuello o del extremo caudal, se produce un patrón de grabado de tipo II.²⁸

C) Humectable o imprimable y compatible: La imprimación depende de la viscosidad del medio cementante y está directamente relacionado con la fluidez de los agentes monoméricos que integran la fórmula de las resinas adhesivas.¹⁵

3.2.3.1. Grabado ácido sobre el esmalte dental:

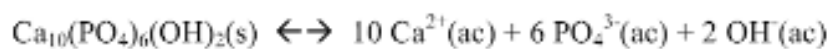
La adhesión al esmalte se logra usando el grabado ácido. Este procedimiento aumenta sustancialmente el área de superficie para la adhesión, transformando una superficie lisa en irregular con una alta energía superficial y eliminando los productos de desecho, que presenta 0,5 a 5 μm de espesor.²⁹

La adhesión al esmalte grabado se debe básicamente a la formación de la proyección de los monómeros del medio cementante en las porosidades del esmalte. El grabado ácido remueve casi 10 μm de superficie de esmalte y crea una capa porosa de 5 a 50 μm de profundidad e incrementa la energía libre de la superficie adamantina y como resultado, el medio cementante de baja viscosidad fluye al interior de las microporosidades generadas por el grabado.²⁹ Por lo tanto,

se forman prolongaciones de resina dentro de las microporosidades del esmalte acondicionado originando una adhesión resistente y duradera por microretención con este tejido.^{29,30}

La desmineralización es selectiva debido a la disposición morfológica de los prismas.²⁹ Las diferentes angulaciones de los cristales prismáticos causa que el ácido tenga un mayor potencial de desmineralización en ciertas microrregiones. Luego de la preparación cavitaria y dependiendo de la angulación de los prismas, la desmineralización puede ser mayor al centro del mismo o en la periferia.²⁹

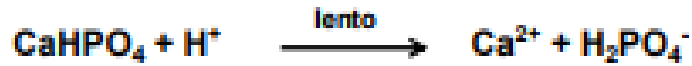
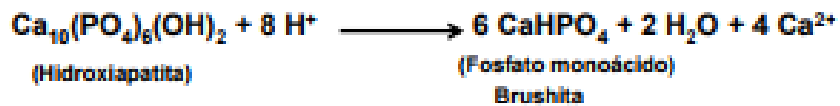
Reacción química del mineral hidroxiapatita (Proceso de desmineralización), equilibrio de solubilidad:



Este mineral se disocia en condiciones acuosas –saliva – en iones calcio, fosfato e hidroxilo.³¹

La aplicación del ácido fosfórico produce una disolución selectiva de la hidroxiapatita que genera un aumento de la tensión superficial y; además, genera microrrugosidades que facilitan que un material orgánico con la fluidez adecuada pueda introducirse en ellas previo a su endurecimiento.³²

Proceso de desmineralización del esmalte:



La hidroxiapatita en medios ácidos, por ejemplo, en ácido fosfórico, se hidroliza en hidrogenofosfato de calcio, agua e iones calcio. Seguidamente, el hidrogenofosfato de calcio se hidroliza en iones calcio y el ion dihidrógenofosfato.

3.2.3.1.1. Tipos de grabado ácido en esmalte:

Este proceso de desmineralización genera tres patrones de grabado que presentan características diferentes:

- Tipo I: en donde existe predominante disolución de los cuerpos del prisma.
- Tipo II: en el cual hay predominante disolución de la periferia de los prismas.
- Tipo III: en el cual no son evidentes ninguna estructura prismática.

Los patrones tipo I y tipo II se pueden dar en un mismo diente y en una misma zona bien sea superpuestos o separados, lo cual ocurre de manera arbitraria.³³

El efecto del grabado ácido sobre el esmalte depende de múltiples factores:

- Concentración del ácido.

- Tiempo de acción del ácido en el esmalte.
- Tiempo de lavado.
- Forma de aplicación del ácido.
- Secado.
- Aislamiento para impedir la contaminación con saliva.³³

3.2.3.1.2. Tiempo de grabado ácido

La desmineralización causada por los ácidos débiles o fuertes en alta concentración, genera un ataque a las estructuras inorgánicas del esmalte a través de una reacción ácido-base con la hidroxiapatita y la formación de sales solubles de oxalato de calcio,³⁴ que luego son eliminadas por el agua de lavado, formando diferentes tipos o patrones de grabado adamantino.

Cuando el ácido desmineraliza los cristales de hidroxiapatita de la cabeza de la varilla adamantina, se obtiene el patrón de grabado de tipo I; cuando el ácido actúa sobre los cristales de hidroxiapatita del cuello o del extremo caudal, se produce un patrón de grabado de tipo II. Los patrones de desmineralización de tipo I y II, generan en el tejido adamantino microporos y microsurcos capilares que miden entre 10 a 25 μm de profundidad con una amplitud de 1.5 a 3.5 μm .^{30,33,34} Cuando el periodo de tiempo grabado es mayor, se genera un patrón de grabado de tipo III, caracterizado por una pérdida de tejido superficial producido porque el ácido continúa eliminando sustancia en superficie, disminuyendo la profundidad y aumentando la amplitud de los microporos. Este tipo de grabado no tendría suficiente capacidad para retener microscópicamente en forma efectiva los

medios resinosos cementantes autoadhesivos basados en monómeros hidrófugos, por lo que el aumento del tiempo de grabado es uno de los fenómenos más negativos.^{35,36,37}

Los lapsos superiores a los 60 segundos provocan en el esmalte grandes pérdidas de sustancia superficial y ampliación de los tejidos estructurales, generando microfracturas que comunican la periferia del tejido con la dentina.³⁷

Por otro lado, el tiempo de lavado adamantino tiene por objetivo eliminar los precipitados o sales de fosfato de calcio en forma de cristales generados por el accionar de los ácidos acondicionadores en alta concentración; y así, obtener una superficie de alta energía superficial. Un lavado incorrecto originaría que el ácido pueda continuar actuando en determinadas zonas del esmalte, generando patrones de grabado de tipo III, que dificultarían los fenómenos de adhesión. Un lavado de 20 segundos, utilizando agua presurizada es recomendado para eliminar totalmente el ácido y bloquear su acción.^{37,38}

3.2.4. Agentes cementantes

3.2.4.1. Agentes cementantes: Definición

La palabra cemento significa sustancia que sirve para unir, pegar, adherir dos cosas.¹⁸ Desde el punto de vista de su composición y estructura, los cementos son materiales que se preparan a partir de la combinación de un polvo con un líquido.¹⁸ El polvo está constituido por una base desde el punto de vista químico;

concretamente, se trata de un óxido básico o un hidróxido; vale decir, un compuesto cerámico (contiene átomos metálicos y no metálicos).¹⁸ El líquido, es una reacción ácida o una solución de un ácido en agua.¹⁸

Los materiales a usar como agentes cementantes deben reunir una serie de condiciones o requisitos:⁸

3.2.4.1.1. Biocompatibilidad

El cemento no debe tener ninguna interacción indeseable con tejidos vivos y fluidos, tampoco producir reacciones biológicas o mutagénicas.^{24,30}

3.2.4.1.2. Consistencia y espesor de película

La viscosidad del material debe permitir que fluya con facilidad y forme un mínimo espesor de película para no alterar el asentamiento del bloque restaurador.

El espesor aceptable es de 25 μm para agentes cementantes de base acuosa y de 50 μm los basados en resinas (composites).³⁰ Se debe considerar la temperatura del material en el momento de su manipulación, ya que cuando baja, aumenta la viscosidad y en consecuencia su espesor de la película.³⁰

3.2.4.1.3. Estabilidad en el medio bucal

Se debe tener en cuenta aquellos cementsos que endurecen por la reacción ácido-base con formación de una sal. Se recordará que la solubilidad de esa sal depende de la diferencia de electronegatividad entre el anión y el catión presentes. Para un

mismo anión, cuanto mayor sea la electronegatividad del catión, menor será la solubilidad del cemento.³⁰

3.2.4.1.4. Resistencia mecánica

Se necesita que éste tenga suficiente resistencia para no romperse y así evitar que se pierda la capacidad de retener y sellar.³⁰

3.2.4.1.5. Tiempo de trabajo y de fraguado final

Lapso de tiempo durante el cual el material posee la suficiente fluidez para permitir el correcto asentamiento de la restauración, debe ser prolongado y controlable por el operador.³⁰

Cuando un agente cementante comienza a polimerizar, su viscosidad aumenta. Una consistencia intermedia antes del endurecimiento puede facilitar el retiro de los excesos presentes sobre los márgenes de la restauración.^{12,30}

3.2.4.1.6. Adhesión al diente y a la restauración

No todos los agentes cementantes tienen las mismas características adhesivas. En muchos, la acción retentiva se ejerce una vez endurecido dependiendo totalmente de trabas mecánicas a distinto nivel entre agente-estructuras de soporte y agente-restauración.^{18,30}

3.2.4.1.7. Radiopacidad

Es útil que un agente cementante sea radiopaco. Esto permite diferenciarlo del diente y de la restauración con el fin de identificar posibles brechas marginales, caries secundaria y excesos de material en la zona proximal o marginal.^{18,30}

3.2.4.1.8. Efecto cariostático

La liberación de fluoruro con su acción de interferencia en el desarrollo de microorganismos y remineralizante; ya sea, por una característica propia del material o por incorporación intencional, es una propiedad que colabora con el mantenimiento de la integridad del tejido dentario cercano a la restauración.^{18,30}

3.2.4.2. Cementos resinosos

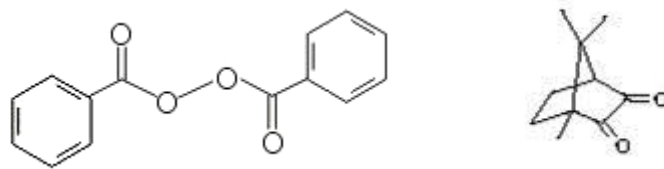
Los cementos resinosos son materiales utilizados para la cementación y poseen composición semejante a la de las resinas compuestas restauradoras poseyendo así, una matriz orgánica formada por Bis-GMA o UDMA y monómeros de bajo peso molecular, como el TEGDMA; poseen también agrupamientos funcionales hidrofílicos para promover la adhesión a la dentina como el HEMA, el 4-META y el MDP.^{5,18,39}

Según su modo de activación, los cementos resinosos pueden clasificarse como:¹⁸

- Autopolimerizables
- Fotopolimerizables
- Duales

La principal diferencia entre los modos de polimerización es el sistema de iniciación: Los materiales fotopolimerizados son sistemas de pasta única utilizando un fotoiniciador, tal como la alcanforquinona; los agentes autopolimerizables, consisten en dos pastas, una pasta base conteniendo amina aromática terciaria y una pasta catalizadora conteniendo peróxido de benzoil;¹⁸ y los agentes de cementación dual tienen ambos sistemas de iniciación, de esa manera, poseen dos sistemas de pastas, con la pasta base conteniendo usualmente alcanforquinona, amina alifática y amina aromática terciaria, y la pasta catalizadora conteniendo peróxido de benzoil.¹⁸

Así teóricamente, los cementos resinosos duales fueron desarrollados para conciliar las características favorables de los cementos autopolimerizables y fotopolimerizables; compensando de esa manera, la pérdida o ausencia de luz debido a la distancia entre la fuente activadora y el sistema cementante, o la atenuación del pasaje de la luz a través del material restaurador indirecto.^{40,41}



Estructura molecular del Peróxido de benzoil (lado izquierdo) y la canforoquinona (lado derecho)⁴²

Si el cemento resinoso no puede ser adecuadamente polimerizado, sus propiedades mecánicas, físicas y biológicas pueden ser adversamente afectadas estando así, asociado con problemas tales como sensibilidad postquirúrgica, microinfiltración, caries recurrentes, susceptibilidad a la degradación, descolonización y disminución de las propiedades mecánicas.^{40,41}

3.2.4.3. Cementos autoadhesivos

Han sido introducidos recientemente en la práctica clínica y han sido presentados como una alternativa innovadora a los cementos resinosos tradicionales. Estos cementos reúnen en un solo producto el fácil manejo de los cementos convencionales; la capacidad de autoadhesión y la liberación de flúor de los cementos de ionómero de vidrio; y las propiedades mecánicas, estabilidad dimensional y retención micro-mecánica alcanzadas por los cementos resinosos.¹⁵

La reducida sensibilidad a la técnica de aplicación ha presentado una de las razones fundamentales para el uso de los nuevos cementos cuya aplicación se resuelve en un único paso clínico: tras la mezcla de las pastas base y catalizadora o la activación de las cápsulas mono uso, el material se aplica directamente sobre la superficie a adherir. Se limitan por lo tanto los errores relacionados con su manejo.¹⁵

Desde que apareció el primer agente cementante resinoso autoadhesivo en el mercado RelyX Unicem, 3M ESPE, se ha producido un cambio en su composición química en aras de mejorar sus cualidades. Actualmente, existen en el mercado aproximadamente 15 agentes cementantes de diferentes casas comerciales que se

utilizan alrededor del mundo.^{5,10,15}

Al revisar la literatura hemos podido encontrar las siguientes informaciones:

Su incapacidad de poder lograr una alta resistencia de unión al sustrato dentario que permitiese generar una adecuada interfase de unión. El hecho de no poder disolver el barro dentinario es una dificultad.^{5,15}

El grado de conversión de monómeros a polímero al producirse la polimerización de estos agentes cementantes solo alcanza entre el 26.40 - 41.52 %¹⁵ en comparación con otros agentes cementantes que alcanzaban un 61.36 %. Razones más que aceptables para poder comprender por qué la resistencia de unión es baja o muy baja.¹⁵ Es por esto que es preferible el uso de las unidades de polimerizado para generar un mayor grado de conversión de monómero a polímero; asimismo, hay un consenso que los materiales de curados dual presentan un mayor grado de conversión.^{5,9,10,15,43,44}

Otra de las razones que explicarían su baja resistencia de unión se sustentaría en el fenómeno de sorción acuosa alta de parte de algunos medios cementantes; así como, una alta solubilidad, situación de vulnerabilidad del agente cementante que se manifestaba al ser sometido a fatiga térmica usando el termociclado.^{15,36,37}

Por otro lado, el conservar el barro dentinario impediría una integración del agente cementante; así, su remoción parcial resultaría razonable para lograr una mayor integración del agente cementante.¹⁵

Existe evidencia en estudios de ultra estructura morfológica que la presencia del barro dentinario impediría que el agente cementante ingrese dentro de los túbulos dentinarios; además que no se puede generar hibridación de la dentina, razones que explicarían la reducción de la resistencia de unión.^{5,9,10,15}

La alta viscosidad del agente cementante se debe a que presenta un tamaño de partícula en el material de relleno que demanda que se le aplique una adecuada presión para facilitar su integración con los sustratos al momento de la cementación, para compensar estas debilidades propias de los agentes cementantes.^{5,10,15}

A fin de superar estos problemas, las casas comerciales hicieron variaciones de las formulaciones introduciendo en el mercado: Maxcem Elite, RelyX U200, Speed cem, SmartCem2, I Cement, Bifix SE, GC Cem, Biscem, seT, Permecem, Permacec 2 (Tabla N°1); con el objetivo de generar mejoras en la resistencia de unión a sustratos dentarios, mayor estabilidad en el color y fácil manipulación.^{5,15}

3.2.4.3.1. Composición química

Es posible considerar a los cementos autoadhesivos como materiales híbridos que combinan características de las resinas compuestas de restauración, de los sistemas adhesivos autoacondicionantes y en algunos casos, características de los medios cementantes.

Ferrecane¹⁵ describe que su naturaleza química es similar a los compómeros (RelyX Unicem de 3M ESPE) con una diferencia en la concentración del monómero ácido

y un menor espesor de película, requiriendo sustratos hidratados para facilitar la ionización de los monómeros ácidos.¹⁵

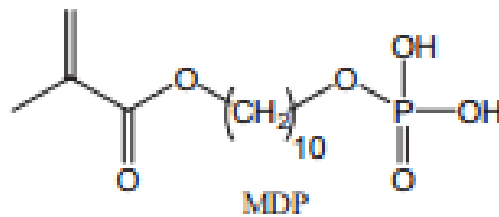
Actualmente están formados por dos componentes, uno de ellos compuesto por monómeros di- y/o multi-metacrilato a base de: Bis-GMA, oligómeros de uretano de BisGMA, UDMA, HEMA, glicerol dimetacrilato (GDMA), TEGDMA, trimetilpropano trimetil olipropano de trimetacrilato (TMPTMA) y otros monómeros ácidos a base de fosfatos desarrollados por el fabricante para llevar a cabo la desmineralización de la superficie del esmalte y dentina. Los otros componentes vinculados a la carga son: bario, vidrio fluoroaluminoborosilicato, estroncio de vidrio de aluminosilicato de calcio, cuarzo, sílice coloidal, fluoruro de iterbio y otros vidrios parcialmente silanizados constituyendo el 60 – 70 % en peso; además cuentan con fotoiniciadores y pigmentos.^{10,15} Las composiciones específicas se pueden encontrar en las indicaciones del fabricante, aunque a menudo no revelan completamente los detalles de composición por emplear monómeros ácidos en progreso de mejoras.¹⁵

La reacción es iniciada por la luz mediante unidad de polimerizado o por su mecanismo de autopolimerizado. El pH ácido que se genera al principio de la reacción es neutralizado por la reacción de los grupos ácidos y alcalinos del material, para esto es necesario un medio húmedo.¹⁵

Los grupos de monómeros ácidos incorporados en los metacrilatos tienen como objetivo disolver el barro dentinario, facilitando la penetración del cemento en los túbulos dentinarios, promoviendo una adecuada hibridización del sustrato y una

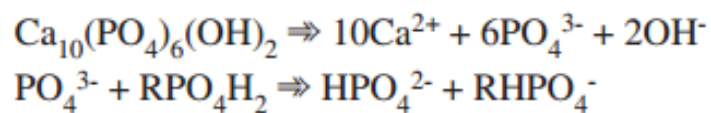
adecuada adhesión. Estos mecanismos deberán proveer una adhesión química y micromecánica al interactuar sobre los cristales de hidroxiapatita. Hay estudios que proporcionan dicha evidencia que los iones Ca del diente interactúan con el agente cementante.^{3, 5,10,15} (Tabla N°1)

La descalcificación inducida por la adsorción de MDP (RPO₄H₂ con R = 10-metacriloloxidecilo) en la solución acuosa.¹⁵

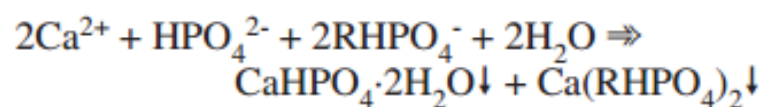


Estructura química del MDP (RPO₄H₂)

La primera ecuación química muestra el equilibrio de solubilidad de la hidroxiapatita, en donde los iones fosfatos reaccionan con el MDP. El ion fosfato abstrae un protón ácido del MDP quedando como RHPO₄⁻.



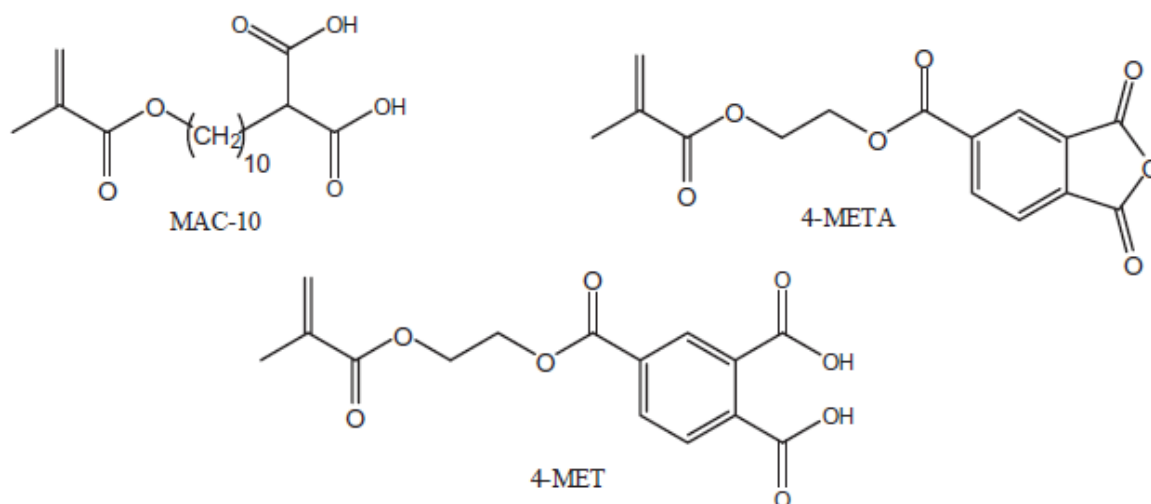
El RHPO₄⁻ reacciona con los iones calcio formando enlaces Ca – O cuyos productos son Ca(RHPO₄)₂.



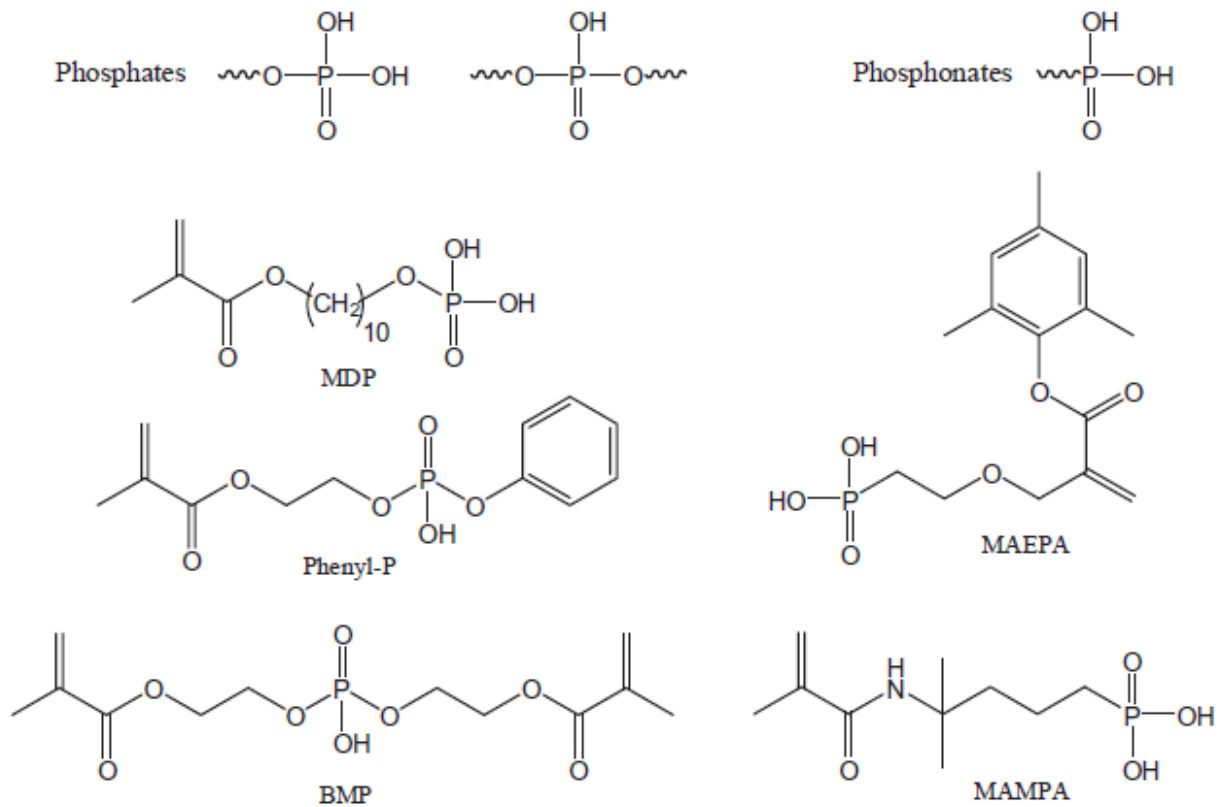
Cementos actuales (Tabla N° 1)

CEMENTO	FABRICANTE	COMPOSICIÓN
Biscem	Bisco Inc., Schaumburg, IL, USA	Bis (metacrilato de hidroxil etil) fosfato dimetacrilato detetraetilenglicol, relleno de vidrio
Breeze	Pentron Wallingford, CT, USA	No disponible
Bifix SE	Voco Cuxhaven, Alemania	Bis-GMA, UDMA, Gly-DMA, monómeros de fosfato, iniciadores, estabilizadores, relleno de vidrio, sílice aerosol. (Carga = 70% en peso; 61% en volumen; Avg. 2 µm)
ClearfilSA Cemento	Kuraray America, New York, NY, USA	MDP, dimetacrilatoaromáticohidrofóbico, dimetacrilatoalifáticohidrofóbico, sílice coloidal vidrio de bario (carga = 66% en peso; 45% en Volumen; Avg. 2.5µm)
Wetbond Adhesivo	Pulpdent Watertown, MA, USA	No disponible
G-Cem	GC** Alsip, IL, USA	Polvo de vidrio = fluoraluminosilicato, iniciador, pigmento (carga = 71% en peso, avg. 4 µm) Líquido = 4-MET, monómero de éster de ácido fosfórico, agua, UDMA, polvo de dimetacrilato, sílice, iniciador, estabilizador
Cem	Heraeus Hanau, Alemania	Di-, tri- y monómeros de acrilato multifuncionales iniciadores, estabilizadores (de relleno = 41% Vol)
Maxcem Elite	Kerr†† Orange, CA, USA	Polvo = aluminosilicato de bario vidrio, fluoraluminosilicato vidrio, nano-fluoruro de iterbio, nano sílice (carga = 67% en peso, avg 3.6 µm -. orig Maxcem) Líquido monómero = GPDM, mono-, di- y multi-metacrilato de comonómeros; sistema iniciador redox, fotoiniciador basado en Canforquinona
Monocem	Shofu Japón	Kyoto, Mono-, di- y resinas de acrilato multifuncionales, iniciadores de doble, materiales de carga (relleno = 60%)
Multilink Sprint	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, Alemania	Monómeros de metacrilato, monómeros de ácido materiales de carga de vidrio de bario, trifluoruro de iterbio, dióxido de silicio (Carga = 57% en peso; promedio de 5 µm).

RelyX Unicem	3M ESPE St. Paul, MN, USA	Polvo = vidrio, sílice, hidróxido de calcio pigmento, pirimidina sustituido, compuesto de peróxido, iniciador (carga = 72% en peso; Avg. <9.5 μm) Líquidos = éster fosfórico metacrilato dimetacrilato (bis-GMA / TEGDMA), acetato estabilizador, iniciador
seT	SDI Victoria, Australia	No disponible
Smart Cem 2	Dentsply Konstanz, Alemania 15	UDMA, di- y resinas Tri-metacrilato resina de acrilato modificada ácido fosfórico, fluoraluminosilicato iniciadores de vidrio, aceleradores, estabilizadores hidroxitolueno butilado, dióxido de titanio, hidrófobo sílice (carga = 69% en peso; 46% en volumen; Avg. 3.8 vidrio μm y 16 nm de sílice aerosol)
Speed Cem	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein, Alemania	Metacrilatos, ésteres fosfóricos metacrilatos, polímeros, iniciadores, catalizadores, estabilizadores de bario sílice dispersa (carga = 40% en volumen; tamaño 0.1-7 μm)
Smartmix Permacen 2.0	DMG Hamburgo, Alemania	Bis-GMA, matriz de resina, vidrio de bario, montoneros fosfatos, pigmentos.



Monómeros ácidos carboxílicos usados para promover la adhesión en cementos



Estructuras de grupos funcionales fosfato y fosfonatos y ejemplos de sus usos en monómeros autograbados

3.2.4.3.2. Comportamiento de los cementos

3.2.4.3.2.1. Sobre esmalte

Al revisar la literatura algunos autores proponen que el grabado con ácido fosfórico es capaz de aumentar la resistencia de unión al sustrato adamantino.^{1,2,6,10,15,24} Sillas Duarte,⁶ sugiere la importancia del grabado a esmalte por la ubicación y disposición de los cristales de hidroxiapatita en las zonas a nivel cervical con fines de incrementar la resistencia de unión.⁶

El grabado previo puede mejorar la resistencia de unión de estos medios cementantes y sería la rutina más adecuada para lograr una unión óptima. Se han utilizado los cementos resinosos autoadhesivos para unir brackets a la superficie de esmalte, encontrándose que tienen una conducta superior a los ionómeros de resina, pero menor que los cementos convencionales que se usan para este fin.^{22,43}

3.2.4.3.2.2. Sobre dentina

Es el sustrato más estudiado en interacción con los cementos autoadhesivos. Frecuentemente se busca optimizar la calidad de sustrato para poder mejorar la resistencia de unión de estos medios cementantes.^{3,5,6,9,11,15} La colocación previa de ácido fosfórico sirve para mejorar su resistencia de unión; sin embargo, no siempre es útil al ser comparado con cementos resinosos de curado dual convencionales; encontrándose en algunos casos un efecto adverso.¹⁵ Otros estudios sugieren que usando esta misma estrategia no encontraron mejora en los valores de resistencia de unión.¹⁵

El ácido poliacrílico en concentraciones del 11 – 25 %, mostró una mejora ostensible en los valores de resistencia de unión, recomendándose que se use previamente con los agentes cementantes resinosos autoadhesivos.^{10,14,15} Sin embargo, otros han buscado otra manera de lograr una mejora en la resistencia de unión de agentes cementantes resinosos autoadhesivos usando ultrasonido como mecanismo para poder unir el agente cementante a la dentina, logrando su objetivo.⁴⁵

La literatura refiere que al comparar su resistencia de unión usando ionómeros convencionales y agentes cementantes resinosos duales con grabado total, los medios cementantes resinosos autoadhesivos presentan menor resistencia en comparación con los agentes cementantes resinosos convencionales, pero mayores que los agentes cementantes a base de ionómero.⁴⁰

3.2.5. Métodos para evaluar la resistencia de unión de medios cementantes

Las fuerzas han sido evaluadas tradicionalmente usando el test de resistencia al cizallamiento o *shear bond strength*, el cual resulta útil para probar los materiales.

Entre otras técnicas más usadas podemos mencionar:²³

- Prueba de microcizallamiento.
- Test Técnicas de réplicas microscópicas.
- Fotovideomicroscopía con analizador de imágenes Metamorph (FVM).
- Fotovideomicroscopía de contraste Nomarsky (FVM.CID):
 - Microscopia electrónica de transmisión (MET).
 - Microscopía electrónica de barrido (MEB).
 - *Confocal laser scanning microscope* (CLSM).

3.2.5.1. Prueba de microcizallamiento

La literatura señala que existen pruebas de resistencia de unión micro y macro.

Las primeras se usan para materiales como agentes cementantes resinosos, ionoméricos y se realizan en áreas menores o iguales a 3 mm²; mientras que, las segundas se usan para áreas mayores de 3 mm².²³

3.2.5.1.1. Ventajas

- Más fallas adhesivas que cohesivas.
- Fuerzas de unión iniciales muy altas.
- Permite medidas muy localizadas de la resistencia de unión.
- Promedios y varianzas pueden ser calculadas en un solo diente.
- Permite evaluar la resistencia de unión en superficies irregulares.
- Facilita el uso de microscopio electrónico de barrido para examinar fallas adhesivas en áreas muy pequeñas menores a 1 mm.²³

3.2.5.1.2. Desventajas

- Demanda de intensa y laboriosa metodología.
- Dificultad en medir la resistencia de unión menores a 5 MPa.
- Requiere de equipos especiales.
- Los especímenes son pequeños y se pueden deshidratar fácilmente.²³

3.2.6. Dientes Bovinos como sustitutos de dientes Humanos en investigación

Los dientes humanos son morfológica e histológicamente parecidos a los dientes de otras especies de mamíferos, pero los dientes bovinos presentan unas características especiales como son: la composición histológica y su forma anatómica que, entre otras características, los hacen ideales para su utilización como sustitutos de los dientes humanos en investigaciones sobre materiales dentales.⁴⁶

3.2.6.1. Descripción Macroscópica

Radiográficamente el esmalte bovino es más radiopaco que el resto de tejidos, debido a la mayor cantidad de componentes inorgánicos; seguido a éste, el hueso es el segundo tejido más radiopaco, pero con una gran irregularidad en su conformación estructural o también conocida como hueso esponjoso y su porción más regular como hueso cortical.

La imagen radiolúcida de menor intensidad observada es la dentina; seguidos a ésta, se encuentran el cemento, la pulpa, el espacio de ligamento periodontal y la sutura media mandibular.^{46,47}

Macroscópicamente presentan similitud a las estructuras de las piezas dentarias humanas, las coronas de los dientes incisivos de bovinos tienen forma trapezoidal con mayor longitud aproximada mesio-distal de 14 mm en el tercio incisal, de 12 mm en el tercio medio y de 10 mm en el tercio cervical. La altura cervico-incisal es de 21 mm y su grosor vestíbulo lingual de 8.5 mm en su parte más ancha. La cámara pulpar es ligeramente más grande en los dientes de bovino.^{46,47}

En relación a su composición presentan esmalte al igual que los humanos, siendo una sustancia vidriosa, blanca y forma una capa muy dura sobre la corona terminando a la altura del cuello. El esmalte de la cara vestibular es poco espeso.⁴⁶

La dentina se presenta dura y ligeramente amarillenta, da forma a todo el diente y presenta una cavidad interna ocupada por la pulpa dentaria.⁴⁵ El cemento que

recubre la raíz es menos duro que la dentina y posee una estructura semejante al hueso. En el bovino se puede encontrar cemento sobre la corona clínica.⁴⁷

La pulpa dentaria se encuentra contenida en la cavidad del diente y la llena por completo. En ésta se alojan vasos sanguíneos, linfáticos y nervios. A nivel histológico se identifican una zona odontoblástica, una zona poco celular, la zona celular y la zona central de la pulpa.⁴⁷

3.2.6.2. Descripción Microscópica

La unidad básica del esmalte para bovinos es la varilla o prisma, la que a su vez es determinada por las interrelaciones en las direcciones de los cristales. Las características estructurales más destacables en el esmalte bovino son: las estrías de Retzius, las estrías transversales y las bandas de Hunter-Schreger.^{46,47}

La dentina de bovino está formada principalmente por los túbulos dentinarios, los cuales atraviesan todo su espesor siguiendo un trayecto en “S” levemente acentuada desde la unión amelo-dentinaria hasta la pulpa. A nivel de tercio cervical, raíz y borde incisal, adopta una disposición casi rectilínea en su totalidad y la disposición de los túbulos dentinarios en dentición bovina, observados en corte transversal, muestran una irregularidad en su orden. En la dentina de bovino se reconocieron tres tipos de dentina compuestos⁴⁸ principalmente por colágeno tipo I: la dentina primaria y junto a ésta la predentina; la dentina secundaria y la dentina terciaria.^{46,47}

En el análisis químico por espectrografía de emisión, los componentes inorgánicos para esmalte y dentina de humanos y bovinos son los mismos, pero con diferencias en la concentración de elementos tales como el magnesio, el plomo, la plata y el estroncio en el esmalte; y en la dentina, la plata y el estroncio.⁴⁶

La resistencia a la compresión y el módulo elástico promedio calculado en dientes de bovino difiere significativamente de la media poblacional reportada para dientes humanos.⁴⁷

Los dientes incisivos de bovino son homologables para pruebas in vitro de materiales dentales, con algunas limitaciones atribuidas a sus diferencias. Las características presentes en el cemento de bovino posibilitan su utilización para investigación en diversas disciplinas de la odontología.⁴⁹ Por sus características, los incisivos de bovino son una alternativa para realizar estudios sobre superficies planas y extensas. La similitud histológica pulpar entre humanos y bovinos, el mayor tamaño de cámara y conducto, la disponibilidad comercial y la rapidez adquisitiva de dientes incisivos de bovino, constituyen una posibilidad en el estudio y la práctica real para la investigación.⁴⁹ Las características descritas de los dientes incisivos de bovino son una posibilidad para usar como un sustrato real.⁴⁹

3.2.7. Degradación de la interfase adhesiva

Los fenómenos de biodegradación están asociados a fenómenos no deseados que se producen a la superficie y sub-superficie del adherente y del sustrato. Incluyen también a los que suceden en la matriz de resina, material de relleno y la interfase

de ambas matrices.^{50, 51, 52}

La literatura refiere que, en tiempos prolongados en el medio bucal, se producen cambios en la interfase de la estructura dentaria y el material. La degradación que se produce en la interfase es de orden químico y mecánico.⁵³

3.2.7.1. Degradación química

Los materiales están expuestos al medio bucal, agua de la saliva, bacterias y enzimas bacterianas que generan una hidrólisis que afecta a los compuestos de origen polimérico, que ocasionarán una degradación del mismo.⁵³

La degradación de esa interfase se expresa en cambios morfológicos; más aún, si la estructura comprometida es la dentina en donde tenemos colágeno, el cual puede verse agredido por enzimas proteolíticas que son liberadas por elementos que forman parte de la saliva como son leucocitos, placa bacteriana o las enzimas propias de la dentina, como es el caso de las metaloproteinasas.⁴⁸ Hay que tener presente que los materiales poliméricos experimentan sorción acuosa que genera una separación, una disminución de las fuerzas friccionales en la cadena polimérica, que a su vez produce una caída en sus cualidades mecánicas, generando que la resina aumente su volumen.⁵⁴

3.2.7.2. Degradación mecánica

Las fuerzas masticatorias generan estrés en la restauración y también en la interfase. Estas pueden superar la capacidad de resistencia del material y generan microfracturas, las cuales se pueden extender al diente y afectarán su estructura e

integridad.⁵⁴ Además, hay que tener presente que los cambios de temperatura que se producen en el medio bucal generan una expansión y contracción del material de manera cíclica que tiende a fatigar la interfase de unión.⁵⁰

Las condiciones complejas de la cavidad bucal hacen difícil poder explicar la degradación del material; razón por la cual, se han desarrollado modelos *in vitro* que simulen dichas condiciones y que de una u otra manera sean controladas en el laboratorio experimentalmente, ayudándonos a predecir la degradación adhesiva a través del tiempo.⁵⁰

La literatura menciona las siguientes metodologías usadas para envejecimiento en el laboratorio:⁵⁰

1. Almacenamiento en agua.⁵⁵⁻⁵⁷
2. Almacenamiento en soluciones con hipoclorito de sodio.⁵⁸⁻⁶⁰
3. Aplicación de las cargas mecánicas.⁶¹⁻⁶³
4. Cambio cíclico de pH.^{64, 65}
5. Soluciones simuladoras de alimentos.^{66, 67}
6. Fatiga térmica.⁶⁸⁻⁷⁰

3.2.8. Envejecimiento por fatiga térmica

El método de termociclado es comúnmente usado para determinar la fatiga de la interfase adhesiva y pretende evaluar la durabilidad de dicha interfase.^{68,70} Simula los diferentes cambios de temperatura que se producen en la cavidad bucal causado por la ingesta de alimentos, bebidas y la respiración.⁷¹

Esta prueba pretende inducir de manera repetitiva el estrés generado por la contracción y expansión generado por las variaciones de la temperatura que pone a prueba el coeficiente de expansión dimensional térmico del material.⁵⁰ Esta situación genera rupturas que se propagan en la interfase adhesiva, generando una brecha que se extiende en dicha zona. Estas brechas son de diferente magnitud y permitirán el paso de fluidos en dicha zona.⁵⁰ Fallas adhesivas pueden ser encontradas después del termociclado que influyen en los valores de resistencia de unión.

Al revisar la literatura, hemos podido encontrar que existen diferentes regímenes usados con respecto al número de ciclos, intervalos de tiempo de temperatura y permanencia (inmersión de los especímenes en los medios fríos y calientes).⁵⁰

En relación al número de ciclos van desde 100; 500; 1,000; 1,500; 2,000; 2,500; 3,000; 5,000; 10,000; 15,000; 30,000; y por encima de 50,000 ciclos.⁵⁰ El número de ciclos es muy arbitrario, lo cual hace que los resultados se hagan difíciles de comparar. Se estima que 10,000 ciclos corresponden a un año de función masticatoria.⁷¹

Se cuenta con una norma ISO TR 11450⁵⁰ para este fin que señala que pueden ser 500 ciclos. Muchas investigaciones han usado esta norma y las evaluaciones sugieren que no afecta la resistencia de unión adhesiva, lo cual hace pensar que es insuficiente para evaluar la conducta de la interfase adhesiva.⁵⁰ Un número mayor de ciclos generarían un factor mayor que aceleraría el proceso de envejecimiento

durante el termociclado y podrían tener un efecto deletéreo mayor debido al efecto del agua.⁵⁰

Las variaciones en el rango de las temperaturas usadas son amplias: 4 - 60 °C, 5 - 55 °C, 15 - 45 °C, 5 - 45 °C, 5 - 70 °C. **Ernst y col,**⁷² demostraron que la temperatura que cubre las expectativas de la cavidad bucal es de 5 - 55 °C. En relación al tiempo de inmersión en las soluciones frías es de 15 segundos, 30 segundos, 60 segundos. La norma ISO sugiere que sea al menos 20 segundos en cada temperatura.⁵⁰

El termociclado parece ser una prueba válida *in vitro* para acelerar el proceso de envejecimiento de estos materiales. Regímenes de termociclado estandarizados deben ser tomados en cuenta.⁵⁰ Para finalizar, la contribución del termociclado en la compresión de la degradación de la interfase adhesiva, depende de la prueba usada, número de ciclos, material adhesivo usado, los monómeros funcionales del material adhesivo; así como, el factor C, tipo de sustrato, tiempo de almacenamiento y características del barro dentinario.⁵⁰

III. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la influencia de diferentes periodos de tiempo de grabado ácido previo sobre esmalte en la resistencia de unión usando medios cementantes resinosos autoadhesivos sometidos a fatiga térmica.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las resistencias de unión entre los dos medios cementantes resinosos autoadhesivos con diferentes periodos de grabado ácido sobre esmalte con y sin fatiga térmica.
2. Comparar si diferentes periodos de tiempo de grabado ácido previo sobre esmalte influyen o no en la resistencia de unión usando dos medios cementantes resinosos autoadhesivos con y sin fatiga térmica.
3. Evaluar el tipo de falla adhesiva, cohesiva o mixta que presenta los dos medios sobre esmalte cementantes resinosos autoadhesivos, según diferentes periodos de tiempos de grabado y fatiga térmica.

IV. HIPÓTESIS

Hipótesis 1

La resistencia de unión de los grupos control de los medios cementantes será similar al de los grupos experimentales que fueron previamente grabados con ácido fosfórico.

Hipótesis 2

Los diferentes periodos de tiempo de grabado ácido generarán similares valores de resistencia de unión para cada medio cementante.

Hipótesis 3

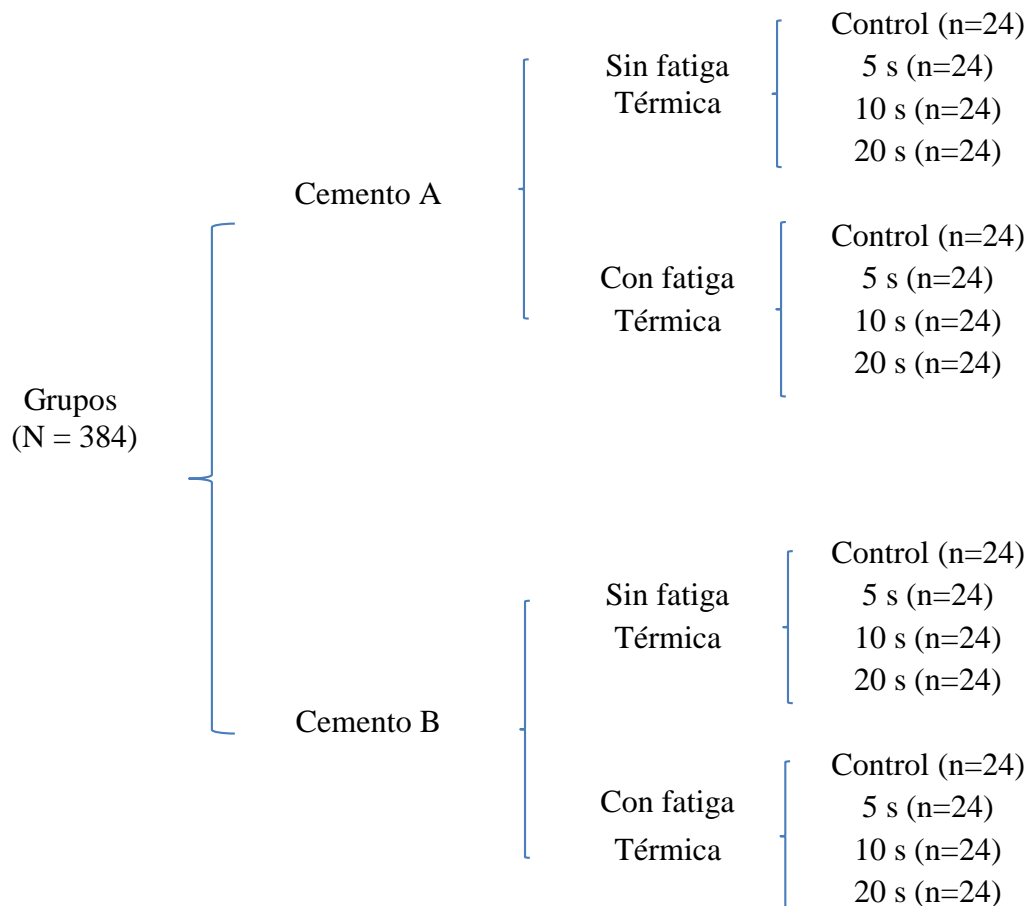
La fatiga térmica no afectará la resistencia de unión de los grupos sometidos a diferentes periodos de grabado ácido.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Diseño del estudio

El presente estudio es un análisis de tipo experimental, in vitro, prospectivo, longitudinal. Estuvo constituido por 16 grupos, dos sub-grupos usando en cada uno un agente cementante; y estos a su vez, subdivididos en dos controles de 24 horas y termociclado. Cada sub-grupo estuvo constituido por un control y grabado previo con ácido fosfórico al 37 % por 5, 10 y 20 segundos.

Distribución de los grupos Fig. N° 1



6.2. Muestra

Se obtuvo a partir de 192 dientes bovinos del frigorífico “La Colonial”, de los cuales se elaboraron 384 cuerpos de prueba (CP) de 8 x 4mm los que fueron distribuidos al azar para cada grupo dentro de los 16 grupos.

Unidad de muestra: Especímenes compuestos por el agente cementante, la interfase adhesiva y esmalte dental, el cual fue sometido a diferentes periodos de tiempo de grabado ácido.

Unidad de análisis: La resistencia de unión del agente cementante al esmalte dental, previa aplicación del tratamiento de superficie.

Distribución de los grupos controles y experimentales:

Estuvo conformada por 16 grupos, 2 sub grupos de 8 (Figura N° 1).

Tamaño de la muestra

El tamaño muestral fue calculado con el programa estadístico Epidat 4.0, considerando el módulo de muestreo para el cálculo de tamaño de muestra para variable cuantitativa.

De un piloto previo realizado en 10 unidades con el cemento MaxCem Elite, se encontró una desviación estándar de 1.78 MPa de resistencia de unión, con esos datos se halla el tamaño muestral considerando:

Nivel de significancia = 0.05

Poder de la prueba = 0.95

Desviación estándar = 1.78

Tamaño muestral mínimo requerido: 13

Sin embargo, es importante mencionar que en las investigaciones *in vitro* comúnmente no determinan un tamaño muestral mínimo debido a que no se necesita la extrapolación de resultados como la metodología de: Abo-Hamar S, Hiller K A, Jung H, Federlin M, Friedl K H Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clinical Oral Invest.* 2005; 9:161-7,¹ donde la selección del tamaño muestral fue arbitraria.

En el presente estudio el tamaño muestral final fue de 24 unidades por cada grupo.

6.2.1. Criterios de Inclusión

- **Criterios de Inclusión. (Para los dientes bovinos)**
 - Piezas dentales permanentes de bovinos de 1.8 años de edad.
 - La superficie adamantina se encuentre completamente íntegra.
- **Criterios de inclusión (Para los especímenes)**
 - Especímenes de 8 mm de longitud.
 - Especímenes de 1 a 1.2 mm de grosor.

6.2.2. Criterios de Exclusión

- **Criterios de exclusión. (Para los dientes bovinos)**

- Piezas con caries y destrucción del esmalte dental.
- Piezas que presenten fracturas o erosiones en el esmalte.
- Piezas que estén deshidratadas, frágiles o que no han sido conservadas en solución acuosa.
- Piezas que no hayan pasado por el control sanitario.
- **Criterios de exclusión (Para los especímenes)**
 - Especímenes con grosor de esmalte menor a 2 mm.

6.3. Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADOR	TIPO	ESCALA	VALORES
Variable dependiente: Resistencia de unión	Resistencia que ofrece un material a la ruptura cuando está sometido a un esfuerzo de corte o microcizalla.	Máximo esfuerzo de tracción, medido en MPa, que el agente cementante, puede soportar antes de su desprendimiento de la superficie de esmalte dentario.	Test de microcizalla	Cuantitativa, continua	Razón	MPa
Covariable independiente: Agente cementante	Material dental que se emplea para unir una restauración indirecta a un sustrato dentario.	Material dental que, teniendo diferentes características, es empleado para unirse a la superficie de esmalte dentario.		Cualitativa, nominal	Dicotómica	-RelyX U200, 3M ESPE -Maxcem Elite, Kerr.
Covariable independiente: Fatiga térmica	Metodología que permite simular el envejecimiento de materiales resinosos.	Máquina que permite realizar ciclos de temperatura entre 5 °C - 55 °C con un intervalo de 30 s.		Cualitativa, nominal	Dicotómica	-Con fatiga térmica -Sin fatiga térmica
Variable independiente: Periodos de tiempo de grabado ácido	Grabado del sustrato de esmalte bovino.	Técnicas de tratamiento de superficie usando ácido fosfórico al 37 %.		Cualitativa, ordinal	Politómica	Control (0 s), 5 s, 10 s, 20 s.

6.4. Técnicas y/o procedimientos

6.4.1. Prueba piloto

Se realizó un estudio piloto donde se evaluaron 10 especímenes de uno de los agentes cementantes para determinar la eficiencia de la metodología y el tamaño de la muestra en la investigación líneas arriba explicada.

6.4.2. Laboratorio

Esta experiencia se llevó a cabo en los ambientes del Laboratorio de Materiales Dentales de la Facultad de Odontología de la Universidad Estadual de Campinas-UNICAMP en el programa de postgrado de materiales dentales.

6.4.3. Preparación de la muestra

Preparación de los dientes de bovino

Se realizó un seccionamiento a nivel de la corona clínica usando una máquina Isomet 1000, Buehler Ltda., Lake Bluff, IL, USA con refrigeración constante a una velocidad de 250 rpm, de esta manera fueron separadas las coronas clínicas de las raíces. Luego, se procedió a lavar con suero fisiológico la cámara pulpar (Figura 1). Terminada esta actividad las coronas fueron colocadas en un recipiente de plástico que contenía agua destilada. En esas condiciones fueron almacenados en agua a temperatura de 4 °C hasta el momento de la confección del cuerpo de prueba. (Anexo 1)

Figura 1. Seccionamiento de la raíz.



Confección de los cuerpos de prueba

Las caras vestibulares de los dientes de bovino fueron secadas y colocadas mirando hacia arriba en platinas transparentes de acrílico de 4 cm x 3 cm y lo más paralelo posible a dicha platina (Figura 2 y 2a). Posteriormente, todo el conjunto fue colocado en la máquina Isomet 1000, Buhler, Ltda., Lake Bluff, IL, USA para realizar los cortes en la cara vestibular. El objetivo fue obtener secciones de esmalte de la zona vestibular y central de los dientes. Los especímenes obtenidos tuvieron una dimensión de 8 mm de longitud y 4 mm de ancho.

Figura 2. Recorte de esmalte

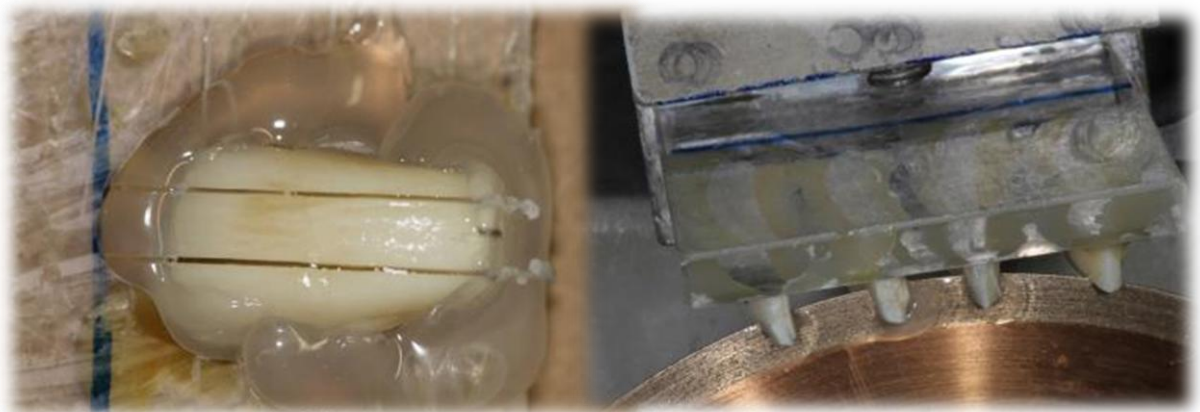


Figura 2a. Recorte de esmalte



Una vez obtenidas las muestras de esmalte, fueron incluidas en acrílico transparente para su ulterior codificación, y asignadas aleatoriamente a los grupos control y grupos experimentales.

Los especímenes preparados fueron llevados a una pulidora AROTEC APL-4, Brasil, en donde se usó papel abrasivo de SiC con las siguientes granulometrías de manera consecutiva n° 180, 400, 600, 800, 1000 y 1200. Luego se les limpió con un paño de pulido marca Buhler, Ltda., Lake Bluff, IL, USA y una pasta de pulido con partículas de diamante de 1 μm de la misma casa comercial. El objetivo fue obtener una superficie lisa, plana y homogénea.

Los detritus de la superficie fueron eliminados usando un aparato de ultrasonido con agua desionizada durante 5 minutos marca Ultra Cleaner 1400, Unique, Brasil. Posteriormente, los especímenes fueron llevados a un microscopio estereoscópico LEICA MZ6, Alemania, de 20X para visualizar o no la presencia de fisuras o fracturas en la superficie adamantina. Aquellos que la presentaron, fueron eliminados y se procedió a

realizar otros. Ulteriormente, los especímenes fueron almacenados en agua destilada a 4 °C hasta el momento de la preparación con el agente cementante. (Anexo 2)

Confección de guías de silicona para la aplicación del agente cementante

Se obtuvo un modelo maestro de las dimensiones de los bloques de esmalte, se prepararon las guías matrices de silicona pesada de adición marca Silogum, Hamburgo, DMG, Alemania. Se mezcló la silicona bajo las normas especificadas por el fabricante. Se colocó sobre las caras vestibulares de los especímenes de esmalte y se fijaron con resina fluida fotoactivada marca Filtek flow, 3M ESPE, MM, USA. Estas guías de silicona fueron asignadas para cada bloque de esmalte y tuvieron una altura de 2 mm y un diámetro de 1 mm.

Colocación del medio cementante (Grupo Control)

Las guías de silicona sujetas a los cuerpos de prueba sirvieron de padrón (con medidas conocidas) para inyectar el medio cementante como se observa en la figura 3 y 3a. Los dos agentes cementantes fueron aplicados haciendo uso de sus puntas de auto mezcla. Los agentes cementantes seleccionados fueron MaxCem Elite, clear, con N°. Lote 5365521, KERR, SYBRON, California, USA; y RelyX U200, translucido, N° Lote: 1513100207, 3MESPE, St. Paul, MN, USA.

Después de inyectar los agentes cementantes en las guías de silicona adheridas al esmalte, fueron fotoactivados usando la unidad de polimerizado LED Blue phase, VIVADENT con una intensidad de 1,200 mW/ mm² durante 20 segundos. La unidad de polimerizado fue evaluada usando un radiómetro de la marca KERR previo al experimento para garantizar la intensidad de luz.

Los cuerpos de prueba y matriz de silicona fueron colocados en una estufa a 37 °C sumergidos en agua desionizada por 24 horas hasta el momento de la prueba de microcizallamiento. Las matrices de silicona fueron extraídas momentos previos a la evaluación de dicha prueba y fueron retiradas con sumo cuidado usando una espátula para cera número 7.

Figura 3. Guía patrón para réplica con silicona

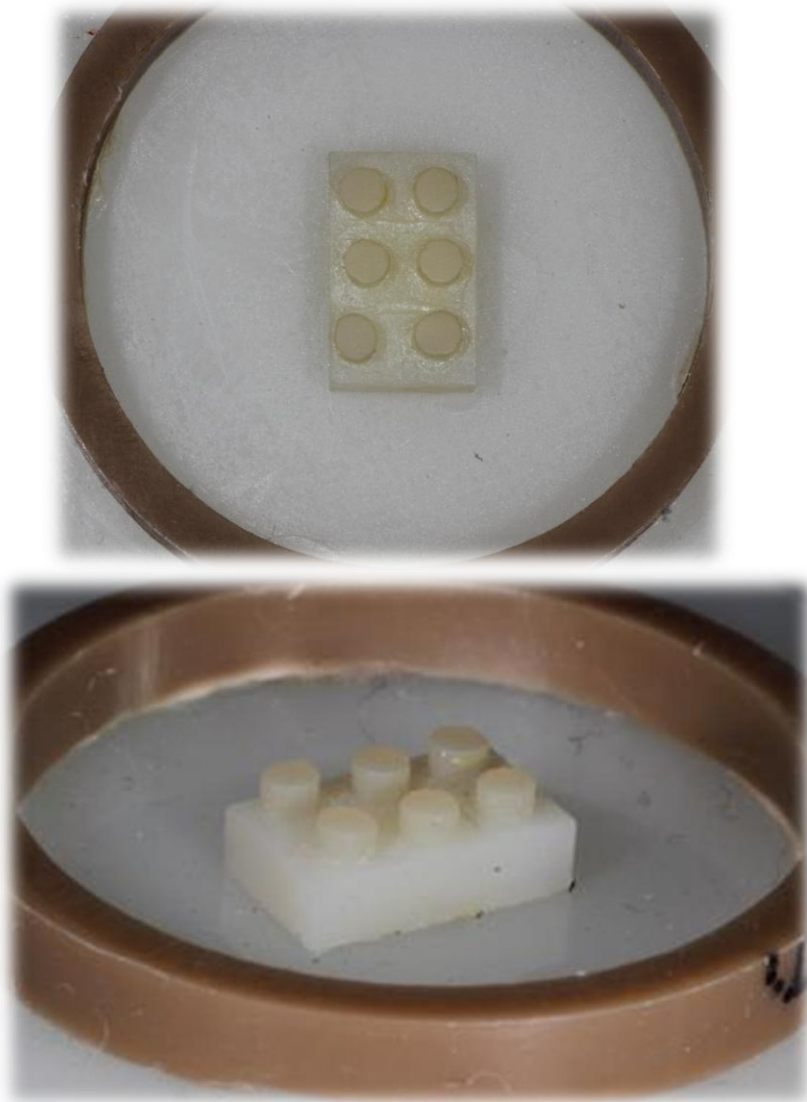
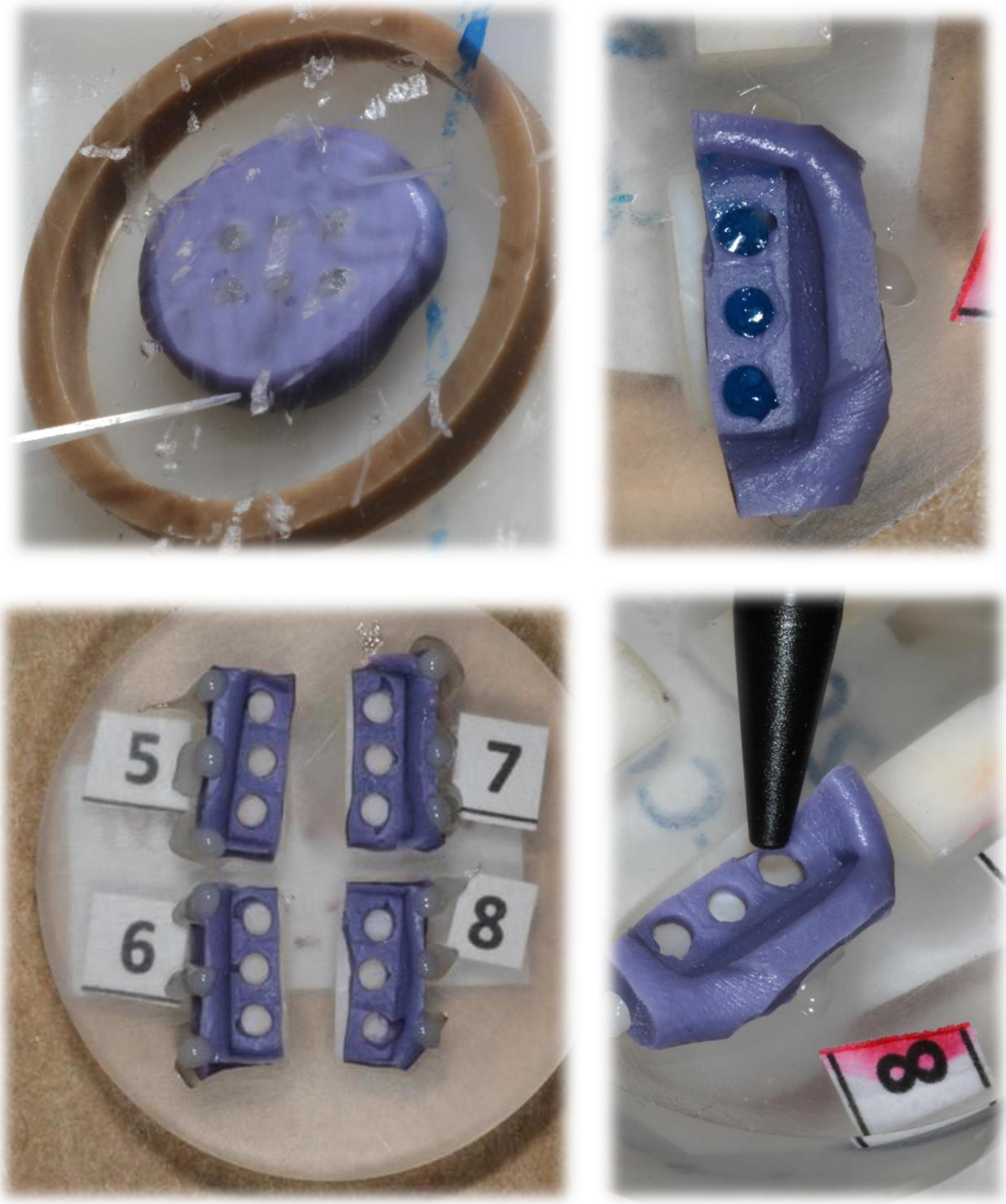


Figura 3a. Colocación del medio cementante.



Grabado ácido previo (5, 10 y 20 segundos) en los grupos experimentales

Para dichos grupos la experiencia fue realizada de la siguiente manera:

Los cuerpos de prueba fueron grabados previamente con ácido fosfórico al 37 %, con N°. Lote. 630001725 BISCO, IL, USA en los tiempos arriba señalados. Se tomó el tiempo haciendo uso del aplicativo cronómetro del iPhone 5S. El ácido se aplicó sobre la superficie del esmalte, cumplido el plazo de tiempo para cada grupo (5, 10, 20 segundos), se lavó con agua destilada el doble de tiempo que se utilizó para el grabado ácido, y posteriormente fueron secados usando papel toalla. Inmediatamente fue colocada y fijada la matriz de silicona a la superficie del esmalte y se procedió a colocar el agente cementante. Ulteriormente, se aplicó el agente cementante de la manera como ha sido descrita líneas arriba para cada una de las marcas. Una vez culminada su preparación, los cuerpos de prueba fueron colocados en una estufa a 37 °C sumergidos en agua desionizada hasta el momento de la fatiga térmica (termociclado 5,000 ciclos, 30 segundos cada ciclo, 5 °C – 55 °C).

Prueba mecánica

Una vez que en el laboratorio el director de tesis asignó un número a los cuerpos de prueba, estos fueron entregados al operador para su microtracción. Se usó la máquina de ensayo universal marca Instron, modelo 4411, USA con una célula de carga de 50 Newton y una velocidad de 1 mm/min. Se colocó el cuerpo de prueba sobre las platinas de la máquina de ensayo, en uno de los extremos opuestos se colocó un alambre de ortodoncia de acero inoxidable número 0,008 pulgadas de diámetro que abrazó al espécimen en la zona de unión entre agente cementante y esmalte dentario.

En esas condiciones se ejecutó la prueba y en la pantalla analógica de la máquina universal se identificó la carga en Newton en el momento de la fractura. Los datos obtenidos, como carga y área en cm^2 , fueron llevados a una tabla diseñada para tal fin, la carga fue expresada en MPa. Los especímenes fueron luego almacenados para posteriormente realizar las observaciones del tipo de falla.

Tipo de falla

Los especímenes fueron bañados en oro. Para tal efecto, se usó el equipo de pulverizado de oro y evaporación de carbono, Bal-Tec SCD 050, USA, para ser analizados en el microscopio electrónico de barrido JSM-6360-LV, Jeol, Tokyo, Japón. Se realizó microfotografías a 40X y 1000X para poder identificar el tipo de falla. Los datos se colocaron en una ficha *ad-hoc* (Anexo 3) para su posterior análisis para determinar si tuvieron una tipo adhesiva, cohesiva o mixta y si la experimentó el sustrato o el agente cementante.

Observación de la interfase esmalte-medio cementante

Se prepararon 4 bloques de esmalte para cada sub-grupo, los cuales fueron elaborados como se describe en la sección pertinente. Los bloques de esmalte preparados fueron asignados aleatoriamente para cada grupo y subgrupo control, 5 segundos, 10 segundos y 20 segundos de cada medio cementante utilizado. Una vez que obtuvieron los cuerpos de prueba se colocaron en glutaraldehído en 0.1M fosfato de sodio bufferado a un pH de 7.2 por 24 horas a 37 °C. Los cuerpos de prueba fueron sometidos a un proceso de desmineralización usando ácido fosfórico al 50 % por 5 segundos. Ulteriormente, fueron desproteinizados en solución de NaOCl al 10 % por un intervalo de 20 minutos. Después de la deshidratación química se colocó el nitrato de plata amoniacal expuesto por 24 horas

luego se lavó con agua destilada y se sumergió en una solución reveladora por 8 horas y expuesto a luz fluorescente para luego proceder a su observación en MEB. Se registraron imágenes fotográficas de 1,000 - 2,000X de la interfase su descripción que fueron consignados en los resultados.

Microscopia confocal

Superficies de esmalte de bovino de 4 x 4 x 1 mm fueron obtenidas y posteriormente fueron pulidas con papeles de grano SiC (400, 1200, 2000, 4000). El fluorocromo que se utilizó fue Rodamina B con 0.1 % en peso. Éste fue incorporado al catalizador, antes de la mezcla con la base en ambos medios cementantes Maxcem Elite, KERR, SYBRON y RelyX U200, 3MESPE.

Los especímenes de esmalte fueron condicionados con ácido fosfórico al 37 % por 5 s, 10 s y 20 s, según correspondía, y el tiempo de lavado usado fue el doble del tiempo del grabado. Se usó agua destilada. Seguidamente, se aplicó el agente cementante. Al grupo control se le aplicó el medio cementante sin grabado ácido previo. Posteriormente, en todos los grupos se fotopolimerizó durante 20 segundos y fueron almacenados en un lugar seco y oscuro durante 24 horas.

Las muestras fueron evaluadas utilizando un escaneo láser confocal, microscopio Leica TCS SP5, Heidelberg, Alemania, equipado con una x /1.4 NA objetivo de inmersión en aceite 63. Se utilizó un láser de HeNe 543 nm y el pico de emisión se fijó en 590 nm. Cada muestra se evaluó a través de una herramienta de pila Z. La obtención de cada imagen de 0,25 μm se logró hasta que no se detectó fluorescencia. Las imágenes fueron procesadas haciendo uso de software licenciado Image J.⁷³

6.5. Plan de análisis

Los datos obtenidos de cada grupo fueron ordenados y procesados realizando cálculos de medidas de resumen estadístico (Media, Mediana, Desviación estándar); así como, las frecuencias absolutas y relativas de las variables cualitativas.

Se determinó la distribución normal y z usando la Prueba de Shapiro Wilks, se emplearon las pruebas de Chi-cuadrado, T-Student, ANOVA, U de Mann Whitney y Kruskal Wallis. El estudio contó con un nivel de confianza de 95 % y un $p < 0.05$. Se empleó del paquete estadístico SPSS 23.

6.6. Consideraciones éticas

El presente trabajo de investigación estuvo sujeto a las normas éticas en investigación. Además, fue presentado al comité de ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (N° 66522), al comité de investigación de la FAEST; así como, a la Dirección de Postgrado "Víctor Alzamora Porras" de la UPCH para su aprobación. Se solicitó la exoneración correspondiente debido a que no se trabajó directamente con animales.

VI. RESULTADOS

En la Tabla 1. Se observan las medias y desviaciones estándar de las resistencias de unión de cada uno de los cementos con o sin termociclado en 0 s, 5 s, 10 s y 20 s. Se observó que el promedio Maxcem Elite sin termociclado en 0 s tuvo diferencia estadísticamente significativa en comparación con Maxcem Elite con termociclado en 0 s ($p < 0.05$). De igual forma el RelyX U200 presentó diferencias a los 0 s entre sin y con termociclado ($p < 0.05$). A los 5 s y a los 20 s, el Maxcem Elite con termociclado tuvo diferencia estadísticamente significativa con RelyX U200 con termociclado ($p < 0.05$); y a los 20 s, el Maxcem Elite sin termociclado tuvo diferencia con RelyX U200 sin termociclado ($p < 0.05$). En el grupo de Maxcem Elite con termociclado presentó diferencia significativa entre todos los tiempos evaluados; al igual que, el RelyX U200 con termociclado ($p < 0.05$). El medio cementante que experimentó mayor resistencia de unión fue el RelyX U200.

En la Tabla 2. Se muestra el supuesto de homogeneidad de varianzas para las variables material, tiempo de grabado y tratamiento térmico. Las dos variables que cumplen este supuesto son material y tiempo de grabado ($p > 0.05$); y la variable tratamiento térmico no cumple este supuesto.

En la Tabla 3. Se muestra el supuesto de homocedasticidad, no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre material, tiempo de grabado y tratamiento térmico ($p > 0.05$).

En la Tabla 4. Se muestra la significancia estadística entre cada variable y entre la interacción de las variables del modelo. Observamos que existen diferencias entre el material, el tiempo de grabado y el tratamiento térmico. También, observamos que existen diferencias entre la interacción del tipo de material con el tiempo de grabado y diferencias estadísticas entre el tiempo de grabado con el tratamiento térmico. Sin embargo, encontramos que no existen diferencias estadísticas en la interacción del tratamiento térmico con el tipo de material, ni entre la interacción entre material con tiempo de grabado y con tratamiento térmico.

En la Tabla 5. Se evaluaron las diferencias de fracturas del termociclado, se encontró que existió diferencias en el grupo de MaxCem Elite a los 5 s y 10 s; y en el caso de RelyX U200 a los 10 s ($p < 0.05$).

En el Gráfico 1. Se muestra que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los patrones de fractura por el termociclado, según el tipo de cemento y tiempo de grabado. Se concluye que el tipo de fractura está asociado al termociclado, según el tipo de cemento y tiempo de grabado.

En el Gráfico 2. Se observa la gráfica de barras y bigotes de los resultados promedio de las resistencias de unión al microcizallamiento, de los dos medios cementantes con los grupos controles, sin y con fatiga térmica.

Microfotografía de Microscopia confocal laser

1A. Se observa el esmalte no grabado todo verde pigmentado con fluoresceína al 0.1 % en solución etanólica. 1B. Se observa la imagen del esmalte grabado por 5 segundos con

ácido fosfórico al 37 %. 1C. Se observa en la imagen el esmalte grabado con 10 s con ácido fosfórico al 37 %. 1D. Se observa en la imagen el esmalte grabado con 20 s con ácido fosfórico al 37 %. La flecha señala varillas de esmalte en la imagen. Se observa que el patrón de grabado es profundo y altamente desmineralizado.

2A. RelyX U200. Se observa en la imagen el esmalte no grabado en rojo, se observa con rhodamina B al 1 %. 2B. RelyX U200. Se observa en la imagen el esmalte grabado por 5 s con ácido fosfórico al 37 %. 2C. RelyX U200. Se observa en la imagen el esmalte grabado por 10 s al 37 %. 3B. Maxcem Elite. Se observa en la imagen el esmalte grabado por 5 s con ácido fosfórico al 37 %. 3C. Maxcem Elite. Se observa las imágenes grabadas por 10 s con ácido fosfórico al 37 %. 3D. Maxcem Elite. Se observa en la imagen el grabado del esmalte por 20 s con ácido fosfórico al 37 %. Nótese que las flechas señalan los "tags" o clavos de resina de resinas.

4C. Se observa imágenes de MEB donde se identifican los tres tipos de fractura que presentaron los diferentes especímenes de los grupos de control y experimentales del medio cementante Maxcem Elite. Microfotografías 01, 02 y 03.

5C. Se observan imágenes de MEB Microfotografía 04 se visualiza la interfase entre el medio cementante y la superficie adamantina del grupo control del medio cementante Maxcem Elite. Microfotografías 05, 06 y 07. Se puede observar la integración del medio cementante en la superficie de esmalte.

6C. Se observan las imágenes obtenidas usando MEB, los grupos control y grupos experimentales del medio cementante RelyX U200. En la microfotografía 08 se observa

el grupo control en donde se aprecia la interfase entre ambos sustratos. En las microfotografías 09, 10 y 11 se puede observar la integración del medio cementante en la superficie adamantina.

Tabla 1. Media aritmética y desviación estándar de la resistencia de unión de los cementos RelyX U200 y Maxcem Elite según el tiempo de grabado y la presencia o no de tratamiento de Termociclado

Tiempos	Maxcem Elite		RelyX U200	
	Sin termociclado	Con termociclado	Sin termociclado	Con termociclado
	X (DE)	X (DE)	X (DE)	X (DE)
0 segundos	10.41 (3.86)a	0.14 (0.31)aA	12.62 (2.74)bB	1.30 (2.41)bC
5 segundos	14.98 (4.11)	11.72 (3.48)cA	22.26 (3.25)B	22.05 (2.96)cC
10 segundos	16.76 (5.83)	18.82 (3.31)A	19.31 (4.58)	21.58 (3.53)C
20 segundos	10.64 (2.76)d	12.93 (4.62)A	22.62 (3.22)dB	19.74 (10.18)C

X: Promedio.

DE: Desviación estándar.

*Letras iguales, diferencias estadísticamente significativas (Prueba de Tukey; $p < 0.05$). Léase, letras minúsculas en filas y mayúsculas en columnas.

Tabla 2. Supuesto de homogeneidad de varianzas.

Fuente	valor p
Material	0.097
Tiempo Grabado	0.126
Tratamiento Térmico	<0.0001

*Homogeneidad de varianzas Bartlett.

Tabla 3. Supuesto de homocedasticidad.

Fuente	valor p
Material	
Tiempo Grabado	0.0619
Tratamiento Térmico	

*El supuesto de homocedasticidad comprueba la similitud varianzas de las tres variables. Se busca que $p > 0.05$.

Tabla 4. Prueba ANOVA 3 factores

Fuente	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Media Cuadrados	Distribución F	Valor p
Material	1	1126.84	1126.84	76.08	<0.0001
Tiempo Grabado	3	3447.85	1149.28	77.6	<0.0001
Tratamiento Térmico	1	168.22	168.22	11.36	0.001
Material*Tiempo Grabado	3	477.61	159.2	10.75	<0.0001
Tiempo Grabado*Tratamiento Térmico	3	828.92	276.31	18.66	<0.0001
Tratamiento Térmico*Material	1	0.01	0.01	0	0.9819
Material*Tiempo Grabado*Tratamiento Térmico	3	30.9	10.3	0.7	0.5568

*Diferencia estadística ($p < 0.05$),
R cuadrado=0.7882.

Tabla 5. Tipo de fractura según tipo de tratamiento y termociclado.

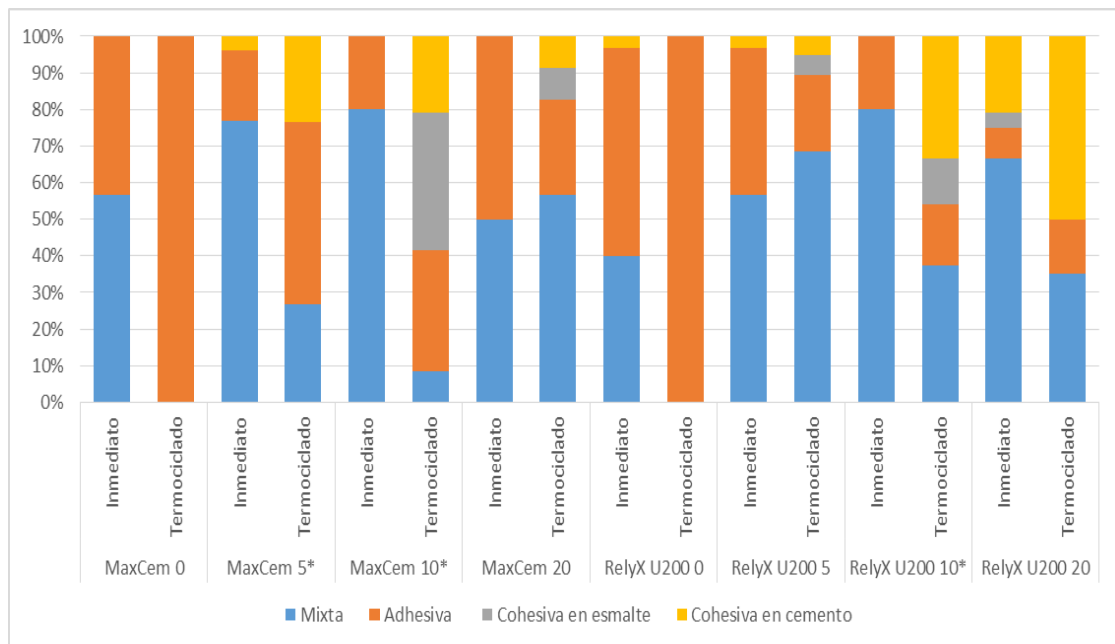
Tiempos de tratamiento	Tipo de fractura	Inmediato		Termociclado	
		n	%	N	%
MaxCem Elite 0	Mixta	13	56.52	0	0.00
	Adhesiva	10	43.48	2	100.00
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	0	0.00
	Cohesiva en cemento	0	0.00	0	0.00
	Total	23	100.00	2	100.00
MaxCem Elite 5*	Mixta	20	76.92	8	26.67
	Adhesiva	5	19.23	15	50.00
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	0	0.00
	Cohesiva en cemento	1	3.85	7	23.33
	Total	26	100.00	30	100.00
MaxCem Elite 10*	Mixta	20	80.00	2	8.33
	Adhesiva	5	20.00	8	33.33
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	9	37.50
	Cohesiva en cemento	0	0.00	5	20.83
	Total	25	100.00	24	100.00
MaxCem Elite 20	Mixta	12	50.00	13	56.52
	Adhesiva	12	50.00	6	26.09
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	2	8.70
	Cohesiva en cemento	0	0.00	2	8.70
	Total	24	100.00	23	100.00
RelyX U200 0	Mixta	12	40.00	0	0.00
	Adhesiva	17	56.67	2	100.00
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	0	0.00
	Cohesiva en cemento	1	3.33	0	0.00
	Total	30	100.00	2	100.00
RelyX U200 5	Mixta	17	56.67	13	68.42
	Adhesiva	12	40.00	4	21.05
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	1	5.26
	Cohesiva en cemento	1	3.33	1	5.26
	Total	30	100.00	19	100.00
RelyX U200 10*	Mixta	20	80.00	9	37.50
	Adhesiva	5	20.00	4	16.67
	Cohesiva en esmalte	0	0.00	3	12.50
	Cohesiva en cemento	0	0.00	8	33.33
	Total	25	100.00	24	100.00
RelyX U200 20	Mixta	16	66.67	7	35.00
	Adhesiva	2	8.33	3	15.00
	Cohesiva en esmalte	1	4.17	0	0.00
	Cohesiva en cemento	5	20.83	10	50.00
	Total	24	100.00	20	100.00

n: Frecuencia absoluta.

#: Frecuencia relativa.

*: Prueba de Chi-cuadrado ($p < 0.01$).

Gráfico 1. Patrones de fractura por termociclado según tipo de cemento, tiempo de grabado y termociclado.



*: Prueba de Chi-cuadrado ($p < 0.01$).

Gráfico 2. Resistencia de unión de los cementos RelyX U200 y Maxcem Elite según el tiempo de grabado y la presencia o no de tratamiento de termociclado.

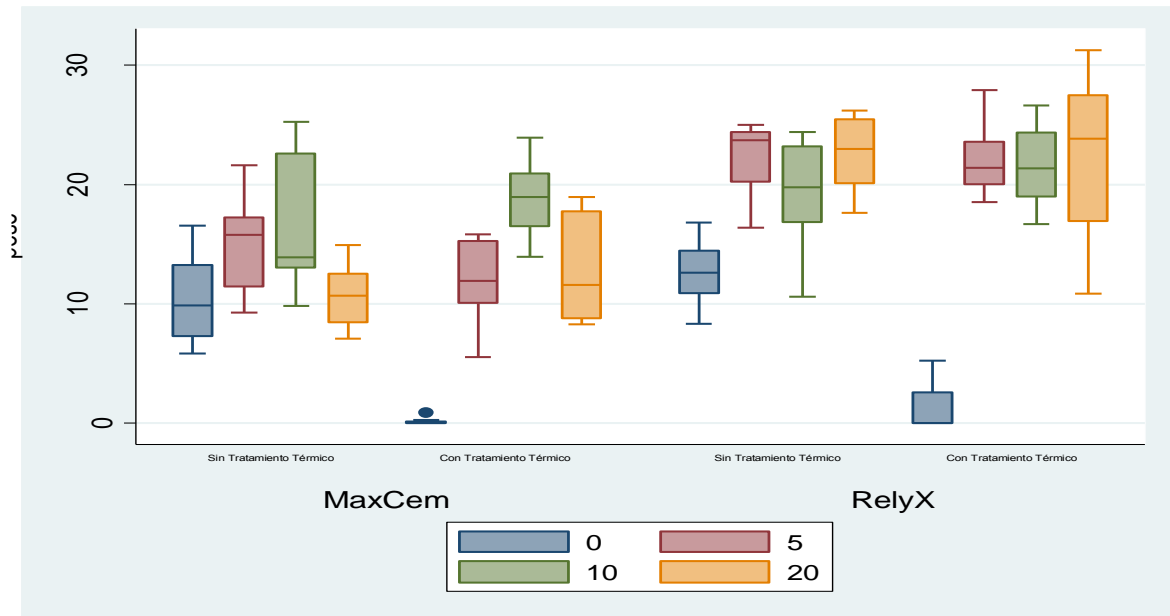
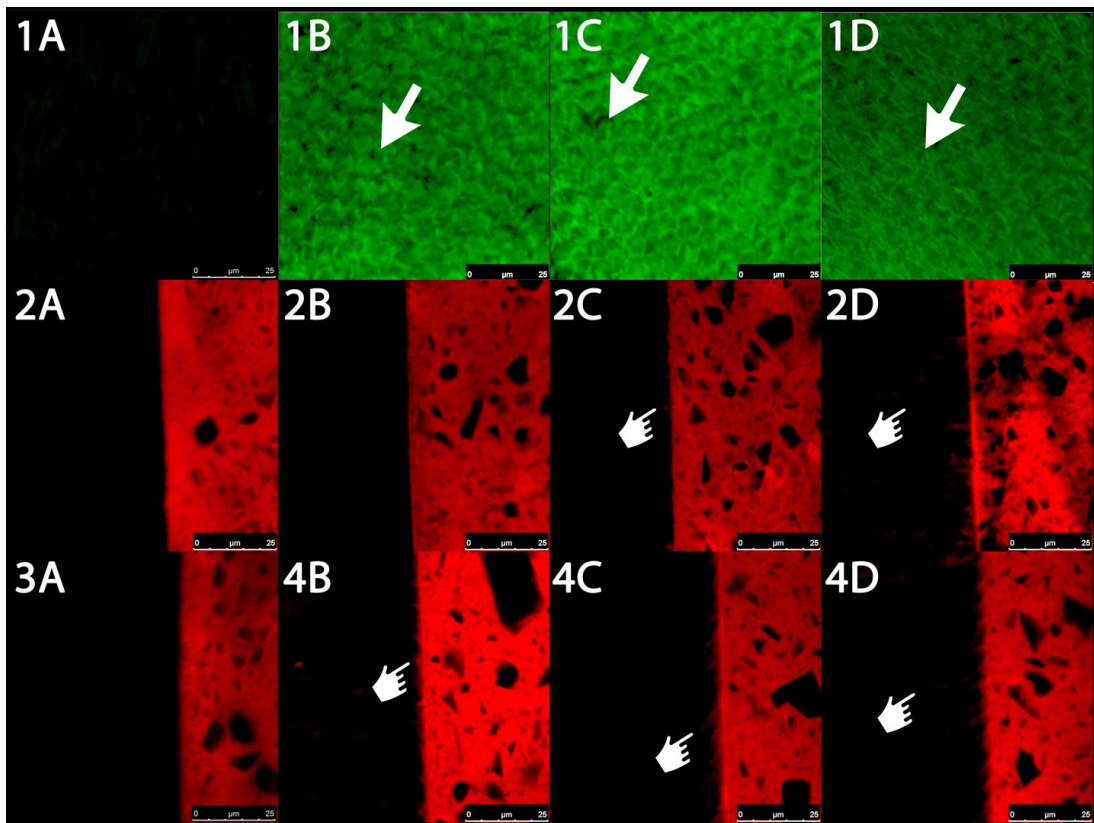


Figura 4. Microscopia confocal láser de barrido.



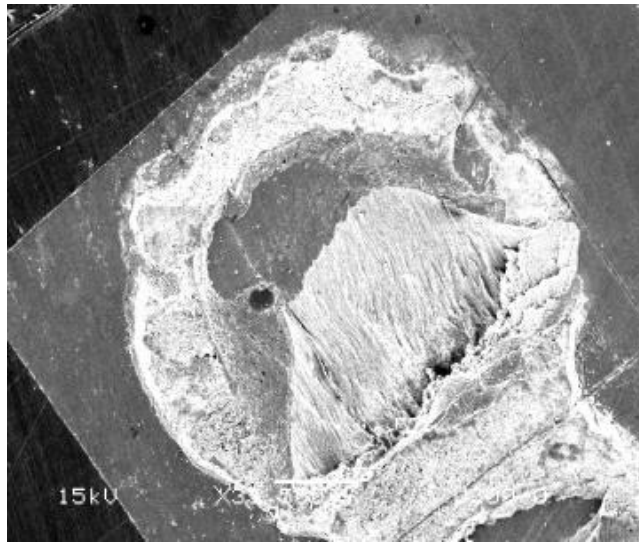
1A. Esmalte sin grabado. 1B. Esmalte grabado con ácido fosfórico al 37 % por 5 s. 1C. Esmalte grabado con ácido fosfórico al 37 % por 10 s. 1D. Esmalte grabado con ácido fosfórico al 37 % por 20 s.

2A. Maxcem no grabado. 2B. Maxcem grabado 5 s. 2C. Maxcem grabado 10 s, se observa la integración del medio cementante en el esmalte. 2D. Maxcem grabado 20 s, se observa mayor integración del medio cementante en el esmalte.

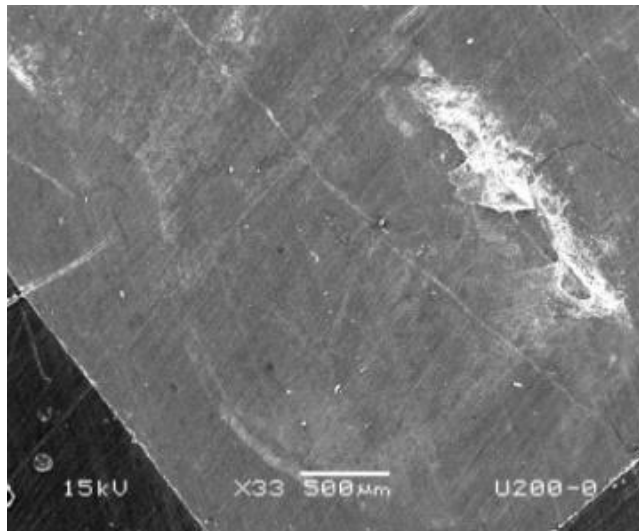
3A. RelyX U200 sin grabado. 4B. RelyX U200 grabado 5 s, se observa la integración del medio cementante en el esmalte. 4C. RelyX U200 grabado 10 s, se observa una mayor integración del medio cementante en el esmalte. 4D. RelyX U200 grabado 20 s, se observa una mayor integración del medio cementante en el esmalte.

Figura 5. Microscopia electrónica de barrido identificando el tipo de fractura adhesiva, cohesiva y mixta. Microfotografías 01, 02 y 03.

Microfotografía N 01 MEB.
La imagen describe una falla cohesiva.



Microfotografía N 02 MEB.
La imagen describe una falla adhesiva.



Microfotografía N 03 MEB. La imagen describe una falla mixta.

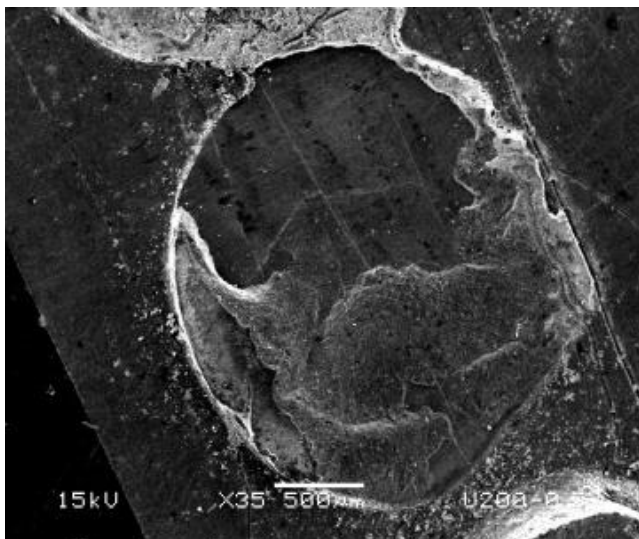
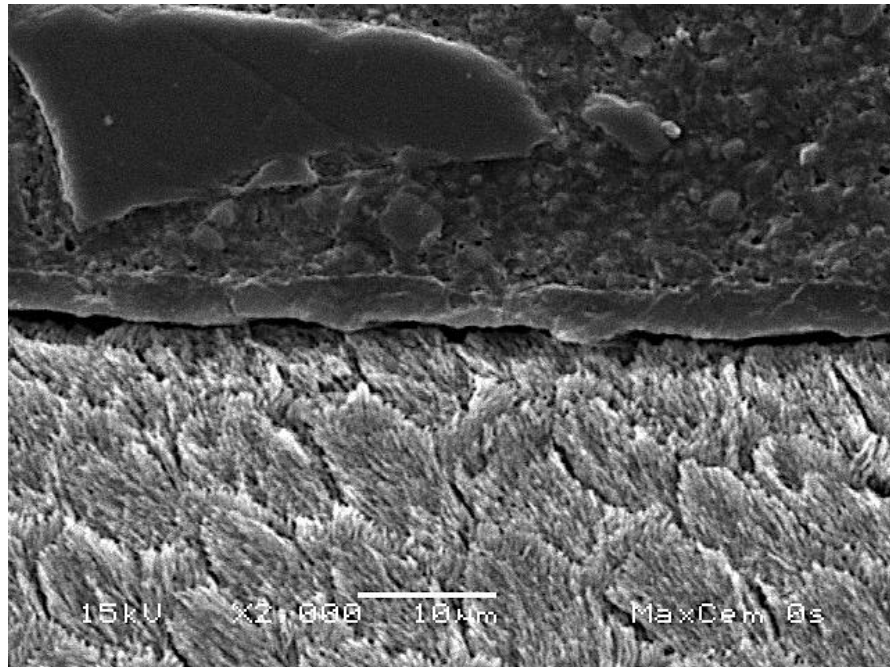
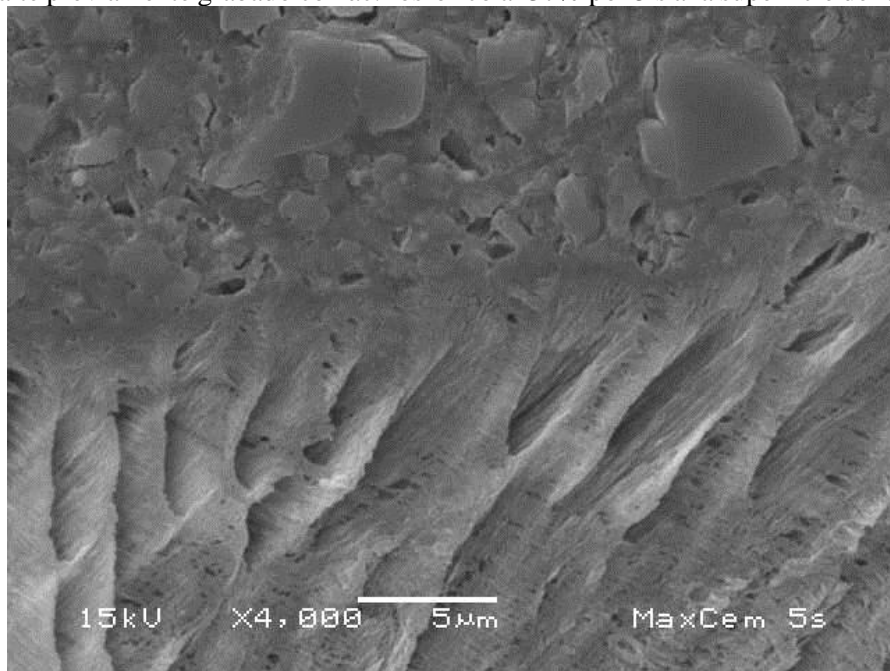


Figura 6. Microscopia electrónica de barrido interfase medio cementante y Maxcem Elite. Se observa las imágenes de MEB del grupo control y grupos experimentales.

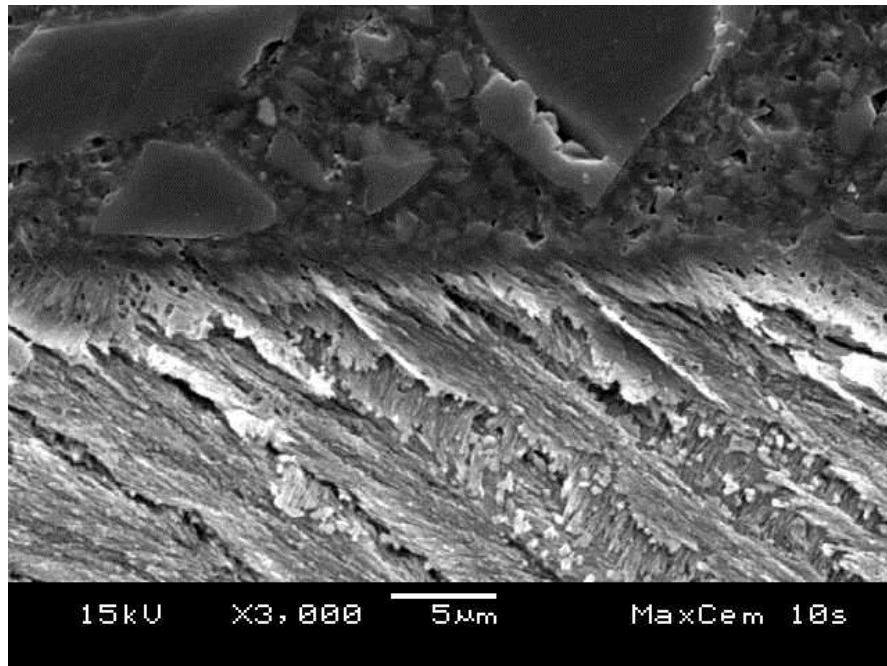
Microfotografía N 04 MEB. La imagen describe la interacción del medio cementante Maxcem Elite grupo control. No se observa integración ninguna entre el cemento y el esmalte.



Microfotografía N 05 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante en el esmalte previamente grabado con ác. fosfórico al 37% por 5 s a la superficie del esmalte.



Microfotografía N 06 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante en el esmalte previamente grabado con ácido fosfórico al 37 % por 10 s a la superficie del esmalte.



Microfotografía N 07 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante en el esmalte previamente grabado con ácido fosfórico al 37 % por 20 s.

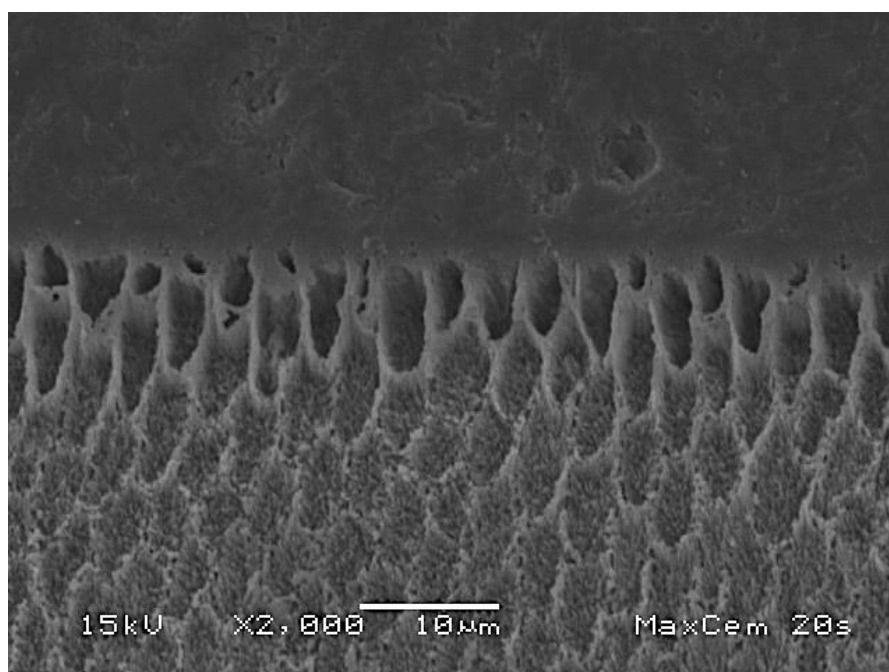
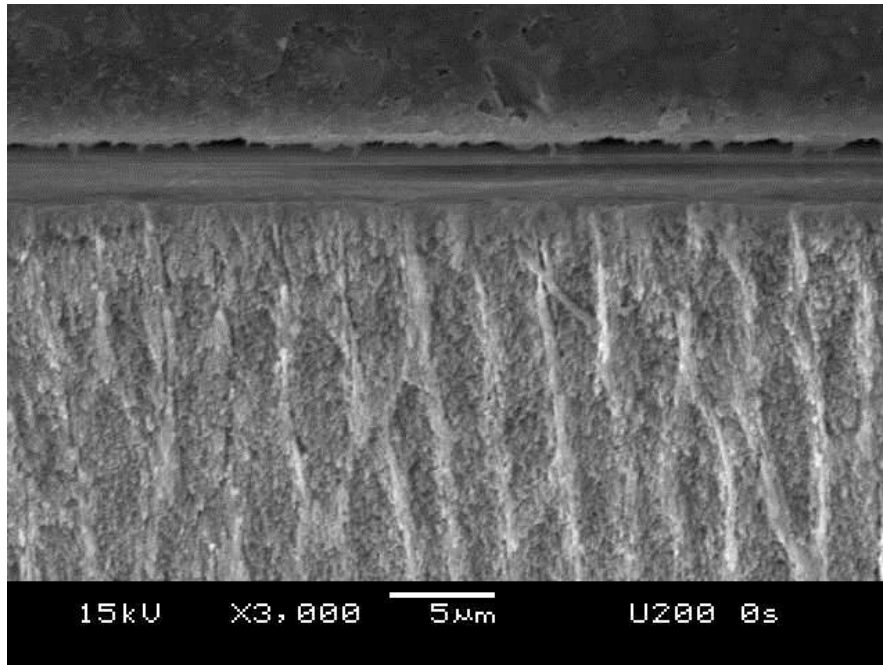
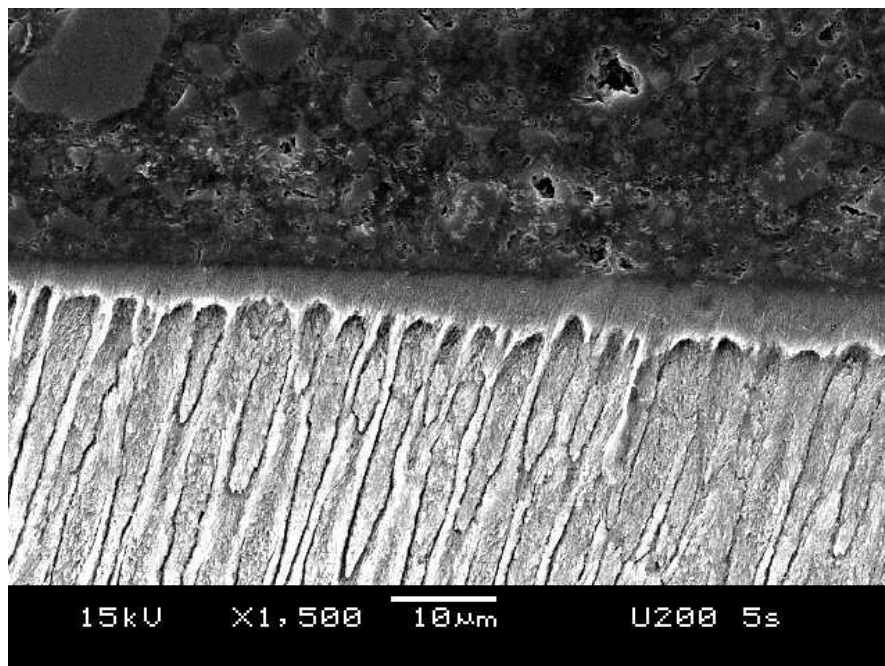


Figura 7. Microscopia electrónica de barrido interfase medio cementante y RelyX U200 Grupo control y grupos experimentales.

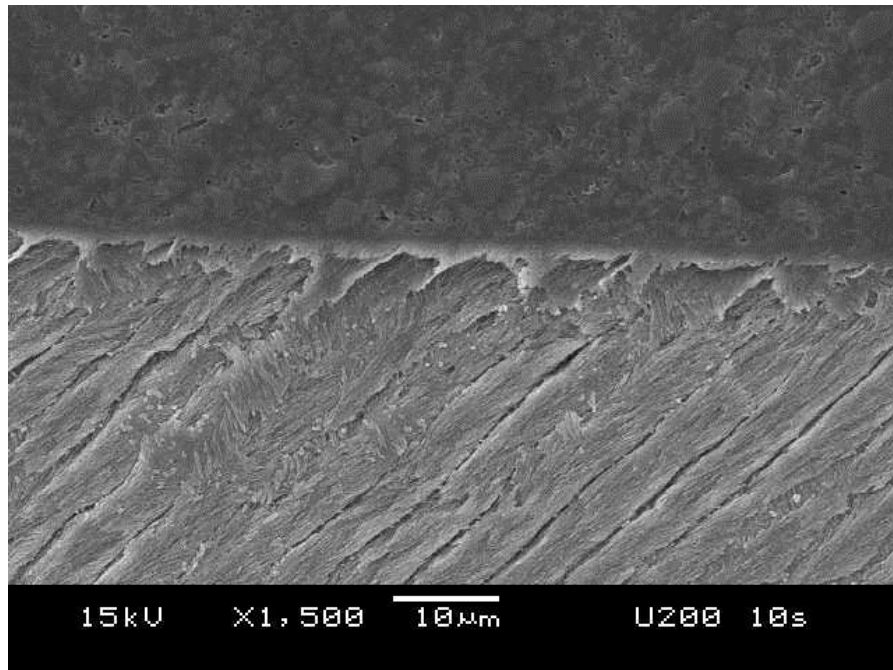
Microfotografía N 08 MEB. La imagen describe la falta de integración del medio cementante a la superficie del esmalte. Control.



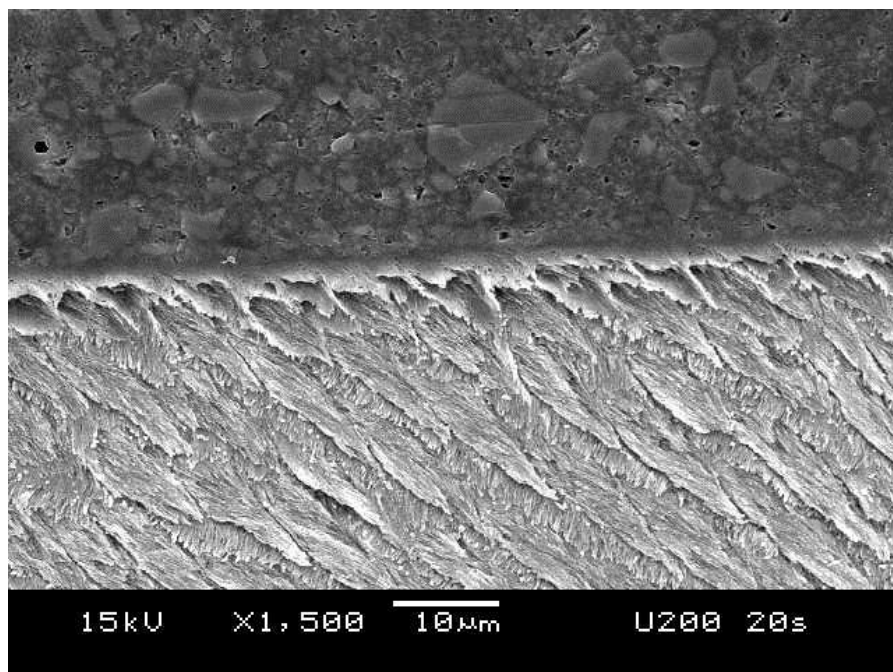
Microfotografía N 09 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante, el cual se grabó previamente con ácido fosfórico al 37 % por 5 segundos.



Microfotografía N 10 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante, la cual se grabó previamente con ácido fosfórico al 37 % por 10 segundos.



Microfotografía N 11 MEB. La imagen describe la integración del medio cementante, la cual se grabó previamente con ácido fosfórico al 37 % por 20 segundos.



VII. DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de esta investigación podemos decir que el grabado ácido previo sobre la superficie adamantina bovina genera una mayor resistencia de unión de ambos medios cementantes autoadhesivos. En el caso del medio cementante RelyX U200 se encontró una mejora significativa. Sin embargo, no se encontró diferencias entre los tres periodos de tiempo de grabado. Para el medio cementante Maxcem Elite, se encontró también una mejora importante en la resistencia de unión previamente al grabado del esmalte; además, se hallaron diferencias entre los tres periodos de tiempo de grabado previo, siendo los mejores valores de resistencia de unión a los 5 y 10 segundos, obteniéndose una disminución con el grupo de grabado por 20 segundos.

Existe evidencia científica que el grabado ácido previo sobre el esmalte genera una mejora en la resistencia de unión de estos tipos de medios cementantes. Sin embargo, al revisar la literatura no se ha podido encontrar un consenso sobre cuál sería el tiempo de grabado adecuado para optimizar dicha resistencia de unión con estos medios cementantes resinosos autoadhesivos.^{1,3,4,5,7}

La literatura revisada refiere cinco estudios grabando 15 segundos,^{2,4,24,74,75} dos estudios grabando 30 segundos,^{6,7} un estudio grabando 40 segundos¹ y un estudio grabando 60 segundos,⁷⁶ usando ácido fosfórico entre 32 - 37.5 %. Es oportuno señalar que se identificaron dos publicaciones donde la investigación consigna que

se ha grabado previamente el esmalte con ácido, pero no se precisa la concentración del ácido usado ni el tipo de ácido, solo el periodo de tiempo usado.^{11,10}

De acuerdo a esta investigación se ha podido comprobar que ambos medios cementantes mejoran los valores de resistencia de unión al ser usado el grabado ácido previo en los periodos de tiempo evaluados; salvo el Maxcem Elite, del cual, en el periodo de tiempo de 20 segundos, la resistencia disminuyó en el grupo que experimento fatiga térmica.

En el caso del RelyX U200, se pudo observar que independientemente del periodo de tiempo de grabado ácido 5, 10 o 20 segundos, la conducta fue similar con y sin termociclado y fue siempre mayor en ambos casos, con y sin fatiga térmica al ser comparados con el Maxcem Elite. Existe evidencia científica que el grabado previo del esmalte con ácido fosfórico permitiría que los monómeros ácidos del medio cementante ingresen a la sustancia interprismática e intraprismaática del esmalte generando una sutil hibridización del esmalte.⁶

En la presente investigación los monómeros del RelyX U200 y Maxcem Elite estarían en mejor condición de poder integrarse al sustrato adamantino por las imágenes observadas tanto en la microscopía confocal y las de barrido. Dichas imágenes muestran una integración del medio cementante a dicho sustrato, inclusive con la presencia de clavos o "*tags*" en el esmalte para ambos medios cementantes en los diferentes periodos de tiempo que fueron grabados con ácido fosfórico al 37 %, cuya profundidad aumentó directamente proporcional al tiempo de grabado

ácido. Estos hallazgos permitirían comprender por qué la resistencia de unión se mantuvo presente en los grupos experimentales de ambos medios cementantes.

Al revisar la literatura, no hemos encontrados resultados similares usando microscopía de barrido y confocal.

De acuerdo a la presente investigación, los valores de resistencia de unión obtenidos para el RelyX U200 y Maxcem Elite fueron de 12.64 MPa y 10.61 MPa, respectivamente,^{11,74,75,77} al ser evaluados al cabo de 24 horas, guardando relación con los datos recogidos de la literatura. En esta investigación, el grabado previo mejora la resistencia de unión en el Maxcem Elite y RelyX U200 en aproximadamente 40 % y 80 %, respectivamente.

Debemos señalar que en el caso de Maxcem Elite después de ser sometido a la fatiga térmica, el último grupo experimental en el periodo de tiempo de 20 segundos, la resistencia de unión disminuyó, llevándonos a pensar que es muy probable que se estén generando patrones de grabado tipo III en la superficie adamantina. Patrones de grabado descritos por la literatura, que podrían generar un escenario inadecuado para garantizar una resistencia de unión óptima, produciéndose fallas cohesivas o mixtas.²²

Es importante señalar que existe un consenso que, en los sistemas adhesivos de grabado total, autoacondicionantes y universales; el grabado previo sobre esmalte, genera una predictibilidad en la resistencia de unión y existe evidencia científica

que cuando dicho grabado se produce durante los primeros 30 segundos en la superficie del esmalte, la resistencia de unión se incrementa.⁷⁷

Al revisar la literatura no se ha encontrado nada similar en relación a la evaluación de diferentes períodos de tiempo de grabado previo al esmalte usando medios cementantes resinosos autoadhesivos. Percibimos que con esta investigación se brinda una nueva pauta para construir la hipótesis que sostendría que los medios cementantes presentan una conducta similar como sucede con los sistemas adhesivos autoacondicionantes y universales, líneas arriba descritas. Sin embargo, creemos que deben realizarse mayores investigaciones al respecto.

En relación a los tipos de fallas encontradas en la investigación, en ambos medios cementantes se guarda relación directa con la fatiga térmica, habiéndose producido fallas mixtas en la interfase. Esto significa que la fatiga térmica genera cambios dimensionales en ambos sustratos que afectan la interfase adhesiva, además de la posible acción hidrolítica del agua. Estos resultados son similares a trabajos de investigación usando medios cementantes resinosos autoadhesivos.^{1, 2, 11,74,75}

En relación a las imágenes obtenidas con microscopía de láser confocal y microscopía electrónica de barrido, ambos grupos muestran que en los grupos controles al cabo de 24 horas, la adhesión de los medios cementantes es fundamentalmente específica o química.

Estos mecanismos de acción se producen debido a las fuerzas de atracción secundarias, como es el caso de los puentes de hidrógeno. Una de las razones que explicaría estos resultados es que la superficie del esmalte fue altamente pulida usando lijas de 200 hasta 1000 SiC y se terminó de pulir con un paño de felpa usando una pasta abrasiva de un micrómetro de diámetro. Esto colocó al sustrato adamantino en las mejores condiciones para que ambos sustratos puedan interactuar adecuadamente.^{3,4,18,76}

Esto explica los valores de resistencia de unión que se obtuvieron en los grupos controles de ambos medios cementantes, sobre todo cuando se realizó la evaluación micromecánica al cabo de 24 horas.

Es oportuno señalar lo que sucedió con los grupos controles de ambos medios cementantes después del termociclado, en donde los especímenes experimentaron un desprendimiento espontáneo del medio cementante de la superficie adamantina, previo a la prueba mecánica de microcizallamiento. Esta investigación guarda relación con otros estudios que independientemente del tipo de prueba mecánica usada (microcizalla o macrocizalla) se obtuvieron similares resultados; desprendimiento del cuerpo de prueba previo a la prueba mecánica.

Cabe señalar que existen investigaciones reportadas por la literatura en donde los cuerpos de prueba que contenían a los sustratos dentarios y los medios cementantes, experimentaron desprendimientos espontáneos al momento de ser preparados los cuerpos de prueba o durante la fatiga térmica, previo a la prueba mecánica.^{3,78}

La fatiga térmica ha permitido en esta investigación poner en evidencia la pobre unión adhesiva específica que presentaron los grupos controles de ambos medios cementantes. Existen investigaciones que refieren resultados similares a los encontrados en este estudio.^{1,79} Las razones que explicarían estos resultados estarían asociadas a las cualidades de los medios cementantes, al tratamiento o no previo de la superficie adamantina con ácido fosfórico y a las características propias de la prueba de fatiga.

En relación a la fatiga térmica, debemos señalar que los cambios de temperatura producidos durante la prueba generaron cambios dimensionales en los medios cementantes y llevaron a que los especímenes se desprendieran prematuramente, antes de la realización de la prueba mecánica, haciéndonos ver que la adhesión específica o química obtenida por los medios cementantes con el sustrato adamantino no era lo suficientemente fuerte para mantenerse unida al sustrato dentario.⁵⁰

Como podemos observar en la presente investigación, la fatiga térmica afecto de manera similar a los dos medios cementantes. Éstas se expresan en el porcentaje de especímenes que se desprendieron espontáneamente antes de la prueba mecánica de microcizallamiento.⁵⁰ En el caso del Maxcem Elite se desprendieron previo a la prueba el 83 % del número total de especímenes y en el caso del RelyX U200 fue el 96 %. La literatura sugiere que es una buena práctica señalar lo sucedido en este tipo de experiencias. Describir y analizar por qué sucedió y buscar argumentos para su explicación es lo pertinente.^{1,3,78}

Al revisar la literatura existen otros factores que explicarían la conducta de los medios cementantes en esta experiencia:

1. Solubilidad y sorción acuosa del medio cementante al ser sometido al termociclado; además, de las propias características químicas del medio cementante.⁸⁰
2. pH, que de mantenerse ácido en el tiempo podría afectar las cualidades adhesivas al sustrato dentario; así como, incrementar el riesgo para una inadecuada polimerización.^{11,77,81,82}

Como hemos observado en la experiencia, el medio cementante que experimentó los mayores valores de resistencia de unión fue el RelyX U200, sus valores mostraron una diferencia estadísticamente mayor. Al revisar su composición, hemos identificado la presencia de hidróxido de calcio que difiere de la composición del otro medio cementante; y al revisar la literatura, encontramos que la incorporación de dicho componente a la mezcla genera una pronta estabilidad del pH del medio cementante, lo que permitiría alcanzar una mejor polimerización, lográndose una mejor resistencia de unión, como lo encontrado en esta investigación.⁸³

3. Magnitud de carga aplicada al medio cementante, viscosidad, tamaño de partícula del relleno del medio cementante y la manera como se aplica podrían haber afectado su integración con el sustrato dentario adamantino.^{2,3,6,11,26,75,76,84,85}

4. Grado de conversión del monómero a polímero: Existe evidencia científica que demuestra que el uso previo de las unidades de polimerizado con medios cementantes de doble curado mejora la resistencia de unión de dichos medios cementantes.^{86,87,88,89,90}

Finalmente, podemos mencionar que es importante seguir evaluando la conducta de estos medios cementantes usando pruebas *in vitro* y en diferentes sustratos; así como, pruebas micromecánicas, en particular las de microcizallamiento, que ayuden a explicar su comportamiento; y también, empleando otros medios cementantes en diferentes condiciones, como fatiga mecánica y térmica o ambas.⁷⁹

El grabado selectivo es un concepto que se ha ido incorporando en la práctica clínica en estos últimos tiempos usando ácido fosfórico sobre la superficie del esmalte.⁹¹

Sin embargo, creemos que después de esta investigación plantearíamos que además de ser selectivo,⁹¹ debería ser *específico* para cada medio cementante resinoso autoadhesivo, respondiendo a la necesidad de darle un periodo de tiempo de condicionamiento ácido fosfórico a la superficie del esmalte para lograr obtener una superficie que genere valores de resistencia de unión adecuados usando este tipo de medios cementantes. Es muy probable que esto sea dependiente de la marca de procedencia de cada medio cementante, como se ha podido evidenciar en esta investigación.

Es así que el medio cementante RelyX U200 obtuvo una mejora significativa en la resistencia de unión cuando el sustrato adamantino fue previamente tratado con ácido fosfórico, independientemente del periodo de tiempo de grabado. Mientras que para el medio cementante Maxcem Elite, se encontró una mejora importante en la resistencia de unión cuando el esmalte fue previamente tratado con ácido fosfórico por 5 o 10 segundos; sin embargo, disminuyó significativamente cuando la superficie adamantina fue grabada por 20 segundos.

Después de esta investigación, resultaría razonable seguir evaluando esta propiedad y otras físicas o mecánicas con otros medios cementantes resinosos autoadhesivos que existen en nuestro medio y eventualmente la posibilidad de fabricarlos, evaluarlos y patentarlos. Validar esta experiencia con estudios clínicos^{92,93} nos permitiría corroborar los hallazgos de esta investigación.

VIII. CONCLUSIONES

Con las limitaciones propias de esta investigación podemos concluir que:

1. El medio cementante RelyX U200 obtuvo una mayor resistencia de unión cuando el esmalte fue previamente tratado con ácido fosfórico, independientemente del periodo de tiempo de grabado. Mientras que para el medio cementante Maxcem Elite, la mayor resistencia de unión fue observada cuando el esmalte fue grabado con ácido fosfórico por 5 o 10 segundos.
2. El grabado ácido en los grupos experimentales generan mayores valores de resistencia de unión para cada medio cementante al ser comparados con los grupos controles.
3. Los diferentes periodos de tiempo de grabado ácido no influyen en la resistencia de unión del medio cementante RelyX U200 después de la fatiga térmica.
4. Aplicar por un periodo de tiempo de 20 segundos el grabado con ácido fosfórico al 37 % influye de manera negativa en la resistencia de unión del medio cementante Maxcem Elite después de la fatiga térmica.
5. El tipo de falla obtenido varía según el medio cementante usado y el tratamiento de superficie realizado en el esmalte.

6. La integración de los medios cementantes al sustrato adamantino depende del periodo de tiempo de grabado ácido experimentado.

IX. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar una línea de investigación que permita ensayar la caracterización de los medios cementantes, con el fin de lograr desarrollar los nuestros en el laboratorio de química de nuestra institución.
2. Continuar con la línea de investigación del presente estudio, evaluando diferentes protocolos de cementación. Estudiar cómo tratar previamente las superficies según el cemento a utilizar, pues en la actualidad existen muchos cementos en el mercado con protocolos diferentes y no hay un sustento científico que respalde dichas rutinas.

X. REFERENCIAS

1. Abo-Hamar S, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig*. 2005; 9(3):161-7.
2. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater*. 2007; 23(1):71-80.
3. Gorracci C, Cury AH, Cantoro A, Papacchini F, Tay, F, Ferrari M. Microtensile Bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cements used to lute composite onlays under different forces. *J Adhes Dent*. 2011; 8(5):327-35.
4. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater*. 2004; 20(10):963–71.
5. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent*. 2008; 10(4):251–8.
6. Duarte S, Botta AC, Meire M, Avishai S. Microtensile bond strengths and scanning electron microscopic evaluation of self-adhesive and self-etch resin cements to intact and etched enamel. *J Prosthet Dent*. 2008; 100(3):203–10.
7. Benetti P, Fernandes VV, Torres CR, Pagani C. Bonding efficacy of new self-etching, self dual curing resin cements to dental enamel. *J Adhes Dent*. 2010; 13(3):231-4.
8. Burgess JO, Truxillo J, Mercante D. Dentin and enamel bond strength of three cements [abstract]. *J Dent Res* 2003; 82 (Spec Iss A). Abstr. N°1616.
9. Burgess JO, Ghuman T, Cakir D. Self adhesive resin cements. *J Esthet Restor Dent*. 2010; 22(6):412-9.
10. Makkar S and Malhotra N. Self Resin cements: a new perspective in luting technology. *Dent Update*. 2013; 40(9):758-68.

11. Rodrigues RF, Ramos CM, Francisconi PA, Borges AF. The shear bond strength of self-adhesive resin cements to dentin and enamel: An in vitro study. *J Prosthet Dent.* 2015; 113(3):220-7.
12. Abramovich A. *Histología y embriología dentaria.* 2da ed. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana S.A; 1999.
13. Swancar J, Scott DB, Njemirovskij Z. Studies on the structure of human enamel by the Replica method. *J Dent Res.* 1970; 49:1025- 33.
14. Stona P, Borges GA, Montes M. Effect of polyacrylic acid on the interface and bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. *J Adhes Dent.* 2013; 15(3):221-7.
15. Ferrecane JL, Stanburry JW, Burke FJT. Self-adhesive resin cements-chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil.* 2011; 38(4); 295–314.
16. D'Arcangelo C, Vanini L, Casinelli M, Frascaria M, De Angelis F, Vadini M, et al. Adhesive Cementation of Indirect Composite Inlays and Onlays: A Literature Review. *Compend Contin Educ Dent.* 2015; 36(8):570-7.
17. Miraval GL. Estudio In vitro de la resistencia de unión de agentes cementantes autoadhesivos sobre la superficie adamantina bovina [Tesis Pre grado]. Lima: Universidad Cayetano Heredia; 2014.
18. Macchi R. *Materiales dentales.* 3era ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2004.
19. Braga R, Cesar PF, Gonzaga C. Mechanical properties of resin cements with different activation modes. *J Oral Rehabil.* 2002; 29(3):257-62.
20. El-Mowafy O. The use of resin cements in restorative dentistry to overcome retention problems. *J Can Dent Assoc.* 2001; 67(2):97-102.
21. Silva RA, Coutinho M, Cardozo PI, Silva LA, Zorzatto JR. Conventional dual-cure versus self-adhesive resin cements in dentin bond integrity. *J Appl Oral Sci.* 2011; 19(4):355-62
22. Vicente A, Bravo LA, Romero M, Ortiz AJ, Canteras M, Math B. A comparison of the shear bond strength of a resin cement and two orthodontic resin adhesive systems. *Angle Orthodontist.* 2005; 75(1):109-13.

23. Salz U, Bock T. Testing adhesion of direct restorative to dental hard tissue-A review. *J Adhes Dent.* 2010; 12(5):343-71.
24. Dos Santos V, Griza S, Ratto de Morales R, Faria-e-Silva A. Bond strength of self-adhesive resin cements to composite submitted to different surface Pretreatments. *Restor Dent Endod.* 2014; 39(1):12-6.
25. Souza ROA, Castilho AA, Fernandes Jr VVB, Bottino MA, Valandro LF. Durability of microtensile bond to no-etched and etched feldspar ceramic: Self-adhesive resin cements versus conventional resin. *J Adhes Dent.* 2011; 13(2):155-62.
26. Min-Jeong Kim, Young Kyung K, Kyo-Han K, Tae-Yub Kwon. Shear bond strengths of various luting cements to zirconia ceramic: Surface chemical aspects. *J Dent.* 2011; 39(11):795-803.
27. Bounocore M. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 1955; 34(6):849-54.
28. Armstrong S. Adhesion to tooth structure: A critical review of micro bond strength test methods. *Dent Mater.* 2010; 26(2):e50-62.
29. Carpena G, Greenhalgh D, Klaus P, Mussi G, Widmer N. Enamel Acid Etching. A Review. *Compendium.* 2007; 28(1):662-9.
30. Saravia M. <http://www.odontologia-online.com/publicaciones/estetica-dental/123-ciencia-y-arte-de-la-cementacion-de-restauraciones-esticas-indirectas.html>, (Citado el 15 de octubre del 2015).
31. Bordoni N, Escobar A, Castillo R. *Odontología Pediátrica: La salud bucal del niño y el adolescente en el mundo actual.* Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana; 2010.
32. González R. *Química general para las ciencias ambientales.* Valencia: **Publicacions** Universitat de València; 2011.
33. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res.* 1992; 71(8):1530-40.
34. Farrokh A, Mohsen M, Soheil S, Nazanin B. Shear bond strength of three self-adhesive resin cements to dentin. *Indian J Dent Res.* 2012; 23(2):221-5.

35. Akhoundi MSA, Etemadi A, Nasiri M, Borujeni ES. Comparison of Enamel Morphologic Characteristics after Conditioning with Various Combinations of Acid Etchant and Er:YAG Laser in Bonding and Rebonding Procedures: A SEM Analysis. *J Dent (Tehran)*. 2017; 14(3):144-52.
36. Kitzmüller K, Graf A, Watts D, Schedle A. Setting kinetics and shrinkage of self-adhesive resin cements depend on cure-mode and temperature. *Dent Mater*. 2011; 27(6):544-51.
37. Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Water sorption and solubility of four self-etching, self-adhesive resin luting agents. *J Adhes Dent*. 2010; 12(1):39-43.
38. Piwowarczyk A, Bender R, Ottl P, Lauer HC. Long-term bond between dual-polymerizing cementing agents and human hard dental tissue. *Dent Mater*. 2007; 23(2):211-7.
39. Gerth HU, Dammaschke T, Zuchner H, Schäfer E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites a comparative study. *Dent Mater*. 2006; 22(10):934-41.
40. Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements. *Dent Mater*. 2009; 25(9):1104-8.
41. Cantoro A, Goracci C, Papacchini F, Mazzitelli C, Fadda GM, Ferrari M. Effect of pre-cure temperature on the bonding potential of self-etch and self-adhesive resin cements. *Dent Mater*. 2008; 24(5):577-83.
42. Carvalho M, Camargo C, Andriani O. *Estética Odontológica, nueva generación*. 1ª ed. Sao Paulo: Artes médicas; 2003.
43. Dubernard C, Raynal P, Tramini P. Comparative study of enamel adhesion between RelyX™ Unicem® (3M), a self-adhesive bonding agent, and the combination of MIP® (3M), a hydrophilic adhesive, and Transbond Supreme Low Viscosity® (3M), a traditional hydrophobic adhesive. *Int Orthod*. 2013;11(3):247-61.
44. İşman E, Karaarslan ES, Okşayan R, Tunçdemir AR, Üşümez S, Adanir N, et al. Inadequate shear bond strengths of self-etch, self-adhesive systems for secure orthodontic bonding. *Dent Mater J*. 2012; 31(6):947-53.

45. Moraes RR, Boscato N, Jardim PS, Schneider LF. Dual and self-curing potential of self-adhesive resin cements as thin films. *Oper Dent.* 2011; 36(6):635-42.
46. Puentes H, Rincón L. Caracterización química y mecánica parcial de dientes Incisivos de bovino como posible modelo de estudio de materiales dentales. *Rev Fed Odontol Colomb.* 2004; 20: 9-19.
47. Posada M; Sánchez C; Jaime G; Peláez A; Restrepo L; López J. Dientes de bovino como sustitutos de dientes humanos para su uso en la odontología. Revisión de literatura. *Rev CES Odontol.* 2006; 19(1):63-8.
48. Pashely DH, Tay FR, Yiu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM, et al. Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res.* 2004; 83(3):216-21.
49. Rüttermann S, Braun A, Janda R. Shear bond strength and fracture analysis of human vs. Bovine teeth. *Plos one.* 2013;8(3):e59181.
50. Amaral FLB, Colucci V, Palma-Dibb RG, Corona SAM. Assessment of In Vitro methods used to promote adhesive interface degradation: A critical review. *J Esthet Restor Dent.* 2007; 19(6):340-54.
51. Turssi CP, Hara AT, Serra MC, Rodrigues AL Jr. Effect of storage media upon the surface micromorphology of resin-based restorative materials. *J Oral Rehabil* 2002; 29(9):864-71.
52. Soderholm KJ, Richards ND. Wear resistance of composites: a solved problem? *Gen Dent.* 1998; 46(3):256-63.
53. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, et al. A critical review of the durability of the adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res.* 2005; 84(2):118-32.
54. Yiu CK, King NM, Pashely DH, et al. Effect of resin hydrophilicity and water storage on resin strength. *Biomaterials.* 2004; 25(26):5789-96.
55. Carrilho MRO, Carvalho RM, Tay FR, Pashely DH. Effect of storage media on mechanical properties of adhesive systems. *Am J Dent.* 2004; 17(2):104-8.

56. Hashimoto M, Ohno H, Sano H, Kaga M, Oguchi H. In vitro degradation of resin-bonds analyzed by microtensile bond test scanning and transmission electron microscopy. *Biomaterials*. 2003; 24(21):3795-803.
57. Beatty MW, Swataz ML, Moore BK, Phillips RW, Roberts TA. Effect of crosslinking agent content, monomer functionally, and repeat unit chemistry on properties of unfilled resins. *J Biomed Mater Res*. 1993; 27(3):403-13.
58. Yoshida E, Hashimoto M, Hori M, Kaga M. Deproteinizing effects on resin-tooth bond structures. *J Biomed Mater Res Appl Biomater*. 2004; 68(1):29-35.
59. Yamauti M, Hashimoto M, Sano H, Ohno H, Carvalho RM, Kaga M, et al. Degradation of resin-dentin bonds using NaOCl storage. *Dent Mater*. 2003; 19(5):399-405.
60. De Munck J, Ermis RB, Koshro K, Inoue S, Ikeda T, Sano H, et al. NaOCl degradation of HEMA-free all-in-one adhesive bonded to enamel and following two air blowing techniques. *J Dent*. 2007; 35(1):74-83.
61. Nikaido T, Kunzelmann KH, Chen H, Ogata M, Harada N, Yamaguchi S, et al. Evaluation of thermal cycling and mechanical loading on bond strength of a self-etching primer system to dentin. *Dent Mater*. 2002; 18(3):269-75.
62. Bedran De Castro AK, Periera PN, Piments LA, Thompson JY. Effect of thermal and mechanical primer load cycling on nanoleakage of class II restorations. *J Adhes Dent*. 2004; 6(1):221-6.
63. Li H, Burrow MF, Tyas MJ. The effect of load cycling on the nanoleakage of dentin bonding systems. *Dent Mater*. 2002; 18(2):111-9.
64. Bedran De Castro AK, Pereira PN, Pimenta LA. Long-term bond strength of restorations subjected to thermal-mechanical stresses over time. *Am J Dent*. 2004; 17(5):337-41.
65. Serra MC, Cury JA. In vitro effect of glass-ionomer cement restoration on enamel subjected to a demineralization and remineralization model. *Quintessence Int*. 1992; 23(2):194-7.
66. Ferracane JL, Marker VA. Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res*. 1992; 71(1):13-09.

67. Bageri R, Burrow MF, Tyas M. Influence of food-simulating solutions and surface finish on susceptibility to staining of aesthetic restorative materials. *J Dent.* 2005; 33(5):389-98.
68. Yang B, Adelung R, Ludwing K, Bössmann K, Pashley DH, Kern M. Effect of structural change of collagen fibrils on the durability of dentin bonding. *Biomaterials.* 2005; 26(24):5021-31.
69. Aguilar LT, Rezende NPM, Reis A, Loguercio AD, Grande RH, Ballester RY, et al. Tensile bond strength of adhesive systems-effects of primer and thermocycling. *Pesqui Odontol Bras.* 2002; 16(1):37-42.
70. Santos PA, Garcia PPNS, Pslms-Dibb RG, Shear bond strength of adhesive systems to enamel and dentin thermocycling influence. *J Mater Sci Mater Med.* 2005; 16(8):727-32.
71. Gale MS, Darwell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental materials restorations. *J Dent.* 1999; 27(2):89-99.
72. Ernst C, Canbek K, Euler T, WillerhausenB. In vivo validation of the histological in vitro thermocycling temperature range for dental materials testing. *Clin Oral Invest.* 2004; 8(3):130-8.
73. Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods.* 2012; 9(7):671-5.
74. Sabatini C. Effect of acid phosphoric etching on the shear bond strength of two self-etch adhesives. *J Appl Oral Sci.* 2013; 21(1):56-62.
75. Sekhri S, Mittal S, Garg S. Tensile bond strength of self -adhesive resin cement after various surface treatment of enamel. *J Clin Diagn Res.* 2016; 10(1):ZC01-4.
76. Lin J, Shinya A, Gomi H, Shinya A. Bondin of self-adhesive resin cements to enamel using different surface treatments: bond strength and etching pattern evaluations. *Dent Mater J.* 2010; 29(4):425-32.
77. Zhu JJ, Tang AT, Matinlinna JP, Hagg U. Acid etching of human enamel in clinical applications: a systematic review. *J Prosthet Dent.* 2014; 112(2):122-35.

78. Fuentes MV, Ceballos L, González-Lopez S. Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. *Clin Oral Investig.* 2013; 17(3):717-24.
79. Sheets, JL Wilcox CW, Barkmeier WW, Nunn ME. The effect of phosphoric acid pre-etching and thermocycling on self-etching adhesive enamel bonding. *J Prosthet Dent.* 2012; 107(2):102-8.
80. Marghalani HY. Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. *Dent Mater.* 2012; 28(10):e187-98.
81. Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. *Dent Mater J.* 2007; 26(6):906-14.
82. Zorzin J, Petschelt A, Ebert J, Lohbauer U. pH neutralization and influence on mechanical strength in self-adhesive resin luting agents. *Dent Mater.* 2012; 28(6):672-9.
83. Madruga F, Ogliari F, Ramos T, Bueno M, Moraes R. Calcium hydroxide, pH-neutralization and formulation of model self-adhesive resin cements. *Dental materials.* 2013; 29(4):413-8.
84. Cantoro A, Goracci C, Coniglio I, Magno E, Polimeni A, Ferrari M. Influence of ultrasound application on inlays luting with self-adhesive resin cements. *Clin Oral Investig.* 2011; 15(5):617-23.
85. Vaz RR, Hipólito VD, D'Alpino PH, Goes MF. Bond strength and interfacial micromorphology of etch-and-rinse and self-adhesive resin cements to dentin. *J Prosthodont.* 2012; 21(2):101-11.
86. Aguiar TR, Di Francescantonio M, Ambrosano GM, Giannini M. Effect of curing mode on bond strength of self-adhesive resin luting cements to dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2010; 93(1):122-7.
87. Moraes RR, Boscato N, Jardim PS, Schneider LF. Dual and self-curing potential of self-adhesive resin cements as thin films. *Oper Dent.* 2011; 36(6):635-42.
88. Vrochari AD, Eliades G, Hellwing E, Wrbas KT. Curing efficiency of four self-etching, self-adhesive resin cements. *Dent Mater.* 2009; 25(9):1104-8.

89. Jang Y, Ferrecane JL, Pfeifer CS, Park JW, Shin Y, Roh BD. Effect of insufficient light exposure on polymerization kinetics of conventional and self-adhesive dual-cure resin cements. *Oper Dent*. 2017; 42(1):E1-E9.
90. Pulido CA, de Oliveira Franco AP, Gomes GM, Bittencourt BF, Kalinowski HJ, Gomes JC, et al. An in situ evaluation of the polymerization shrinkage, degree of conversion, and bond strength of resin cements used for luting fiber posts. *J Prosthet Dent*. 2016; 116(4):570-6.
91. Son SA. Simple methods to enhance bond of self-adhesive resin cements. *Restor Dent Endod*. 2015; 40(4):332-3.
92. Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Two-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *J Adhes Dent*. 2010; 12(2):151-61.
93. Van den Breemer C, Gresnigt M, Cune M. Cementation of Glass-Ceramic Posterior Restorations: A Systematic Review. *BioMed Res Int*. 2015; 2015(148954):1-16.

ANEXOS

Anexo 1.

Obtención de los dientes de bovino.

Se obtuvo pre-maxila de dientes inferiores de bovino del Frigorífico La Colonial, ubicado en Cercado de Lima. Luego los dientes fueron extraídos de manera convencional usando botadores y pinzas de uso en cirugía bucal. Se eliminó los restos de encía y ligamento periodontal con hojas de bisturí. Posteriormente, se colocaron en agua destilada a 4 °C en un recipiente de vidrio estéril. Posteriormente, se colocó los especímenes en unas platinas de acrílico, fijados con silicona termoactivada para ser cortada la raíz y dejar la corona libre usando la máquina Isomet 1000. Luego la corona fue fijada usando cera pegajosa sobre una platina de acrílico con el objetivo de seccionar y obtener bloques de 8 x 4 x 3 mm. Posteriormente, los bloques de esmalte fueron almacenados en agua destilada a 4 °C. Los bloques de esmalte se colocaron en tubos de PVC y se fijaron los bloques de esmalte usando acrílico de autocurado transparente. En esas condiciones, los cuerpos de prueba que estaban constituidos por los tubos de PVC y 4 bloques de esmalte se guardaron en un depósito de agua destilada a 4 °C. Luego dichos cuerpos de prueba fueron llevados para pulir las superficies de esmalte usando lijas de diferente granulometría 180, 200, 400, 600, 800, 1,000 SiO₂, felpa de pulido y pasta de pulido con diamante de 1 micrómetro de diámetro. Posteriormente, los cuerpos de prueba fueron llevados a una máquina de ultrasonido por durante 5 minutos con el objetivo limpiar al superficie desgastada y pulida. Luego, los cuerpos de prueba se llevaron al microscopio estereoscópico para ser observados su existían o no fisuras o fracturas en la superficie del esmalte.

Aquellos que presentaban fisuras o fracturas fueron descartados para ser usados en los grupos control y experimentales respectivamente. Se procedió a realizar más cuerpo de prueba para sustituir los faltantes de acuerdo a protocolo.

Anexo 2.

Luego de haber cortado las coronas clínicas de los dientes de bovino, se realizaron los cortes de la superficie de esmalte de la cara vestibular usando una maquina Isomet 1000. Los bloques de esmalte de 8 x 4 x 3 mm se incorporaron en tubos de PVC a los cuales se les incorporo acrílico transparente de autocurado. Posteriormente, las superficies de esmalte fueron pulidos con papel abrasivo de diferente granulometría 180, 400, 600, 1000 SiC. Una vez terminado el pulido y acabado de la superficie adamantina fueron examinado usando un microscopio estereoscópico para observar la presencia o no de fisuras en la superficie del esmalte. Luego de eso se separan aquellos que se encuentran en esa condición y los especímenes fueron distribuidos al azar para cada grupo y sub-grupo.

Las muestras no fueron escogidas por el operador, las muestras fueron preparadas y distribuidas al azar. Todos los materiales que se usaron en la experiencia fueron conocidos previamente y se tuvo un entrenamiento previo, el cual se realizó en las instalaciones del Laboratorio del Departamento de Materiales Dentales del Programa de Maestría y Doctorado de la FOP-UNICAMP. Esta actividad se realizó con la asistencia de la Co-Directora de Tesis y personal técnico y alumnos de Post-Grado. Se realizaron pruebas en frio, en los ambientes a 21 °C con una HR 70 %.

Todos los instrumentos estuvieron previamente calibrados y estandarizados y los materiales fueron trabajados escrupulosamente de acuerdo a las especificaciones indicadas por el fabricante. En todo momento se realizó la selección aleatoria de los grupos de análisis. La prueba de laboratorio se realizó de acuerdo a la calibración del operador en cada momento del proceso de la confección de los especímenes, distribución aleatoria y evaluación de cada uno de las variables a estudiar. Los especímenes después de ser preparados de acuerdo a los grupos control y experimentales fueron llevados a la máquina de cizallamiento.

La Co-Directora Tesis realizó una selección aleatoria de los grupos asignándoles números que no fueron conocidos por el operador que realizó la prueba mecánica. Posteriormente, se realizó el análisis cuantitativo de los datos y al final de los mismos se conocieron los grupos y sub-grupos para realizar el tratamiento estadístico de los datos para su posterior análisis y discusión. Una vez terminada la parte experimental se contactó con un estadístico para realizar la evaluación de los datos. Debido a que se trabajó con tres variables, fatiga térmica, periodos de tiempo de grabado ácido y medios cementantes resinosos autoadhesivos, se realizó la prueba de ANOVA. Los datos fueron revisados por un segundo estadístico para corroborar que los datos hayan sido adecuadamente tratados.

En relación a la microscopia confocal laser y MEB las observaciones de las imágenes fueron descritas y sometidas a la valoración cualitativa de los Directores de Tesis.

Anexo 3. Ficha de recolección de datos

GRUPO:						
ESPECÍMEN	R. MICROTENSION (N)	AREA			R. MICROTENSION (MPa)	R. MICROTENSION (MPa)
		ANCHO	ESPESOR	TOTAL		Tipo de Falla
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						