



Universidad  
Rey Juan Carlos

**INFLUENCIA DE LA REPOSICIÓN  
CORONAL DEL MARGEN GINGIVAL  
EN LAS INTERFASES ADHESIVAS  
GENERADAS TRAS LA CEMENTACIÓN  
DE INCRUSTACIONES DE COMPOSITE**

**Autor:**

Dayana Da Silva Gonçalves

**Directores:**

Dra. Laura Ceballos García

Dra. María Victoria Fuentes Fuentes

**Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud  
Escuela Internacional de Doctorado**

Madrid, 2016





## **TESIS DOCTORAL**

Influencia de la reposición coronal del  
margen gingival en las interfases adhesivas  
generadas tras la cementación de  
incrustaciones de composite

**Autor:**

Dayana Da Silva Gonçalves

**Directores:**

Dra. Laura Ceballos García

Dra. María Victoria Fuentes Fuentes

**Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud**

**Escuela Internacional de Doctorado**

Madrid, 2016



**LAURA CEBALLOS GARCÍA, PROFESORA TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIRUGÍA, PSICOLOGÍA, MEDICINA PREVENTIVA Y SALUD PÚBLICA E INMUNOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA MÉDICA Y ENFERMERÍA Y ESTOMATOLOGÍA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS**

**CERTIFICA:**

Que los trabajos efectuados en la elaboración de la Tesis Doctoral titulada: **“Influencia de la reposición coronal del margen gingival en las interfases adhesivas generadas tras la cementación de incrustaciones de composite”** presentada por Dña. Dayana Da Silva Gonçalves, han sido realizados bajo mi codirección y supervisión, reuniendo las condiciones académicas necesarias para su presentación para optar al Grado de Doctor.

Y para que así conste donde proceda, firmo la presente en Alcorcón (Madrid) a 20 de julio del 2016.

Fdo.: Profa. Laura Ceballos García



**M<sup>a</sup> VICTORIA FUENTES FUENTES, PROFESORA CONTRATADA DOCTOR DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIRUGÍA, PSICOLOGÍA, MEDICINA PREVENTIVA Y SALUD PÚBLICA E INMUNOLOGÍA, MICROBIOLOGÍA MÉDICA Y ENFERMERÍA Y ESTOMATOLOGÍA, DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS**

**CERTIFICA:**

Que los trabajos efectuados en la elaboración de la Tesis Doctoral titulada: **“Influencia de la reposición coronal del margen gingival en las interfases adhesivas generadas tras la cementación de incrustaciones de composite”** presentada por Dña. Dayana Da Silva Gonçalves, han sido realizados bajo mi codirección y supervisión, reuniendo las condiciones académicas necesarias para su presentación para optar al Grado de Doctor.

Y para que así conste donde proceda, firmo la presente en Alcorcón (Madrid) a 20 de julio del 2016.

Fdo.: Profa. M<sup>a</sup> Victoria Fuentes Fuentes





## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas y cada una de las personas que han hecho posible que este sueño se hiciera realidad:

A mis queridas tutoras, la Doctora Laura Ceballos García y la Doctora Victoria Fuentes Fuentes, por cada palabra, por cada recomendación, por cada corrección y por toda la ayuda que me han brindado, serán siempre para mí un ejemplo a seguir.

A mis compañeros del Máster de Endodoncia y Odontología Restauradora de la URJC, por su apoyo y ayuda incondicional.

A mis amigos por todos los ánimos, en especial a mi amiga Alejandra que nunca deja de apoyarme.

A mis padres por ayudarme a construir el camino que me ha llevado a lograr mis metas, con perseverancia, esfuerzo y honestidad.

A mis hermanos que siempre están cuando los necesito, gracias Andre por escucharme, gracias Javi por tu gran ayuda.

A mi sobrino querido, por ser mi mejor ejemplo de lucha, haces que todo valga la pena.

A Óscar, mi compañero de camino, gracias por llenar mi vida de sonrisas y buenos momentos, gracias también por toda la paciencia que has tenido y por creer en mi, eres mi mayor apoyo.

A las empresas 3M ESPE y GC, por los materiales cedidos para la realización de este trabajo.



Dedico este trabajo a mi familia, por su compañía y apoyo en la distancia, y a Óscar, sin ti todo habría sido más difícil.



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1. Restauraciones en dientes posteriores .....	17
1.2. Incrustaciones estéticas .....	22
1.3. Cementación de incrustaciones de composite .....	31
1.4. Cementos de resina .....	32
1.4.1. Composición .....	33
1.4.2. Clasificación .....	35
1.4.2.1. Según el modo de curado .....	35
A. Autopolimerizables .....	35
B. Fotopolimerizables .....	35
C. Duales .....	36
1.4.2.2. Según el tratamiento previo del tejido dentario .....	38
A. Con sistemas adhesivos de grabado ácido total .....	38
B. Con sistemas adhesivos autograbadores .....	43
C. Cementos resinosos autoadhesivos .....	50
1.5. Técnica de reposición coronal del margen gingival .....	57
<b>2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>67</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>71</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODO .....</b>	<b>75</b>
4.1. Análisis de la resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción .....	76
A. Preparación de los especímenes .....	76

B. Preparación de las incrustaciones .....	81
C. Grupos experimentales y técnica de cementación .....	83
D. Ensayo de microtracción .....	87
E. Análisis del tipo de fallo .....	89
4.2. Evaluación de la capacidad de sellado marginal mediante ensayo de nanofiltración .....	90
A. Preparación de los especímenes .....	90
B. Preparación de las incrustaciones .....	91
C. Grupos experimentales y técnica de cementación .....	92
D. Ensayo de nanofiltración .....	95
4.3. Análisis estadístico.....	98
4.3.1. Análisis estadístico de los resultados de resistencia adhesiva .....	98
4.3.2. Análisis estadístico de los resultados de la capacidad de sellado .....	99
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>103</b>
5.1. Resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción .....	103
5.2. Capacidad de sellado mediante ensayo de nanofiltración .....	109
5.2.1. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival e influencia del tipo de cemento de resina utilizado en las interfaces generadas .....	109
5.2.2. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival de acuerdo a la estrategia adhesiva aplicada.....	120
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>129</b>
6.1. Evaluación de la resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción .....	131

6.2. Evaluación de la capacidad de sellado mediante ensayo de nanofiltración .....	140
6.2.1. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival e influencia del tipo de cemento de resina utilizado en las interfases generadas .....	143
6.2.2. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival de acuerdo a la estrategia adhesiva aplicada .....	153
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>167</b>
<b>9. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA .....</b>	<b>217</b>





1

# INTRODUCCIÓN



### 1.1. Restauraciones en dientes posteriores

Actualmente, los pequeños defectos en los dientes posteriores se obturan con restauraciones directas. El material de elección es la resina compuesta que ha sustituido casi por completo a la amalgama dental. Este cambio permite realizar restauraciones estéticas, sumado a la adopción de enfoques de mínima intervención, lo que ayuda a conservar y preservar el tejido dental remanente (Lynch *et al.*, 2014).

Sin embargo, los profesionales están ampliando las indicaciones clínicas de las restauraciones directas (Liebenberg, 2000; Deliperi y Bardwell, 2006; Deliperi, 2012). Y, de acuerdo a la literatura, varios estudios han concluido que una restauración de resina compuesta directa es adecuada para la restauración de grandes defectos, incluyendo el reemplazo de cúspides y el tratamiento de dientes fisurados (Opdam *et al.*, 2008; Opdam *et al.*, 2010; Hamburger *et al.*, 2011; Attin *et al.*, 2012; Laegreid, Gjerdet y Johansson, 2012; Fennis *et al.*, 2014; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). El factor limitante será la propia habilidad del operador que habrá de ser capaz de realizar una restauración con una morfología correcta y con contactos proximales y oclusales eficaces (Opdam *et al.*, 2008; Hamburger *et al.*, 2011; Attin *et al.*, 2012; Laegreid, Gjerdet y Johansson, 2012; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016).

No obstante, cabe destacar que la información disponible es aún contradictoria pues hay trabajos que describen una correlación lineal entre el tamaño de la restauración, el período de observación y la tasa de fracaso (Brunthaler *et al.*, 2003), mientras que otros autores

concluyen que no hay ninguna diferencia en el comportamiento clínico de restauraciones directas de tamaño mediano vs. grandes restauraciones (Brackett *et al.*, 2007b; Deliperi, 2012). Un ejemplo de ello es el trabajo de Deliperi y Bardwell (2006) en el que observaron un excelente comportamiento clínico tras 30 meses de evaluación de grandes restauraciones directas con recubrimiento cusπίdeo realizadas con una resina compuesta microhíbrida. Este éxito clínico ha sido incluso comparado al de restauraciones indirectas tras un periodo de observación de un año (Cetin y Unlu, 2009) o incluso tras tres años de seguimiento, como se concluye en la revisión de la literatura realizada por Hickel y Manhart (2001). Cabe destacar la revisión sistemática realizada por Ástvaldsdóttir *et al.* (2015), en la que los autores concluyen que la supervivencia global de las restauraciones directas de resina compuesta posteriores es alta, presentando una tasa global de incidencia de fracasos del 1,55%. Resultados ligeramente superiores fueron observados en el metaanálisis realizado por Opdam *et al.* (2014), sobre la longevidad de resinas compuestas directas, en el que se establece una tasa anual de fracaso del 1,8% a los 5 años y 2,4% a los 10 años. Sin embargo, en ambos trabajos de investigación se apunta que las principales razones para el fracaso de estas restauraciones son la caries secundaria y la fractura de la propia restauración (Opdam *et al.*, 2014; Ástvaldsdóttir *et al.*, 2015)

Por tanto, estas restauraciones, aunque tienen una alta longevidad, aún presentan limitaciones y se consideran tratamientos sensibles a la técnica y cuyos problemas se pueden atribuir fundamentalmente a los efectos adversos de la contracción de

polimerización del composite, que son muy difíciles de controlar (Van Dijken, 2000; Barabanti *et al.*, 2015). Un reflejo de ello es que aún se sigue utilizando la amalgama de plata como material restaurador de referencia en estudios clínicos en los que ambos materiales se han comparado, y se ha descrito una tasa de fracaso anual superior para las restauraciones de resina compuesta directas que para las de amalgama (Bernardo *et al.*, 2007; Soncini *et al.*, 2007; Kopperud *et al.*, 2012). Estos resultados coinciden con los de una reciente revisión Cochrane, en la que se evaluaron estudios clínicos que comparaban las restauraciones directas de amalgama con las de resinas compuesta en dientes posteriores permanentes y que reveló que las restauraciones directas de resina compuesta tenían una mayor tasa de fracaso y de riesgo de caries secundaria que las de amalgama (Rasines Alcaraz *et al.*, 2014).

Por tanto, se han propuesto varias técnicas restauradoras con el fin de mejorar la adaptación marginal a nivel gingival del composite en las cavidades de clase II, que son las que con más frecuencia presentan caries secundarias, así como reducir la masa de composite que ha de polimerizar y contraer *in situ*, y que conlleva el desarrollo de tensiones interfaciales (Van Dijken, 2000; De Mattos Pimenta Vidal *et al.*, 2013). Ejemplos de ellas son la técnica incremental (Lutz, Krejci y Oldenburg, 1986; Park *et al.*, 2008), la sustitución de la dentina por un cemento de ionómero de vidrio en la técnica de sándwich (McLean y Wilson, 1977), el uso de insertos de cerámica (Donly *et al.*, 1989; George, Richards y Eichmiller, 1995) y el uso de los recientemente introducidos composites de baja contracción “*bulk fill*” (Agarwal *et al.*, 2015; Van Dijken y Pallesen, 2015; Kumagai *et al.*, 2015).

Como alternativa a las grandes restauraciones directas de resina compuesta en dientes posteriores se puede recurrir a realizar incrustaciones. Entre sus ventajas se encuentra un mejor control sobre la morfología final y la oclusión (Touati y Aidan, 1997; Peutzfeldt y Asmussen, 2000; Wassel, Walls y McCabe, 2000; Batalha-Silva *et al.*, 2013; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). Estarían especialmente indicadas en casos en los que hay que realizar múltiples restauraciones clase II en un mismo cuadrante o recubrimientos coronarios completos, puesto que son más difíciles de llevar a cabo correctamente utilizando las técnicas directas. El desafío en situaciones en las que hay restauraciones múltiples o incluso rehabilitaciones de arcadas completas no es sólo lograr una estética, una adaptación y un sellado óptimos, sino también satisfacer todos los aspectos de la oclusión estática y dinámica. Por tanto, los métodos indirectos con composite o cerámica en estos casos podrían ser una mejor alternativa restauradora (Dietschi y Spreafico, 1998a; Veneziani, 2010).

Una de las limitaciones atribuidas a las restauraciones indirectas parciales es la necesidad de realizar preparaciones con las paredes divergentes, lo que conlleva una mayor pérdida de tejido dental (Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). Actualmente, esto puede ser evitado mediante la aplicación de resina compuesta en las paredes sin soporte dentinario, lo que también permitiría eliminar todas aquellas zonas retentivas o socavadas y elevar el piso cavitario (Magne, 2005; Magne *et al.*, 2005; Rocca *et al.*, 2012). De esta forma, estas restauraciones *inlay/onlay* encajarían en un concepto restaurador moderno puesto que incorporan los principios de la Odontología

adhesiva y mínimamente invasiva (Rocca *et al.*, 2015; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). Sin embargo, siguen siendo un procedimiento que presenta sensibilidad técnica y requieren una correcta formación del odontólogo en las fases de tallado y cementación, por lo que las demandas de la habilidad del operador no se reducen en comparación con las restauraciones directas (Opdam, Frankenberger y Magne, 2016).

Una situación particular sería aquella en la que a la destrucción dental amplia se suma el que el material restaurador debe ser considerablemente extendido hacia la región cervical (Dietschi y Spreafico, 1998b; Veneziani, 2010; Rocca *et al.*, 2015; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). De forma tradicional, se reservaba el uso de coronas de recubrimiento total para estos casos (Sorensen y Martinoff, 1984; Salehrabi y Rotstein, 2004). Sin embargo, los costes son considerablemente más altos, suponen el tallado de tejido dental sano y, además, se aumenta la probabilidad de complicaciones endodónticas en comparación con aquellas restauraciones orientadas o limitadas a reparar el defecto existente (Rocca y Krejci, 2013; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016). La alternativa más conservadora que se ha propuesto en la literatura son las restauraciones indirectas con reposición coronal del margen gingival (Dietschi y Spreafico, 1998b; Veneziani, 2010; Rocca *et al.*, 2012; Rocca *et al.*, 2015; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016), técnica que también puede realizarse con restauraciones directas (Frese, Wolff y Staehle, 2014).

### 1.2. Incrustaciones estéticas

Podemos definir el término incrustación como una restauración realizada fuera de un diente y que corresponde a la forma de una cavidad preparada, y que posteriormente es cementada en dicho diente (Jablonski, 1992). A su vez se distinguen incrustaciones tipo *inlay*, en las que no se realiza recubrimiento de las cúspides, tipo *onlay*, en las que al menos una cúspide no está cubierta, o tipo *overlay* en las que todas las cúspides están cubiertas por el material de restauración (Dukic *et al.*, 2010; Saridag, Sevimay y Pekkan, 2013).

En la actualidad, estas restauraciones pueden ser realizadas con composite mediante técnicas de estratificación en el laboratorio (Manhart *et al.*, 2000; Re *et al.*, 2009; Nadini, 2010), o de cerámica mediante técnicas de modelado por inyección o estratificadas sobre modelos refractarios (Re *et al.*, 2009; Hopp y Land, 2013). Otra alternativa para realizar estas restauraciones, tanto de composite como de cerámica, es mediante la técnica de CAD-CAM (Diseño Asistido por ordenador/Fabricación asistida por ordenador) requiriendo procedimientos más específicos (Re *et al.*, 2009; Hopp y Land, 2013; Guess *et al.*, 2014).

Tanto el desarrollo de estas nuevas técnicas de fabricación así como la mejora de las propiedades físico-mecánicas, de la resistencia al desgaste y del potencial estético de los composites indirectos y de las cerámicas han supuesto que la elección entre estos dos materiales se haya hecho cada vez más complicada (Dietschi y Spreafico, 1998a).



Las cerámicas se caracterizan por tener un módulo elástico similar al del esmalte, excelente comportamiento estético y biocompatibilidad. Las desventajas de las mismas son su dureza, que es mayor que la del esmalte y puede desgastarlo dependiendo del material cerámico utilizado (Blatz, 2002; Oh, Delong y Anusavice, 2002; Esquivel-Upshaw *et al.*, 2006; Heintze *et al.*, 2008), y la mayoría de las cerámicas presentan una baja resistencia a la fractura y a la fatiga (Ohyama, Yoshinari y Oda, 1999; Gorman, Mc Devitt y Hill, 2000; Nakamura *et al.*, 2002; Schlichting *et al.*, 2011). Como consecuencia de ello, las principales causas del fracaso de las incrustaciones cerámicas son las fracturas cohesivas del material de restauración (Manhart *et al.*, 2000; Kramer y Frankenberger, 2005; Dejak y Mlotkowski, 2008; Collares *et al.*, 2016).

Las resinas compuestas se caracterizan por presentar propiedades mecánicas similares a la dentina. Su módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y dureza dependerán del volumen de relleno incorporado en cada material en concreto (Dejak y Mlotkowski, 2008; Jiang *et al.*, 2010). Por otro lado, en las restauraciones indirectas de composite el desgaste del cemento y del material de restauración ocurre de forma similar, mientras que en las de cerámica sufre más la interfase, por lo cual la integridad marginal podría mantenerse mejor en las incrustaciones de composite con el paso del tiempo (Chabouis, Faugeron y Attal, 2013).

Las incrustaciones tanto resina compuesta como de cerámica muestran buenos resultados, sin embargo las resina compuesta tiene la ventaja de ser menos costosas, más fáciles de pulir y de reparar

intraoralmente (Rocca *et al.*, 2015; Barabanti *et al.*, 2015), es por ello que estas son las más utilizadas actualmente.

Las restauraciones indirectas de composite confeccionadas mediante estratificación se someten a un proceso de post-curado en un horno especializado. Este procedimiento permite alcanzar en pocos minutos una tasa de conversión de la resina óptima, asegurando la estabilidad dimensional (Eliades, Vougiouklakis y Caputo, 1987; Ferracane y Condon, 1992; Park, 1996; Van Dijken, 2000). La ventaja es que además de que el composite alcanza un mayor grado de curado, las tensiones producidas por el proceso de fotopolimerización ocurren en el modelo sin afectar a la interfase adhesiva (Peutzfeldt y Asmussen, 1990). En estudios *in vitro* se ha descrito que el curado adicional o secundario con luz, calor, o calor/presión de las incrustaciones afecta a las propiedades de los materiales de resina compuesta, pues la dureza y la resistencia al desgaste parecen mejorar con el post-curado (Feilzer, de Gee, Davidson, 1990; Shinkai *et al.*, 1994, Dietschi y Spreafico, 1998a). Sin embargo, los resultados son contradictorios pues el aumento en las propiedades físicas varía de estudio a estudio y de un material a otro, y en el caso de algunos composites no se confirmó completamente (Peutzfeldt, 2001; Pallesen y Qvist, 2003).

*In vivo*, el comportamiento de las restauraciones sometidas a un post-curado ha mostrado ciertas ventajas en lo que concierne a la calidad del margen y a la resistencia del material de restauración a la degradación (Wendt y Leinfelder, 1992; Dietschi y Spreafico, 1998a).

Algunos autores refieren que las incrustaciones de composite de laboratorio son más resistentes al desgaste oclusal que los composites directos, especialmente en las zonas de contacto oclusal, de ahí su indicación específica para la restauración de defectos grandes (Van Dijken, 2000; Cetin y Unlu, 2009; Barabanti *et al.*, 2015). Sin embargo, tal como se ha comentado anteriormente, las principales ventajas de estas incrustaciones son que los contornos proximales y la anatomía oclusal se pueden realizar correctamente fuera de boca, se reduce la contracción de polimerización limitándose a la delgada capa de cemento y mejora su biocompatibilidad por el aumento del grado de curado, que también conlleva una mejora en las propiedades físico-mecánicas (Manhart *et al.*, 2000a y 2000b; Peutzfeldt, 2001; Pallesen y Qvist, 2003; Cetin y Unlu, 2009; Nadini, 2010; Batalha-Silva *et al.*, 2013).

En cuanto a la supervivencia de las incrustaciones de composite, en varios estudios clínicos se han reportado resultados favorables (Jokstad, Mjör y Qvis, 1994; Dukic *et al.*, 2010; Huth *et al.*, 2011; Barabanti *et al.*, 2015). En un estudio de evaluación a 2 y 5 años se observó una tasa de éxito del 90% y 97,5%, respectivamente (Jokstad, Mjör y Qvis, 1994). En otro trabajo realizado por Huth *et al.* (2011) en el que evaluaron la longevidad a 4 años de incrustaciones de resina compuesta realizadas por estudiantes, observaron que tenían un porcentaje de fracaso que oscilaba entre el 3,2% al 5,8%, encontrándose dentro del rango de los datos publicados y, a pesar de la poca experiencia de los estudiantes, se consideró que la tasa de supervivencia fue aceptable. Otro estudio ha reportado una tasa de éxito incluso del 100% tras una evaluación a 36 meses (Dukic *et al.*,

2010). Y, por último, en el estudio realizado por Barabanti *et al.*, (2015) en condiciones clínicas controladas y con un periodo de evaluación mayor, 10 años, las incrustaciones de resina compuesta *inlays/onlays* mostraron una tasa de éxito de aproximadamente el 90%. Por tanto, el comportamiento clínico de las restauraciones indirectas de resina compuesta se considera favorable para la restauración de grandes defectos.

Como se ha mencionado anteriormente, otra alternativa para realizar estas restauraciones son los sistemas CAD-CAM que han alcanzado una tremenda popularidad en las últimas décadas. Los sistemas CAD-CAM se utilizaban predominantemente para la fabricación de restauraciones cerámicas, sin embargo, están surgiendo recientemente más sistemas de bloques de resina compuesta para ser fresados que amplían la gama de materiales restauradores disponibles (ParK *et al.*, 2016). Entre los bloques de resina compuesta CAD-CAM se encuentran Vita Enamic (VITA), Cerasmart (GC) y Lava Ultimate (3M ESPE).

Los bloques de resina compuesta CAD-CAM se fabrican en condiciones controladas ofreciendo la más alta calidad posible, aumentando la homogeneidad del material, disminuyendo la presencia de grietas, y aumentando su fiabilidad, en comparación con los materiales de composite para técnica de estratificación (Giordano, 2006; Mainjot *et al.*, 2016). Estos se polimerizan bajo parámetros normalizados a altas temperaturas y presiones (Nguyen *et al.*, 2012). Por lo tanto, la estabilidad física y de color es mayor que la de los composites convencionales fabricados en el laboratorio (Stawarczyk *et*

*al.*, 2012). Además, las restauraciones fabricadas a partir de bloques de CAD-CAM de resina compuesta son más fáciles de reparar intraoralmente que las restauraciones de cerámica por CAD-CAM (Rocca *et al.*, 2010; Miyazaki y Hotta, 2011; Nguyen *et al.*, 2012; Zaghoul *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2016).

A pesar de que las incrustaciones de composite realizadas con técnicas CAD-CAM se están imponiendo, aún no hay mucha información disponible en la literatura sobre su comportamiento clínico y, en especial, sobre sus propiedades adhesivas, ya que su microestructura específica y su alto grado de conversión, podrían disminuir la posibilidad de la unión química adicional entre los monómeros libres y los cementos de resina, lo que podría afectar significativamente a su comportamiento clínico (Mainjot *et al.*, 2016). Por tanto, se considera que hacen falta estudios clínicos que validen los resultados *in vitro* de estos materiales y permitan establecer recomendaciones clínicas (Mainjot *et al.*, 2016).

Cuando se han comparado las incrustaciones de cerámica con las de composite en estudios *in vitro*, según algunos autores, las de cerámicas mantienen una mejor forma anatómica de la superficie (Thordrup, Isidor y Horsted-Bindslev, 1994; Manhart *et al.*, 2001; Dejak y Mlotkowski, 2008). Además, estabilizan mejor las cúspides debilitadas que las incrustaciones de resina compuesta (Bremer y Geurtsen, 2001; Mehl *et al.*, 2004; Dejak y Mlotkowski, 2008). En cuanto a la adaptación marginal, parece que no hay consenso en la literatura, puesto que algunas publicaciones muestran mejores resultados en el caso de las incrustaciones de composite (Thordrup, Isidor, Horsted-Bindslev, 2006;

Chabouis, Faugeron y Attal, 2013), otros en cambio para las de cerámica (Thordrup, Isidor y Hörsted-Bindslev, 1994; Manhart *et al.*, 2000) y otros no encuentran diferencias entre ambos materiales (Fasbinder *et al.*, 2005; Dejak y Mlotkowski, 2008).

Por otro lado, la distribución de las cargas y las tensiones transmitidas a la estructura dental remanente se han analizado con diferentes metodologías y los resultados parecen contradictorios. Utilizando el método de análisis de elementos finitos, algunos estudios demostraron que las incrustaciones cerámicas reducen la tensión en la interfase adhesiva y pueden ofrecer una mejor protección frente a la pérdida de adhesión en la interfase restauración-diente, en comparación con las de resina compuesta (Hübsch, Middleton y Knox, 2000; Magne, 2007). Sin embargo, Ausiello *et al.*, 2004 describieron que las incrustaciones mesio-ocluso-distal (MOD) de cerámica creaban mayores niveles de estrés en las superficies internas de las preparaciones. En un estudio realizado por Jiang *et al.* (2010) llegaron a la conclusión de que un aumento en el módulo elástico de los materiales restauradores se asociaba con un aumento en los valores de tensión generados en el diente, de tal forma que las restauraciones de resina compuesta mostraron el patrón de distribución de la tensión más favorable en las restauraciones de cavidades MOD tanto en dientes vitales como tratados endodónticamente.

Otros autores, en cambio, han evidenciado que la resistencia a la fractura de dientes restaurados con incrustaciones realizadas con ambos materiales es similar (Shor *et al.*, 2003; Da Silva, Hilgert y Busato, 2004). Sin embargo, cabe destacar que ni las incrustaciones de resina

compuesta ni las cerámicas restituyen la resistencia original del diente (Manhart *et al.*, 2000; Dejak y Mlotkowski, 2008).

En relación al comportamiento de ambos materiales restauradores en estudios clínicos encontramos los siguientes hallazgos. Hickel y Manhart (2001) reportaron una tasa de fracaso anual del 2,3% (rango: 0-11,8%) para *inlays* y *onlays* de composite, en comparación con el 1,3% (rango: 0-7,5%) cuantificado para las incrustaciones de cerámica. En 2004, los mismos autores en otro estudio definieron una tasa de fracaso anual del 2,9%, para las incrustaciones de resina compuesta, en comparación con el 1,9% para restauraciones cerámicas (Manhart *et al.*, 2004).

Manhart *et al.* (2000a) compararon incrustaciones de composite y de cerámica tras dos años de funcionamiento en clínica para determinar su idoneidad como materiales de restauración de dientes posteriores. El 100% de las incrustaciones cerámicas y el 90% de las incrustaciones de resina compuesta se consideraron clínicamente excelentes o aceptables. Las incrustaciones de cerámica presentaban significativamente una mejor "forma anatómica de la superficie" y mejores valores de "integridad de la restauración" (Manhart *et al.*, 2000a). Esta tasa de éxito clínico es similar a la previamente reportada por Scheibenbogen *et al.* (1999) para incrustaciones de cerámica y composite que fue del 100% y 94%, respectivamente, al evaluarlas un año después de su colocación.

En el estudio realizado por Thordrup, Isidor y Hörsted-Bindslev, observaron que tras 10 años de funcionamiento en clínica,

alrededor del 80% de las incrustaciones evaluadas, *inlays* tanto cerámicos como de composite, incluidas las que necesitaron reparaciones, presentaban una supervivencia similar y clínicamente aceptable (Thordrup, Isidor y Hörsted-Bindslev, 2006).

Por último, en una revisión sistemática realizada por Chabouis, Faugeron y Attal en el 2013, de estudios clínicos que comparaban incrustaciones de cerámica y de composite, concluyeron que existe evidencia muy limitada de que la cerámica se comporta mejor a corto plazo. Los autores apuntan que este resultado podría no ser válido a largo plazo, por lo que se necesitan más ensayos clínicos que comparen *onlays* de composite y de cerámica.

De forma resumida, podemos decir que los estudios clínicos sugieren que tanto las incrustaciones de resina compuesta indirecta como las de cerámica muestran un buen comportamiento, aunque en algunos se observan ligeras mejoras para las cerámicas. Sin embargo, las realizadas con resina compuesta tienen la ventaja de ser menos costosas y son más fáciles de fabricar y de reparar (Barabanti *et al.*, 2015). Además, la elección de las incrustaciones cerámicas como material restaurador requiere una correcta selección de los pacientes, ya que los que presentan bruxismo, mala higiene oral, dientes antagonistas con restauraciones de resina compuesta, y dientes que tienen estructura insuficiente para la unión o que requieren cambios significativos de color no son candidatos óptimos (Ritter *et al.*, 1999; Meyer *et al.*, 2003). Estudios *in vitro* han demostrado la mayor tenacidad de las restauraciones de composite fabricadas por CAD-CAM en comparación con restauraciones cerámicas también fabricadas por



CAD-CAM, siendo incluso recomendadas en pacientes con altos requerimientos de cargas oclusales como por ejemplo pacientes con bruxismo o grandes erosiones (Schlichting *et al.*, 2011; Magne, Stanley, y Shlichting, 2012; Batalha-Silva *et al.*, 2013)

Por todo lo anteriormente expuesto, las incrustaciones de composite mantienen su lugar dentro de los materiales restauradores indirectos disponibles.

### **1.3. Cementación de incrustaciones de composite**

Las incrustaciones de composite requieren una cementación adhesiva mediante la utilización de cementos de resina. Este procedimiento clínico es crucial para conseguir la adhesión a los tejidos dentales y asegurar la longevidad de las restauraciones (Spitznagel *et al.*, 2014). Hoy en día se considera que el factor más importante es evitar la deflexión cuspídea que se produce por la disminución de la rigidez dentaria consecuencia de la pérdida importante de estructura dental. Esta pérdida de la rigidez cuspídea se recupera sustancialmente con restauraciones adheridas (Shor *et al.*, 2003; González López *et al.*, 2006; Taha, Palamara y Messer, 2011) y la adhesión de restauraciones intracoronarias ofrece ventajas en términos de ferulización de las cúspides, reducción de la flexión cuspídea y refuerzo de la estructura dental remanente (Brunton *et al.*, 1999; Dias de Souza *et al.*, 2002).

Actualmente, la cementación de incrustaciones de composite sigue siendo un desafío debido a la participación de diferentes interfases; por un lado, la constituida entre el esmalte, dentina, y el cemento de resina, y por otro, la formada por el mismo agente

cementante con la superficie interna de la incrustación. Ambos sustratos requerirán un tratamiento específico para conseguir la adhesión del complejo diente-restauración (Fuentes, Ceballos, González-López, 2013).

Muy frecuentemente en la preparación del diente, además de esmalte y dentina, encontramos resina compuesta que se utiliza como base para eliminar socavados, regularizar el suelo y paredes de la cavidad o para la reposición coronal del margen gingival, superficie a la que también será necesario adherirse (Rocca *et al.*, 2015).

### **1.4. Cementos de resina**

Los cementos de resina se utilizan en todo proceso de cementación adhesiva. Por tanto, se emplean para la cementación de incrustaciones de composite y cerámica, además de restauraciones totalmente cerámicas, carillas y restauraciones de metal o metal-cerámica cuando la formas de retención y resistencia están comprometidas (muñones cortos, cónicos o prótesis parcial fija) y también para la cementación de postes (Hill y Lott, 2011; Lad *et al.*, 2014).

Los cementos de resina, en comparación con los cementos convencionales, se caracterizan por su baja solubilidad, propiedades físico-mecánicas superiores, buena adhesión al tejido dental y cualidades estéticas favorables (Sarr *et al.*, 2010; Lad *et al.*, 2014). A pesar de estas propiedades beneficiosas, presentan inconvenientes como son la difícil eliminación de los excesos, la sensibilidad de la técnica, la imposibilidad de retirar una restauración ya cementada sin

tener que cortarla y, por último, que son materiales relativamente caros (Hill y Lott, 2011; Lad *et al.*, 2014). En el mercado existe un amplio abanico de cementos de resina, los más relevantes se muestran en la tabla 1.1.

#### **1.4.1. Composición**

Los cementos de resina tienen la misma composición que las resinas compuestas, pero con menor carga de relleno inorgánico, lo cual proporciona baja viscosidad y la fluidez necesaria para que puedan ser utilizados como agentes de cementación. La matriz orgánica, en general, se compone de Bis-GMA (bisfenol A-metacrilato de glicidilo), UDMA (uretano dimetacrilato) o TEGDMA (trietilenglicol dimetacrilato), que son monómeros resinosos. La parte inorgánica se compone de partículas de carga silanizadas, normalmente de vidrio o sílice. La cantidad de relleno de los cementos disponibles comercialmente varía del 57% al 82% en volumen (Anusavice, 2004; Kina y Bruguera, 2008; Haddad, Rocha y Assunção, 2011). Algunos de estos cementos disponibles actualmente tienen en su fórmula monómeros, como el 4-META (4-metacriletil trimelítico anhidro), HEMA (hidroxietilmetacrilato), 10-MDP (10- metacriloxi decilo dihidrógeno fosfato) y PMMA (polimetilmetacrilato) (Kina y Bruguera, 2008).

Las propiedades físicas de los cementos de resina dependen de su composición, de la naturaleza de la matriz, del tipo, volumen y carga de relleno, de la unión entre el relleno y la matriz, y además, del modo de polimerización que permite la conversión de los monómeros (Kumbuloglu *et al.*, 2004).

Tabla 1.1: Cementos de resina más relevantes disponibles en el mercado

Producto	Fabricante	Tratamiento previo del diente	Curado
Bifix QM	VOCO	Grabado ácido total	Dual
Bifix SE	VOCO	Autoadhesivo	Dual
BisCem	Bisco	Autoadhesivo	Dual
Bistite II DC	Tokuyama	Autograbador	Dual
Breeze	Petron	Autoadhesivo	Dual
C&B Cement	Bisco	Grabado ácido total	Autocurado
Calibra	Dentsply	Grabado ácido total	Foto-Dual
Choice 2	Bisco	Grabado ácido total	Fotocurado
Clearfil Esthetic Cement	Kuraray	Autograbador	Dual
Duo-Link	Bisco	Grabado ácido total	Dual
G-Cem	GC	Autoadhesivo	Dual
G-CEM LinkForce	GC	Autoadhesivo	Dual
Illusion	Bisco	Grabado ácido total	Dual
Maxcem Elite	Kerr	Autoadhesivo	Dual
Maxcem Elite Chroma	Kerr	Autoadhesivo	Dual
MonoCem	Shofu Dental	Autoadhesivo	Dual
Multilink Automix	Ivoclar/Vivadent	Autograbador	Dual
Multilink N	Ivoclar/Vivadent	Autograbador	Auto-Dual
NX 3 Nexus	Kerr	Grabado ácido total/Autograbador	Foto-Dual
PANAVIA V5	Kuraray	Autograbador	Dual
PANAVIA 21	Kuraray	Autograbador	Autocurado
Panavia F 2,0	Kuraray	Autograbador	Dual
PANAVIA SA Cement Plus	Kuraray	Autoadhesivo	Dual
Rely X ARC	3M ESPE	Grabado ácido total	Dual
Rely X Unicem	3M ESPE	Autoadhesivo	Dual
RelyX Ultimate	3M ESPE	Multimodo	Dual
RelyX Unicem 2	3M ESPE	Autoadhesivo	Dual
RelyX Veneer	3M ESPE	Grabado ácido total	Fotocurado
SmartCem 2	Dentsply	Autoadhesivo	Dual
SpeedCem Plus	Ivoclar/Vivadent	Autoadhesivo	Dual
Variolink DC	Ivoclar/Vivadent	Multimodo	Dual
Variolink LC	Ivoclar/Vivadent	Multimodo	Foto

### **1.4.2. Clasificación**

Los cementos de resina pueden clasificarse según el modo de curado (Kina y Bruguera, 2008; Hill y Lott, 2011; Manso *et al.*, 2011) o de acuerdo al tratamiento del tejido dentario previo a la cementación (Sarr *et al.*, 2010; Manso *et al.*, 2011).

#### **1.4.2.1. Según el modo de curado**

Dependiendo del modo de curado, los cementos de resina pueden clasificarse en autopolimerizables, fotopolimerizables o duales (Bernardo, Obici y Sinhoreti, 2008; Hill y Lott, 2011; Manso *et al.*, 2011).

##### **A. Autopolimerizables**

Se caracterizan porque polimerizan de manera uniforme sin requerir la exposición a una fuente de fotopolimerización (Haddad, Rocha, y Assunção, 2011). Presentan un tiempo de trabajo incontrolable. Estos sistemas están disponibles en dos pastas. Una de ellas contiene el iniciador de la reacción de curado, que es el peróxido de benzoilo y la otra contiene el activador, que es una amina terciaria. Una vez mezcladas las pastas inician una reacción de polimerización base-catalizador (Kina y Bruguera, 2008). Hoy en día están en desuso, debido a que han sido sustituidas por los cementos duales.

##### **B. Fotopolimerizables**

Tienen en su composición moléculas sensibles a la luz (canforoquinona) que absorben energía luminosa y reaccionan para formar radicales libres que inician la reacción de polimerización (Kina y

Bruguera, 2008). Poseen diversas ventajas clínicas como son, el mayor tiempo de trabajo a diferencia de los anteriores cementos, ya que es el operador el que decide el momento de la polimerización, y no requieren mezcla, por lo que el cemento es más homogéneo y con menos porosidades. Además, la falta de aminas terciarias en la composición del cemento proporciona una excelente estabilidad del color (Pegoraro, Da Silva, Carvalho, 2007; Haddad, Rocha y Assunção, 2011; Smith, Vandewalle y Whisler, 2011). Sin embargo, el espesor de la restauración puede impedir la fotopolimerización completa del cemento debido a la reducción de la penetración de la luz. Es por ello que la indicación de estos cementos se limita al cementado de carillas y de incrustaciones poco profundas, donde el espesor y el color de la restauración no afectan a la capacidad de la penetración de la luz para la fotopolimerización del cemento (Manso *et al.*, 2011).

### **C. Duales**

Contienen iniciadores de la polimerización químicos que permiten la polimerización independientemente de la activación lumínica. Son sistemas de dos componentes que requieren de un mezclado, tal y como ocurre en los sistemas de activación química (Anusavice, 2004). Están indicados en aquellas situaciones clínicas en las que no sea posible asegurar el acceso de la luz, como es el caso de restauraciones indirectas de composite o cerámica de más de 2 mm de espesor, restauraciones muy opacas o metálicas y postes (Myers, Caughman y Rueggeberg, 1994; Pegoraro *et al.*, 2007; Manso *et al.*, 2011). En estas situaciones, la intensidad de la luz que llega al cemento puede ser suficiente para iniciar el proceso de polimerización, pero se

necesita un catalizador autopolimerizable para asegurar un curado máximo (Pegoraro *et al.*, 2007). La reacción química es muy lenta, lo que proporciona un tiempo de trabajo más largo permitiendo de esta forma la fácil remoción de los excesos (Anusavice, 2004; Manso *et al.*, 2011).

El mecanismo de reacción generalmente se basa en una reacción redox del peróxido de benzoilo con las aminas terciarias. Una o ambas pastas contiene un compuesto sensible a la luz (canforoquinona) responsable de iniciar la reacción de fotopolimerización (Pegoraro, Da Silva y Carvalho, 2007; Manso *et al.*, 2011).

Aunque el concepto de polimerización dual parece ser atractivo, la literatura reciente indica que la cinética de los cementos de curado dual es más compleja. El sistema de autocurado por sí solo no es suficiente para lograr el máximo endurecimiento del cemento (El-Badrawy y El-Mowafy, 1995; Pegoraro, Da Silva, Carvalho, 2007) y la activación por luz de algunos cementos de curado dual parece interferir con el mecanismo de autocurado y restringe que el cemento logre sus propiedades mecánicas máximas (Pegoraro, Da Silva y Carvalho, 2007; Manso *et al.*, 2011). Esta información es de gran importancia para la práctica clínica, ya que es aconsejable retrasar la fotopolimerización de los cementos de polimerización dual el máximo tiempo posible clínicamente y de esta manera no interferir con la cinética del autocurado (Pegoraro, Da Silva y Carvalho, 2007; Manso *et al.*, 2011).

### 1.4.2.2. Según el tratamiento previo del tejido dentario

Según el tratamiento del tejido dentario podemos distinguir cementos que requieren la aplicación previa de sistemas adhesivos, bien de grabado ácido total, o autograbadores, o los más recientemente introducidos "multimodo", y cementos resinosos autoadhesivos que no requieren la utilización de un sistema adhesivo previo (Sarr *et al.*, 2010; Manso *et al.*, 2011; Hill y Lott, 2011).

#### A. Con sistemas adhesivos de grabado ácido total

Estos cementos utilizan un sistema adhesivo que requiere un acondicionamiento previo del esmalte y la dentina, por lo general con ácido ortofosfórico en concentración variable entre el 30% y 40% (Perdigão *et al.*, 2000) durante un tiempo entre 20-30 segundos para el esmalte (Gilpatrick, Ross y Simonsen, 1991; Gardner y Hobson, 2001) y durante 10 a 15 segundos en la dentina (Ermis *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2010).

Estos sistemas adhesivos se clasifican a su vez según su número de pasos, de dos o tres pasos, de acuerdo a su aplicación clínica. Los de tres pasos consisten en: 1) La aplicación del acondicionador (ácido grabador), 2) La aplicación del *primer* o agente de promoción de la adhesión, y por último, 3) La aplicación del agente o resina adhesiva.

En el esmalte, el acondicionamiento químico con ácido ortofosfórico causa la disolución selectiva de los cristales de hidroxiapatita, formando microporosidades que permiten la penetración de los monómeros para formar *tags* de resina que



proporcionan la retención micromecánica (Buonocore, Matsui y Gwinnett, 1968; Perdigão *et al.*, 2000).

En la dentina, este tratamiento ocasiona la eliminación de la capa de barrillo dentinario y elimina la hidroxiapatita que normalmente cubre la matriz de fibras colágenas, exponiendo las mismas y creando pequeños canales alrededor de las fibras que serán los espacios potenciales para la retención micromecánica de los adhesivos hidrófilos aplicados posteriormente (Van Meerbeek *et al.*, 1993; Van Meerbeek *et al.*, 2003). Este proceso transforma la estructura natural de la dentina conformada por la hidroxiapatita y el colágeno en un nuevo compuesto de resina y colágeno, que se ha denominado capa híbrida (Nakabayashi, Kojima y Masuhara, 1982), también conocida como zona de interdifusión dentina-resina (Van Meerbeek *et al.*, 1992). Además, la infiltración de los monómeros en los túbulos dentinarios desmineralizados da lugar a la formación de extensiones de resina polimerizadas denominadas *tags* de resina (Nakabayashi, Kojima y Masuhara 1982).

La dentina mineralizada está compuesta por aproximadamente 50% de volumen de material inorgánico (hidroxiapatita), un 30% de volumen de material orgánico y un 20% de agua (Nakabayashi y Pashley, 1998; Pashley *et al.*, 2011). Durante el grabado ácido la totalidad del 50% de la superficie y subsuperficie mineral se solubiliza, se extrae y se sustituye por el agua del aclarado que al combinarse con el 20% del volumen de agua intrínseca produce un nuevo contenido de agua del 70% rodeando al 30% del volumen de las fibrillas de colágeno (Pashley *et al.*, 2011) evitando de esta forma que la red de fibras de colágeno se

colapso (Van Meerbeerk *et al.*, 2003). Por ello, tras el aclarado con agua, no se debe desecar con aire fuertemente porque provocaría el colapso de la red de fibras colágena, impidiendo la infiltración del *primer* y de la resina adhesiva (Kanca, 1992).

Durante la fase de hibridación, idealmente, el *primer* orgánico (con acetona o etanol) debería ser capaz de desplazar completamente el agua residual y permitir que la resina adhesiva infiltrase completamente e hibridizase la malla colágena después de la polimerización (Perdigão *et al.*, 1999). Sin embargo, este fenómeno de hibridación es complejo debido a la presencia de trazas de solvente y al movimiento del fluido dentinario tras la evaporación del solvente, y antes y después de la polimerización de la resina adhesiva (Pashley, Horner y Brewer, 1992; Pashley, Ciucchi y Sano, 1993; Cadenaro *et al.*, 2009). El resultado es la infiltración incompleta de la resina adhesiva en la dentina desmineralizada (Hashimoto *et al.*, 2004), creando pequeñas regiones locales sin polimerizar dentro de la capa híbrida que son ricas en agua y pobres de resina. Estas zonas corresponderían con dentina desmineralizada y no infiltrada que se localizan debajo de la capa híbrida y pueden ser identificadas en el laboratorio mediante el test de nanofiltración, que consiste en la infiltración de las mismas con nitrato de plata y su posterior observación con técnicas de microscopía electrónica (Tay *et al.*, 2003; Pashley *et al.*, 2011). Por su hidrofilia, estas zonas que no han sido infiltradas correctamente por la resina adhesiva actúan propiciando que las uniones resina-dentina se vayan degradando con el tiempo (Hashimoto *et al.*, 2000), tanto por hidrólisis del adhesivo como de las fibras colágenas (Breschi *et al.*, 2008). La hidrólisis es un

proceso químico que rompe los enlaces covalentes en los polímeros mediante la adición de agua a los enlaces éster, conduciendo a la progresiva pérdida de la estructura de la resina (Tay y Pashley, 2003). El ingreso de agua desde el entorno húmedo se considera una causa capital de la degradación de la resina adhesiva integrante de la capa híbrida, ya que se asocia íntimamente con la reducción que la capacidad adhesiva experimenta con el paso del tiempo (Shono *et al.*, 1999a; Tay *et al.*, 2005).

Sin duda, la retención micromecánica mediante *tags* de resina dentro de la superficie del esmalte grabado con el ácido ortofosfórico sigue siendo hoy día la mejor unión al esmalte alcanzable (De Munck *et al.*, 2005; Van Meerbeek *et al.*, 2010). No sólo sellan de manera efectiva los márgenes de la restauración a largo plazo, sino que también protege a la dentina de su degradación (De Munck *et al.*, 2003b; Gamborgi, Loguercio y Reis, 2007; Loguercio *et al.*, 2007; Perdigão *et al.*, 2009). Por el contrario, tal como se ha comentado anteriormente, el grabado de la dentina es un procedimiento bastante más agresivo, ya que se disuelve y elimina (con el lavado del ácido) la protección natural del colágeno (hidroxiapatita) produciendo de esta manera un complejo de colágeno-resina que es vulnerable a la degradación por la absorción de agua, posiblemente reforzado por el proceso de degradación enzimática (Pashley *et al.*, 2004; De Munck *et al.*, 2009).

Esto se refleja en que, a pesar de que algunos adhesivos proporcionan una adhesión favorable "inmediata", muchos estudios observan una disminución considerable de la efectividad de la unión a

largo plazo (Peumans *et al.*, 2014), tanto *in vitro* (Armstrong *et al.*, 2004) como *in vivo* (Carrilho *et al.*, 2007; Peumans *et al.*, 2014).

En cuanto a la degradación enzimática, parece ser que el colágeno puede ser degradado por enzimas proteolíticas endógenas que se encuentran en la dentina llamadas metaloproteinasas de la matriz (MMPs). Estas enzimas normalmente están silentes, inactivas, pero se activan cuando el colágeno queda desprotegido por la acción del ácido ortofosfórico de los adhesivos de grabado ácido total o incluso con la acción de los adhesivos autograbadores (Hebling *et al.*, 2005; Brackett *et al.*, 2007a; Carrilho *et al.*, 2007; Pashley *et al.*, 2011). Específicamente se piensa que se degrada por la metaloproteinasa-8 (MMP-8), que actúa como una colagenasa que secciona el colágeno en dos fragmentos y la degradación adicional se realiza mediante las metaloproteinasas-2 y 9 que son gelatinasas (MMP-2 y 9) (Zhang y Kern, 2009). La conversión de las fibrillas de colágeno insolubles en péptidos de gelatina causa una pérdida de la continuidad entre las capas híbridas y el anclaje de las fibrillas colágeno mineralizadas en la dentina subyacente. Esto puede dar lugar a la pérdida de adhesión de las resinas compuestas a la dentina (Carrilho *et al.*, 2007; Pashley *et al.*, 2011).

Actualmente, se utilizan mucho los adhesivos de grabado ácido total de dos pasos que combinan en un único frasco el *primer* y el adhesivo con el fin de reducir el número de pasos clínicos y facilitar el procedimiento adhesivo (De Munck *et al.*, 2005). Sin embargo, el comportamiento *in vitro* de estos adhesivos es peor que el de los adhesivos de 3 pasos (De Munck *et al.*, 2005). Este hecho también se ha constatado clínicamente, presentando los adhesivos de grabado ácido

total de 2 pasos una tasa anual de fracaso dos veces superior en restauraciones de lesiones cervicales no cariosas (Peumans *et al.*, 2005; Peumans *et al.*, 2014).

El motivo fundamental es que los adhesivos de grabado ácido total de 2 pasos combinan en su composición monómeros hidrófilos e hidrófobos, dando lugar a un adhesivo con un comportamiento muy hidrofílico sin capacidad para sellar herméticamente la dentina profunda (Tay *et al.*, 2004). Por el contrario, en los adhesivos de tres pasos, la aplicación independiente de una capa de resina adhesiva hidrofóbica permite conseguir un sellado más estable a largo plazo (Van Meerbeek *et al.*, 2010; Pashley *et al.*, 2011). De ahí, el que los adhesivos tradicionales de 3 pasos, todavía se consideren hoy en día el “patrón oro” (Van Meerbeek *et al.*, 2010).

### **B. Con sistemas adhesivos autograbadores.**

Estos cementos utilizan sistemas adhesivos que a diferencia de los adhesivos de grabado ácido total, no requieren de un paso de grabado por separado (Van Meerbeek *et al.*, 2011).

Los adhesivos autograbadores contienen monómeros ácidos que simultáneamente acondicionan e infiltran el sustrato dental, por lo que el riesgo de discrepancia entre ambos procesos es bajo o inexistente, asegurando en teoría la penetración completa del adhesivo (Van Meerbeek *et al.*, 2003, 2011; Carvalho *et al.*, 2005). En consecuencia, se considera que son más fáciles de usar (tiempos de aplicación más cortos y con la necesidad de menos pasos) y, además, menos sensibles a la técnica o a la posibilidad de cometer errores durante la aplicación y la

manipulación (Peumans *et al.*, 2005; Akimoto, Takamizu y Momoi, 2007; Van Dijken, Sunnegardh-Gronberg y Lindberg, 2007; Peumans *et al.*, 2010).

Otro beneficio clínico importante que se atribuye a los adhesivos autograbadores es la ausencia, o al menos menor incidencia, de sensibilidad postoperatoria en comparación a la descrita con los adhesivos de grabado ácido total (Perdigão, Geraldeli y Hodges, 2003; Unemori *et al.*, 2004). Esto en gran medida puede atribuirse a su acción menos agresiva sobre la dentina, produciendo una interacción más superficial con la misma, e incluso alguno de estos adhesivos dependiendo de su pH dejan la capa de barrillo dentinario parcialmente intacta (Tay y Pashley, 2001), permaneciendo gran parte de los túbulos obstruidos por el barrillo (Van Meerbeek *et al.*, 2011). Todas estas características favorables han contribuido a la popularidad cada vez mayor de estos sistemas adhesivos (Van Meerbeek *et al.*, 2011).

Dentro de los adhesivos autograbadores se pueden distinguir adhesivos de “dos pasos” y de “un solo paso”. En el primero de los casos, los tejidos duros dentarios son simultáneamente grabados e imprimados por un *primer* ácido, seguido de la aplicación de una resina adhesiva hidrófoba que infiltra el sustrato y será posteriormente fotopolimerizada. Los de “un solo paso” se presentan en una única solución y también se conocen como “todo en uno” o en términos anglosajones “*all-in-one*”. Son, por tanto, una mezcla del *primer* ácido y la resina adhesiva hidrófoba que se aplica sobre el esmalte y/o la dentina (Van Meerbeek *et al.*, 2003; Van Meerbeek *et al.*, 2011; Miyazaki *et al.*, 2012).

Independientemente del número de pasos, el *primer* de los adhesivos autograbadores de dos pasos y de un solo paso, son soluciones acuosas complejas de monómeros funcionales con radicales del ácido fosfórico y/o ésteres del ácido carboxílico, monómeros de entrecruzamiento, co-monómeros funcionales y aditivos (por ejemplo: fotoiniciadores, etc) (Moszner, Salz y Zimmermann, 2005; Van Landuyt *et al.*, 2007a;). El agua es un componente esencial para la ionización de estos adhesivos, permitiendo que graben el tejido dental (Van Landuyt *et al.*, 2007b). Al contrario que los sistemas adhesivos de grabado ácido total, la presencia obligatoria de agua en su composición hace que los adhesivos de autograbado sean menos susceptibles a las variaciones en el grado de humedad del sustrato (Sezinando, 2014). Sin embargo, esta hidrofilia genera una inestabilidad química que disminuye el tiempo de vida útil de estos sistemas adhesivos (Tay y Pashley, 2001; Moszner, Salz y Zimmermann, 2005; Perdigão, 2007); así como de la interfase dentina-resina (Hashimoto *et al.*, 2011).

Por otro lado, estos adhesivos simplificados son muy hidrofílicos con el fin de mejorar su capacidad para humectar el sustrato dentinario (Tay y Pashley, 2003), lo que se traduce en un aumento del movimiento de agua (Yiu *et al.*, 2006) en la interfase adhesiva dentina-resina (Ito *et al.*, 2005; Sauro *et al.*, 2007). Esta absorción de agua pone en peligro la estabilidad de la red polimérica pues favorecería la expansión de la interfase y la plastificación de los polímeros, dando lugar a una reducción de sus propiedades mecánicas (Unemori *et al.*, 2003; Ferracane, 2006) y disminuyendo la resistencia adhesiva de la interfase (Sauro *et al.*, 2007). Se ha demostrado que cuanto mayor sea la

hidrofilia del polímero, mayor será la formación de espacios vacíos en la interfase adhesiva (Müller *et al.*, 1993; Soles y Yee, 2000). Al igual que anteriormente se expuso en el caso de los adhesivos de grabado ácido total, la presencia de agua residual y dominios hidrófilos en la interfase resinosa se traduce en la detección de nanofiltración dentro de la capa híbrida y el adhesivo (Tay, Pashley y Yoshiyama, 2002; Tay y Pashley, 2003). Se han identificado dos tipos diferentes de depósitos de plata tras la absorción del agua. De forma inmediata, la plata se deposita de forma reticular, pero también se pueden identificar granos de plata aislados dentro de la capa híbrida que, con el tiempo, aumentan de tamaño y densidad. A largo plazo formarían árboles de agua en el adhesivo como signo de degradación hidrolítica (Tay y Pashley, 2003; Tay *et al.*, 2005; Sauro *et al.*, 2007).

Por otro lado, los adhesivos autograbadores se pueden clasificar de acuerdo a su acidez (Tay y Pashley 2001). En general, los adhesivos autograbadores desmineralizan la dentina más superficialmente que los adhesivos de grabado ácido total, pues su pH es mayor que el del ácido ortofosfórico (Van Landuyt *et al.*, 2007a; Sezinando, 2014).

Dentro de los adhesivos autograbadores se pueden distinguir: adhesivos autograbadores "ultra-suaves" que presentan un  $\text{pH} > 2$ , que interaccionan con la dentina en una profundidad de unos pocos cientos de nanómetros (Koshiro *et al.*, 2006). Los autograbadores "suaves", con un  $\text{pH} \approx 2$ , producen una interacción con una profundidad aproximada de  $1 \mu\text{m}$  y, en el caso de los autograbadores "intermedios", con un pH entre 1 y 2, sería entre  $1$  y  $2 \mu\text{m}$ . Por último, los adhesivos autograbadores "fuertes", cuyo pH es igual o inferior a 1, serían los



únicos que producirían una interacción de varios micrómetros de profundidad (Van Meerbeek *et al.*, 2003) y, por tanto, capaces de formar los típicos *tags* de resina largos, mientras apenas se forman con los adhesivos autograbadores suaves y ultra-suaves (Van Meerbeek *et al.*, 2011).

El grado de desmineralización del esmalte y la interacción con la capa de barrillo y la dentina subyacente es dependiente de la agresividad de adhesivo, es decir su pH y su composición química (Tay y Pashley, 2001; Perdigão *et al.*, 2006; Perdigão, Lopes y Gomes, 2008).

Por otro lado, las características morfológicas de la interfase adhesiva producida por los adhesivos de autograbado dependen en gran medida de la manera en que interactúan sus monómeros funcionales con el sustrato dental (Chan *et al.*, 2003; De Munck *et al.*, 2005) y también, en parte, de su pH (Van Meerbeek *et al.*, 2011).

Por tanto, la efectividad adhesiva conseguida con estos adhesivos autograbadores varía mucho según el tipo de adhesivo, su composición real y de forma más específica, de acuerdo al monómero funcional ácido incluido en la formulación del adhesivo en cuestión (Van Meerbeek *et al.*, 2011).

El motivo es que los monómeros funcionales ácidos que incorporan estos adhesivos, en particular el 10-MDP, 4-META y Fenil-P, tienen la capacidad de interaccionar con la hidroxiapatita residual a través de enlaces iónicos primarios, siempre y cuando el adhesivo autograbador sea "suave" o "ultra-suave" y no la elimine completamente (Yoshida *et al.*, 2004). Este mecanismo adhesivo se

denomina de “adhesión-descalcificación” (Yosshioka *et al.*, 2002; Yoshida *et al.*, 2004; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Sin embargo, no es suficiente *per se* el que se produzca esta unión química, sino que los enlaces iónicos formados también deben ser estables en un ambiente acuoso (Van Meerbeek *et al.*, 2010). En ello radica la clave que justifica el diferente comportamiento de adhesivos con un pH similar. Los enlaces químicos promovidos por el 10-MDP parecen no ser solo más eficaces, sino también más estables en agua que las uniones proporcionadas por otros monómeros funcionales como el 4-META y Fenil-P, en este orden (Yoshida *et al.*, 2000; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Las tasas de disolución de las respectivas sales de calcio formadas por la unión química de estos tres monómeros con la hidroxiapatita residual, son inversamente proporcionales a su potencial de adhesión química. Cuanto más intenso es el potencial de unión química, la sal de calcio resultante tendrá menos posibilidades de ser disuelta (Van Meerbeek *et al.*, 2011). Por otro lado, estos adhesivos se adhieren a la dentina también por una interacción micromecánica (zona de nano-interacción) debido a la polimerización *in situ* de los monómeros adhesivos infiltrados (Van Meerbeek *et al.*, 2003; Van Meerbeek *et al.*, 2011; Sezinando, 2014)

Estudios *in vitro* han confirmado la alta resistencia adhesiva a la dentina del adhesivo autograbador “suave” de dos pasos a base de 10-MDP, Clearfil SE Bond (Kuraray), considerado el “patrón oro” en dentina para los adhesivos de autograbado (Peumans *et al.*, 2005; Perdigão, 2007; Sarr *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014). Con este adhesivo la resistencia adhesiva no disminuía tras 6 meses de envejecimiento

artificial mediante termociclado contrariamente a lo que ocurría con los sistemas adhesivos autograbadores suaves Unifil Bond (GC), que contiene 4-META, y Clearfil LinerBond II (Kuraray), que contiene Fenil-P (Inoue *et al.*, 2005). Esta estabilidad de la interfase adhesiva generada con Clearfil SE Bond ha sido también demostrada en estudios *in vivo* (Peumans *et al.*, 2015). Por tanto, el elevado potencial de interacción química del 10-MDP con el calcio de la hidroxiapatita presente en la capa híbrida contribuye a la preservación de la interfase adhesivo-dentina y también da lugar a la formación de una zona ácido-base resistente adyacente a la capa híbrida (Waidyasekera *et al.*, 2009). Esta zona se formaría debido a la difusión del monómero 10-MDP a través de la capa híbrida hasta su base, en la que enseguida se une químicamente a los cristales de hidroxiapatita remanentes (Nurrohman *et al.*, 2012). Además, parece ser que esta capa contribuye a la prevención de lesiones de caries secundarias (Nikaido *et al.*, 2009).

La durabilidad de esta adhesión, por tanto, está relacionada con tres puntos principales: (1) Al ser un adhesivo autograbador "suave" desmineraliza ligeramente la dentina, dejando hidroxiapatita residual que envuelve y protege las fibras colágeno; (2) La presencia del monómero funcional 10-MDP, componente del *primer* de Clearfil SE Bond; (3) La aplicación de una capa hidrófoba con relleno, como un segundo paso de este adhesivo (Sezinando, 2014). La aplicación de esta capa hidrófoba mejora la tasa de conversión y sus propiedades mecánicas (Sadek *et al.*, 2008), así como la resistencia a la degradación hidrolítica (Inoue *et al.*, 2005).

La eficacia de la adhesión química generada con los adhesivos “suaves” o “ultrasuaves” a la dentina contrasta con lo ocurrido en el esmalte. Estos adhesivos, debido a su pH, no tienen capacidad para disolver el barrillo generado en el esmalte, acabando por impregnarlo y encapsularlo, y en el esmalte no instrumentado, la capa aprismática superficial dificulta la impregnación de estos sistema adhesivos (Kanemura, Sano y Tagami, 1999). Por tanto, se ha considerado que la adhesión que consiguen no es suficiente ni estable en el tiempo, apareciendo defectos marginales, tales como tinción y ligeras desadaptaciones (Kanemura, Sano y Tagami, 1999; Mine *et al.*, 2014). De acuerdo a esto, actualmente se recomienda realizar el grabado selectivo con ácido ortofosfórico de los márgenes del esmalte, en especial en el esmalte no instrumentado, cuando se aplican adhesivos autograbadores con un pH más elevado (Van Landuyt *et al.*, 2009; Peumans *et al.*, 2010; Ermis *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014).

Aunque no son objetivo de estudio en esta tesis doctoral creemos que es importante comentar que recientemente han surgido también sistemas adhesivos universales, que se pueden utilizar como adhesivos de grabado ácido total o como autograbadores con o sin grabado selectivo del esmalte (Mena-Serrano *et al.*, 2013).

### **C. Cementos resinosos autoadhesivos**

Estos tipos de cementos están diseñados para adherirse a la estructura dental sin la aplicación de un adhesivo o grabado previo. Al igual que los adhesivos, los cementos de resina han ido evolucionando hacia un procedimiento de aplicación más simple. Los principales

beneficios de estos cementos son su sencillez de aplicación (Ferracane, Standbury y Burke, 2011) y la sensibilidad de la técnica reducida debida al operador, por lo que su uso se ha extendido en los últimos años. Fueron desarrollados en la pasada década, siendo el RelyX Unicem (3M ESPE) el primer cemento resinoso autoadhesivo comercializado (De Munck *et al.*, 2004). Actualmente hay disponibles en el mercado más de una docena pertenecientes a diversas marcas comerciales.

Estos cementos se utilizan en la cementación de incrustaciones, coronas y postes de fibra (Weiser y Behr, 2015), y cabe destacar que todos los cementos autoadhesivos comercializados son de polimerización dual (Radovic *et al.*, 2008).

Al igual que el resto de cementos de resina, los autoadhesivos están compuestos principalmente por monómeros metacrílicos del tipo Bis-GMA, UDMA, HEMA, glicerol dimetacrilato (GDMA), TEGDMA y trimetacrilato trimethiloilpropano (TMPTMA), entre otros (Ferracane, Standbury y Burke, 2011).

Además incorporan en su composición monómeros ácidos. Estos monómeros son de tipo metacrílico con radicales del ácido carboxílico (4-META y PMGDM), o del ácido fosfórico (Fenil-P, MDP, BMP y Penta- P). Estos monómeros ácidos, además de llevar a cabo la desmineralización de la dentina y el esmalte, promueven la formación de una sal estable con el calcio del tejido dental (Manso *et al.*, 2011). Dependiendo del monómero, la sal formada será insoluble en un medio acuoso, como en el caso del monómero relativamente hidrófobo 10-MDP, o con una estabilidad más limitada en el caso del 4-META y del

Fenil-P, tal y como se ha descrito anteriormente para los adhesivos autograbadores suaves (Yoshida *et al.*, 2004; Inoue *et al.*, 2005; Van Landuyt *et al.*, 2008; Ferracane, Standbury y Burke, 2011).

La concentración de los monómeros ácidos en estos materiales debe ser equilibrada para, por un lado, evitar la hidrofilia excesiva del polímero final y, por otro, alcanzar un grado aceptable de desmineralización y adhesión a la dentina y al esmalte (Ferracane, Standbury y Burke, 2011). Su relleno está formado por combinaciones seleccionadas de cristales de fluoroaluminosilicato de bario, cristales de fluoroaluminio de estroncio y también de calcio, cuarzo, sílice coloidal y fluoruro de yterbio, entre otros. La cantidad de relleno de los cementos varía de unos a otros y se encuentra dentro del rango de 60-75% en peso (Belli *et al.*, 2009). También varía el tamaño medio de sus partículas que oscila entre aquellos que tienen 9,5  $\mu\text{m}$  de media, y los que tienen un tamaño medio de 2  $\mu\text{m}$  (Ferracane, Stansbury y Burke, 2011).

Entre los componentes también hay inhibidores de la polimerización que permiten el almacenamiento del cemento y un tiempo de trabajo adecuado (Radovic *et al.*, 2008).

Al estar agrupados como cementos resinosos autoadhesivos el mecanismo de adhesión debería ser igual para todos, pero esto no es completamente cierto, y aunque estos cementos llevan años en el mercado, solo se conoce en profundidad el mecanismo de adhesión de RelyX Unicem, el cual se basa en una retención micromecánica y en mayor medida en una interacción química entre los monómeros ácidos

del cemento y el componente mineral de la dentina, tal y como se ha comentado anteriormente (Hikita *et al.*, 2006; Ferracane, Stansbury y Burke, 2011). Esta unión química es similar a la que se produce con los cementos de ionómero de vidrio (Gladys *et al.*, 1997; Pisani-Proença *et al.*, 2011) y con los adhesivos autogradadores "suaves" (Van Meerbeek *et al.*, 2010). El cemento deberá ser capaz de desmineralizar y simultáneamente infiltrar el sustrato dental actuando en presencia del barrillo dentinario (Mazzitelli *et al.*, 2008).

En su proceso de fraguado la interacción química se produce entre los grupos ácidos y el relleno alcalino (Radovic *et al.*, 2008), asegurando la neutralización de los monómeros ácidos mediante una reacción ácido-base que libera agua, siendo inicialmente bastante hidrofílicos lo que aumenta la capacidad humectante del cemento y su tolerancia a la humedad en las fases iniciales de su aplicación, permitiendo así una mejor adaptación a la dentina (Abo-Hamar *et al.*, 2005; Viotti *et al.*, 2009). Sin embargo, se vuelven más hidrofóbicos a medida que la funcionalidad del ácido se consume a través de la reacción con el calcio del diente y con los óxidos metálicos contenidos en el relleno de estos cementos (Belli *et al.*, 2009)

Parece haber acuerdo en que hay una interacción muy limitada con el esmalte o la dentina en cuanto al grado de desmineralización, formación de la capa híbrida o *tags* de resina (De Munck *et al.*, 2004, Hikita *et al.*, 2007; Ferracane, Standbury y Burke, 2011). Sin embargo, hay indicios mediante espectroscopía de rayos X de fotoelectrones (XPS) de la buena interacción química con el calcio de la hidroxiapatita, lo que sugiere que esta última ruta proporciona también una vía para que se

produzca la retención micromecánica, aunque la infiltración de la dentina no se produzca en una profundidad superior a un micrómetro (Monticelli *et al.*, 2008; Ferracane, Standbury y Burke, 2011).

Además, la viscosidad de estos cementos aumenta rápidamente a medida que se produce la reacción ácido-base (De Munck *et al.*, 2004). Gracias a su comportamiento tixotrópico, la viscosidad se reduce al aplicar presión lo que permite una mejor adaptación y un espesor de película adecuado (Goracci *et al.*, 2006), pero no sería suficiente para producir una interacción más profunda con el sustrato (De Munck *et al.*, 2004). Por otro lado, la desmineralización-infiltración es autolimitada, ya que se produce un efecto de neutralización del pH durante la reacción química (Behr *et al.*, 2004; Al-Assaf *et al.*, 2007).

En el caso del cemento G-Cem, también se ha descrito que presenta capacidad adhesiva pero muy superficialmente, gracias a la incorporación del 4-META, que se une por una reacción de quelación a los iones de calcio de la hidroxiapatita (Abo, Uno y Sano, 2004; Monticelli *et al.*, 2008; Zicari *et al.*, 2008). La presencia de agua en su composición parece ayudar al acondicionamiento del tejido. La capacidad de interacción química con la hidroxiapatita del monómero 4-META ha sido descrita como débil (Yoshida *et al.*, 2004) lo que parece explicar la menor capacidad adhesiva que G-Cem ha mostrado respecto al RelyX Unicem (Han *et al.*, 2007).

Los cementos de resina se deben unir a diferentes sustratos, incluyendo la dentina y el esmalte, la cerámica, el oro y otras aleaciones metálicas, así como las resinas compuestas indirectas. Los cementos de



resina autoadhesivos se diseñaron específicamente para interactuar con el sustrato de la dentina sin la necesidad de un tratamiento previo de la superficie. Esto hace que en el caso del esmalte, los monómeros ácidos que incorporan no produzcan patrones de grabado equivalentes a los que consigue el ácido ortofosfórico (Ferracane, Standbury y Burke, 2011). Cuando se ha evaluado el realizar un grabado previo con dicho ácido y se ha aplicado después el cemento RelyX Unicem, en algunos estudios la resistencia adhesiva al esmalte ha aumentado, presumiblemente a causa de las irregularidades microscópicas mejoradas producidas por este ácido fuerte en comparación con las que son producidas por el propio cemento (De Munck *et al.*, 2004, Hikita *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2010). Sin embargo, esto es controvertido, pues otros autores refieren que el grabado selectivo del esmalte no tiene efecto sobre la capacidad de sellado conseguida con este cemento de resina (Inukai *et al.*, 2012). De acuerdo a esto, en un estudio clínico realizado por Peumans *et al.* (2013) concluyeron que el grabado selectivo del esmalte no mejoraba el comportamiento clínico de incrustaciones de cerámica cementadas con RelyX Unicem después de su evaluación a los 4 años. Lo que si está claro es que el grabado previo de la dentina no mejora la resistencia adhesiva, puesto que la alta viscosidad del cemento no permite que se infiltre la gruesa y compacta malla de colágeno expuesta por el ácido ortofosfórico, y además el grabado previo con ácido ortofosfórico remueve el contenido de hidroxiapatita dificultando la adhesión química de estos cementos (Munck *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2006; Hikita *et al.*, 2007; Al-Assaf *et al.*, 2007; Rengo *et al.*, 2012).

Numerosos estudios han evaluado la resistencia adhesiva a la dentina obtenida con los cementos de resina autoadhesivos. Los resultados son contradictorios, en la mayoría de los estudios *in vitro* no se han encontrado diferencias significativas al compararlos con los cementos resinosos convencionales que usan un adhesivo previo (De Munck *et al.*, 2004; Goracci *et al.*, 2006; Hikita *et al.*, 2007; Inukai *et al.*, 2012; Vaz *et al.*, 2012). Sin embargo, otros autores han descrito valores de resistencia adhesiva más bajos para los cementos autoadhesivos (Yang *et al.*, 2006; Viotti *et al.*, 2009; Fuentes, Ceballos y González-López, 2013; Prochnow *et al.*, 2014). En estos estudios generalmente el cemento utilizado es el RelyX Unicem, por ello no se pueden generalizar los resultados para todos los cementos autoadhesivos, ya que cada uno presenta su propia composición química, mecanismo de adhesión y pH, lo que hace que sean un grupo heterogéneo y, por tanto, que todos no se comporten igual (De Munck *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2006; Hikita *et al.*, 2007; Viotti *et al.*, 2009; Sarr *et al.*, 2010).

Esto se puede comprobar en el estudio realizado por Sarr *et al.* (2010), en el que observaron que no existían diferencias significativas entre los valores de resistencia adhesiva a la dentina con RelyX Unicem y G-Cem en comparación con los cementos convencionales pero sí observaron valores inferiores para otros cementos autoadhesivos como Maxcem (Kerr), Monocem (Shofu) y Multilink Sprint (Ivoclar-Vivadent).

### **1.5. Técnica de reposición coronal del margen gingival**

En ocasiones, debido a la gran destrucción de los tejidos dentales, los márgenes de la preparación cavitaria se encuentran ligeramente subgingivales, presentándose dos tipos de problemas clínicos. Por un lado, los problemas biológicos, fundamentalmente la relación con los tejidos periodontales, como son la invasión del espacio biológico y la inflamación gingival. Por otro lado, la dificultad en los procedimientos operatorios posteriores como son la toma de impresión, aislamiento con dique de goma, procedimiento adhesivo, posicionamiento final de la restauración y acabado y pulido de la zona cervical (Veneziani, 2010). También es importante destacar en estas cavidades la pérdida parcial o total de los márgenes adamantinos encontrándose en su lugar dentina y/o una fina capa de cemento. Tal y como se comentó en apartados anteriores, mientras la adhesión al esmalte es predecible y segura con la técnica de grabado ácido, la adhesión a la dentina y al cemento radicular no lo es, y depende de numerosos y complejos fenómenos, como por ejemplo la formación de una eficiente capa híbrida (Dietschi *et al.*, 1995; Van Meerbeek *et al.*, 1998; De Munck *et al.*, 2005; Veneziani, 2010; Van Meerbeek *et al.*, 2010).

En estos casos, con el fin de facilitar el procedimiento clínico, se ha propuesto la reposición del margen cervical de la preparación a nivel supragingival mediante la colocación de una base de composite sobre el piso gingival. Esta técnica se conoce como "Reposición coronal del margen" y fue propuesta por primera vez en 1998 por Dietschi y Spreafico. Aunque también recibe otras denominaciones como

“Elevación de márgenes profundos” (Magne y Spreafico, 2012) y “Elevación de la caja proximal” (Roggendorf *et al.*, 2012; Frankenberger *et al.*, 2013; Zaruba *et al.*, 2013; Ilgenstein *et al.*, 2015). Esta técnica representa, además, en algunos casos específicos, una alternativa no invasiva a la cirugía de alargamiento coronario (Dietschi y Spreafico, 1998b; Veneziani, 2010; Rocca *et al.*, 2012; Roggendorf *et al.*, 2012; Frankenberger *et al.*, 2013; Zaruba *et al.*, 2013).

Se ha observado que las restauraciones de resina compuesta en las que se ha realizado la reposición coronal del margen gingival podrían invadir la zona del espacio biológico sin inducir inflamación gingival y periodontal crónica, siempre y cuando los márgenes de la restauración sean lisos, suaves, y el paciente tenga una higiene oral adecuada (Frese, Wolff y Staehl, 2014).

Cuando se realiza la reposición coronal del margen gingival, parte de la resina compuesta utilizada está expuesta al ambiente oral, al igual que sucede con la técnica de “sándwich abierto” descrita por primera vez por McLean y Wilson en 1977. En esta técnica se coloca una base de cemento de ionómero de vidrio, en principio convencional y que luego pasó a indicarse modificado con resina, como base cavitaria sobre la dentina cervical para posteriormente sobre ella colocar la resina compuesta utilizada para la restauración directa (McLean y Wilson, 1977; McLean *et al.*, 1985; Dietrich *et al.*, 1999; Zaruba *et al.*, 2013).

La técnica de reposición coronal del margen gingival puede aplicarse tanto para restauraciones directas como indirectas (Magne y

Spreafico, 2012; Frese, Wolff y Staehle, 2014). Al igual que en las restauraciones indirectas, en las restauraciones directas el primer paso implica una meticulosa técnica incremental para conseguir la reubicación del margen por encima del margen gingival, permitiendo lograr un mejor sellado y adaptación de la restauración en dicho margen (Fabianelli *et al.*, 2010; Magne y Spreafico, 2012; Frese, Wolff y Staehle, 2014), facilitando la posterior confección del punto de contacto proximal (Magne y Spreafico, 2012).

Este procedimiento de reposición coronal del margen gingival debe ser realizado bajo aislamiento absoluto con dique de goma, seguido del encofrado de la preparación con una matriz metálica para facilitar la inserción del material (Dietschi y Spreafico, 1998b y 2015; Magne y Spreafico, 2012; Rocca *et al.*, 2015). En cuanto al material utilizado para la reposición del piso, se ha descrito en la literatura la aplicación de resina compuesta fluida, resina compuesta convencional y la combinación de ambos materiales (Dietschi y Spreafico, 2015). Dietschi y Spreafico (2015) recomiendan el uso de composite fluido hasta un espesor máximo de 1 a 1,5 mm, combinándolo con un composite convencional si fuera necesario aplicar más material. Estos mismos autores refieren que un composite fluido con mayor carga de relleno (ejemplo: Premise Flow, Kerr), o de tipo "bulk fill" (ejemplo: SDR, Dentsply) serían preferibles para este procedimiento.

Sin embargo, no se ha observado un beneficio claro de la utilización de composite fluido como primer incremento en el piso gingival de la caja proximal. Los fluidos son composites de baja viscosidad, debido a que se reduce el volumen de partículas de relleno

inorgánico (44-55%). Esto hace que sus propiedades mecánicas sean peores que las de los composites convencionales (Bayne *et al.*, 1998) y además, al contener una alta cantidad de componentes resinosos presentan una mayor contracción de polimerización (Hashimoto, de Gee y Feilzer, 2008). Sin embargo, poseen un bajo módulo de elasticidad (3,6 a 6,7 GPa) que les confiere la capacidad para absorber o compensar el estrés generado durante la contracción de polimerización, al menos teóricamente (Kemp-Scholte y Davidson, 1990; Dietschi y Spreafico, 1998b; Veneziani, 2010; Zaruba *et al.*, 2013). Sin embargo, varios autores sostienen que no hay una reducción de la microfiltración en restauraciones de clase II en estudios *in vitro* cuando se aplica una capa delgada de composite fluido antes de la restauración (Chuang *et al.*, 2001; Malmström *et al.*, 2002; Ernst *et al.*, 2003; Moazzami *et al.*, 2014). Por otro lado, otros autores como Peutzfeldt y Asmussen. (2002) y Aggarwal *et al.* (2014), mantienen que cuando el composite fluido se aplica como el primer incremento en cervical de restauraciones de clase II, se reduce la filtración marginal y se mejora la integridad marginal. Sin embargo en estudios clínicos no se ha demostrado este efecto beneficioso, diferencias en la adaptación marginal o en el comportamiento clínico al colocar composite fluido (Lindberg, Van Dijken, Hörstedt, 2005; Turner *et al.*, 2008).

Aunque existen muy pocos estudios que avalen científicamente la reposición coronal del margen gingival, de forma generalizada esta técnica está basada en las siguientes premisas (Dietschi y Spreafico., 1998b; Veneziani, 2010; Zaruba *et al.*, 2013):

1. Facilita los siguientes procedimientos clínicos: El aislamiento con dique de goma, obligatorio para un procedimiento de cementación adhesiva (Kaneshima *et al.*, 2000; Park y Lee, 2004; Tachibana *et al.*, 2010), contribuye a la obtención de la geometría necesaria para una restauración indirecta, corrigiendo y unificando el margen gingival de la cavidad, no siendo necesario eliminar tejido dental sano para obtener un piso plano y perpendicular a las fuerzas masticatorias (Moscovich *et al.*, 1998; Veneziani, 2010; Magne y Spreafico, 2012) y facilita la toma de impresión digital o convencional de las preparaciones (Moscovich *et al.*, 1998; Frankenberger *et al.*, 2012; Magne y Spreafico, 2012; Zaruba *et al.*, 2013). Además, facilita uno de los pasos más críticos del procedimiento de cementación, la eliminación del exceso de cemento de resina en la zona cervical, pues se controla mejor si los márgenes están reubicados a nivel supragingival (Ilgenstein *et al.*, 2015).

2. Por otra parte, esta técnica reduce el espesor de la restauración en la zona proximal, mejorando significativamente el acceso de la luz y la fotopolimerización del agente cementante utilizado en las restauraciones indirectas (Ilgenstein *et al.*, 2015).

3. Proporciona un sellado inmediato de la dentina, técnica que preconiza Magne aportando los siguientes motivos (Magne *et al.*, 2005):

- La dentina recién cortada es el sustrato ideal para la adhesión y no tras haber sido contaminada con los cementos utilizados en la fase de provisionalización (Paul *et al.*, 1997). Por ello el procedimiento adhesivo se debería realizar tras la preparación del diente y antes de la impresión.

- La fotopolimerización del agente adhesivo conduce a una mejor resistencia adhesiva.
- Cuando se utiliza el sellado inmediato con restauraciones indirecta adheridas, a causa de la colocación retardada de la restauración (intrínseco a la técnicas indirectas) y la demora en la aplicación de las cargas oclusales, la adhesión a la dentina puede desarrollarse sin estrés, lo que produce una mejor adaptación de la restauración (Dietschi et al., 2002; Magne *et al.*, 2005). En el caso de la técnica de reposición coronal del margen gingival aunque no se evitaría por completo el efecto de la contracción de polimerización, sí se evitaría el efecto de las cargas oclusales.

4. El sellado dentinario inmediato protege la dentina contra la contaminación bacteriana y la sensibilidad durante la provisionalización. Por otro lado, la técnica de reposición coronal del margen gingival consigue proteger el adhesivo de la degradación y absorción hidrolítica mediante la colocación de una capa de composite (Chersoni *et al.*, 2004).

Como se apuntó anteriormente, existen muy pocos estudios *in vitro* y ningún estudio *in vivo* que evalúen la reposición coronal del margen gingival. Los estudios que existen han evaluado principalmente la adaptación marginal *in vitro* (Roggendorf *et al.*, 2012; Frankenberger *et al.*, 2013; Zaruba *et al.*, 2013; Ilgenstein *et al.*, 2015), obteniendo resultados favorables al no mostrarse diferencias en la integridad de los márgenes. Tal es el caso del estudio realizado por Zaruba *et al.* (2013), con el propósito de evaluar el efecto de la técnica de reposición coronal



del margen en la adaptación marginal de incrustaciones de cerámica, en el que no observaron diferencias en la integridad de los márgenes realizando o no la reposición. Por otro lado en un estudio similar realizado por Frankenberger *et al.* (2013), en el que además de evaluar el efecto de la reposición coronal del margen también evaluaron el uso de distintos materiales para realizarla (los cementos de resina autoadhesivos RelyX Unicem, G-Cem y Maxcem Elite y el composite Clearfil Majesty de Kuraray), colocados en una o tres capas. Posteriormente, cementaron inlays de IPS Empress CAD con el cemento resinoso convencional VariolinK II y llegaron a la conclusión de que la reposición coronal del margen con composite puede ser una alternativa para cementar restauraciones de cerámica con márgenes en dentina; pero no recomiendan el uso de cementos de resina autoadhesivos, ya que los resultados no fueron favorables. En un estudio similar realizado por Roggendorf *et al.* (2012), pero con incrustaciones de composite confeccionadas en el laboratorio obtuvieron resultados similares pudiendo concluir que la reposición coronal del margen gingival es efectiva en restauraciones indirectas de composites adherida a cajas proximales profundas. Tampoco recomiendan el uso de cementos autoadhesivos para la realización de la técnica.

En otro estudio realizado por Ilgenstein *et al.* (2015), evaluaron la influencia de la reposición coronal con resina compuesta en la adaptación marginal de incrustaciones de composite o cerámica realizadas por CAD-CAM, pudiendo concluir que la reposición coronal de margen gingival no tiene una influencia negativa en la integridad de los

márgenes de molares mandibulares tratados endodónticamente y restaurados con incrustaciones.

Por tanto, y de acuerdo con lo expuesto por Magne y Spreafico (2012), serían necesarios más trabajos de investigación que validaran la técnica de reposición coronal del margen gingival, considerando las ventajas que presenta dada la máxima conservación del tejido dental, y además permite mejorar los procedimientos clínicos como por ejemplo la mayor facilidad para obtener impresiones de calidad, no sólo de forma convencional, sino también con los nuevos sistemas digitales. Es por ello que en nuestro estudio hemos evaluado aspectos tan importantes como la resistencia adhesiva y la capacidad de sellado cuando se realiza la reposición coronal del margen gingival en incrustaciones de composite cementadas con cementos de resina convencionales o autoadhesivos.

# 2 HIPÓTESIS



Las hipótesis nulas evaluadas en el presente trabajo fueron las siguientes

- La técnica de reposición coronal del margen gingival con resina compuesta no influye en la resistencia adhesiva determinada en la caja proximal de incrustaciones de composite, utilizando un cemento resinoso convencional y otro autoadhesivo.
- La técnica de reposición coronal del margen gingival con resina compuesta no afecta a la capacidad de sellado de las incrustaciones de composite en dicho margen, cuando se utiliza para el cementado un cemento resinoso convencional y uno autoadhesivo.
- No existen diferencias en la capacidad de sellado en el margen gingival cuando se realiza la reposición coronal del margen utilizando un sistema adhesivo de grabado ácido total o un autograbador, previo a la cementación de incrustaciones de composite con un cemento de resina convencional.



# 3 OBJETIVOS





En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Establecer la influencia de la reposición coronal del margen gingival en la resistencia adhesiva de la caja proximal tras la cementación de incrustaciones de composite, utilizando un cemento resinoso convencional de grabado ácido total y otro autoadhesivo, mediante un ensayo de microtracción.
- Evaluar la influencia de la reposición coronal del margen gingival en la capacidad de sellado tras la cementación de incrustaciones de composite, utilizando un cemento resinoso convencional de grabado ácido total y otro autoadhesivo, mediante un ensayo de nanofiltración.
- Determinar la capacidad de sellado de la interfase generada tras la reposición coronal del margen gingival y el cementado de incrustaciones de composite al utilizar dos sistemas adhesivos con estrategias diferentes, uno de grabado ácido total y otro autograbador, mediante un ensayo de nanofiltración.



# 4 MATERIAL Y MÉTODO



Para realizar el presente estudio se utilizaron cuarenta y tres terceros molares humanos conservados en una solución acuosa de timol a 4°C por un periodo no superior a 6 meses desde su extracción. Antes de realizar el procedimiento experimental se eliminaron minuciosamente los restos de cálculo y de ligamento periodontal con ayuda de una cureta (Figura 4.1).



*Figura 4.1: Eliminación de los restos de cálculo y ligamento periodontal de uno de los molares utilizados en el estudio.*

De acuerdo con los objetivos del estudio, la parte experimental de este trabajo se dividió en dos fases experimentales. La primera consistió en la determinación de la influencia de la reposición coronal del margen gingival y del cemento utilizado en la resistencia adhesiva de incrustaciones de resina compuesta. En la segunda fase se evaluó la capacidad de sellado de las interfases adhesivas generadas en la pared gingival de la caja proximal tras la reposición coronal del margen, y el cementado de dichas incrustaciones variando el tipo de cemento y la estrategia adhesiva.

### 4.1 Análisis de la resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción

#### A. Preparación de los especímenes

Para esta fase experimental se utilizaron 25 terceros molares humanos extraídos. En cada diente se realizó una preparación cavitaria ocluso-mesial tipo *inlay* con una divergencia en las paredes hacia oclusal de 10 grados aproximadamente. Para ello se utilizó en primer lugar una fresa troncocónica de diamante de 80  $\mu\text{m}$  (Komet, Lemgo, Alemania, Ref 845KR314021) para turbina con irrigación continua y, finalmente, las paredes se acabaron con una fresa de diamante de 25  $\mu\text{m}$  (Komet, Ref 845KREF314025), también con irrigación continua (Figura 4.2). Las fresas fueron desechadas tras realizar 5 preparaciones.

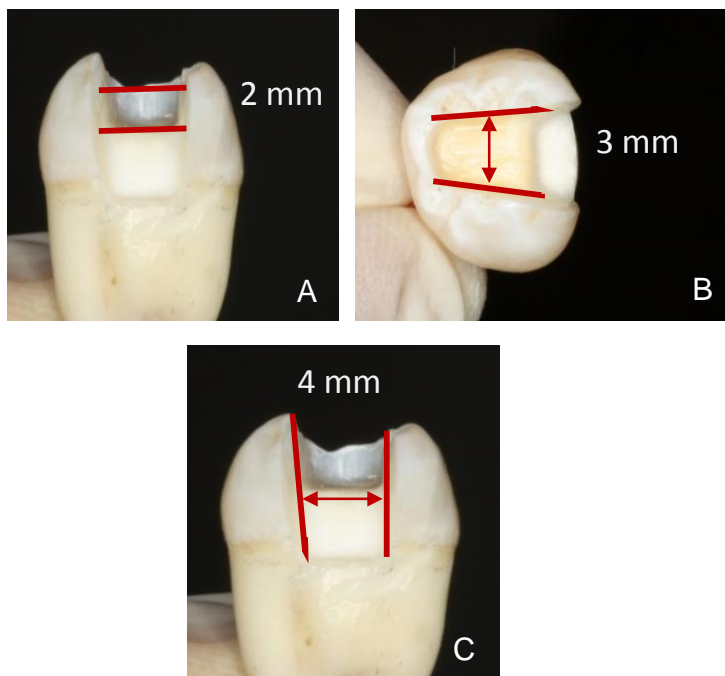


*Figura 4.2: Fresas utilizadas para el tallado de las cavidades tipo inlay.*

El diseño y las dimensiones de las preparaciones fueron los siguientes (Figura 4.3):

- Profundidad de la caja oclusal de 2 mm.
- Anchura vestíbulo-lingual de la caja oclusal de 3 mm.
- Anchura vestíbulo-lingual de la caja proximal mesial de 4 mm.

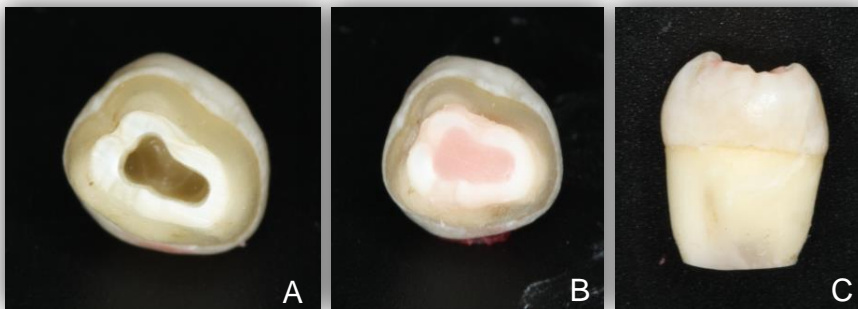
- Situación del suelo gingival de la caja proximal a 1 mm apical del límite amelocementario.
- No se realizó bisel en los márgenes cavitarios y todos los ángulos internos de la preparación fueron redondeados.



*Figura 4.3: Diseño y dimensiones de las preparaciones: A. Profundidad caja oclusal de 2 mm. B. Anchura vestibulo-lingual caja oclusal de 3 mm. C. Anchura vestibulo-lingual caja proximal de 4 mm.*

Antes de la realización de las preparaciones tipo *inlay*, se eliminaron las raíces por medio de un corte que se situó apical respecto a la furca y con una dirección perpendicular al eje longitudinal del diente. Esto permitió eliminar los restos del tejido pulpar cameral y rellenar de composite rosa la cámara pulpar a través de la raíz

(Adhesivo: Adper Scotchbond 1XT, 3M ESPE, St. Paul, MN, EE.UU.; Composite: Amaris®, VOCO, Cuxhaven, Alemania). De esta manera se pudieron manipular mejor los molares durante todo el procedimiento experimental (Figura 4.4).



*Figura 4.4: A. Cámara pulpar libre de restos de pulpa B. Cámara pulpar rellena de composite rosa C. Corte de la raíz perpendicular al eje longitudinal del diente.*

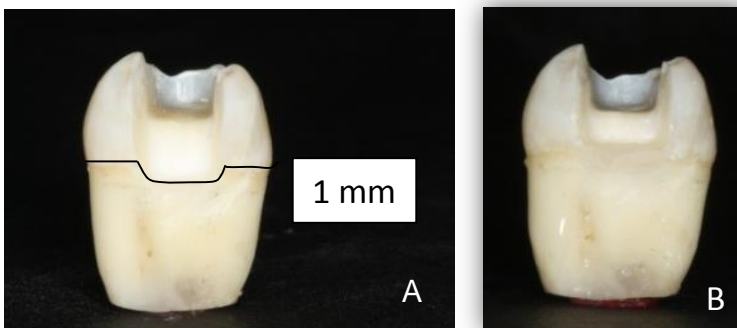
Aunque la profundidad de la caja proximal preparada fue similar en todas las preparaciones, de acuerdo al tratamiento restaurador realizado posteriormente, se distinguieron dos situaciones:

**Piso gingival en dentina:** El suelo gingival de la caja proximal estaba situado 1 mm apicalmente a la unión amelocementaria, tal y como se ha descrito anteriormente (Figura 4.5 A).

**Piso gingival en composite:** Se realizó la reposición coronal del margen gingival (RCMG). El suelo gingival de la caja proximal se reposicionó 1 mm coronalmente a la unión amelocementaria (Figura 4.5B). Para ello se utilizó el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT (3M ESPE) (Tabla 4.1) y la resina compuesta Filtek Z250 de color A2 (3M



ESPE), aplicados ambos siguiendo las instrucciones del fabricante. Para ello se grabó previamente la superficie a adherir con ácido ortofosfórico al 35% durante 15 segundos (Scotchbond Etchant, 3M ESPE), seguido de lavado con la jeringa de spray de agua durante 15 segundos y secado con bolitas de algodón dejando la superficie dentinaria húmeda. Posteriormente se aplicaron dos capas consecutivas del adhesivo Adper Scotchbond 1XT con la ayuda de una brochita, friccionándolo durante 10 segundos. Se aplicó después un chorro suave de aire con el fin de evaporar los solventes durante 5 segundos y, por último, se fotopolimerizó durante 20 segundos con la unidad de curado LED Elipar S10 (3M ESPE). La potencia lumínica aplicada fue de  $1200 \text{ mW/cm}^2$ . A continuación se aplicó la resina compuesta en dos incrementos hasta situar el piso gingival 1 mm coronal a la unión amelocementaria. Cada incremento se fotopolimerizó durante 40 segundos con la misma unidad de curado.



*Figura 4.5: A. Ubicación del margen gingival de la caja proximal 1 mm apical a la unión amelocementaria. B. Molar con reposición coronal del margen gingival.*

Tabla 4.1. Características, composición y procedimiento de aplicación de los sistemas adhesivos utilizados en el presente estudio

Adhesivo	Tipo	Composición	Procedimiento de aplicación realizado
<b>Adper Scotchbond 1XT (3M ESPE)</b>	Grabado ácido total de dos pasos	HEMA, Bis-GMA, dimetacrilato, copolímero metacrilato funcional a base de ácido poliacrílico y poliacrónico, agua y etanol. Nanorrelleno y fotoiniciador.	Grabado ácido: Aplicación de ácido ortofosfórico al 35% (Scotchbond Etchant) durante 15 segundos y lavado durante 10 segundos. Eliminación del exceso de humedad con bolitas de algodón o microesponjas sin desecar. Adhesivo: Aplicación de dos capas sucesivas con una brochita durante 10 segundos. Secado delicado con aire (2-5 segundos) para evaporar el solvente. Fotopolimerización durante 20 segundos.
<b>Clearfil SE Bond (Kuraray)</b>	Autograbador de dos pasos	Primer: HEMA, dimetacrilato hidrófilo, 10-MDP, N, N-dietatol-p-toluidina, canforoquinona, agua. Adhesivo: Sílice coloidal silanizado, Bis-GMA, HEMA, 10-MDP, dimetacrilato hidrófobo, dietatol-p-toluidina, canforoquinona.	Aplicación del primer durante 20 segundos seguido por un chorro suave de aire durante 5 segundos. Posteriormente se procede a la aplicación del adhesivo obteniendo una película uniforme usando un suave chorro de aire, y finalmente se fotopolimeriza durante 20 segundos.

HEMA: hidroxietil-metacrilato; Bis-GMA: Bisfenol-A-diglicidiléter dimetacrilato; 10-MDP: 10-metacriloxi decilo dihidrógeno fosfato.

## B. Preparación de las incrustaciones

Se realizó una impresión de cada preparación dentaria con la silicona de adición Virtual® en un paso, utilizando Heavy Body y Light Body (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) (Figura 4.6). Las impresiones se vaciaron con yeso tipo 4 (KERR-Lab, CA, EE.UU). Una vez obtenido el modelo, y antes de realizar las incrustaciones, se pincelaron dos capas de separador de modelos Gradia Separator (GC, Tabaskhi-Ku, Tokio, Japón) (Figura 4.7).

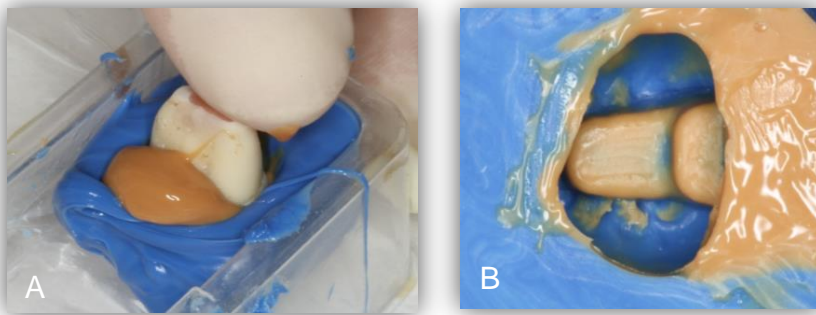


Figura 4.6: A. Toma de impresión con la silicona Virtual® en consistencia Heavy Body y Light Body. B. Impresión de la preparación.

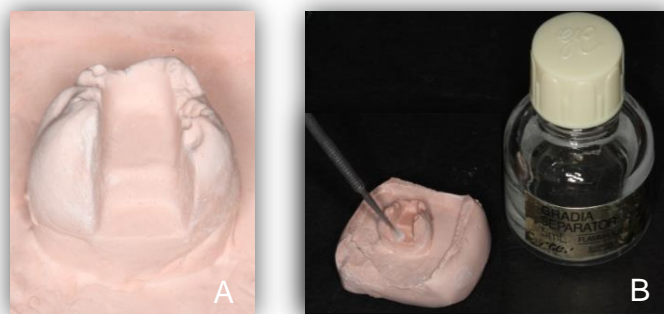
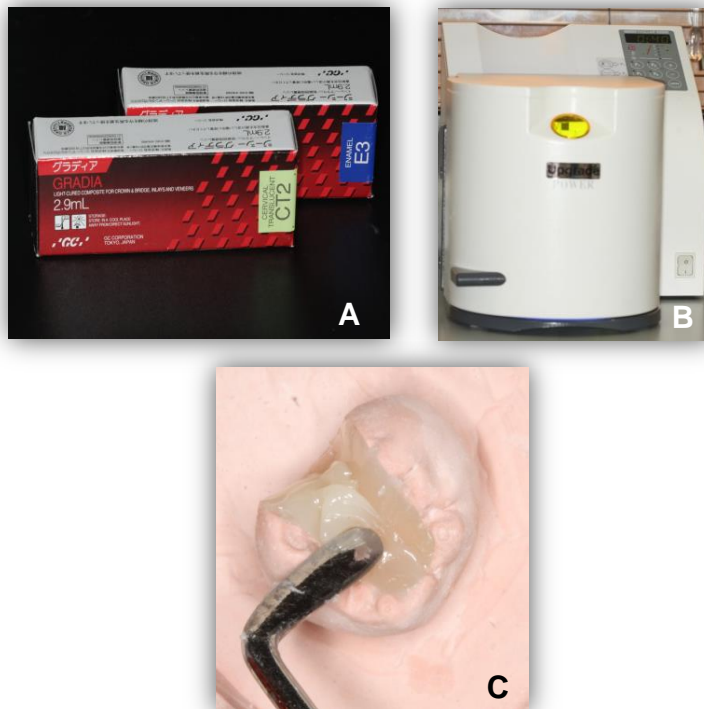


Figura 4.7: A. Modelo de escayola obtenido de una preparación. B. Aplicación del separador de modelos Gradia Separator.

## MATERIAL Y MÉTODO

---

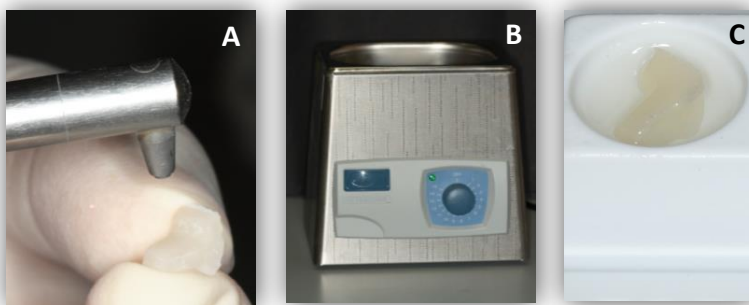
Posteriormente se realizaron las incrustaciones de composite utilizando la resina compuesta Gradia Indirect (GC), de acuerdo a las instrucciones del fabricante. Se colocó el composite en incrementos de 2 mm, fotopolimerizando cada uno con la unidad Elipar S10 durante 40 segundos. A continuación, para mejorar el grado de conversión del composite, se introdujeron en la unidad de polimerización Lumamat 100 (Ivoclar Vivadent), utilizando el programa 3, que aplica una temperatura de 104 °C y alta intensidad de luz durante 25 minutos (Figura 4.8).



*Figura 4.8: A. Composite utilizado para la fabricación de la incrustación. B. Unidad de polimerización Lumamat 100. C. Procedimiento de realización de la incrustación de composite.*

Antes del cementado de las incrustaciones, su superficie interna y la resina compuesta utilizada para reposicionar el piso en los molares,

se chorrearon con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$  (Rondoflex, KaVo, Biberach, Alemania), durante 10 segundos a una distancia de 10 mm. Posteriormente, las incrustaciones se limpiaron en un baño de agua destilada en ultrasonidos durante 10 minutos, tras lo cual se sumergieron en alcohol al 96% (Figura 4.9). Una vez secadas con aire, se pinceló sobre la superficie interna de la incrustación una fina capa del adhesivo Adper Scotchbond 1XT, se adelgazó con un chorro suave de aire durante 3 segundos y se fotopolimerizó durante 20 segundos.



*Figura 4.9: Preparación de la superficie interna de la incrustación: A. Chorreado con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$  B. Baño de ultrasonidos C. Incrustación sumergida en alcohol para su limpieza.*

### **C. Grupos experimentales y técnica de cementación**

Una vez preparadas las incrustaciones, los dientes se asignaron aleatoriamente a los siguientes grupos experimentales, de acuerdo a la situación del piso gingival de la caja proximal y al cemento de resina utilizado:

- **Dentina + RelyX ARC:** Las preparaciones cavitarias tenían el piso gingival de la caja proximal situado 1 mm apical a la unión amelocementaria y las incrustaciones fueron cementadas con el cemento resinoso convencional RelyX ARC, de color translúcido

(3M ESPE), de acuerdo al procedimiento de aplicación detallado en la Tabla 4.2.

- **RCMG + RelyX ARC:** Las preparaciones cavitarias presentaban el suelo gingival de la caja proximal reposicionado con resina compuesta 1 mm coronal a la unión amelocementaria. Las incrustaciones de este grupo se cementaron con RelyX ARC translúcido siguiendo el mismo procedimiento que en el grupo anterior.
- **Dentina + G-Cem:** Las preparaciones tenían el piso gingival de la caja proximal situado 1 mm apical a la unión amelocementaria y la cementación de la incrustación se realizó con el cemento resinoso autoadhesivo G-Cem en cápsulas (GC). No se realizó ningún tipo de tratamiento en la dentina, según el procedimiento detallado en la Tabla 4.2.
- **RCMG + G-Cem:** Las preparaciones presentaban el piso gingival de la caja proximal reposicionado a 1 mm coronal del margen preexistente. Las incrustaciones de este grupo también se cementaron con el cemento resinoso autoadhesivo G-Cem, siguiendo el mismo procedimiento que el grupo anterior.

La composición de los cementos utilizados, así como sus características y el procedimiento de aplicación se describen en la Tabla 4.2.

## MATERIAL Y MÉTODO

Tabla 4.2: Características, composición y procedimiento de aplicación de los cementos de resina utilizados en el presente estudio.

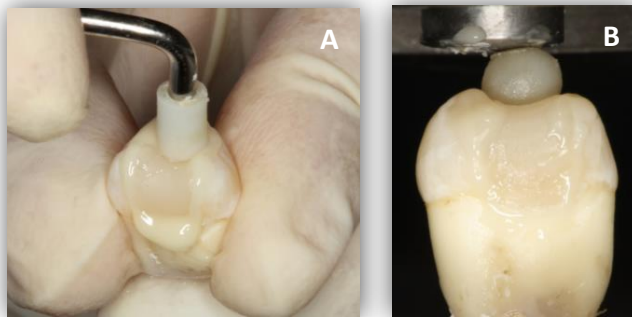
Cemento	Presentación	Tipo	Composición	Procedimiento de aplicación realizado
<b>RelyX ARC (3M ESPE)</b> <b>Color Trans (A1)</b>	Dispensador automático, mezclado manual	Grabado ácido curado total, dual	Bis-GMA, TEDGMA, polímero dimetacrilato. Pasta A: Aproximadamente un 68% en peso de relleno de zirconia/silíce, pigmentos, aminas, sistema fotoiniciador. Pasta B: Aproximadamente 67% de relleno de zirconia/silíce. Peróxido de benzoilo.	Aplicación sobre la superficie dental del sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT, siguiendo las instrucciones del fabricante. Se mezcló el cemento durante 10 segundos; se aplicó la mezcla tanto en la restauración como en la cavidad y se mantuvo una presión positiva (1 Kg, durante 5 minutos). Se fotopolimerizó 40 segundos por superficie.
<b>G-Cem (GC)</b> <b>Color Translúcido</b>	Cápsulas, mezclado mecánico	Autoadhesivo, curado dual	Polvo: Cristales de fluoroaluminosilicato, iniciador y pigmentos. Líquido: UDMA, dimetacrilato, 4-META, agua, monómeros éster del ácido fosfórico, dióxido de silicio, iniciador e inhibidor (estabilizador). Líquido: UDMA, dimetacrilato, 4-META, agua, monómeros éster del ácido fosfórico, dióxido de silicio, iniciador e inhibidor (estabilizador).	Se presionó la cápsula sobre una superficie dura para activarla. Se mezcló automáticamente durante 10 segundos con un vibrador. La mezcla se aplicó en la cavidad y en la restauración y se mantuvo una presión positiva (1 Kg, durante 5 minutos). Se fotopolimerizó 40 segundos por superficie.

TEDGMA: trietilenglicol dimetacrilato; UDMA: dimetacrilato de uretano; 4-META: 4 metacrilato trimelítico anhídrido

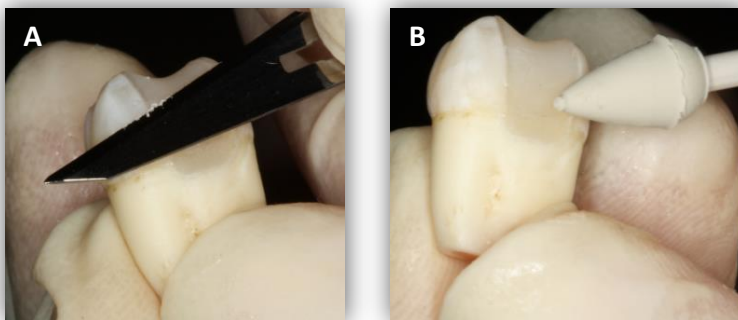
## MATERIAL Y MÉTODO

---

Una vez posicionada la incrustación en la preparación cavitaria se aplicó una carga de 1 Kg durante 5 minutos (Figura 4.10). El exceso de cemento se retiró con un pincel y posteriormente se fotopolimerizó durante 40 segundos por superficie, es decir, por oclusal, vestibular y lingual/palatino con la lámpara Elipar S10. El acabado y pulido de los márgenes se realizó con una hoja de bisturí del número 11 y con puntas de pulido PoGo (Dentsply, Ballaigues, Suiza) (Figura 4.11).



*Figura 4.10: A. Colocación de la incrustación; B. Aplicación de la carga de 1 Kg durante 5 minutos.*



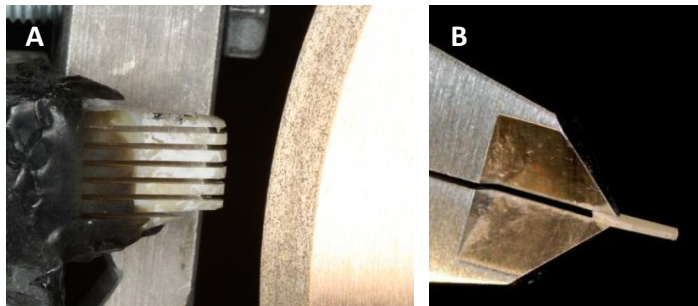
*Figura 4.11: A. Acabado y pulido tras la cementación con hojas de bisturí  
B. Pulido con puntas de pulido del sistema PoGo.*

Las incrustaciones cementadas se almacenaron durante un período de 7 días en agua destilada a 37°C en una estufa, hasta que se realizó el ensayo de microtracción.



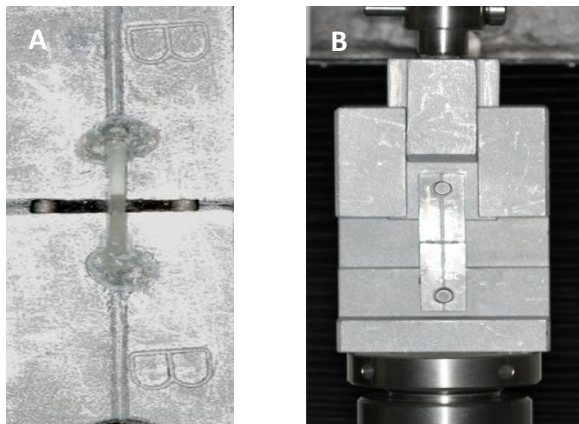
#### D. Ensayo de microtracción

Los dientes restaurados fueron seccionados utilizando un disco de corte de diamante dispuesto en la máquina de corte Isomet 5000 (Buehler, Lake Buff, IL, EE.UU.) con refrigeración acuosa. Los cortes se realizaron de forma seriada en dos direcciones X e Y, formando un ángulo de 90° entre sí, y perpendicularmente a la interfase adhesiva del piso gingival, para obtener barritas con un área aproximada de 0,8 mm<sup>2</sup> en su sección transversal. Las dimensiones exactas de cada barrita a nivel de la interfase se midieron usando un calibre digital (Mitutoyo, Tokio, Japón) (Figura 4.12). El número válido de barritas de la caja proximal que se obtuvo de cada diente fue variable, entre 1 a 3, debido a la pequeña dimensión de la caja, a la posición aleatoria del disco de corte y la presencia de esmalte en algunas de las barritas que hubo que descartar.



*Figura 4.12: A. Corte de una muestra utilizando la máquina de corte Isomet 5000 y B. Medición de la sección de una barrita con calibre digital Mitutoyo.*

Cada espécimen se fijó individualmente a unas pletinas de acero por sus extremos con cianocrilato (Loctite, Súper Glue-3, Henkel, Düsseldorf, Alemania). Se tuvo especial cuidado en evitar que dicho pegamento invadiera la interfase adhesiva y en que dicha interfase quedara perpendicular a la fuerza de tracción. Cada pletina se colocó en la mordaza de microtracción y ésta en la máquina de ensayos universales Instron 3345 (Instron Corp., Canton, MA, EE.UU.). Los especímenes fueron sometidos a tracción con una velocidad de travesaño de 0,5 mm/min hasta la fractura de la interfase (Figura 4.13). En el momento de la fractura, la carga se registraba automáticamente en Newtons (N). La resistencia adhesiva se calculó como el cociente de la carga en la fractura (N) y el área de la interfase adhesiva (mm<sup>2</sup>) y se expresó en MPa.



*Figura 4.13: A. Espécimen adherido a la pletina de acero. B. Espécimen adherido a la pletina y fijado en la mordaza para realizar el ensayo de microtracción.*

### E. Análisis del tipo de fallo

La interfase adhesiva de las barras fracturadas fue observada con el fin de determinar el tipo de fallo producido. La evaluación se realizó por un solo operador utilizando un estereomicroscopio (Olympus, Tokio, Japón) con una magnificación de 30 aumentos.

El tipo de fallo fue clasificado de la siguiente forma:

- *Adhesivo*, si la fractura tuvo lugar en una de las siguientes localizaciones:
  - Entre la dentina y el cemento de resina (grupo sin reposición coronal del margen gingival).
  - Adhesivo entre el composite utilizado para la RCMG y el cemento de resina (grupo con RCMG).
  - Adhesivo entre el cemento de resina y la incrustación.
- *Adhesivo mixto*: Cuando la fractura ocurrió entre la dentina y el cemento de resina o entre el composite utilizado para la RCMG y el cemento de resina, ocurriendo también entre el cemento de resina y la incrustación simultáneamente.
- *Cohesivo*: Cuando la fractura tuvo lugar en el seno de la dentina, del cemento de resina, o del composite utilizado para la RCMG o de la incrustación.
- *Mixto*: Cuando el fallo ocurrido fue simultáneamente adhesivo y cohesivo en la misma interfase

A continuación se seleccionaron especímenes representativos de cada uno de los grupos experimentales para la observación del modo de

fallo con microscopía electrónica de barrido. Los especímenes fueron metalizados con 15 nm de oro con una unidad de cobertura (SCD 005 Sputter Coater, BalTec, Balzers, Liechtenstein) antes de su observación con el microscopio electrónico de barrido (Phillips XL30 ESEM, FEI Company, Hillsboro, OR, EE.UU.).

### **4.2. Evaluación de la capacidad de sellado marginal mediante ensayo de nanofiltración**

#### **A. Preparación de los especímenes**

Para esta fase experimental se utilizaron dieciocho terceros molares humanos extraídos. Al igual que anteriormente, en cada diente se realizó una preparación cavitaria con paredes divergentes. En esta fase se incluyeron ambas superficies proximales, obteniendo así preparaciones mesio-ocluso-distales de tipo *inlay*. Las dimensiones de las preparaciones cavitarias y el procedimiento de tallado llevado a cabo fueron semejantes a lo descrito en el apartado 4.1, de determinación de la resistencia adhesiva. En esta fase, además de incluir las cajas mesial y distal en la preparación, se distinguieron 3 tipos de preparaciones de acuerdo a la localización del margen gingival de las cajas proximales:

- **Piso gingival en esmalte:** El margen gingival de la caja proximal mesial y distal se preparó en el esmalte, 1 mm coronal a la unión amelocementaria.
  
- **Piso gingival en dentina:** El margen gingival de las cajas proximales se preparó en dentina, 1 mm apical a la unión amelocementaria.

- **Piso gingival en composite.** El margen gingival de la caja proximal mesial y distal se preparó en dentina 1 mm apical a la unión amelocementaria y se realizó la RCMG con composite Filtek Z250 hasta 1 mm coronal al límite amelocementario. Las muestras fueron repartidas aleatoriamente en dos grupos de acuerdo a la estrategia adhesiva aplicada para reposicionar el piso gingival: Grabado ácido total con el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT, o bien, con el autograbador, Clearfil SE Bond (Kuraray Noritake Dental Inc, Okuyama, Japón), (Tabla 4.1). El procedimiento de aplicación del sistema adhesivo Adper Scotchbond 1 XT se citó previamente en el apartado de análisis de resistencia adhesiva. En el caso del sistema autograbador, se aplicó siguiendo las instrucciones también detalladas en la Tabla 4.1. Es decir, se realizó en primer lugar la aplicación del *primer* durante 20 segundos seguido por un chorro suave de aire durante 5 segundos. Posteriormente se procedió a la aplicación del adhesivo (*Bond*) obteniendo una película uniforme usando un suave chorro de aire, y finalmente se fotopolimerizó durante 20 segundos.

## **B. Preparación de las incrustaciones**

Al igual que en la primera fase se realizaron las impresiones de las preparaciones con la silicona de adición Virtual® (Heavy Body y Light Body). Posteriormente se vaciaron con yeso tipo 4 (KERR-Lab, CA, EE.UU.) y antes de realizar las incrustaciones se colocaron dos capas de separador de modelos Gradia Separator. Posteriormente se realizaron

las incrustaciones de composite utilizando Gradia Indirect, estratificando con incrementos de 2 mm y fotopolimerizando con la lámpara Elipar S10 durante 40 segundos. Por último se completó la fopolimerización en la unidad de polimerización Lumamat 100.

### **C. Grupos experimentales y técnica de cementación**

Al igual que en la fase anterior, la superficie interna de las incrustaciones se chorreó con partículas de óxido de aluminio de 50 µm, durante 10 segundos manteniendo una distancia de 10 mm de separación. También se chorreó el composite del diente preparado que se utilizó para reposicionar el margen gingival de las cajas proximales. Posteriormente, las incrustaciones se limpiaron con agua destilada en un baño de ultrasonidos durante 10 minutos, se sumergieron en alcohol y se secaron con aire. Sobre la superficie interna de la incrustación se aplicó una fina capa del adhesivo Adper Scotchbond 1XT, se aplicó aire durante 3 segundos y se fotopolimerizó durante 20 segundos.

Los dientes se asignaron aleatoriamente a los siguientes grupos experimentales, de acuerdo a la situación del margen gingival de la caja proximal (en dentina, en esmalte o en composite) y al cemento de resina utilizado (RelyX ARC + Adhesivo Adper Scotchbond 1XT o G-Cem). La composición y el modo de aplicación de los cementos evaluados se muestran en la Tabla 4.2.

- **Esmalte + RelyX ARC:** Las preparaciones presentaban el margen gingival de las cajas proximales situado en el esmalte, y la cementación de las incrustaciones se realizó con el cemento resinoso convencional RelyX ARC y el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT.

- **Dentina + RelyX ARC:** Las preparaciones tenían el margen gingival de las cajas proximales en dentina, y la cementación de las incrustaciones se llevó a cabo con el cemento resinoso convencional RelyX ARC tras la aplicación del Adper Scotchbond 1XT.
- **RCMG + RelyX ARC:** Se incluyeron las preparaciones en las que se realizó la reposición coronal del margen gingival de ambas cajas proximales con el composite Filtek Z250 utilizando el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT, y la cementación de las incrustaciones se realizó con RelyX ARC aplicando el mismo sistema adhesivo.
- **Esmalte + G-Cem:** Las preparaciones presentaban el margen gingival en el esmalte y se cementaron las incrustaciones con el cemento resinoso autoadhesivo G-Cem.
- **Dentina + G-Cem:** Los márgenes gingivales de las preparaciones estaban en la dentina y la cementación de las incrustaciones se realizó también con G-Cem.
- **RCMG + G-Cem:** Se reposicionó el margen gingival con el composite Filtek Z250 y el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT, y la posterior cementación de las incrustaciones fue con el cemento G-Cem.

Además de estos grupos, se prepararon tres grupos adicionales con el objetivo de evaluar la influencia de la estrategia adhesiva en la capacidad de sellado. Como anteriormente se indicó, los adhesivos evaluados fueron el sistema de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT, y el sistema autograbadador Clearfil SE Bond.

Ambos adhesivos se utilizaron previamente a la aplicación de la

resina compuesta Filtek Z250 utilizada para reposicionar el piso gingival, así como antes del cemento de resina convencional RelyX ARC. Para esta fase los grupos donde se utilizó el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT fueron los indicados previamente. Los nuevos grupos experimentales evaluados fueron los siguientes:

- **Esmalte + Clearfil SE Bond + RelyX ARC:** Las preparaciones tenían el margen gingival de la caja proximal situado en el esmalte, y la cementación de las incrustaciones se realizó con el cemento resinoso convencional RelyX ARC, utilizando el sistema adhesivo Clearfil SE Bond, realizando previamente el grabado selectivo del esmalte.

- **Dentina + Clearfil SE Bond + RelyX ARC:** Las preparaciones tenían el margen gingival de la caja proximal en la dentina, y la cementación de las incrustaciones se realizó con el cemento resinoso convencional RelyX ARC, utilizando el sistema adhesivo Clearfil SE Bond.

- **RCMG + Clearfil SE Bond + RelyX ARC:** En este grupo se reposicionó el margen con composite y el adhesivo Clearfil SE Bond. La cementación de las incrustaciones se realizó también con RelyX ARC junto con el mismo adhesivo autograbador.

Después de un período de almacenamiento de 7 días en agua destilada a 37°C, los dientes restaurados fueron sometidos a un ensayo de nanofiltración.

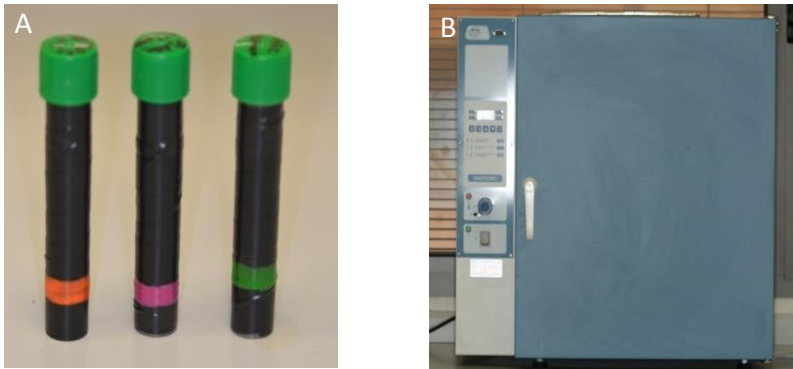


#### D. Ensayo de nanofiltración

Las superficies dentarias de los molares se cubrieron con dos capas de barniz de uñas (Neon Yesensy 122, Madrid, España), exceptuando la superficie correspondiente a las incrustaciones y un 1 mm de su periferia, con la intención de evitar la filtración dando lugar a falsos positivos (Figura 4.14). Posteriormente los molares fueron sumergidos en una solución de nitrato de plata amoniacal al 50% en volumen durante 24 horas en una estufa a 37°C, en un ambiente completamente oscuro (Figura 4.15). A continuación se lavaron con agua destilada durante 5 minutos, para luego ser incluidos en una sustancia fotorreveladora (Kodak, Nueva York, EE.UU.) durante 8 horas y durante este tiempo estuvieron expuestos a una luz fluorescente (Figura 4.16). Transcurrido este tiempo los molares se lavaron con agua destilada durante 1 minuto, tras lo cual se fijaron en una solución de glutaraldehído al 2,5 %, con un pH de 7,4 durante 12 horas a 4°C.



*Figura 4.14: Dientes restaurados pertenecientes a tres grupos experimentales, cubiertos con barniz de uñas a un 1 mm de la periferia de las incrustaciones.*



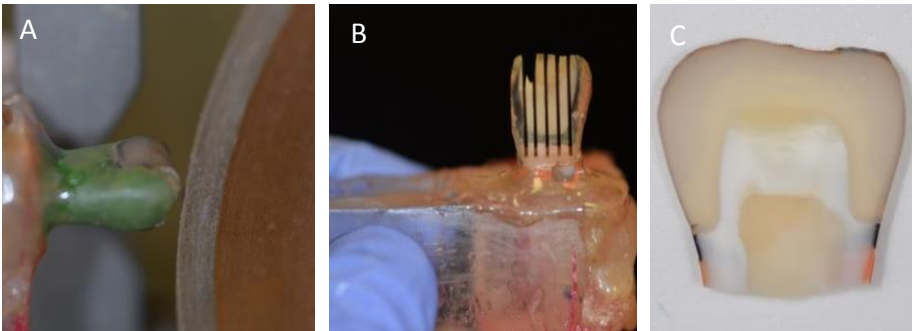
*Figura 4.15: A. Almacenamiento de las muestras en recipientes individuales con agua destilada protegidos de la luz ambiente mediante una superficie oscura, B. Almacenados en una estufa a 37C° durante 24 horas.*



*Figura 4.16: Muestras sumergidas en la solución fotorreveladora durante 8 horas y sometidas a la presencia de luz fluorescente.*

Los molares se cortaron longitudinalmente en sentido mesio-distal de forma seriada y perpendicularmente a la interfase adhesiva del piso gingival, con el fin de obtener láminas de aproximadamente 0,8 mm de espesor. Para realizar los cortes se utilizó la máquina de corte Isomet 5000 con abundante refrigeración (Figura 4.17). De nuevo, las

dimensiones exactas de cada lámina a nivel de la interfase se midieron usando el calibre digital Mitutoyo.



*Figura 4.17: A. Corte de forma seriada de una muestra utilizando la máquina de corte Isomet 5000. B. Muestra con los cortes ya realizados. C. Muestra de una lámina de aproximadamente 0,8 mm de espesor.*

Los detritus producidos por el corte de las muestras fueron removidos con ácido fosfórico al 0,5% durante 60 segundos. Posteriormente, las muestras fueron lavadas con cacodilato sódico 0,2 M con un pH de 7,4 durante una hora, con tres cambios seguidos de agua destilada durante un minuto. Tras esto se deshidrataron, en grados crecientes de etanol: 25% durante 20 minutos, 50% durante 20 minutos, 75% durante 20 min, 95 % durante 30 minutos, y 100% durante 30 minutos. Posteriormente las superficies de cada lámina se pulieron con discos de pulido de SiC de 800 y 1200 grit y pastas de pulir de alúmina (Buehler) de 1 y 0,3 micras durante 1 minuto. Los especímenes se colocaron 10 minutos en ultrasonidos en una solución de etanol al 100%, y se secaron al aire. Posteriormente se metalizaron con 15 nm de oro en una unidad de cobertura SCD005 y se observaron

con el mismo microscopio electrónico de barrido anteriormente indicado.

La nanofiltración se determinó por la presencia de depósitos de nitrato de plata en las diferentes interfases, calificándose como (El-Mowafy *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2009):

- Valor 0: No hubo nanofiltración.
- Valor 1: Filtración hasta la mitad de la pared gingival como máximo.
- Valor 2: Filtración entre la mitad de la pared gingival y la pared axial, pero sin afectar esta última.
- Valor 3: Filtración a lo largo de la pared axial.

### **4.3 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos tanto en el ensayo de microtracción como de nanofiltración fueron analizados con el paquete estadístico IBM SPSS 19 y 22 (IBM Corporation, Armonk, NY, EE.UU.). El nivel de significación estadístico aceptado en todos los casos fue de  $p < 0,05$ .

#### **4.3.1 Análisis estadístico de los resultados obtenidos de resistencia adhesiva.**

En primer lugar se realizó un análisis descriptivo de los datos de cada grupo experimental, incluyendo la media, desviación estándar y la mediana. Cada diente fue considerado como una unidad estadística y la media de la resistencia adhesiva de todos los especímenes del mismo

diente se utilizó con fines estadísticos. Los fallos pre-test fueron incluidos en el análisis estadístico asignándoles el valor intermedio entre cero y el valor de resistencia adhesiva más bajo obtenido en el ensayo (Luque-Martínez *et al.*, 2014). Este valor fue de 3,5 MPa. La prueba de normalidad se realizó con el test Shapiro-Wilk. Puesto que la distribución de los datos no presentaba normalidad, los valores de resistencia adhesiva se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. La comparación por pares posterior se realizó con el test de la U de Mann-Whitney.

#### **4.3.2 Análisis estadístico de los resultados obtenidos en la capacidad de sellado.**

Los datos fueron analizados de forma descriptiva, expresándose el grado de nanofiltración registrado en porcentaje para cada uno de los grupos experimentales. La unidad estadística considerada en el análisis fue el valor obtenido en cada caja proximal. A cada caja proximal se le atribuyó la puntuación correspondiente al mayor grado de nanofiltración registrado en las láminas obtenidas en cada caja. El grado de nanofiltración se analizó con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y las comparaciones posteriores por pares con la prueba de la U de Mann-Whitney. Posteriormente, y para facilitar la interpretación de los resultados, se aplicó la corrección de Bonferroni.



# 5 RESULTADOS





### 5.1. Resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción

En la Tabla 5.1 se muestra el análisis descriptivo de los valores de resistencia adhesiva obtenidos para cada grupo experimental. Puesto que los valores no presentaron una distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para detectar si existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos experimentales, obteniendo un valor de  $p=0,007$ .

*Tabla 5.1: Análisis descriptivo de los valores de resistencia adhesiva expresados en MPa obtenidos para cada grupo experimental.*

Grupos experimentales	Media	Desviación estándar	Mediana	Nº de dientes	Nº de barritas
Dentina + RelyX ARC	29,0	10,2	22,4	5	10
RCMG + RelyX ARC	37,3	12,1	38,0	7	13
Dentina + G-Cem	29,2	5,0	28,8	6	10
RCMG + G-Cem	46,2	16,9	50,2	7	17

A continuación se realizó la comparación por pares de los valores obtenidos en cada grupo experimental mediante la prueba de la U de Mann-Whitney. Los resultados se muestran en la Tabla 5.2. La reposición coronal del margen gingival aumentó la resistencia adhesiva de las incrustaciones de composite cementadas con el cemento G-Cem. En lo que respecta a las cementadas con RelyX ARC, los valores de resistencia adhesiva fueron similares para las dos localizaciones del piso gingival de la caja proximal. Por otra parte, no se detectaron diferencias

estadísticamente significativas en los valores de resistencia adhesiva obtenidos con ambos cementos de resina cuando se realizó la reposición coronal del margen gingival.

*Tabla 5.2: Resultados obtenidos en la prueba de la U de Mann-Whitney tras la comparación por pares entre los distintos grupos experimentales.*

<b>Comparaciones por pares</b>	<b>Significación estadística</b>
Dentina + RelyX ARC vs. RCMG + RelyX ARC	$p > 0,05$
Dentina + RelyX ARC vs. Dentina + G-Cem	$p > 0,05$
RCMG + RelyX ARC vs. Dentina + G-Cem	$p > 0,05$
RCMG + RelyX ARC vs. RCMG + G-Cem	$p > 0,05$
Dentina + G-Cem vs. RCMG + G-Cem	$p = 0,008$

### **Evaluación del patrón de fallo tras el ensayo de microtracción**

La distribución de los tipos de fallo de los especímenes sometidos a microtracción pertenecientes a los diferentes grupos experimentales se muestra en la Tabla 5.3.

El fallo predominante de las incrustaciones con margen en dentina cementadas con el cemento RelyX ARC fue fundamentalmente adhesivo mixto. Cuando se utilizó el cemento G-Cem para el mismo tipo de preparación (con margen en dentina), el tipo de fractura más frecuente fue el adhesivo entre el cemento de resina y la dentina, seguido por el adhesivo mixto.

En los dos grupos en los que se realizó la reposición coronal del margen gingival, el fallo predominante ocurrió en la interfase generada entre la dentina y el composite utilizado para la reposición coronal (RCMG + RelyX ARC: 84,6%; RCMG + G-Cem: 76,5%). En los especímenes en los que la fractura estuvo localizada en la interfase entre el composite utilizado para la reposición y la incrustación, el fallo predominante fue el adhesivo entre el cemento de resina y la incrustación, independientemente del cemento.

No se observaron fallos mixtos en ninguno de los grupos en la interfase con la incrustación.

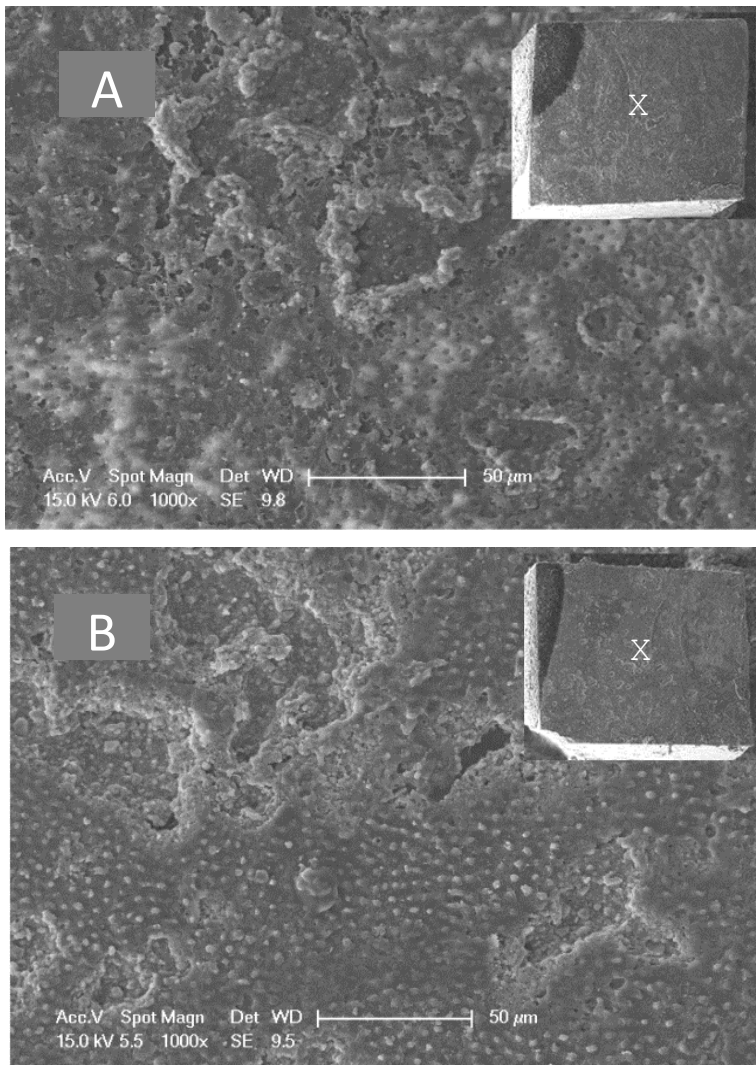
*Tabla 5.3: Distribución del tipo de fallo tras el ensayo de microtracción, expresado en porcentaje.*

Grupos	Tipo de fallo (%)					
	AD	AC	AI	AM	C	RCMG
Dentina + RelyX ARC	30,0	No aplicable	0	60	10,0	No aplicable
RCMG + RelyX ARC	No aplicable	0	15,4	0	0	84,6
Dentina + G-Cem	60,0	No aplicable	0	30	10,0	No aplicable
RCMG + G-Cem	No aplicable	0	11,7	5,9	5,9	76,5

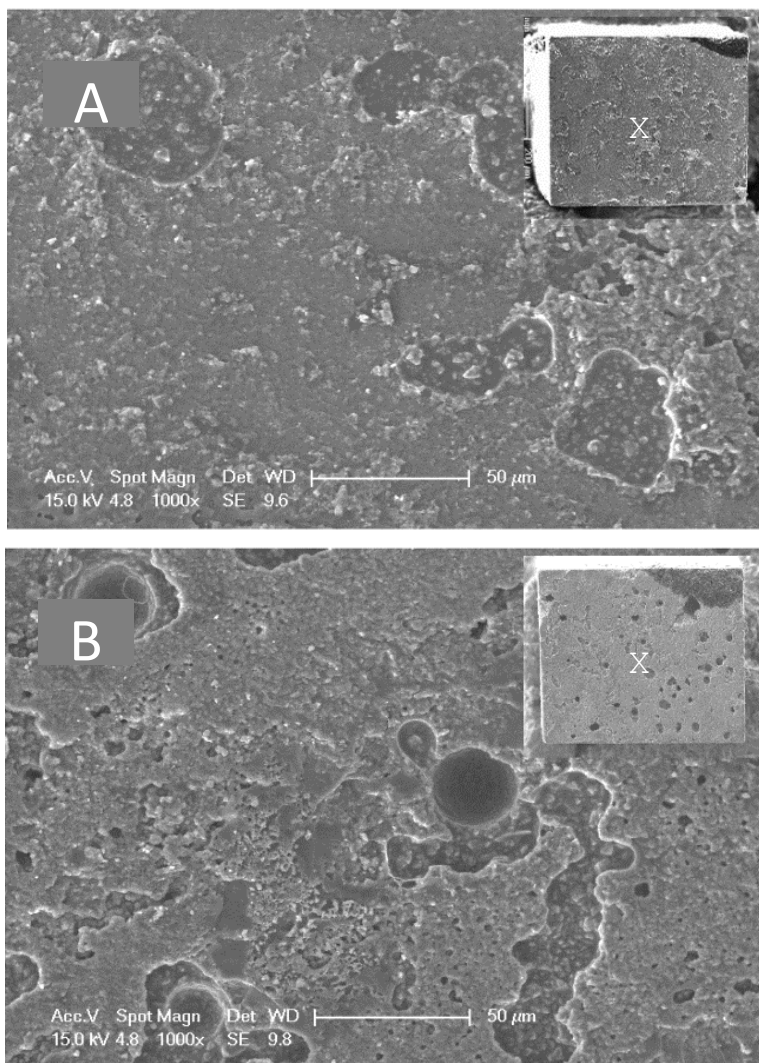
*Abreviaturas: AD, adhesivo entre la dentina y el cemento de resina (Grupos sin RCMG); AC, adhesivo entre el composite utilizado para RCMG y el cemento de resina (Grupos con RCMG); AI, Adhesivo entre el cemento de resina y la incrustación; AM, Adhesivo mixto, adhesivo en dentina-cemento de resina o composite de la reposición-cemento de resina y entre cemento-incrustación simultáneamente; C, cohesivo (fractura del cemento de resina, dentina o composite; RCMG (Grupos con RCMG), fallo entre la dentina y composite (RCMG).*

Como se ha citado anteriormente, el fallo adhesivo mixto fue el más frecuente en el grupo cementado con RelyX ARC con preparaciones que tenían el margen en dentina. En dicho grupo se observaba sobre la superficie de la dentina algunas áreas cubiertas de cemento de resina, y otras zonas desprovistas de cemento en las que se podían visualizar túbulos dentinarios expuestos (Figura 5.1 A). Sobre la superficie de la incrustación se observaban áreas cubiertas de cemento con algunos *tags* de resina, así como áreas en las que se exponía la superficie de la incrustación (Figura 5.1 B).

En el caso de las incrustaciones cementadas con G-Cem, en la mayoría de los especímenes se apreciaban en la superficie de dentina áreas cubiertas con barrillo dentinario, y con escasos restos de cemento (Fig. 5.2 A). Las superficies correspondientes de las incrustaciones, se mostraban cubiertas por cemento de resina, presentando en el seno del mismo burbujas de aire. A diferencia de los especímenes del grupo RelyX ARC, no se visualizaba sobre el cemento de resina la presencia de *tags* de resina (Fig. 5.2 B).



*Figura 5.1: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del tipo del fallo predominante del grupo Dentina + RelyX ARC (adhesivo mixto). A: superficie de dentina; B: superficie de incrustación.*



*Figura. 5.2: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del tipo de fallo predominante del grupo Dentina + G-Cem (adhesivo entre el cemento de resina y la dentina) A: superficie de dentina; B: superficie de incrustación.*

## **5.2. Capacidad de sellado mediante ensayo de nanofiltración**

Los resultados obtenidos fueron analizados de forma separada en dos apartados que se describen a continuación.

### **5.2.1. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival e influencia del tipo de cemento de resina utilizado en las interfases generadas.**

En los grupos con márgenes en esmalte y dentina, se generaron dos interfases una entre el cemento de resina y el esmalte o la dentina, y otra entre el cemento de resina y la incrustación, en todos los casos en esta última interfase la filtración por plata fue inexistente, es por ello que no se tomó en cuenta para el análisis estadístico en ninguno de los grupos, incluyendo para el análisis solamente las interfases entre el cemento de resina y el tejido dental. Por otro lado en los grupos donde se realizó la reposición coronal del margen gingival, se generaron tres interfases, una entre el composite de RCMG y la dentina, y dos más entre el composite de RCMG con la incrustación (composite-cemento de resina y cemento de resina-incrustación). En estas últimas dos la filtración por plata fue casi inexistente, es por ello que igualmente no se incluyeron en el análisis estadístico. Además eran diferentes sustratos adhesivos y preferimos centrarnos en lo que ocurría en la interfase con los tejidos dentales, es decir, la interfase generada entre el composite de RCMG y la dentina.

Los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad de sellado cuando se realiza la reposición coronal del margen gingival y la influencia del cemento de resina utilizado se muestran en la Tabla 5.4.

## RESULTADOS

---

Se analizó si había diferencias en la capacidad de sellado de la interfase generada entre la dentina y el composite utilizado para subir el piso gingival, y la interfase con el margen gingival en esmalte o dentina cuando se utilizaron ambos cementos. La prueba de Kruskal-Wallis reveló la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p < 0,001$ ).

Se hicieron posteriormente las comparaciones dos a dos entre los grupos utilizando la prueba de la U de Mann-Whitney y se aplicó la corrección de Bonferroni. Los resultados en cuanto a la significación estadística se muestran en la Tabla 5.4.

*Tabla 5.4: Valores de nanofiltración registrados para cada grupo experimental expresados en porcentaje y resultados de las comparaciones posteriores realizadas con el test de la U de Mann-Whitney y aplicada la corrección de Bonferroni.*

GRUPOS EXPERIMENTALES	Grado de nanofiltración (%)				Significación estadística
	0	1	2	3	
Esmalte + RelyX ARC	100	0	0	0	a
Dentina + RelyX ARC	0	100	0	0	b
RCMG + RelyX ARC (dentina-composite)	0	28,6	57,1	14,3	c
Esmalte + G-Cem	41,7	58,3	0	0	ab
Dentina + G-Cem	0	100	0	0	b
RCMG + G-Cem (dentina-composite)	0	13,3	53,3	33,3	c

*Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).*

La capacidad de sellado de las incrustaciones cementadas con el margen situado en el esmalte fue estadísticamente similar para ambos



cementos, a pesar de que la nanofiltración fue inexistente para el cemento RelyX ARC. Los dos grupos con el margen en dentina (independientemente del cemento de resina utilizado) presentaron grados de nanofiltración superiores al grupo Esmalte + RelyX ARC, y similares estadísticamente a las incrustaciones cementadas con el cemento resinoso G-Cem en preparaciones con el margen en el esmalte.

Los valores más elevados de nanofiltración fueron los observados en los grupos en los que se reposicionó el margen gingival (RCMG), en la interfase composite de RCMG y la dentina.

**Micrografías representativas de los grupos con márgenes en esmalte, dentina y aplicando la técnica de reposición coronal del margen gingival, tras la cementación de incrustaciones con los dos cementos de resina:**

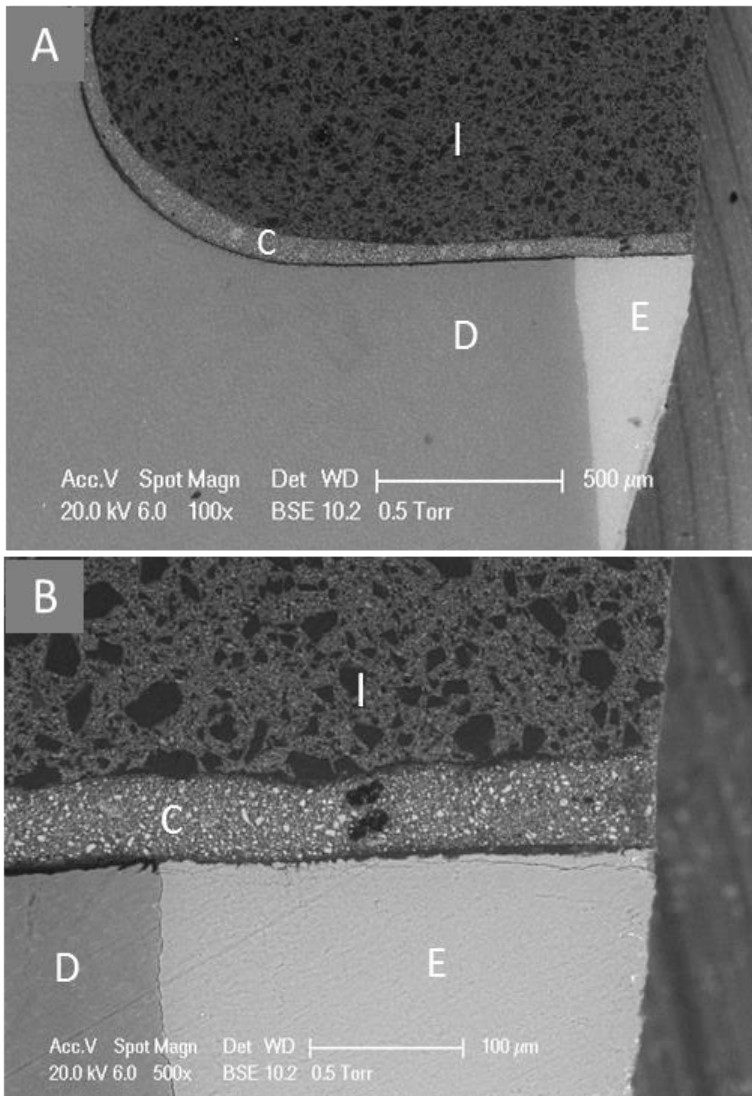
#### **Cemento de resina RelyX ARC**

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido representativas de los grupos cementados con RelyX ARC se observó una ausencia total de filtración por plata cuando el margen se posicionaba en esmalte (valor 0), tal y como se muestra en la Figura 5.3.

Las incrustaciones preparadas con el margen gingival en dentina, reflejaron una penetración de plata sin alcanzar la mitad del piso gingival (valor 1) (Figura 5.4 A, flecha blanca), caracterizándose por la formación de áreas de acumulación reticular en la base de la capa híbrida (Figura 5.4 B, área demarcada por flecha amarilla). También se observó la presencia de plata en el interior de los túbulos dentinarios (Figura 5.4 B,

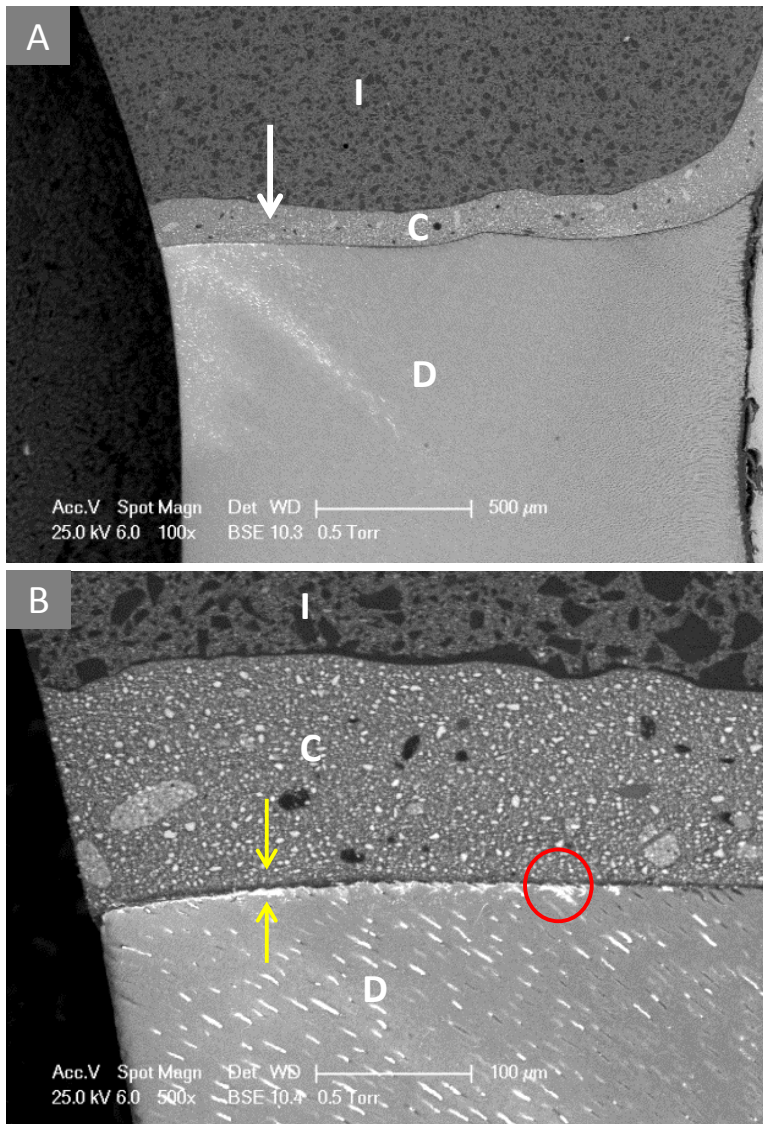
círculo).

Cuando se realizó la RCMG, se observó en la mayoría de los especímenes filtración de la plata a través de la interfase composite-dentina sin afectar la pared axial (valor 2) (Figura 5.5 A). Los acúmulos de plata se observaron de igual forma que en el grupo anterior, con una disposición reticular y penetración en el interior de los túbulos dentinarios (Figura 5.5 B, flechas amarillas y círculo, respectivamente). Las interfases entre el composite utilizado para RCMG y la incrustación en la mayoría de los especímenes no presentó nanofiltración tal y como se puede observar en la Figura 5.5 A.



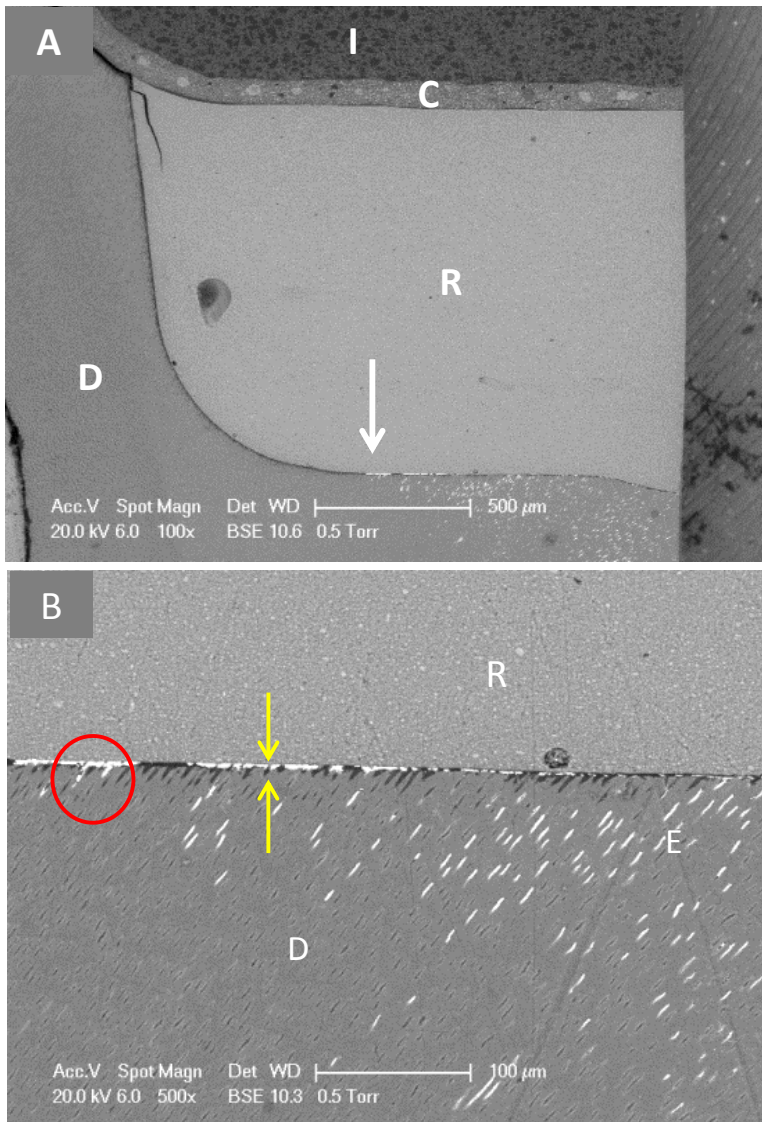
*Figura 5.3: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con margen en esmalte y cementado con RelyX ARC, previa aplicación del sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; E: Esmalte; D: Dentina.*



*Figura 5.4: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con el margen en dentina y cementado con RelyX ARC previa aplicación del sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina.*



*Figura 5.5: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con RCMG y cementado con RelyX ARC previa aplicación del sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina; R: Reposición coronal del margen gingival con composite.*

### **Cemento de resina G-Cem**

En las imágenes de microscopía electrónica de barrido pertenecientes al grupo con el margen en esmalte, se observó poca cantidad de plata a través de la interfase del esmalte con el cemento de resina, sin que ésta llegara a la mitad de la pared gingival (valor 1) (Figura 5.6 A y B).

Cuando los márgenes se prepararon en dentina, de igual forma, se observó filtración escasa por plata en todos los especímenes sin llegar a la mitad de la pared gingival, tal y como se muestra en la Figura 5.7 A (flecha blanca). La plata se evidenciaba en un área estrecha de acumulación reticular dentro de la interfase adhesiva (Figura 5.7 B, área entre flechas), así como en algunas zonas dentro de los túbulos dentinarios pero en menor medida que en el grupo correspondiente de RelyX ARC (Figura 5.7 B, círculo).

En la mayoría de los especímenes del grupo donde se realizó la RCMG, se observó filtración de la plata a través de la interfase entre la dentina y el composite de RCMG, sobrepasando la mitad de la pared gingival pero sin alcanzar la pared axial (Valor 2) (Figura 5.8 A, flecha blanca). En este caso, el depósito de plata era delgado y discontinuo apreciándose en la base de la capa híbrida (Figura 5.8 B, flechas blancas) y también en los túbulos dentinarios (Figura 5.8 B, círculos). En las interfases entre el composite y la incrustación, en la mayoría de los especímenes no se observó filtración (Figura 5.8 A).

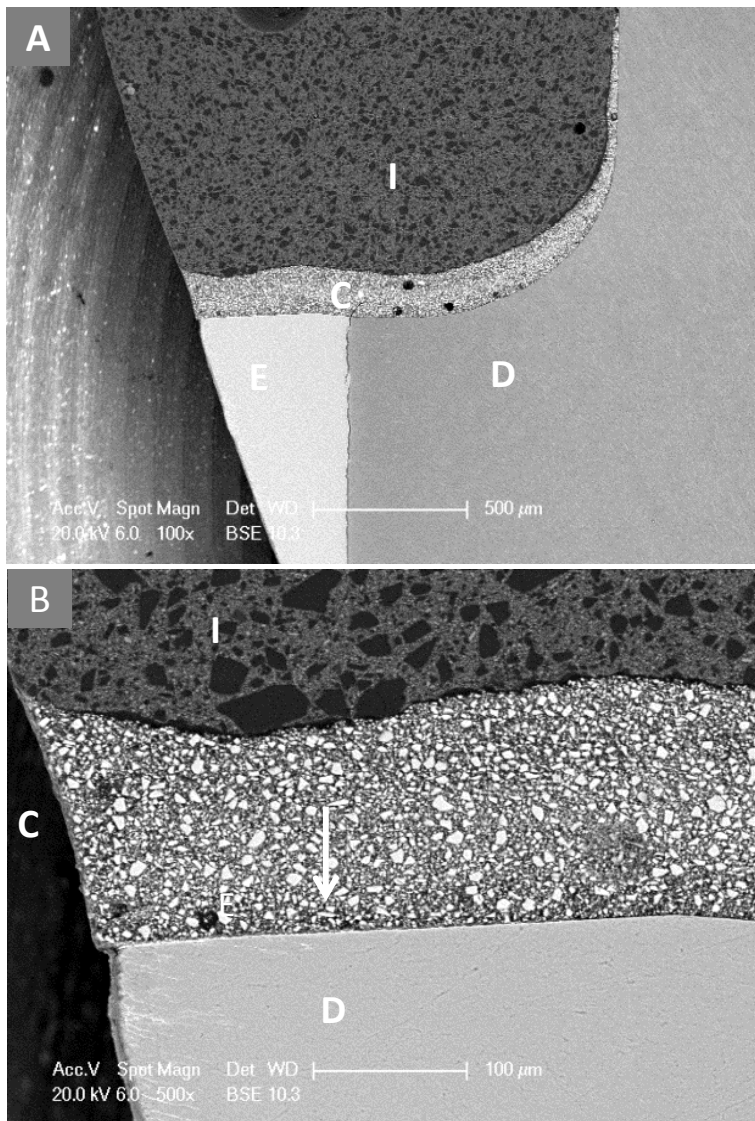


Figura 5.6: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con el margen en esmalte y cementado con G-Cem. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.

I: Incrustación; C: Cemento de resina; E: Esmalte; D: Dentina.

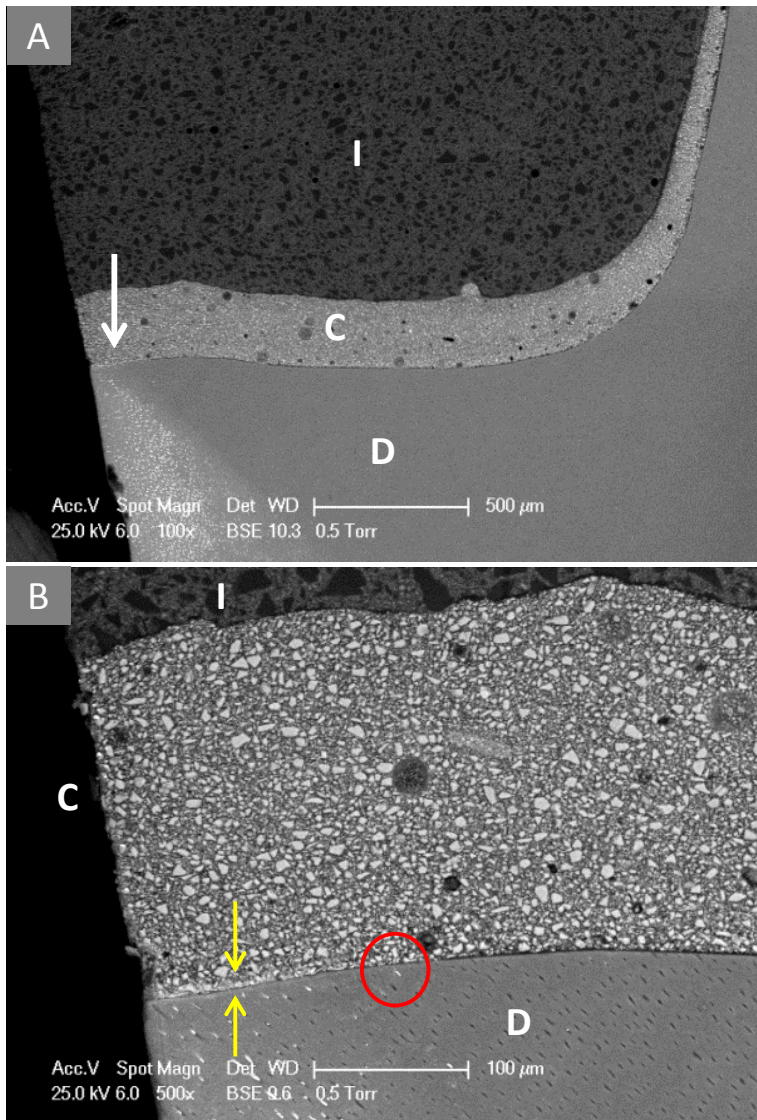
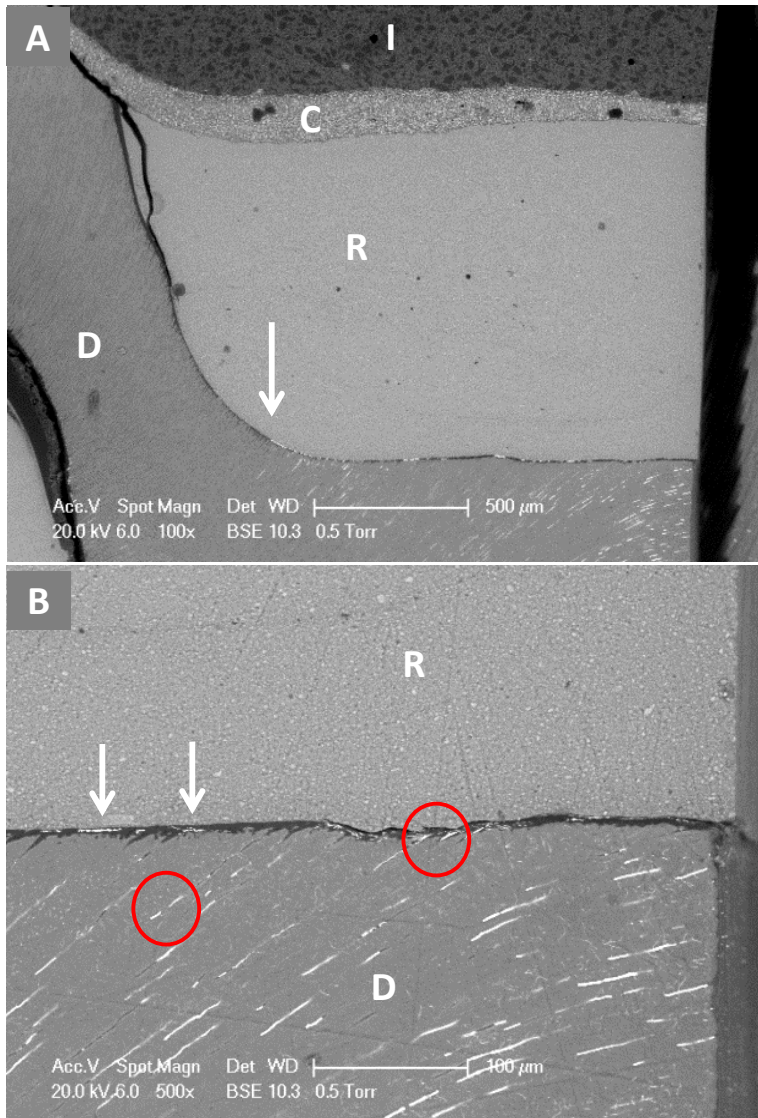


Figura 5.7: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con el margen en dentina y cementado con G-Cem. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.

I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina.





*Figura 5.8: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con RCMG (sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT para la RCMG) y cementados con G-Cem. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina; R: Reposición coronal del margen gingival con composite.*

**5.2.2. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival de acuerdo a la estrategia adhesiva aplicada**

Los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival según la estrategia adhesiva utilizada se muestran en la Tabla 5.5.

*Tabla 5.5: Valores de nanofiltración obtenidos para cada grupo experimental expresados en porcentaje y de las comparaciones posteriores realizadas con el test de la U de Mann-Whitney y aplicada la corrección de Bonferroni.*

GRUPOS EXPERIMENTALES	Nivel de nanofiltración (%)				Significación estadística
	0	1	2	3	
Esmalte + Scotchbond 1XT	100	0	0	0	a
Dentina + Scotchbond 1XT	0	100	0	0	b
RCMG + Scotchbond 1XT (interfase dentina-composite)	0	28,6	57,1	14,3	c
Esmalte + Clearfil SE Bond	100	0	0	0	a
Dentina + Clearfil SE Bond	61,5	38,5	0	0	a
RCMG + Clearfil SE Bond (interfase dentina-composite)	68,8	31,2	0	0	a

*\* Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ).*

Al igual que en el apartado anterior la filtración por plata fue casi inexistente en las interfases generadas entre el composite de RCMG y la incrustación para ambas estrategias adhesivas, por lo que no se consideraron en el análisis estadístico. Únicamente se evaluó el grado de nanofiltración de las interfases entre la dentina y el composite

utilizado para reposicionar el margen gingival, comparándolas con los valores obtenidos en las preparaciones con márgenes en esmalte y dentina en las interfases entre el cemento de resina y el tejido dental, utilizando los dos sistemas adhesivos. En esta ocasión, la cementación de las incrustaciones se realizó con el mismo cemento (RelyX ARC).

Los resultados mostraron que existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ( $p < 0,001$ ). Por tanto, se realizaron las comparaciones dos a dos utilizando la prueba de la U de Mann-Whitney y se aplicó la corrección de Bonferroni. Los resultados se muestran en la Tabla 5.5.

Los grupos con el margen gingival en esmalte no presentaron nanofiltración, independientemente del sistema adhesivo evaluado. La capacidad de sellado al esmalte con los dos adhesivos fue estadísticamente similar a la obtenida por los otros dos grupos en los que se utilizó el adhesivo Clearfil SE Bond, con el margen gingival en dentina y con reposición coronal del margen gingival. Las incrustaciones con el margen gingival en dentina, empleando el adhesivo Adper Scotchbond 1XT mostraron una capacidad de sellado intermedia a los grupos con margen gingival en esmalte y reposición coronal con el mismo adhesivo. Por tanto, la peor capacidad de sellado fue la registrada cuando se utilizó el adhesivo Adper Scotchbond 1XT para reposicionar el piso gingival.

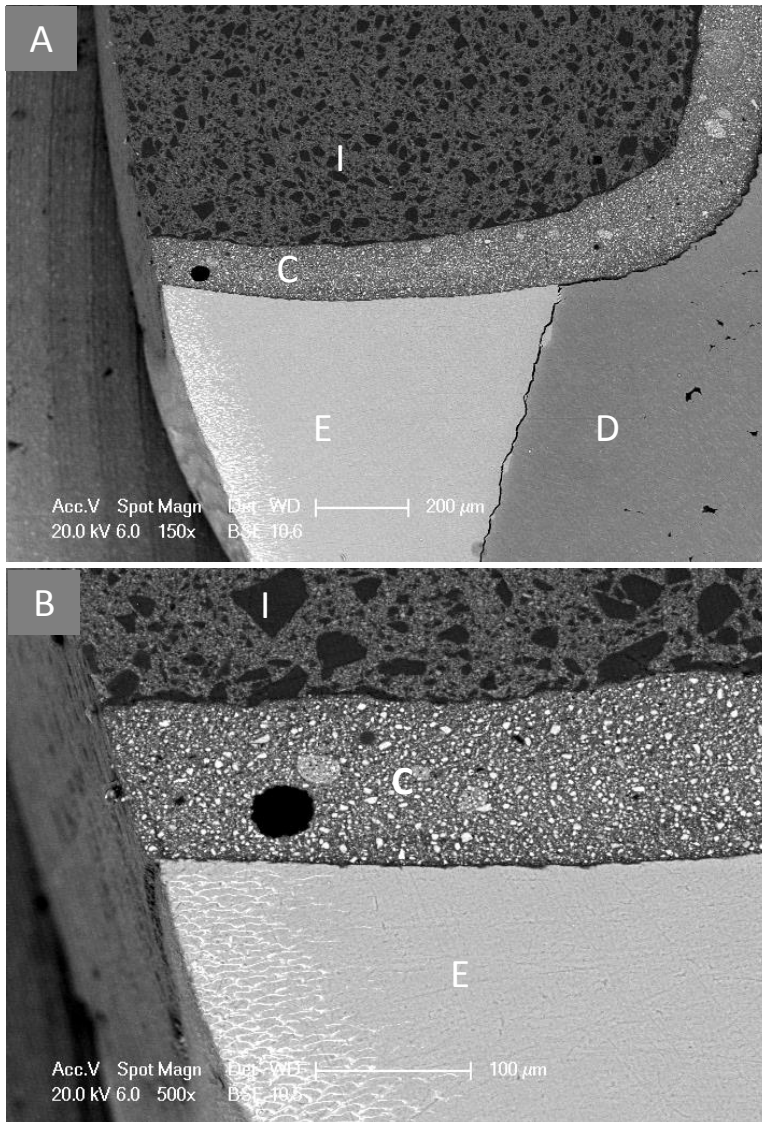
**Micrografías representativas de los grupos con margenes en esmalte, dentina y aplicando la técnica de reposición coronal del margen gingival utilizando dos estrategias adhesivas diferentes:**

### **Adper Scotchbond 1XT**

Las imágenes representativas del grado de nanofiltración observado mediante microscopía electrónica de barrido de los grupos en los que se utilizó el adhesivo de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT se muestran en las Figuras 5.3-5.5. Dichas imágenes fueron explicadas en el apartado anterior.

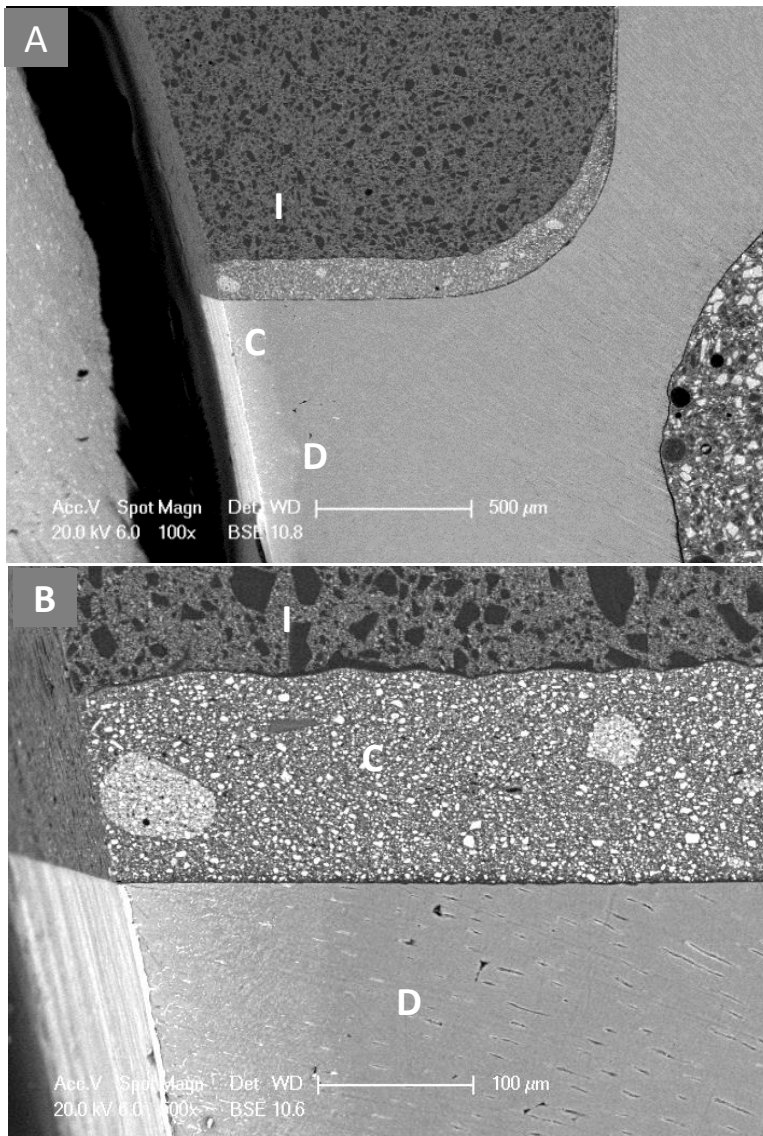
### **Clearfil SE Bond**

Las imágenes de microscopía electrónica de barrido del grupo con margen en esmalte, mostraron ausencia total de nanofiltración (valor 0), y como ejemplo de ello se muestra en la Figura 5.9 A y B. En el grupo con márgenes en dentina, también se observó ausencia de nanofiltración en la mayoría de las muestras (Figura 5.10 A y B). Cuando se realizó la reposición coronal del margen gingival, la filtración fue inexistente excepto en un menor número de muestras, en las que se podía observar una capa muy delgada de plata en la interfase entre la dentina y composite utilizado para la reposición coronal, sin llegar a la mitad del piso gingival. También se observaron escasos acúmulos de plata en el interior de algunos túbulos dentinarios, tal y como se aprecia en la Figura 5.11 B, señalado con círculo rojo. Las interfases entre el composite utilizado para reposicionar el piso y la incrustación no mostraron ningún grado de nanofiltración (Figura 5.5 E).



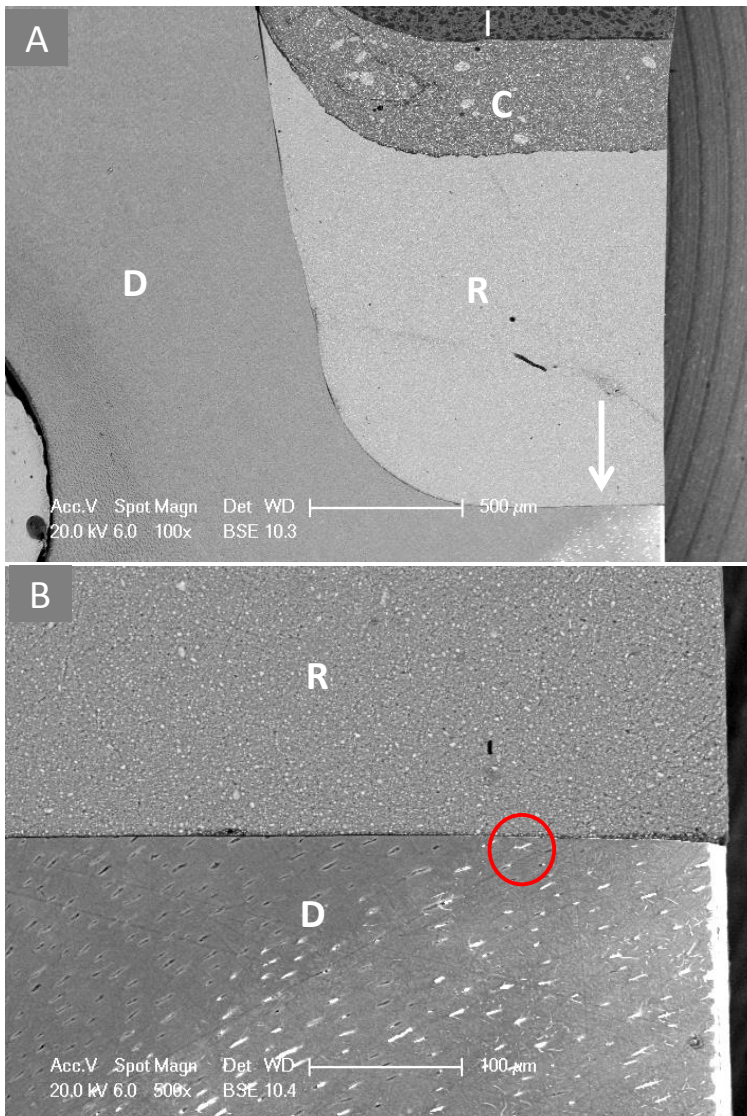
*Figura 5.9: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con margen en esmalte y cementado con RelyX ARC, usando el sistema adhesivo Clearfil SE Bond. A: Aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; E: Esmalte; D: Dentina.*



*Figura 5.10: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con margen en dentina y cementado con RelyX ARC, usando el sistema adhesivo Clearfil SE Bond. A: aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina.*



*Figura 5.11: Imágenes representativas de microscopía electrónica de barrido del patrón de nanofiltración del grupo con reposición coronal del margen gingival y cementado con RelyX ARC, usando el sistema adhesivo Clearfil SE Bond, tanto para la cementación como para la RCMG. A: aumento de 100x y B: Aumento de 500x.*

*I: Incrustación; C: Cemento de resina; D: Dentina; R: Reposición coronal del margen gingival (Composite).*





# 6 DISCUSIÓN



Actualmente la mayoría de las restauraciones en el sector posterior se realizan con resina compuesta de forma directa. Sin embargo, hay situaciones en las que existe una gran destrucción del tejido dentario, lo que implica que estas restauraciones sean difíciles de realizar debido a la imposibilidad de controlar factores como la contracción de polimerización, márgenes ligeramente subgingivales, dificultad en la restitución del punto de contacto, anatomía oclusal, múltiples restauraciones, etc. Una alternativa a estas restauraciones directas son las incrustaciones de composite (Veneziani, 2010; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016).

En ocasiones, los márgenes cervicales de las cavidades están ligeramente subgingivales. En estos casos, la reposición coronal del margen gingival es un procedimiento alternativo menos invasivo que otros, tales como el alargamiento de corona clínica (Dietschi y Spreafico, 1998b; Dietschi *et al.*, 2003). Este enfoque facilita los procedimientos clínicos de preparación de la cavidad, toma de impresión, el aislamiento absoluto con dique de goma, la cementación adhesiva, posicionamiento final de la restauración y el acabado y pulido de los márgenes cervicales (Dietschi *et al.*, 2003; Veneziani, 2010; Roggendorf *et al.*, 2012; Zaruba *et al.*, 2013; Frankenberger *et al.*, 2013; Ilgenstein *et al.*, 2015).

Por otro lado, las restauraciones indirectas de composite necesariamente deben ser cementadas con cementos resinosos. Al igual que los adhesivos dentales, los cementos de resina, han ido evolucionando hacia un procedimiento de aplicación más simple. Actualmente los cementos autoadhesivos constituyen una alternativa

más novedosa y disponible para la cementación de incrustaciones, coronas y postes de fibra de vidrio (De Munck *et al.*, 2004; Yang *et al.*, 2006; Hikita *et al.*, 2007; Viotti *et al.*, 2009; Weiser y Behr, 2015).

Para la evaluación de las restauraciones los estudios clínicos son los ideales pero presentan inconvenientes importantes como la dificultad para discriminar el factor o factores específicos que causaron el fallo de las mismas, además de ser mucho más costosos y requerir mayor tiempo. En contraste, en los ensayos *in vitro* se pueden dilucidar los factores específicos que tienen influencia en la eficacia adhesiva a largo plazo (De Munck *et al.*, 2005). Por tanto, los ensayos *in vitro* son una herramienta importante para predecir el comportamiento clínico de los sistemas adhesivos (Heintze *et al.*, 2011).

### **6.1. Evaluación de la resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción**

Las pruebas *in vitro* de resistencia adhesiva son las utilizadas más frecuentemente para evaluar la eficacia adhesiva al esmalte, dentina y a otros sustratos. Cuanto más fuerte sea la adhesión entre el diente y el biomaterial, mejor resistirá el estrés generado en la interfase por la contracción de polimerización de la resina compuesta, así como por la función oral (Pashley *et al.*, 1995; Pashley *et al.*, 1999; De Munck *et al.*, 2005). El objetivo final de cualquier análisis *in vitro* es, lógicamente, obtener unos datos sólidos y consistentes capaces de predecir el comportamiento clínico del material en cuestión (Van Meerbeek *et al.*, 2010).

Actualmente, existen diferentes metodologías *in vitro* para evaluar la resistencia adhesiva. Los métodos pueden ser macro o microensayos, dependiendo del tamaño de la interfase adhesiva. Los métodos macro se utilizan en muestras cuya superficie adherida supera los 3 mm<sup>2</sup> y comprenden las pruebas de resistencia a la cizalla y la tracción (Van Meerbeek *et al.*, 2010).

En las pruebas a nivel micro, la superficie adherida tiene dimensiones reducidas, de aproximadamente 1 mm<sup>2</sup> o menos (Van Meerbeek *et al.*, 2010). En ellas se pretende mejorar la distribución de la fuerza aplicada, ya que el número de espacios vacíos y otros factores son menores que los que posiblemente se producen en áreas mayores (Pashley *et al.*, 1999; Andrade *et al.*, 2010). Dentro de ellos se distinguen los ensayos de microtracción y los de microcizalla.

La prueba de microtracción se ha convertido en la más popular para cuantificar la resistencia adhesiva a la dentina y fue desarrollada por Sano *et al.* (1994a). Existe una larga lista de ventajas de esta técnica en comparación con las pruebas macro de resistencia adhesiva, destacando la obtención de múltiples muestras de un mismo diente, la posibilidad de evaluar distintas localizaciones (caja proximal vs caja oclusal) y distintos tipos de tejido dentinario (dentina sana vs dentina afectada por caries) dentro de un mismo diente (Yang *et al.*, 2006), así como la de permitir una mejor distribución de las tensiones generadas en la interfase (Sano *et al.*, 1994a; Pashley *et al.*, 1999; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Actualmente existen dos formas de preparar los especímenes para ser sometidos a microtracción. Una sería con forma de palitos o barritas, mientras que la otra requiere darle una forma semicircular en la zona de la interfase adhesiva a modo de reloj de arena tras su sección (Neves *et al.*, 2008; Neves *et al.*, 2009). En este segundo caso, se produce una mejor concentración de las tensiones en la interfase adhesiva pero implica un procedimiento más invasivo del espécimen y es una técnica más sensible (Sadek *et al.*, 2006; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Es por ello que para nuestro estudio se realizó la técnica en la que los especímenes tienen forma de palitos o barritas.

Presenta también, como todo ensayo, una serie de inconvenientes, pues se trata de una técnica más laboriosa, sumado a otros factores como la posible deshidratación de estas pequeñas muestras, la dificultad para medir la resistencia adhesiva inferior a 5 MPa y que los especímenes se pueden dañar fácilmente o perder,

incluso tras realizar la prueba (Pashley *et al.*, 1995; Pashley *et al.* 1999; Sirisha *et al.*, 2014).

En la primera parte del presente estudio se evaluó la influencia de la reposición coronal del margen gingival en la resistencia adhesiva mediante ensayo de microtracción en las interfases generadas tras el cementado de incrustaciones de composite, usando un cemento de resina convencional (RelyX ARC) y uno autoadhesivo (G-Cem). De acuerdo a los resultados obtenidos, la primera hipótesis nula ha de ser rechazada, puesto que las incrustaciones en las que se realizó la reposición del margen gingival y se cementaron con G-Cem mostraron valores más elevados de resistencia adhesiva. En el caso del grupo cementado con RelyX ARC y con reposición coronal del margen gingival, los valores registrados mostraron una tendencia a ser más altos que los obtenidos para los grupos sin reposición del margen gingival. Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

La tendencia a obtener valores de resistencia adhesivos más altos cuando se reposiciona el margen gingival, puede atribuirse a diferentes motivos. Por un lado, la fotopolimerización del cemento a través de la incrustación se facilita cuando la caja proximal presenta una menor profundidad. Se ha reportado en la literatura una atenuación dramática e la irradiación de luz con el aumento del espesor del material de restauración indirecto, resultando en una disminución del grado de curado del cemento de resina (Musanje y Darvell, 2006; Acquaviva *et al.*, 2009). El curado químico por sí solo no tiene la capacidad de polimerizar por completo los cementos de resina (Giraldez

*et al.*, 2011). A su vez, una deficiencia o una polimerización menor del cemento de resina reduce su resistencia adhesiva a los tejidos dentales (Piwowarczyk *et al.*, 2007; Arrais *et al.*, 2007; De Durão *et al.*, 2007; Holderegger *et al.*, 2008).

Sin embargo, la razón principal podría ser la buena interacción que existe entre el composite usado para la reposición coronal del margen y los cementos de resina. La superficie del composite fue tratada de forma previa a la cementación mediante un arenado con partículas de óxido de aluminio. El chorreado promueve la creación microrrugosidades que favorecen la retención micromecánica al composite ya pre-curado (Dall'Oca *et al.*, 2007; Rodrigues, Ferracane y Della Bona, 2009). Por otra parte, al reposicionar coronalmente el margen gingival, simultáneamente se ha realizado en esa zona de la caja proximal un sellado inmediato de la dentina recién preparada en la pared gingival. En estudios *in vitro* previos se ha mostrado un incremento en los valores de resistencia adhesiva de restauraciones indirectas cuando se realiza el sellado inmediato de la dentina, la mayoría de estos en superficies planas (Magne *et al.*, 2005; Magne, So y Cascione, 2007; Santana *et al.*, 2016) y algún otro incluso cuando se realizan cavidades (Duarte *et al.*, 2009). Diversos autores apoyan la idea de que la dentina recién cortada es un sustrato ideal para adherirse (Pashley *et al.*, 1992; Magne *et al.*, 2005; De Andrade, de Goes y Montes, 2007). El momento para realizar esta técnica sería tras el tallado y antes de la toma de impresión (Magne, 2005; Magne *et al.*, 2005), de esta manera se consigue aumentar la resistencia adhesiva



(Jayasooriya *et al.*, 2003b; Ozturk y Aykent, 2003) y disminuir la formación de *gaps* (Magne y Douglas, 1999; Jayasooriya *et al.*, 2003a).

A pesar de esta mejora en la adhesión en los grupos en los que se reposicionó el margen, el fallo se localizó de forma preferente en la interfase entre la dentina y el composite utilizado para la reposición. Esto pone de manifiesto que esta interfase es la más crítica y responsable de los valores de resistencia adhesiva obtenidos (Rocca *et al.*, 2012).

De acuerdo a estudios anteriores, la pared gingival de una restauración directa de clase II de composite es donde son más frecuentes los fracasos, principalmente por debajo de la unión amelocementaria, y por tanto con ausencia del esmalte, sustrato éste último al que la fuerza de adhesión es mayor y más predecible (Demarco *et al.*, 2001; Purk *et al.*, 2004; Van Meerbeek *et al.*, 2005; de Mattos *et al.*, 2013). La resistencia adhesiva a la dentina de la región cervical, puede estar relacionada con un factor de configuración cavitaria desfavorable en la caja proximal de una clase II (de Mattos *et al.*, 2013). El factor de configuración cavitaria o factor C es la relación entre las superficies adheridas y libres de la cavidad. Un factor C elevado se asocia a un mayor estrés de polimerización en la interfase (Feilzer, de Gee y Davidson, 1990; Bagis, Baltacioglu y Kahyaogullari, 2009), resultando en menores valores de resistencia adhesiva (Purk *et al.*, 2004), y por otro lado, aumentando la filtración marginal (Wibowo y Stockton, 2001; Ozel, Korkmaz y Attar, 2008) y la formación de *gaps* (Demarco *et al.*, 2001).

Las características histológicas de la dentina de la región cervical contribuyen a estos resultados, pues los túbulos dentinarios en el piso gingival adoptan una disposición oblicua y paralela a esa pared, haciendo por un lado, que disminuya la cantidad disponible de dentina intertubular, y por otro lado, que la entrada de los túbulos no se esponga en la superficie adhesiva dificultando aún más la infiltración de la resina adhesiva (Sattabanasuk, Shimada y Tagami, 2004; Cavalcanti *et al.*, 2010). Además, esta zona corresponde a una dentina profunda, que se caracteriza por la presencia de una densidad y diámetro mayor de los tubulos (Garberoglio, 1994; Van Meerbeek *et al.*, 2005; Cavalcanti *et al.*, 2008; Cavalcanti *et al.*, 2010). Como consecuencia de estas características, la dentina profunda se considera un sustrato adhesivo de peor calidad, ya que la superficie de dentina intertubular es menor, además de ser una dentina menos mineralizada (Garberoglio, 1994; Pashley *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 1999; Giannini *et al.*, 2001; Sattabanasuk, Shimada y Tagami, 2004; Cavalcanti *et al.*, 2010). Por tanto, el nivel de profundidad de la dentina y la orientación de los túbulos dentinarios son dos características muy importantes que pueden haber contribuido a las variaciones en la resistencia adhesiva en la dentina y explicar en mayor medida por qué hay una menor resistencia adhesiva en la pared gingival (Sattabanasuk, Shimada y Tagami, 2004; Cavaltani *et al.*, 2010).

Considerando las características menos favorables de este sustrato, la selección del adhesivo es pertinente para garantizar una adhesión estable a la pared gingival (Cavaltani *et al.*, 2010). En el presente estudio, se utilizó el adhesivo Adper Scotchbond 1XT (Adper

Single Bond), el cuál ha mostrado una fuerza de unión similar en las distintas paredes de las preparaciones MOD (Cavaltani *et al.*, 2010).

En el presente estudio, también se evaluaron dos cementos de resina diferentes en cuanto al tipo de tratamiento previo del tejido dentario. En los grupos donde no se realizó la reposición coronal del margen, ambos cementos evaluados (RelyX ARC y G-Cem) mostraron valores de resistencia adhesiva similares a la dentina independientemente de sus diferentes mecanismos de adhesión. Si bien, la eficacia de unión del cemento autoadhesivo G-Cem puede ser debido, principalmente, a su capacidad de interactuar químicamente con la superficie de la dentina cubierta con la capa de barrillo dentinario (Monticelli *et al.*, 2008; Cantoro *et al.*, 2009). En el caso de RelyX ARC, se aplicó previamente el sistema adhesivo Adper Scotchbond 1XT, que requiere la técnica de grabado ácido total, para eliminar por completo la capa de barrillo y desmineralizar la dentina subyacente, lo que permite la infiltración de la red de colágeno por el adhesivo y el establecimiento de múltiples *tags* de resina y la formación de capa híbrida (Cantoro *et al.*, 2009).

Estudios previos han mostrado una eficacia adhesiva inferior para el cemento autoadhesivo G-Cem con respecto a RelyX ARC (Viotti *et al.*, 2009; Stawarczyk *et al.*, 2012; Fuentes, Ceballos y González-López, 2013; Prochnow *et al.*, 2014). La discrepancia con los resultados en el presente trabajo pueden deberse a diferencias en la metodología. En la mayoría de los estudios, las superficies de dentina se preparan mediante el desgaste con discos de carburo de silicio con el fin de

simular el efecto de la fresa sobre la dentina y crear una capa de barrillo dentinario estandarizada (Mine *et al.*, 2014). Ambos métodos producen una capa de barrillo de espesor similar aunque con cualidades diferentes, siendo más compacta (Mine *et al.*, 2014) y, más adherida a la dentina la generada por una fresa (Wang y Spencer, 2002). La adhesión química a esta capa de barrillo más compacta y adherida supuestamente podría mejorar la adhesión química del cemento G-Cem que, dado su pH insuficiente para eliminar la capa de barrillo y su alta viscosidad que impide la hibridación y ocupación de una capa de barrillo porosa (Monticelli *et al.*, 2008).

Por otra parte, en el presente estudio la resistencia adhesiva se midió a la semana tras la cementación. Los cementos de resina autoadhesivos tienen una reacción rápida de polimerización iniciada por luz, y una lenta reacción ácido-base entre las partículas de relleno y los monómeros ácidos funcionales a través del agua (Abo-Hamar *et al.*, 2005; Radovic *et al.*, 2008; Viotti *et al.*, 2009). Esta reacción ácido-base puede continuar progresando con el tiempo como resultado de la absorción de agua (Doerr, Hilton y Hermes, 1996; Kim, Hirano y Hirasawa, 1998). En el caso de G-Cem, Marghalani (2012) observó en este cemento, una absorción acuosa mayor que con otros materiales de resina, siendo su valor más alto a los 7 días, atribuyéndolo a su contenido de UDMA, 4-META, éster de ácido fosfórico, y agua. Esta absorción de agua puede tener un efecto esencial para compensar la contracción de polimerización de la resina, aliviando así las tensiones internas creadas durante la contracción (Feilzer, Gee y Davidson, 1990a; Meriwether *et al.*, 2013; Alrahlah, Silikas y Watts, 2014), favoreciendo

su retención y justificando los resultados similares encontrados entre los dos cementos evaluados en este estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la aplicación de un composite para llevar a cabo la reposición coronal del margen gingival podría mejorar, por tanto, los resultados clínicos de resistencia adhesiva en esa zona cervical especialmente crítica, en mayor medida cuando las incrustaciones de composite se cementan con el cemento de resina autoadhesivo G-Cem. Aunque en el caso de utilizar el cemento RelyX ARC los resultados no fueron significativos, cabe decir, que al menos no se perjudicaría la adhesión en esa zona y se mejorarían otros aspectos que ya han sido mencionados anteriormente como el grado de conversión del cemento en cajas proximales de menor profundidad (Musanje y Darvell, 2006; Acquaviva *et al.*, 2009), el sellado inmediato de la dentina en esa zona (Magne, 2005), e incluso mejor adaptación marginal en los márgenes cervicales por debajo de la unión amelocementaria (Rocca *et al.*, 2012). Desde el punto de vista clínico, tal y como se comentó anteriormente, además de proteger la dentina de la contaminación bacteriana y del medio ambiente oral durante la fase de provisionalización (Shono *et al.*, 1999a; Tay *et al.*, 2005; Magne *et al.*, 2005), la reposición coronal del margen gingival facilita la técnica operatoria disminuyendo los posibles errores (Moscovich *et al.*, 1998; Kaneshima *et al.*, 2000; Park y Lee, 2004; Tachibana *et al.*, 2010; Veneziani, 2010; Veneziani, 2010; Magne y Spreafico, 2012; Ilgenstein *et al.*, 2015).

### **6.2. Evaluación de la capacidad de sellado mediante ensayo de nanofiltración**

El éxito del tratamiento restaurador se debe en una parte importante al adecuado sellado y adaptación marginal. Las restauraciones adhesivas están expuestas a las condiciones del medio oral como son las tensiones mecánicas de la masticación, hábitos parafuncionales, las fluctuaciones de temperatura y las sustancias químicas. Estas condiciones pueden afectar el sellado marginal y producir filtración por los fluidos, bacterias y sus productos causando sensibilidad post-operatoria, tinción marginal y caries secundaria, siendo esta última la causa principal de fracaso en los estudios clínicos (Li, Burrow y Tyas, 2000; De Mattos *et al.*, 2013). Por tanto, la capacidad de aislar la interfase adhesiva del medio oral es primordial con el fin de prolongar la longevidad del tratamiento restaurador (De Munck *et al.*, 2005). De hecho, es probable que tenga más relevancia clínica la evaluación de la capacidad de sellado de las restauraciones que los estudios de resistencia adhesiva (Van Meerbeek *et al.*, 2010).

La capacidad de sellado puede evaluarse mediante diferentes pruebas destacando entre ellas los ensayos de microfiltración y de nanofiltración. La nanofiltración es la filtración que ocurre dentro de espacios de tamaño nanométrico en la capa híbrida y/o la interfase adhesiva de resina (Sano *et al.*, 1995). Es un indicador importante para juzgar la capacidad de sellado del material (Li, Burrow y Tyas, 2000) y la calidad de la capa híbrida que a su vez afecta a la longevidad del material (Sano *et al.*, 1995). Aunque la cantidad de nanofiltración que

puede ocurrir es muy pequeña en el conjunto adherido, tiene el potencial de servir como vía para el movimiento del agua dentro de la interfase adhesiva con el tiempo. Por lo tanto, el efecto de la nanofiltración en la integridad de la adhesión resina-dentina es de interés no sólo a corto plazo, sino sobre todo a largo plazo (Sano *et al.*, 1995; Naga *et al.*, 2015).

Para realizar los ensayos de nanofiltración se utilizó una solución del 50% de nitrato de plata amoniacal como marcador, por ser el más utilizado para la evaluación de este fenómeno (Sano *et al.*, 1995; Pereira *et al.*, 2001; Tay *et al.*, 2002a; Agee *et al.*, 2003; Duarte y Da Silva, 2007; El-Badrawy *et al.*, 2011). Esta solución puede penetrar en la interfase debido al tamaño reducido de los iones de plata (0,059 nm de diámetro). Considerando que el tamaño de este ión es bastante inferior al tamaño de algunas bacterias (0,5-1,0  $\mu\text{m}$ ), esta técnica proporciona una considerable información sobre la capacidad de sellado (Duarte y Da Silva, 2007; El-Badrawy *et al.*, 2011). En comparación con otras técnicas de tinción, el nitrato de plata proporciona una imagen mucho más nítida de la penetración en los márgenes de la restauración con el diente. Después de su penetración, tiene el potencial de inmovilizarse, lo que impide la mayor penetración durante la preparación de los especímenes (Li, Burrow y Tyas, 2000; Pioch *et al.*, 2001). Los ensayos de nanofiltración combinados con la técnica de microscopía electrónica de barrido aplicada en modo de retrodispersión, proporciona mejor información concerniente a la capacidad de sellado de las restauraciones y a la calidad de la capa híbrida, además de determinar la localización exacta donde ha ocurrido la nanofiltración: en el seno de la

capa híbrida, entre la capa híbrida y el agente de unión, o entre el agente de unión y el material de restauración (Sano *et al.*, 1994b; Sano *et al.*, 1995; Li, Burrow y Tyas, 2000; Pioch *et al.*, 2001),

Hasta el momento, no se han publicado estudios sobre el efecto en la capacidad de sellado de incrustaciones de composite cuando se realiza la técnica de reposición coronal del margen gingival. Como se ha mencionado anteriormente, sólo se han realizado estudios de adaptación marginal (Roggendorf *et al.*, 2012; Frankenberger *et al.*, 2013; Zaruba *et al.*, 2013; Ilgenstein *et al.*, 2015).

Por otro lado, son pocos los estudios que evalúan el sellado de incrustaciones cementadas con cementos autoadhesivos mediante nanofiltración. Es por ello, que para interpretar y comparar nuestros resultados nos hemos basado también en resultados de publicaciones que evaluaban el sellado de este tipo de cementos utilizando ensayos de microfiltración, teniendo en cuenta que estos no tienen la capacidad de detectar niveles de filtración mínimos, ni el lugar exacto donde ha ocurrido la filtración (Yu *et al.*, 1992; Wieczkowski *et al.*, 1992; Garcia-Godoy y Finger, 1993). Además, presentan una sensibilidad limitada para detectar diferencias entre distintas condiciones experimentales, lo que hace difícil la interpretación de los resultados (De Munck *et al.*, 2005).



### **6.2.1. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival e influencia del tipo de cemento de resina utilizado en las interfases generadas.**

De acuerdo a los resultados de nuestro estudio, la segunda hipótesis nula debe ser rechazada, pues la capacidad de sellado frente a la filtración por nitrato de plata de las interfases adhesivas generadas tras la reposición coronal del margen gingival y la cementación de las incrustaciones de composite presentaron diferencias estadísticamente significativas, influyendo tanto la ubicación del margen gingival como el cemento utilizado.

El margen que presentó menor filtración fue el ubicado en el esmalte. La capacidad de sellado a este sustrato, fue estadísticamente similar para ambos cementos, a pesar de que la filtración fue inexistente únicamente cuando se utilizó el cemento RelyX ARC.

Sin duda, tal como se comentó en la introducción de este trabajo, la retención micromecánica mediante *tags* de resina dentro de la superficie del esmalte grabado con el ácido ortofosfórico sigue siendo hoy día la mejor unión al esmalte alcanzable (Buonocore, 1955; Gwinnett y Matsui, 1967; Van Meerbeek *et al.*, 2003; De Munck *et al.*, 2004; Lin *et al.*, 2010). Las restauraciones con márgenes de cemento/dentina filtran significativamente más que los que tienen márgenes en esmalte (Araujo, Vieira y Monteiro, 2006; Tredwin, Stokes y Moles, 2005).

En el caso del cemento autoadhesivo G-Cem, la ligera filtración

ocurrida puede ser atribuida a una limitada capacidad para grabar la superficie del esmalte cubierta por barrillo dentinario y de crear una adecuada retención micromecánica, siendo insuficiente para evitar la nanofiltración en la interfase de esmalte, en comparación a la lograda con un grabado ácido total, tal y como se ha publicado previamente para otros cementos autoadhesivos (De Munck *et al.*, 2004; Abo-Hamar *et al.*, 2005; Bishara *et al.*, 2006; Goracci *et al.*, 2006; Frankenberger *et al.*, 2008; Cal, Celik y Turkun, 2012). La alta viscosidad que tienen estos cementos (G-Cem) después de la mezcla, junto al corto tiempo de interacción con la superficie antes de la fotopolimerización, puede contribuir a la menor capacidad adhesiva en el esmalte. Además el bajo pH inicial puede no ser suficiente para grabar el esmalte cuando el tiempo de grabado es limitado o cuando la reacción de neutralización se lleva a cabo con rapidez (De Munck *et al.*, 2004; Hikita *et al.*, 2007).

Resultados similares fueron los observados en un estudio realizado por Cal, Celk y Turkun (2012), en el cual evaluaron la microfiltración de *inlays* cerámicos de IPS Empress II (Ivoclar Vivadent) cementados con tres cementos autoadhesivos entre ellos G-Cem y un cemento convencional con técnica adhesiva de grabado ácido total (Variolink II, Ivoclar Vivadent). En dicho estudio se realizaron cavidades clase V para poder evaluar la filtración tanto en los márgenes de esmalte como de dentina, observando que en el esmalte los cementos autoadhesivos presentaron mayores valores de filtración que el cemento resinoso convencional. Además los valores de filtración fueron mayores en los márgenes del esmalte que en los márgenes de dentina para los cementos autoadhesivos.

Algunos autores han informado sobre lo beneficioso que es realizar un grabado ácido previo del esmalte antes de la utilización de estos cementos autoadhesivos (De Munck *et al.*, 2004; Hikita *et al.*, 2007; Duarte *et al.*, 2008; Lin *et al.*, 2010). Sin embargo, esto es controvertido, ya que otros autores refieren que el grabado selectivo del esmalte no tiene efecto sobre la capacidad de sellado (Inukai *et al.*, 2012). En un estudio clínico realizado por Peumans *et al.*, en 2013, concluyeron que el grabado selectivo del esmalte no mejora el comportamiento clínico de las restauraciones cementadas con cementos autoadhesivos después de una evaluación a los 4 años. Basándonos en los citados resultados clínicos de Peumans *et al.*, y con la intención de evaluar el procedimiento restaurador más simplificado, en el presente estudio, se decidió no realizar grabado selectivo de esmalte.

Los valores más elevados de nanofiltración fueron los obtenidos en los grupos con reposición coronal del margen gingival (RelyX ARC + RCMG y G-Cem + RCMG) en la interfase entre la dentina y composite. Esto muestra que en esta interfase el sellado es peor y menos predecible que en la del esmalte. Para la reposición coronal del margen gingival con resina compuesta, se utilizó también el mismo sistema adhesivo de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT. La penetración de la plata se observó en forma de áreas de acumulación reticular en la base de la capa híbrida y penetración en el interior de los túbulos dentinarios. Estos altos niveles de filtración creemos que se deben principalmente al sistema adhesivo utilizado de grabado ácido total y a las características de la dentina del margen gingival, ya que al usar este mismo sistema adhesivo en el esmalte el sellado estaba garantizado. En

lo que se refiere al sistema adhesivo, algunos autores refieren que el grado de deposición de plata depende del adhesivo, el modo de aplicación, y la composición química del mismo (Mobarak y Daifalide, 2012; de Alexandre *et al.*, 2014). Además, por la presencia de agua en su composición, este sistema adhesivo de grabado ácido total de dos pasos se comportan como una membrana semipermeable debido a la presencia de monómeros hidrófilos y la concentración del solvente (Tay *et al.*, 2002b; Hashimoto *et al.*, 2008; Santana *et al.*, 2016). El análisis de la capacidad adhesiva y de sellado de este sistema adhesivo será desarrollado a mayor profundidad en el apartado siguiente.

Por otro lado, en mayor medida creemos que se observaron estos resultados porque la adhesión en el margen gingival por debajo de la unión amelocementaria ocurre en una dentina profunda/cemento radicular (Dhingra *et al.*, 2014) que presenta características histológicas más desfavorables, túbulos dentinarios con una disposición oblicua y paralela a pared gingival, con mayor densidad y diámetros, como se discutió en el apartado de resistencia adhesiva (Garberoglio, 1994; Van Meerbeek *et al.*, 2005; Cavalcanti *et al.*, 2008; Cavalcanti *et al.*, 2010). Además existen claras diferencias en la profundidad de la desmineralización de la dentina y el grado de penetración del adhesivo en el piso gingival de restauraciones de clases II de composite (Wang y Spencer, 2005). Los resultados espectroscópicos indican una diferencia del doble en la profundidad de la desmineralización en la dentina del piso gingival en comparación con las paredes axiales. Esto puede ser atribuido al hecho de que la dentina en el margen gingival es menos mineralizada, permitiendo que los ácidos graben más rápido y con

mayor profundidad en esta zona (Garberoglio, 1994).

Se ha sugerido que el mayor número de túbulos dentinarios permitiría la difusión lateral de la resina, así como la difusión vertical en la dentina intertubular desmineralizada. Sin embargo, la dentina profunda y el cemento radicular presentan un alto porcentaje de agua y de material orgánico en comparación con el esmalte, haciendo difícil obtener una adhesión consistente y capaz de resistir los efectos negativos de la contracción por polimerización y las tensiones mecánicas y térmicas posteriores (Pashley, 1991; Dhingra *et al.*, 2014). El efecto acumulativo del incremento de agua reduce la infiltración y dificulta la conversión de monómeros a polímeros de los adhesivos en el piso gingival (Wang y Spencer, 2005; Spencer *et al.*, 2010).

Todo esto contribuye a que ocurra una infiltración incompleta de la resina adhesiva en la dentina desmineralizada (Hashimoto *et al.*, 2004), creando pequeñas regiones locales sin polimerizar dentro de la capa híbrida que son ricas en agua y pobres de resina (zonas de dentina desmineralizada debajo de la capa híbrida). Permitiendo la penetración de la plata y ocurriendo un mayor grado de nanofiltración (Tay *et al.*, 2003a, Pashley *et al.*, 2011).

Al igual que en nuestro estudio, en la literatura se han reportado altos niveles de filtración marginal cuando el margen cervical se encuentra por debajo de la unión amelocementaria (Wibowo y Stockton, 2001; Tredwin, Stokes y Moles, 2005; Araujo, Vieira y Monteiro Junior, 2006; Ozel, Korkmaz y Attar, 2008; Poggio *et al.*, 2013; De Mattos *et al.*, 2013).

En cuanto a la filtración en la interfase generada entre la dentina y el cemento de resina, fue intermedia a la detectada cuando los márgenes estaban en esmalte y la registrada en la dentina cuando se reposicionó el piso gingival. Ninguno de los cementos utilizados logró evitar por completo la filtración por plata en los márgenes en dentina, no existiendo diferencias entre ambos cementos y siendo los valores de filtración no muy elevados.

En el caso del cemento RelyX ARC, que se usó también en conjunto con el sistema adhesivo de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT, el patrón de filtración fue similar a los grupos en los que se realizó la RCMG. Es decir, la filtración por plata presentaba una disposición reticular localizada en la base de la capa híbrida y en el interior de los túbulos dentinarios. La filtración observada fue menor a la ocurrida en la interfase con composite cuando se realizó la reposición coronal del margen gingival, y esto puede ser debido a la reducción en la contracción por polimerización limitada a la delgada capa de cemento utilizado para la cementación de la incrustación (Manhart *et al.*, 2000; Peutzfeldt, 2001; Pallesen y Qvist, 2003; Nadini, 2010). El factor de configuración cavitaria y el estrés generado en la interfase durante la contracción de polimerización de la resina compuesta afecta la capacidad de sellado. Como se comentó anteriormente, dicho estrés está en relación directa con el factor de configuración cavitaria, que es elevado en la caja proximal (De Mattos *et al.*, 2013).

Por otro lado, la aparición de la nanofiltración observada con el uso del cemento autoadhesivo G-Cem, es probablemente debido a un

escenario diferente, ya que no se realiza una desmineralización previa de la dentina (Tay *et al.*, 2002a y Hashimoto *et al.*, 2003). Con estos cementos hay una interacción muy limitada con la dentina en cualquier término de desmineralización, formación de capa híbrida o *tags* de resina (De Munck *et al.*, 2004, Hikita *et al.*, 2007; Ferracane, Standbury y Burke, 2011). Por lo que su principal mecanismo de adhesión es la interacción química, gracias a la presencia del monómero funcional 4-META, que se une por una reacción de quelación al calcio de la hidroxiapatita (Abo, Uno y Sano, 2004; Monticelli *et al.*, 2008). El hecho de que esta capacidad de interacción química con la hidroxiapatita del monómero 4-META haya sido descrita como débil (Yoshida *et al.*, 2004) y el alto peso molecular de este monómero funcional podría explicar la menor capacidad de sellado de este cemento (Han *et al.*, 2007, Cal, Celik y Turkun, 2012; Yoshida *et al.*, 2004). Sumado al hecho de que el sustrato de unión es una dentina profunda menos mineralizada (Cavalcanti *et al.*, 2010) y con menor contenido de material inorgánico (hidroxiapatita) (Garberoglio, 1994; Pashley *et al.*, 1997; Pereira *et al.*, 1999; Giannini *et al.*, 2001; Sattabanasuk, Shimada y Tagami, 2004), necesario para la adhesión química.

No hay apenas estudios que evalúen la capacidad de sellado utilizando el cemento G-Cem, aunque sí de otras marcas de cementos autoadhesivos. Inukai *et al.*, (2012) evaluaron la capacidad de sellado de otros cementos autoadhesivos con uno de grabado ácido total, no encontrando tampoco diferencias entre ambos tipos. En el estudio realizado por dichos autores, se evaluó la microfiltración de restauraciones indirectas de resina cementadas con dos cementos

autoadhesivos (Clearfil SA Cement de Kuraray y RelyX Unicem de 3M ESPE) y un cemento resinoso autograbador (Panavia F 2.0 de Kuraray), en preparaciones similares a las realizadas en nuestro estudio (MOD) con márgenes gingivales ubicados de 1 a 1,5 mm por debajo de la unión amelocementaria. En otras investigaciones en las que se testó el cemento RelyX Unicem, tampoco encontraron diferencias significativas en la capacidad de sellado de la dentina en comparación con otros cementos de resina convencionales, debido posiblemente a la alta capacidad de autograbado que tiene este cemento gracias a su pH inicial bajo ( $\text{pH} < 2$ ) (Ibarra *et al.*, 2007; El-Badrawya *et al.*, 2011).

A diferencia de nuestro estudio, Cal, Celik y Turkun (2012), observaron mayores valores de filtración con el cemento G-Cem en comparación con un cemento de resina convencional (Variolink II), e incluso con el cemento de resina autoadhesivo RelyX Unicem. La diferencia entre ambos cementos autoadhesivos, se explica por la composición química diferente que presentan, que difiere incluso en los monómeros funcionales que la componen (Yoshida *et al.*, 2004; Abo, Uno y Sano, 2004; Monticelli *et al.*, 2008).

Makishi *et al.* (2010), investigaron los patrones de nanofiltración de Panavia F 2.0 y RelyX Unicem en el cementado de restauraciones indirectas de composite (Estenia C & B) a superficies planas de dentina. La mayor filtración observada para el cemento Panavia F 2.0 se atribuyó a la penetración incompleta de los monómeros de resina (MDP) en la superficie de la dentina desmineralizada previamente, pudiendo resultar en la formación de nanoespacios. Por otra parte, la adhesión de



RelyX Unicem a la dentina se produce a través de la interacción de ácido fosfórico-metacrilato ionizado con la dentina (Makishi *et al.*, 2010), y se ha reportado un aumento de la interacción química con el calcio de hidroxiapatita para estos cementos (Al-Assaf *et al.*, 2007; Makishi *et al.*, 2010).

En otro estudio realizado por Alexandre *et al.*, se evaluó el efecto de la simulación de presión pulpar hidrostática en la resistencia adhesiva a la dentina y los patrones de nanofiltración producidos por tres cementos autoadhesivos (RelyX Unicem, RelyX U100, ambos de 3M ESPE, y Clearfil SA, Kuraray) y tres cementos resinosos convencionales (RelyX ARC, 3M ESPE; Panavia F, Kuraray). Aunque se produjo nanofiltración en todas las situaciones, cabe destacar que los cementos autoadhesivos presentaron los menores depósitos de plata 24 horas después de su cementación con o sin la aplicación de la presión pulpar simulada (Alexandre *et al.*, 2014).

Kazas *et al.*, (2012), evaluaron cinco cementos autoadhesivos entre ellos G-Cem y dos cementos de resina convencionales (RelyX ARC y Panavia F), y observaron una reducción en la nanofiltración cuando había esmalte en la periferia de los márgenes. Por otro lado, en la interfase con dentina, las características y patrones de los depósitos de plata que se produjeron cuando se utilizaron los cementos autoadhesivos fueron distintos a los sistemas de múltiples pasos, mostrando además diferencias notables entre las distintas marcas de los cementos autoadhesivos. En el caso del cemento RelyX ARC, los citados autores describieron características típicas de los sistemas de grabado

ácido total, una capa híbrida gruesa, la entrada de los túbulos en forma de embudo y largos *tags* de resina. Al igual que en nuestro trabajo, casi no observaron depósitos de plata para este cemento. Por el contrario y a diferencia de nuestro trabajo, el cemento G-Cem, presentó grandes cantidades de deposición de plata en la interfase con la dentina. La zona basal de la dentina estaba parcialmente grabada y sin infiltrar en algunas regiones de la interfase (Kazas *et al.*, 2012). Un patrón similar de deposición de plata se ha observado por otros autores en algunos adhesivos autograbadores (Carvalho *et al.*, 2005). Esta infiltración de resina incompleta observada puede ser causada por la reducción potencial de ataque químico de los monómeros ácidos en la base de las capa híbrida (Carvalho *et al.*, 2005).

En el presente estudio, las interfases adhesivas generadas entre el composite y la incrustación (incrustación-cemento de resina y cemento de resina-composite de RCMG) en los grupos donde se realizó la RCMG, no evidenciaron la presencia de nanofiltración, independientemente del cemento de resina utilizado, por lo que no se incluyeron estas interfases en el análisis estadístico. Como ya se refirió en el apartado de resistencia adhesiva, estos resultados son debido a que se logra una adecuada unión entre el composite y el cemento de resina.

La adhesión entre el composite utilizado para subir el piso gingival y el cemento de resina es posible y eficaz si se lleva a cabo dentro de los primeros días, aunque el periodo exacto de tiempo no está establecido. Dall'Oca *et al.* (2007), establecen que el periodo no sea

mayor de 14 días, ya que tras ese tiempo los radicales libres activos disminuyen. Al contrario de lo que se pensaba, la capa inhibida de oxígeno no es el punto fundamental en la adhesión de composite a composite, sino los radicales libres activos que quedan tras la polimerización y que reaccionan con los nuevos monómeros de composite (Lucena-Martín, González-Lopez y Navajas-Rodríguez de Mondelo, 2001; Dall'Oca *et al.*, 2007). Esta adhesión se mejora si se realiza el acondicionamiento de la superficie, por ejemplo chorreándola con partículas de óxido de aluminio, silicizando y/o silanizando (Della'Oca *et al.*, 2007).

### **6.2.2. Capacidad de sellado de la reposición coronal del margen gingival de acuerdo a la estrategia adhesiva aplicada**

Cuando se realizó la reposición coronal del margen gingival utilizando el sistema adhesivo de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT se observaron los mayores valores de nanofiltración en la interfase entre la dentina y el composite utilizado para RCMG. Por ello se planteó la necesidad de variar y evaluar la estrategia adhesiva utilizada, usando un adhesivo autograbador de dos pasos considerado como la mejor opción para la adhesión a dentina y específicamente en la dentina profunda, como es Clearfil SE Bond (Peumans *et al.*, 2005; Perdigão, 2007; Yuan *et al.*, 2007, Sarr *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014). Tal como se comentó en la introducción de este trabajo, diversos estudios *in vitro* han confirmado la alta capacidad adhesiva a la dentina de este adhesivo autograbador (Peumans *et al.*, 2005; Perdigão, 2007; Sarr *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014), así como su buen comportamiento

clínico en el tratamiento de lesiones cervicales no cariosas, incluso después de 13 años de evaluación (Peumans *et al.*, 2015).

De acuerdo a los resultados del estudio, el sellado marginal de las restauraciones con margen gingival en dentina sigue siendo un reto, pues ninguna de las dos estrategias adhesivas consiguió evitar por completo la filtración de plata. Sin embargo, la tercera hipótesis de este estudio debe ser rechazada ya que el uso de un adhesivo autograbadador de dos pasos (Clearfil SE Bond) mejoró significativamente la capacidad de sellado en el margen gingival cuando se realizó o no la reposición coronal del margen, cementando las incrustaciones de composite con un cemento de resina convencional (RelyX ARC). La capacidad de sellado de las restauraciones es dependiente del sistema adhesivo empleado (Duarte y Da Silva, 2007; Cavalcanti *et al.*, 2010; Kasaz *et al.*, 2012; Alexandre *et al.*, 2014; Peumans *et al.*, 2015).

El adhesivo Clearfil SE Bond, es un sistema autograbadador de dos pasos basado en agua, que tiene un *primer* ácido que disuelve la capa de barrillo y desmineraliza la dentina superficial. Como este sistema no requiere un grabado ácido previo, no tiene el inconveniente del grado de humedad de la dentina, lo que hace que este sistema adhesivo sea menos sensible a las variaciones clínicas (Duarte y Da Silva, 2007); además también se evita el colapso de la malla de fibras colágeno expuesta por el grabado ácido, lo que ha sido reportado por algunos autores como una característica importante relacionada con la adhesión exitosa (Toba *et al.*, 2003).

Clearfil SE Bond es un sistema adhesivo perteneciente al grupo de los sistemas de autograbado "suave", por su pH de alrededor de 2 y por consiguiente, tiene una capacidad de desmineralización limitada hasta 1  $\mu\text{m}$  de profundidad (Van Meerbeek *et al.*, 2003; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Esta desmineralización superficial se produce sólo parcialmente, manteniendo hidroxiapatita residual todavía unida al colágeno. Sin embargo, se crea una superficie de porosidad suficiente para obtener retención micromecánica a través de la hibridación. El espesor de la capa híbrida es, sin embargo, mucho menor que la producida por los autograbadores "fuertes" o los sistemas de grabado ácido total, pero se ha demostrado que esto tiene menor importancia con respecto a la efectividad de la adhesión real (Inoue *et al.*, 2001; De Munck *et al.*, 2003; Van Meerbeek *et al.*, 2003; Yoshida *et al.*, 2004). Por otra parte, debido a la eliminación parcial de la hidroxiapatita, cristales minerales residuales dentro de la capa híbrida serían capaces de formar sales de calcio estables con los monómeros ácidos (10-MDP). Tal unión se cree que ayuda a prevenir o retardar la nanofiltración (Yoshida *et al.*, 2004; Yuan *et al.*, 2007). Por lo tanto, pensamos que la principal razón de su mejora en el sellado es por la presencia del monómero ácido 10-MDP en la formulación, que tiene la capacidad de adherirse químicamente al calcio de la hidroxiapatita en la dentina, reportando un potencial de interacción química elevado (Van Meerbeek *et al.*, 2003; Yoshida *et al.*, 2004, Duarte y Da Silva, 2007; Van Meerbeek *et al.*, 2010). Esto contribuye a la preservación de la interfase adhesiva y también da lugar a la formación de una zona ácido-base resistente adyacente a la capa híbrida (Waidyasekera *et al.*, 2009; Nikaido *et al.*,

2015). Esta zona se formaría debido a la difusión del monómero 10-MDP a través de la capa híbrida hasta su base, en la que enseguida se une químicamente a los cristales de hidroxiapatita remanentes (Nikaido *et al.*, 2009; Nurrohman *et al.*, 2012).

Por otro lado, como es un sistema de autograbado, los monómeros penetran y desmineralizan la dentina al mismo tiempo, lo que permite en teoría la difusión completa del adhesivo, produciendo de este modo una capa híbrida con menos defectos (Goes y Montes, 2004). Este comportamiento se refleja en un estudio realizado por Guzmán-Armstrong, Armstrong y Qian (2003), que concluyeron que la desmineralización e infiltración simultáneas permite una adhesión y sellado de las restauraciones adecuado.

Además, Clearfil SE Bond presenta una estrategia adhesiva de dos pasos que incluye la aplicación de una resina adhesiva hidrofóbica. Se ha sugerido que el aumento de la concentración de componentes de resina hidrofóbica dentro de la capa de adhesivo de los sistemas de autograbado de dos pasos puede contribuir al sellado de la interfase adhesiva (Sezinando, 2014). La aplicación de esta capa hidrófoba mejora el grado de conversión y sus propiedades mecánicas (Sadek *et al.*, 2008), así como la resistencia a la degradación hidrolítica (Inoue *et al.*, 2005). Tal efecto podría prevenir la formación de árboles de agua y promover la longevidad de la adhesión (Tay *et al.*, 2002a, Yuan *et al.*, 2007).

Al igual que en el presente trabajo, otros estudios han observado mejorías en la capacidad de sellado al utilizar el adhesivo Clearfil SE Bond durante los procedimientos de cementado (Kasaz *et al.*, 2012;

Alexandre *et al.*, 2014), observando pocos depósitos de plata cuando se evaluaba el cemento Panavia F (Kuraray) en asociación con el sistema adhesivo Clearfil SE Bond.

Tal como se comentó anteriormente, al evaluar la interfase generada entre la dentina y el composite utilizado para la RCMG, los resultados de nanofiltración fueron significativamente inferiores cuando se utilizó el adhesivo autograbador de dos pasos Clearfil SE Bond, en lugar del Adper Scotchbond 1XT.

Duarte y Silva (2007), observaron peores resultados de nanofiltración en el margen de dentina de restauraciones de clase V directas de composite, para los adhesivos Scotchbond Multi-Purpose (3M ESPE) y Prime & Bond NT (Dentply), en contraste con los excelentes resultados para Clearfil SE Bond. Al igual que en un estudio realizado por Yuan *et al.* (2007), la adhesión a dentina profunda mediante Clearfil SE Bond, mostró niveles de nanofiltración menores en comparación con otros adhesivos utilizados (Clearfil S3 Bond, Kuraray; G-Bond, GC).

En el caso del adhesivo Adper Scotchbond 1XT, comercializado también en algunos otros países como Single Bond Plus (3M ESPE), es un adhesivo de grabado ácido total en dos pasos, compuesto por BisGMA/HEMA, y basado en polímeros que contienen ácido polialquenoico (13%) en un solvente de etanol y agua (Sauro *et al.*, 2008). Diversos estudios han informado de una amplia captación de plata en las interfases resina-dentina cuando se utiliza este sistema adhesivo, que por lo general tiende a ocurrir en la mitad inferior de la

capa híbrida, y en zonas aisladas en el interior de la capa adhesiva (Li, Burrow, Tyas, 2000; Tay y Pashley, 2003; Sauro *et al.*, 2007).

Son varios los motivos que pueden explicar esta filtración. Por un lado el copolímero de ácido polialquenoico tiene varios ácidos carboxílicos que tienden a retener el agua en el adhesivo y que, a su vez, atrae a los iones de plata. Además, el alto peso molecular del copolímero de ácido polialquenoico dificulta la penetración en los espacios interfibrilares (Sauro *et al.*, 2007; Osorio *et al.*, 2011). Por otro lado, el Bis-GMA presente en el Adper Scotchbond 1XT no infiltra la dentina desmineralizada como lo hace el HEMA, dejando la mitad inferior de la capa híbrida rica en HEMA y pobre en Bis-GMA (Spencer y Wang, 2002; Wang y Spencer, 2004; Sattanasuk *et al.*, 2007; Sauro *et al.*, 2007). Se cree que el HEMA se mezcla con el agua en esta zona de la capa híbrida, pudiendo producir hidrogeles y la captación de plata reflejando la presencia del agua (Sauro *et al.*, 2007). Tanto curado como no curado, el HEMA absorbe fácilmente el agua. Los adhesivos que contienen HEMA son más susceptibles a la contaminación acuosa, ya que sin polimerizar, el HEMA puede absorber agua que puede conducir a la dilución de los monómeros a la vez que se inhibe la polimerización (Jacobsen y Soderholm, 1995; De Munck *et al.*, 2005; Van Landuyt *et al.*, 2007b).

Por otro lado, la mejor capacidad de sellado se obtuvo cuando el margen estaba situado en el esmalte independientemente del sistema adhesivo utilizado. Con ambos sistemas adhesivos, la presencia de filtración por plata fue inexistente, demostrando tal como se explicó en



el apartado anterior, que el esmalte presenta mejor capacidad de sellado que la dentina/cemento radicular, siempre que se realice el grabado del esmalte con el ácido ortofosfórico (Gwinnett y Matsui, 1967; Van Meerbeek *et al.*, 2003; De Munck *et al.*, 2004; Lin *et al.*, 2010). Esta conclusión está de acuerdo con los resultados de Tredwin *et al.* (2005) y Araujo *et al.* (2006), que determinaron que las restauraciones con márgenes de cemento/dentina filtran significativamente más que las que tienen márgenes en el esmalte. En el caso del adhesivo Clearfil SE Bond, a pesar de que es un sistema autograbador, la literatura recomienda realizar el grabado selectivo del esmalte (Van Landuyt *et al.*, 2009; Peumans *et al.*, 2010; Ermis *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014). Tal y como se comentó en la introducción de este trabajo, estos sistemas adhesivos, debido a su pH, no tienen la capacidad para disolver el barrillo generado en el esmalte, simplemente lo impregnan y encapsulan (Kanemura, Sano y Tagami, 1999). Por tanto, en ausencia del grabado del esmalte, la adhesión obtenida se considera que no es suficiente, ni estable en el tiempo, apareciendo defectos marginales, tales como tinción y ligeras desadaptaciones (Kanemura, Sano y Tagami, 1999; Mine *et al.*, 2014). Por ello, actualmente la literatura recomienda el grabado selectivo del esmalte cuando se utilizan estos sistemas adhesivos (Van Landuyt *et al.*, 2009; Peumans *et al.*, 2010; Ermis *et al.*, 2010; Peumans *et al.*, 2014) y es así como se realizó en el presente estudio.

Para finalizar, dentro de las limitaciones de la presente Tesis Doctoral queremos reseñar que los resultados del presente estudio se han obtenido a partir de ensayos *in vitro* y que por tanto, no pueden

extrapolarse a una situación clínica. Además, la investigación realizada está limitada a la evaluación de las propiedades adhesivas inmediatas. Sería interesante complementar la información con el efecto del envejecimiento tanto en la resistencia adhesiva como en la capacidad de sellado, y así proporcionar información útil sobre el comportamiento clínico de las restauraciones a largo plazo en cierta medida (Inukai *et al.*, 2012). Por último, destacar que aunque el análisis de nanofiltración proporciona información importante sobre el comportamiento de las interfases adhesivas, no se ha comprobado una correlación clara en la literatura entre la resistencia adhesiva y la presencia de nanofiltración (Pereira *et al.*, 2001; de Alexandre *et al.*, 2014).

Debido al uso extendido de los cementos autoadhesivos y las recomendaciones de la utilización en clínica cada vez más frecuentes de la técnica de reposición coronal del margen gingival (Dietschi y Spreafico, 1998; Veneziani, 2010; Rocca *et al.*, 2012; Magne y Spreafico, 2012; Opdam, Frankenberger y Magne, 2016) con tan poco respaldo científico creemos que es necesario que se continúen realizando estudios tanto *in vitro* e *in vivo* para evaluar la efectividad de ambas situaciones.

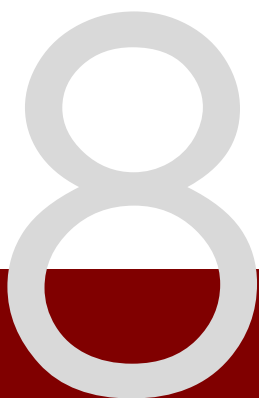
# 7 CONCLUSIONES



A la luz de nuestros resultados, las siguientes conclusiones pueden ser establecidas:

1. La técnica de reposición coronal del margen gingival produjo un aumento significativo de la resistencia adhesiva en el caso del cemento autoadhesivo G-Cem. Cuando se utilizó el cemento de grabado ácido total RelyX ARC, la reposición coronal del margen gingival no afectó los valores de resistencia adhesiva obtenidos.
2. Los valores más altos de nanofiltración se registraron en la interfase generada entre la dentina y el composite utilizado para la reposición coronal del margen gingival. El mejor sellado se obtuvo cuando las incrustaciones se cementaron en preparaciones con el margen gingival en esmalte, independientemente del cemento utilizado, el de grabado ácido total RelyX ARC o el autoadhesivo G-Cem. Sin embargo, ninguno de los dos fue capaz de impedir completamente la filtración cuando el margen se situó en la dentina, aunque cuando se utilizó G-Cem la capacidad de sellado fue similar a la obtenida cuando el margen se situó en el esmalte.
3. El adhesivo autograbador Clearfil SE Bond mostró una mejor capacidad de sellado que el de grabado ácido total Adper Scotchbond 1XT cuando el margen se situaba en la dentina, se hiciera o no la técnica de reposición coronal del margen gingival. La presencia de esmalte en el margen gingival y la aplicación en el mismo de la técnica de grabado ácido produjo un excelente sellado utilizando ambos adhesivos.





# BIBLIOGRAFÍA





- 
- Abo T, Uno S, Sano H. (2004) Comparison of bonding efficacy of an all-in-one adhesive with a self-etching primer system. *Eur J Oral Sci* 112: 286-92.
  - Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. (2005) Bond strength of a new universal selfadhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 9: 161–7.
  - Acquaviva PA, Cerutti F, Adami G, Gagliani G, Ferrari M, Gherlone E, Cerutti, A. (2009) Degree of conversión of three composite materials employed in the adhesive cementation of indirect restorations: a micro-Raman analysis. *J Dent* 37: 610-15.
  - Agarwal RS, Hiremath H, Agarwal J, Garg A. (2015) Evaluation of cervical marginal and internal adaptation using newer bulk fill composites: An in vitro study. *J Conserv Dent* 18:56-61.
  - Agee KL, Pashley EL, Ittahagarun A, Sano H, Tay FR, Pashley DH. (2003) Submicron hiati in acid-etched dentin are artifacts of desiccation. *Dent Mater* 19:60-8.
  - Aggarwal V, Logani A, Jain V, Shah N. (2008) Effect of cyclic loading on marginal adaptation and bond strength in direct vs. indirect class II MO composite restorations. *Oper Dente* 33:587-92.
  - Aggarwal V, Singla M, Yadav S, Yadav H. (2014) Effect of flowable composite liner and glass ionomer liner on class II gingival marginal adaptation of directcomposite restorations with different bonding strategies. *J Dent* 42:619-25.
  - Al-Assaf K, Chakamakchi M, Palaghias G, KaranikaKouma A, & Eliades G. (2007) Interfacial characteristics of adhesive luting resins and composites with dentine *Dent Mater* 23:829-839.

- Alrahlah A, Silikas N, Watts DC. (2014) Hygroscopic expansion kinetics of dental resin-composites. *Dent Mater* 30:143-8.
- Andrade AM, Moura SK, Reis A, Loguercio AD, Garcia EJ, Grande RH. (2010) Evaluating resin-enamel bonds by microshear and microtensile bond strength tests: effects of composite resin. *J Appl Oral Sci* 18:591-8.
- Anusavice KJ. (2004) *Cencia de los materiales dentales*. Barcelona-España, Undecima edición. Elsevier.
- Araujo FO, Vieira LC, Monteiro Junior S. (2006) Influence of resin composite shade and location of the gingival margin on the microleakage of posterior restorations. *Oper Dent* 31:556-561.
- Armstrong SR, Vargas MA, Chung I, Pashley DH, Campbell JA, Laffoon JE, Qian F. (2004) Resin–dentin interfacial and micortensile bond strength after five-year water storage. *Oper Dent* 29:705–12.
- Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH. (2007) Effect of curing mode on microtensile bond strength to dentin of two dual-cured adhesive systems in combination with resin luting cements for indirect restorations. *Oper Dent* 32:37-44
- Ástvaldsdóttir Á, Dagerhamn J, Van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranæus S, Nilsson M. (2015) Longevity of posterior resin composite restorations in adults– A systematic review. *J Dent* 43:934-954.
- Attin T, Filli T, Imfeld C, Schmidlin PR. (2012) Composite vertical bite reconstructions in eroded dentitions after 55 years: a case series. *J Oral Rehabil* 39:73-79.

- 
- Ausiello P, Rengo S, Davidson CL, Watts DC. (2004) Stress distributions in adhesively cemented ceramic and resin composite Class II inlay restorations: a 3D-FEA study. *Dent Mater* 20:862-72.
  - Bagis YH, Baltacioglu IH, Kahyaogullari S. (2009). Comparing microleakage and the layering methods of silorane-based resin composite in wide Class II MOD cavities. *Oper Dent* 34:578-585.
  - Barabanti N, Preti A, Vano M, Derchi G, Mangani F, Cerutti A. (2015) Indirect composite restorations luted with two different procedures: A ten years follow up clinical trial. *J Clin Exp Dent* 7: 54-9.
  - Batalha-Silva S, de Andrada MAC, Maia HP, Magne P. (2013) Fatigue resistance and crack propensity of large MOD composite resin restorations: Direct versus CAD/CAM inlays. *Dent Mater* 29:324-331.
  - Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Stamatiades P, Wilkerson M. (1998) A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent* 129: 567 –77.
  - Behr M, Rosentritt M, Regnet T, Lang R, Handel G. (2004) Marginal adaptation in dentin of a self-adhesive universal resin cement compared with well-tried systems. *Dent Mater* 20:191-197.
  - Behr M, Rosentritt M, Regnet T, Lang R, Handel G. (2004) Marginal adaptation in dentin of a self-adhesive universal resin cement compared with well-tried systems. *Dent Mater* 20:191-197
  - Belli R, Pelka M, Petschelt A, Lohbauer U. (2009) In vitro wear gap formation of self-adhesive resin cements: a CLSM evaluation. *J Dent* 37:984-993.

- Bernardo M, Luis H, Martin MD, Leroux BG, Rue T, Leitão J, DeRouen TA (2007) Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc* 138:775–83.
- Bishara SE, Ostby AW, Ajlouni R, Laffoon JF, Warren J. (2006) Early shear bond strength of a one-step self-adhesive on orthodontic brackets. *Angle Orthod* 76:689-693.
- Blatz MB. (2012) Long-term clinical success of all-ceramic posterior restorations. *Quintessence Int* 33:415-26.
- Brackett WW, Tay FR, Brackett MG, Dip A, Sword RJ, Pashley DH. (2007a) The effect of chlorhexidine on dentin hybrid layers in vivo. *Oper Dent* 32:107–11.
- Brackett WW, Browning WD, Brackett MG, Callan RS, Blalock JS. (2007b) Effect of restoration size on the clinical performance of posterior "packable" resin composites over 18 months. *Oper Dent* 32:212-6.
- Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. (2008) Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater* 24:90-101.
- Brunthaler A, König F, Lucas T, Sperr W, Schedle A. (2003) Longevity of direct resin composite restorations in posterior teeth. *Clin Oral Investig* 7:63-70.
- Brunton PA, Cattell P, Burke FJ, Wilson NH. (1999) Fracture resistance of teeth restored with onlays of three contemporary tooth-colored resin-bonded restorative materials. *J Prosthet Dent* 82:167-71.

- 
- Buonocore MG, Matsui A, Gwinnett AJ. (1968) Penetration of resin dental materials into enamel surfaces with reference to bonding. *Arch Oral Biol* 13:61-70.
  - Buonocore MG. (1955) A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34:849–53.
  - Cadenaro M, Breschi L, Rueggeberg FA, Suchko M, Grodin E, Agee KA, Di Lenarda R, Tay FR, Pashley DH. (2009) Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. *Dent Mater* 25:621–8.
  - Cal E, Celik EU, Turkun M. (2012) Microleakage of IPS empress 2 inlay restorations luted with self-adhesive resin cements. *Oper Dent* 37:417-24.
  - Cantoro A, Goracci C, Carvalho CA, Coniglio I, Ferrari M. (2009) Bonding potential of self-adhesive luting agents used at different temperatures to lute composite onlays. *J Dent* 37:454-61.
  - Carrilho MRO, Geraldeli S, Tay FR, de Goes MF, Carvalho RM, Tjäderhane L, Reis AF, Hebling J, Mazzoni A, Breschi L, Pashley DH. (2007) In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *J Dent Res* 86:529–33.
  - Carvalho RM, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley DH, Prati C, Tay FR. (2005) A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etch adhesives. *Biomaterials* 26:1035-1042.
  - Carvalho RM, Manso AP, Geraldeli S, Tay FR, Pashley DH. (2012) Durability of bonds and clinical success of adhesive restorations. *Dent Mater* 28:72-86.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Cavalcanti AN, Mitsui FH, Ambrosano GM, Mathias P, Marchi GM. (2008) Dentin bonding on different walls of a class II preparation. *J Adhes Dent* 10:17-23.
- Cavalcanti AN, Mitsui FH, Lima AF, Mathias P, Marchi GM. (2010) Evaluation of dentin hardness and bond strength at different walls of class II preparations. *J Adhes Dent* 12:183–188
- Centin AR, Unlu N. (2009). One year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite restorations in posterior teeth. *Dent Mater J* 28:620-6.
- Chabouis HF, Faugeron VS, Attal JP. (2013) Clinical efficacy of composite versus ceramic inlays and onlays: A systematic review. *Dent Mater* 29:1209-1218.
- Chan KM, Tay FR, King NM, Imazato S, Pashley DH. (2003) Bonding of mild self-etching primers/adhesives to dentin with thick smear layers. *Am J Dent* 16: 340-346.
- Chersoni S, Suppa P, Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Yiu C, Huang C, Prati C, Breschi L, Ferrari M, Pashley DH, and Tay FR. (2004) In vivo and in vitro permeability of one-step self-etch adhesives. *J Dent Res* 83: 459-64.
- Chuang SF, Liu JK, Chao CC, Liao FP, Chen YH. (2001) Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal voids in class II composite restorations. *J Prosther Dent* 85:177-83
- Collares K, Corrêa MB, Laske M, Kramer E, Reiss B, Moraes RR, Opdam NJ. (2016) A practice-based research network on the

- survival of ceramic inlay/onlay restorations. *Dent Mater* 32:687-694.
- Da Silva SB, Hilgert LA, Busato AL. (2004) Fracture resistance of resin-based composite and ceramic inlays luted to sound human teeth. *Am J Dent* 17:404-6.
  - Dall'Oca S, Papacchini F, Goracci C, Cury A, Suh B.I, Tay F.R, Polimeni A, Ferrari M. (2007) Effect of oxygen inhibition on composite repair strength over time. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 10:493-8.
  - De Alexandre RS, Santana VB, Kasaz AC, Arrais CA, Rodrigues JA, Reis AF. (2014) Effect of long-term simulated pulpal pressure on the bond strength and nanoleakage of resin-luting agents with different bonding strategies. *Oper Dent* 39:508-20.
  - De Andrade OS, de Goes MF, Montes MAJR. (2007) Marginal adaptation and microtensile bond strength of composite indirect restorations bonded to dentin treated with adhesive and low-viscosity composite. *Dent Mater* 23:279-87.
  - De Durão MPJ, González-López S, Aguilar-Mendoza JA, Félix S, González-Rodríguez MP. (2007) Comparison of regional bond strength in root thirds among fiber-reinforced posts luted with different cements. *J Biomed Mater Res* 83: 364-72.
  - De Mattos PVC, Pavan S, Briso AL, Bedran-Russo AK. (2013) Effects of three restorative techniques in the bond strength and nanoleakage at gingival wall of Class II restorations subjected to simulated aging. *Clin Oral Investig* 17: 627-633.

- De Munck J, Mine A, Poitevin A, Van Ende A, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Van Meerbeek B. (2012) Meta-analytical review of parameters involved in dentin bonding. *J Dent Res* 91: 351-357.
- De Munck J, Van den Steen PE, Mine A, Van Landuyt KL, Poitevin A, Opdenakker G, Van Meerbeek B. (2009) Inhibition of enzymatic degradation of adhesive–dentin interfaces. *J Dent Res* 88:1101-6.
- De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, Van Meerbeek B. (2005) A Critical Review of the Durability of Adhesion to Tooth Tissue: Methods and Results. *J Dent Res* 84:118-32.
- De Munck J, Van Meerbeek B, Satoshi I, Vargas M, Yoshida Y, Armstrong S, Vanherle G. (2003a) Microtensile bond strengths of one-and two-step self-etch adhesives to bur-cut enamel and dentin. *Am J Dent* 16:414-420.
- De Munck J, Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Suzuki K, Vanherle G. (2003b) Four-year water degradation of total-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 82:136–40.
- De Munck J, Vargas M, van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2004) Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 20:963-971.
- Dejak B, Mlotkowski A. (2008) Three-dimensional finite element analysis of strength and adhesion of composite resin versus ceramic inlays in molars. *J Prosthet Dent* 99:131-40.
- Deliperi S, Bardwell DN. (2006) Clinical evaluation of direct cuspal coverage with posterior composite resin restorations. *J Esthet Restor Dent* 18:256-265.



- Deliperi S. (2012) Functional and aesthetic guidelines for stress-reduced direct posterior composite restorations. *Oper Dent* 37:425-31.
- Demarco FF, Ramos OL, Mota CS, Formolo E, Justino LM. (2001) Influence of different restorative techniques on microleakage in class II cavities with gingival wall in cementum. *Oper Dent* 26:253-259.
- Demarco FF, Ramos OL, Mota CS, Formolo E, Justino LM. (2001) Influence of different restorative techniques on microleakage in Class II cavities with gingival wall in cementum. *Oper Dent*. 26:253-9.
- Dhingra V, Taneja S, Kumar M, Kumari M. (2014) Influence of fiber inserts, type of composite, and gingival margin location on the microleakage in class II resin composite restorations. *Oper Dent* 39:E9-E15.
- Dias de Souza GM, Pereira GD, Dias CT, Paulillo LA. (2002) Fracture resistance of premolars with bonded class II amalgams. *Oper Dent* 27:349-53.
- Dietrich T, Lösche AC, Lösche GM, Roulet JF. (1999) Marginal adaptation of direct composite and sandwich restorations in Class II cavities with cervical margins indentine. *J Dent* 27:119-28.
- Dietschi D, Magne P, Holz J. (1995) Bonded to tooth ceramic restorations: in vitro evaluation of the efficiency and failure mode of two modern adhesives. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105:299–305.

- Dietschi D, Monasevic M, Krejci I, Davidson C. (2002) Marginal and internal adaptation of Class II restorations after immediate or delayed composite placement. *J Dent* 30:259-269.
- Dietschi D, Olsburgh S, Krejci I, Davidson C. (2003) In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases. *Eur J Oral Sci* 111:73-80.
- Dietschi D, Spreafico R. (1998a) Restauraciones adhesivas no metálicas: Conceptos actuales para el tratamiento estético de los dientes posteriores. Barcelona-España, Masson.
- Dietschi D, Spreafico R. (1998b) Current clinical concepts for adhesive cementation of tooth-colored posterior restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 10: 47-54.
- Dietschi D, Spreafico R. (2015) Evidence-based concepts and procedures for bonded inlays and onlays. Part I. Historical perspectives and clinical rationale for a biosubstitutive approach. *Int J Esthet Dent* 10:210-27.
- Dietschi D, Hertzfeld D. (1998) In-vitro evaluation of marginal and internal adaptation of Class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* 106:1033-1042
- Doerr CL, Hilton TJ, Hermes CB (1996). Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin-modified glass ionomers. *Am J Dent* 9:19-21.
- Donly KJ, Wild TW, Bowen RL, Jensen ME. (1989) An in vitro investigation of the effects of glass inserts on the effective composite resin polymerization shrinkage. *J Dent Res* 68:1234-7.

- 
- Duarte PB, Da Silva EM. (2007) Nanoleakage phenomenon on deproteinized human dentin. *J Appl Oral Sci* 15:285-291.
  - Duarte S Jr, Botta AC, Meire M, Sadan A. (2008) Microtensile bond strengths and scanning electron microscopic evaluation of self-adhesive and self-etch resin cements to intact and etched enamel. *J Prosthet Dent* 100:203-10.
  - Duarte S, de Freitas CR, Saad JR, Sadan A. (2009) The effect of immediate dentin sealing on the marginal adaptation and bond strengths of total-etch and self-etch adhesives. *J Prosthet Dent* 102:1-9.
  - Dukic, W, Dukic O. L, Milardovic, S, & Delija, B. (2010) Clinical evaluation of indirect composite restorations at baseline and 36 months after placement. *Oper Dent* 35:156-164
  - El-Badrawy W, Hafez RM, El Naga AL, Ahmed DR. (2011) Nanoleakage for sSelf-aAdhesive resin cements used in bonding CAD/CAD ceramic material to dentin. *Eur J Dent* 5:281-90.
  - El-Badrawy WA, El-Mowafy OM. (1995) Chemical versus dual curing of resin inlay cements. *J Prosthet Dent* 73: 515-24.
  - Eliades GC, Vougiouklakis GJ, Caputo AA. (1987) Degree of double bond conversion in light cured composites. *Dental Materials* 3:19-25.
  - El-Mowafy O, El-Badrawy W, Eltanty A, Abbasi K, Habib N. (2007) Gingival microleakage of Class II resin composite restorations with fiber inserts. *Oper Dent* 32:298-305.
  - Ermis RB, De Munck J, Cardoso MV, Coutinho E, Van Landuyt KL, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2008) Bond strength of

- self-etch adhesives to dentin prepared with three different diamond burs. *Dent Mater* 24:978–85.
- Ermis RB, Temel UB, Cellik EU, Kam O. (2010) Clinical performance of a two-step self-etch adhesive with additional enamel etching in Class III cavities. *Oper Dent* 35:147-155.
  - Ernst CP, Canbek K, Aksogan K, Willershausen B. (2003) Two year clinical performance of a packable posterior composite with and without a flowable composite liner. *Clin Oral Investig* 7:129-34.
  - Esquivel-Upshaw JF, Young H, Jones J, Yang M, Anusavice KJ. (2006) In vivo wear of enamel by a lithia disilicate-based core ceramic used for posterior fixed partial dentures: first-year results. *Int J Prosthodont* 19:391–6.
  - Fabianelli A, Sgarra A, Goracci C, Cantoro A, Pollington S, Ferrari M. (2010) Microleakage in class II restorations: open vs closed centripetal build-up technique. *Oper Dent* 35:308-13.
  - Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. (1990) Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6:167-171.
  - Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. (1990a) Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69:36–39.
  - Fennis WM, Kuijs RH, Roeters FJ, Creugers NH, Kreulen CM. (2014) Randomized control trial of composite cuspal restorations: five-year results. *J Dent Res* 93:36-41.
  - Ferracane JL, Condon JR. (1992) Post-cure heat treatments for composites: properties and fractography. *Dent Mater* 8:290–295.

- 
- Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJT. (2011) Self-adhesive resin cements—chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil* 38: 295-314.
  - Ferracane JL. (2006) Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks. *Dent Mater* 22: 211–222.
  - Frankenberger R, Kramer N, Ebert J, Lohbauer U, Kappel S, ten Weges S, Petschelt A. (2003) Fatigue behavior of the resin–resin bond of partially replaced resin-based composite restorations. *Am J Dent* 16:17-22.
  - Frankenberger R, Lohbauer U, Schaible RB, Nikolaenko SA, Naumann M. (2008) Luting of ceramic inlays in vitro: Marginal quality of self-etch and etch-and-rinse adhesives versus self-etch cements. *Dent Mater* 24:185-191
  - Frankenberger R, Lohbauer U, Taschner M, Petschelt A, Nikolaenko SA. (2007) Adhesive luting revisited: influence of adhesive, temporary cement, cavity cleaning, and curing mode on internal dentin bond strength. *J Adhes Dent* 2:269-73.
  - Frankenberger R, Hehn J, Hajtó J, Krämer N, Naumann M, Koch A, Roggendorf MJ. (2013) Effect of proximal box elevation with resin composite on marginal quality of ceramic inlays in vitro. *Clin Oral Investig* 17:177-83
  - Frese C, Wolff D, Staehle HJ. (2014) Proximal box elevation with resin composite and the dogma of biological width R2-technique and critical review. *Oper Dent* 39:22-31.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Fuentes MV, Ceballos L, González-López S. (2013) Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. *Clin Oral Investig* 17:717-724.
- Gamborgi GP, Loguercio AD, Reis A. (2007) Influence of enamel border and regional variability on durability of resin-dentin bonds. *J Dent* 35:371-376.
- Garberoglio P. (1994) The ratio of the densities of dentinal tubules on the cervical and axial wall in cavities. *Quintessence Int* 25:49–5
- Garcia-Godoy F, Finger WJ. (1993) Reliability of microleakage evaluation using dentin bonding agents. *J Dent Res* 72: 308.
- Gardner A, Hobson R. (2001) Variations in acid-etch patterns with different acids and etch times. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 120:64-67.
- George LA, Richards ND, Eichmiller FC. (1995) Reduction of marginal gaps in composite restorations by use of glass-ceramic inserts. *Oper Dent* 20:151-151.
- Giannini M, Carvalho RM, Martins LR, Dias CT, Pashley DH. (2001) The influence of tubule density and area of solid dentin on bond strength of two adhesive systems to dentin. *J Adhes Dent* 3:315-24.
- Gilpatrick RO, Ross JA, Simonsen RJ. (1991) Resin-to-enamel bond strengths with various etching times. *Quintessence Int* 22:47-49.
- Giordano R. (2006) Materials for chairside cad/cam-produced restorations. *J Am Dent Assoc* 137:14S–21S.
- Giráldez I, Ceballos L, Garrido MA, Rodríguez J. (2011) Early hardness of self-adhesive resin cements cured under indirect resin composite restorations. *J Esthet Restor Dent* 23:116-24.

- 
- Gladys S, Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. (1997) Comparative physico-mechanical characterization of new hybrid restorative materials with conventional glass-ionomer and resin composite restorative materials. *J Dent Res* 76:883-94.
  - Goes MF, Montes MAJR. (2004) Evaluation of silver methenamine method for nanoleakage. *J Dent* 32:391-8.
  - González López S, Sanz Chinesta MV, Ceballos García L, de Haro Gasquet F, González Rodríguez MP. (2006) Influence of cavity type and size of composite restorations on cuspal flexure. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 11:536-40.
  - Goracci C, Cury AH, Cantoro A, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. (2006) Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cements used to lute composite onlays under different seating forces. *J Adhes Dent* 8:327-335
  - Gorman CM, Mc Devitt WE, Hill RG. (2000) Comparison of two heat-pressed all-ceramic dental materials. *Dent Mater* 16:389- 95. 15.
  - Guess PC, Vagkopoulou T, Zhang Y, Wolkewitz M, Strub JR. (2014) Marginal and internal fit of heat pressed versus CAD/CAM fabricated all-ceramic onlays after exposure to thermo-mechanical fatigue. *J Dent* 42:199-209.
  - Guzmán-Armstrong S, Armstrong SR, Qian F. (2003) Relationship between nanoleakage and microtensile bond strength at the resin-dentin interface. *Oper Dent* 28:60-6
  - Gwinnett AJ, Matsui A. (1967) A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesive. *Arch Oral Biol* 12:1615-20.

- Haddad MF, Rocha EP, Assunção WG. (2011) Cementation of prosthetic restorations: from conventional cementation to dental bonding concept. *J Craniofac Surg* 22:952-958.
- Hamburger JT, Opdam NJ, Bronkhorst EM, Kreulen CM, Roeters JJ, Huysmans MC. (2011) Clinical performance of direct composite restorations for treatment of severe tooth wear. *J Adhes Dent* 13:585-593.
- Han L, Okamoto A, Fukushima M, Okiji T. (2007) Evaluation of physical properties and surface degradation of self-adhesive resin cements. *Dent Mater* 26:906-14.
- Hashimoto M, de Gee AJ, Feilzer AJ. (2008) Polymerization contraction stress in dentin adhesives bonded to dentin and enamel. *Dent Mater* 24:1304-10.
- Hashimoto M, Ito S, Tay FR, Svizero NR, Sano H, Kaga M, Pashley DH (2004) Fluid movement across the resin–dentin interface during and after bonding. *J Dent Res* 83:843-848.
- Hashimoto M, Nagano F, Endo K, Ohno H. (2011) A review: bidegradation of resin-dentin bonds. *Jpn Dent Sci Rev* 47:5-12.
- Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H. (2000) In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res* 79:1385-91.
- Hashimoto M, Ohno H, Sano H, Kaga M, Oguchi H. (2003) Degradation patterns of different adhesives and bonding procedures. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 66:324-330



- 
- Hebling J, Pashley DH, Tjäderhane L, Tay FR. (2005) Chlorhexidine arrests subclinical degradation of dentin hybrid layers in vivo. *J Dent Res* 84:741–6.
  - Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson, V. (2008) Wear of ceramic and antagonist—A systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dental Mater* 24:433-449.
  - Heintze SD, Thunpithayakul C, Armstrong SR, Rousson V. (2011) Correlation between microtensile bond strength data and clinical outcome of Class V restorations. *Dent Mater* 27:114-125.
  - Hickel R, Manhart J. (2001) Longevity of restorations in posterior teeth and reasons for failure. *J Adhes Dent* 3:45-64.
  - Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, Lambrechts P, Peumans M. (2007) Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater* 23:71-80.
  - Hill EE, Lott J. (2011) A clinically focused discussion of luting materials. *Aust Dent J* 56:67-76.
  - Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schläpfer R, Hämmerle C, Fischer J. (2008) Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater* 24:944-50.
  - Hopp CD, Land MF. (2013) Considerations for ceramic inlays in posterior teeth: a review. *Clin Cosmet Investig Dent* 18:21-32.
  - Hübsch PF, Middleton J, Knox J. (2000) A finite element analysis of the stress at the restoration-tooth interface, comparing inlays and bulk fillings. *Biomaterials* 21:1015-9.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Huth KC, Chen HY, Mehl A, Hickel R, Manhart J. (2011) Clinical study of indirect composite resin inlays in posterior stress-bearing cavities placed by dental students: results after 4 years. *J Dent* 39:478-88.
- Ibarra G, Johnson GH, Geurtsen W, Vargas MA. (2007) Microleakage of porcelain veneer restorations bonded to enamel and dentin with a new self-adhesive resin based dental cement. *Dent Mater* 23:218-225.
- Ilgenstein I, Zitzmann NU, Bühler J, Wegehaupt FJ, Attin T, Weiger R, Krastl G. (2015) Influence of proximal box elevation on the marginal quality and fracture behavior of root-filled molars restored with CAD/CAM ceramic or composite onlays. *Clin Oral Investig* 19:1021-8.
- Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, De Munck J, Nagakane K, Suzuki K, Sano H, Van Meerbeek B. (2005) Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 84:1160-1164.
- Inoue S, Vargas MA, Abe Y, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G, Sano H, Van Meerbeek B. (2001) Micro-tensile bond strength of eleven contemporary modern adhesives to dentin. *J Adhes Dent* 3:237-245.
- Inukai T, Abe T, Ito Y, Pilecki P, Wilson RF, Watson TF, Foxton RM. (2012) Adhesion of indirect MOD resin composite inlays luted with self-adhesive and self-etching resin cements. *Oper Dent* 37:474-84.
- Ito S, Hashimoto M, Wadgaonkar B, Svizero N, Carvalho RM, Yiu C, Rueggeberg FA, Foulger S, Saito T, Nishitani Y, Yoshiyama M, Tay FR,

- Pashley DH. (2005) Effects of resin hydrophilicity on water sorption and changes in modulus of elasticity. *Biomaterials* 26: 6449–6459.
- Jablonski S. (1992) *Diccionario Ilustrado de odontología*. Madrid-España, Panamericana.
  - Jacobsen T, Soderholm KJ. (1995) Some effects of water on dentin bonding. *Dent Mater* 11:132-136.
  - Jayasooriya PR, Pereira PN, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J. (2003a) The effect of a “resin coating” on the interfacial adaptation of composite inlays. *Oper Dent* 28:28-35.
  - Jayasooriya PR, Pereira PN, Nikaido T, Tagami J. (2003b) Efficacy of a resin coating on bond strengths of resin cement to dentin. *J Esthet Restor Dent* 15: 105-13.
  - Jiang W, Bo H, Yongchun G, LongXing N. (2010) Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent* 103:6-12.
  - Jokstad A, Mjör IA, Qvist V. (1994) The age of restorations in situ. *Acta Odontol Scand* 52:234-42
  - Kanca J. (1992) Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin. *Am J Dent* 5:213-215.
  - Kanemura N, Sano H, Tagami J. (1999) Tensile bond strength to and SEM evaluation of ground and intact enamel surfaces. *J Dent* 27:523-530
  - Kaneshima T, Yatani H, Kasai T, Watanabe EK, Yamashita A. (2000) The influence of blood contamination on bond strengths between dentin and an adhesive resin cement. *Oper Dent* 25:195-201.

- Kasaz AC, Pena CE, de Alexandre RS, Viotti RG, Santana VB, Arrais CA, Giannini M, Reis AF. (2012) Effects of a peripheral enamel margin on the long term bond strength and nanoleakage of composite/dentin interfaces produced by self-adhesive and conventional resin cements. *J Adhes Dent* 14:251-63.
- Kemp-Scholte CM, Davidson CL. (1990) Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 69:1240-3.
- Kielbassa AM, Philipp F. (2015) Restoring proximal cavities of molars using the proximal box elevation technique: Systematic review and report of a case. *Quintessence Int* 46:751-64.
- Kim Y, Hirano S, Hirasawa T. (1998) Physical properties of resin-modified glass ionomers. *Dent Mater J* 17:68-76.
- Kina y Bruguera. (2008) Invisible: Restauraciones Estéticas Cerámicas. Primera edición, Madrid-España, Panamericana.
- Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I. (2012) Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci* 120:539–48.
- Koshiro K, Sidhu SK, Inoue S, Ikeda T, Sano H. (2006) New concept of resin-dentin interfacial adhesion: the nanointeraction zone. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 77:401–8.
- Krämer N, Frankenberger R. (2005). Clinical performance of bonded leucite-reinforced glass ceramic inlays and onlays after eight years. *Dent Mater* 21:262-271.

- 
- Kumagai RY, Zeidan LC, Rodrigues JA, Reis AF, Roulet JF. (2015) Bond Strength of a Flowable Bulk-fill Resin Composite in Class II MOD Cavities. *J Adhes Dent* 17:427-432.
  - Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. (2004) A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont* 17:357-6.
  - Lad PP, Maya K, Kavita T, Preethi B, Kusugal. (2014) Practical clinical considerations of luting cements: A review. *Int Oral Health* 6: 116-120.
  - Laegreid T, Gjerdet NR, Johansson AK. (2012) Extensive composite molar restorations: 3 years clinical evaluation. *Acta Odontol Scand* 70:3443-3452.
  - Li H, Burrow MF, Tyas MJ. (2000) Nanoleakage patterns of four dentin bonding systems. *Dent Mater* 16:48-56.
  - Liebenberg WH. (2000) Assuring restorative integrity in extensive posterior resin restorations: Pushing the envelope. *Quintessence Int* 31:153-164.
  - Lin J, Shinya A, Gomi H, & Shinya A. (2010) Bonding of self-adhesive resin cements to enamel using different surface treatments: Bond strength and etching pattern evaluations. *Dent Mater J* 29: 425-432.
  - Lindberg A, Van Dijken JWV, Hörstedt P. (2005) In vivo interfacial adaptation of class II resin composite restorations with and without a flowable resin composite liner. *Clin Oral Invest* 9:77-83.
  - Loguercio AD, Bittencourt DD, Baratieri LN, Reis A. (2007) A 36-month evaluation of self-etch and etch-and-rinse adhesives in noncarious cervical lesions. *J Am Dent Assoc* 138:507-514.

- Lucena-Martín C, González-López S, Navajas-Rodríguez de Mondelo JM. (2001) The effect of various surface treatments and bonding agents on the repaired strength of heat-treated composites. *J Prosthet Dent* 86:481-8.
- Luque-Martinez IV, Perdigão J, Muñoz MA, Sezinando A, Reis A, Loguercio AD. (2014) Effects of solvent evaporation time on immediate adhesive properties of universal adhesives to dentin. *Dent Mater* 30:1126–1135.
- Lutz E, Krejci I, Oldenburg TR. (1986) Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 17:777-84.
- Lynch CD, Opdam NJ, Hickel R, Brunton PA, Gurgan S, Kakaboura A, Shearer AC, Vanherle G, Wilson NH. (2014) Guidance on posterior resin composite: Academy of Operative Dentistry – European Section. *J Dent* 42:377-83.
- Magne P, Belser UC. (2003) Porcelain versus composite inlays/onlays: effects of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *Int J Periodontics Restorative Dent* 23:543-55.
- Magne P, Douglas WH. (1999) Porcelain veneers: dentin bonding optimization and biomimetic recovery of the crown. *Int J Prosthodont* 12:111-21.
- Magne P, Kim TH, Cascione D, Donovan TE. (2005) Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *J Prosthet Dent* 94: 511-519.

- 
- Magne P, So WS, Cascione D. (2007) Immediate dentin sealing supports delayed restoration placement. *J Prosthet Dent* 98:166-174.
  - Magne P, Spreafico R. (2012) Deep margin elevation: a possible adjunct procedure to immediate sealing. *Am J Esthet Dent* 2:86-96.
  - Magne P, Stanley K y Schlichting LH. (2012) Modeling of ultrathin occlusal veneers. *Dent Mater* 28:777-782.
  - Magne P. (2005) Immediate dentin sealing: A fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthetic Restor Dent* 17:144-155.
  - Magne P. (2007) Efficient 3D finite element analysis of dental restorative procedures using micro-CT data. *Dent Mater* 23:539-48.
  - Mainjot A. (2016) Recent advances in composite CAD/CAM blocks. *Int J Esthet Dent* 11:275-80.
  - Makishi P, Shimada Y, Sadr A, Wei S, Ichinose S, Tagami J. (2010) Nanoleakage expression and microshear bond strength in the resin cement/dentin interface. *J Adhes Dent* 12:393-40.
  - Malmström HS, Schlueter M, Roach T, Moss ME. (2002) Effect of thickness of flowable resins on marginal leakage in class II composite restorations. *Oper Dent* 27:373-80.
  - Manhart J, Chen HY, Neuerer P, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Hickel R. (2001) Three year clinical evaluation of composite and ceramic inlays. *Am J Dent* 14:95-9.
  - Manhart J, Neuerer P, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Hickel R. (2000b) Three-year clinical evaluation of direct and indirect

- composite restorations in posterior teeth. *J Prosthet Dent* 84:289-296.
- Manhart J, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Chen HY, Hickel R. (2000a) A 2-year clinical study of composite and ceramic inlays. *Clin Oral Investig* 4: 192-198.
  - Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. (2004). Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent* 29:481-508.
  - Manso AP, Silva NR, Bonfante EA, Pegoraro TA, Dias RA, Carvalho RM. (2011) Cements and adhesives for all-ceramic restorations. *Dent Clin North Am* 55:311-32.
  - Marghalani HY. (2012) Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. *Dent Mater* 28:187-198.
  - Mazzitelli C, Monticelli F, Osorio R, Casucci A, Toledano M, Ferrari M. (2008) Effect of simulated pulpal pressure on self-adhesive cements bonding to dentin. *Dent Mater* 24:1156-63.
  - McLean JW, Wilson AD. (1977) The clinical development of the glass-ionomer cement II: Some clinical applications. *Aust Dent J* 22:120-7.
  - McLean JW, Powis DR, Prosser HJ, Wilson AD. (1985) The use of glass-ionomer cements in bonding composite resins to dentine. *Br Dent J* 158:410-4.
  - Mehl A, Kunzelmann KH, Folwaczny M, Hickel R. (2004) Stabilization effects of CAD/CAM ceramic restorations in extended MOD cavities. *J Adhes Dent* 6:239-45.



- 
- Mena-Serrano A, Garcia EJ, Loguercio AD, Reis A. (2014) Effect of Sonic application mode on the resin-dentin bond strength and nanoleakage of simplified self-etch adhesive. *Clin Oral Investig* 18:729-36.
  - Mena-Serrano A, Kose C, De Paula EA, Tay LY, Reis A, Loguercio AD, Perdigão J. (2013) A new universal simplified adhesive: 6-month clinical evaluation. *J Esthet Restor Dent* 25:55-69.
  - Meriwether LA, Blen BJ, Benson JH, Hatch RH, Tantbirojn D, Versluis A. (2013) Shrinkage stress compensation in composite-restored teeth: relaxation or hygroscopic expansion?. *Dent Mater* 29:573-9.
  - Meyer A Jr; Cardoso LC; Araujo, E; Baratieri, LN. (2003). Ceramic inlays and onlays: clinical procedures for predictable results. *J Esthet Restor Dent* 15:338-352
  - Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Poitevin A, Van Ende A, Matsumoto M, Yoshida Y, Kuboki T, Van Meerbeek B. (2014) Dentin-smear remains at self-etch adhesive interface. *Dental Materials* 30:1147-1153.
  - Miyazaki M, Tsubota K, Takamizawa T, Kurokawa T, Rikuta A, Ando S. (2012) Factors affecting the in vitro performance of dentin-bonding systems. *Jpn Dent Sci Rev* 48: 53-60.
  - Miyazaki T, Hotta Y. (2011) CAD/CAM systems available for the fabrication of crown and bridge restorations. *Aust Dent J* 56:97-106.
  - Mjör IA, Gordan VV. (2002) Failure, repair, refurbishing and longevity of restorations. *Oper Dent* 27:528-534.
  - Moazzami SM, Sarabi N, Hajizadeh H, Majidinia S, Li Y, Mmeharry MR, Shahrokh H. (2014) Efficacy of four lining materials in

- sandwich technique to reduce microleakage in class II composite resin restorations. *Oper Dent* 39:256-63.
- Mobarak EH, Daifalla LE. (2012) Long-term nanoleakage depth and pattern of cervical restorations bonded with different adhesives. *Oper Dent* 37:45-53.
  - Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M. (2008) Limited dDecalcification/dDiffusion of sSelf-adhesive cCements into dDentin. *J Dent Res* 87:974-9.
  - Moscovich H, Roeters FJ, Verdonschot N, de Kanter RJ, Creugers NH. (1998) Effect of composite basing on the resistance to bulk fracture of industrial porcelain inlays. *J Dent* 26:183-89
  - Moszner N, Salz U, Zimmermann J. (2005) Chemical aspects of self-etching enamel–dentin adhesives: a systematic review. *Dent Mater* 21:895–910.
  - Müller-Plathesup F, Laaksonen L, Van Gusteren WF. (1993) Cooperative effects in the transport of small molecules through an amorphous polymer matrix. *J Mol Graph* 11: 118–136.
  - Musanje L, Darvell BW. (2006) Curing-light attenuation in filled-resin restorative materials. *Dent Mater* 22:804-17
  - Myers ML, Caughman WF, Rueggeberg FA. (1994) Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement. *J Prosthodont* 3:149–57.
  - Nadini S. (2010) Indirect resin composites. *J Conserv Dent* 13:184-194.

- 
- Naga AA, Yousef M, Ramadan R, Fayez Bahgat S, Alshawwa L. (2015) Does the use of a novel self-adhesive flowable composite reduce nanoleakage?. *Clin Cosmet Investig Dent* 27:55-64.
  - Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. (1982) The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res* 16:265-273.
  - Nakabayashi N, Pashley DH. (1998) Hybridization of Dental Hard tissues. Quintessence Publishing 65-67.
  - Nakabayashi N. (1985) Bonding of restorative materials to dentine: the present status on Japan. *Int Dent J* 35:145-154.
  - Nakamura T, Ohyama T, Imanishi A, Nakamura T, Ishigaki S. (2002) Fracture resistance of pressable glass-ceramic fixed partial dentures. *J Oral Rehabil* 29:951-5.
  - Narayana V, Ashwathanarayana S, Nadig G, Rudraswamy S, Doggalli N, Vijai S. (2014) Assessment of microleakage in class II cavities having gingival wall in cementum using three different posterior composites. *J Int Oral Health* 6:35.
  - Neves Ade A, Coutinho E, Cardoso MV, Jaecques S, Lambrechts P, Sloten JV. (2008) Influence of notch geometry and interface on stress concentration and distribution in micro-tensile bond strength specimens. *J Dent* 36:808–15.
  - Neves Ade A, Coutinho E, Poitevin A, Van der Sloten J, Van Meerbeek B, Van Oosterwyck H. (2009) Influence of joint component mechanical properties and adhesive layer thickness on stress distribution in micro-tensile bond strength specimens. *Dent Mater* 25:4–12.

- Nguyen JF, Migonney V, Ruse ND, Sadoun M. (2012) Resin composite blocks via high-pressure high-temperature polymerization. *Dent Mater* 28:529-534.
- Nikaido T, Weerasinghe DD, Waidyasekera K, Inoue G, Foxton RM, Tagami J. (2009) Assessment of the nanostructure of acid-base resistant zone by the application of all-in-one adhesive systems: Super dentin formation. *Biomed Mater Eng* 19:163-171
- Nikaido T, Nurrohman H, Takagaki T, Sadr A, Ichinose S, Tagami J. (2015) Nanoleakage in hybrid layer and acid-base resistant zone at the adhesive/dentin interface. *Microsc Microanal* 21:1271-7.
- Nurrohman H, Nikaido T, Takagaki T, Sadr A, Ichinose S, Tagami J. (2012) Apatite crystal protection against acid-attack beneath resin-dentin interface with four adhesives: TEM and crystallography evidence. *Dent Mater* 28:e89-98.
- Oh WS, DeLong R, Anusavice KJ. (2002) Factors affecting enamel and ceramic wear: a literature review. *J Prosthet Dent* 87:451-9.
- Ohyama T, Yoshinari M, Oda Y. (1999) Effects of cyclic loading on the strength of all-ceramic materials. *Int J Prosthodont* 12:28- 37
- Opdam N, Frankenberger R, Magne P. (2016) From 'Direct Versus Indirect' toward an integrated restorative concept in the posterior dentition. *Oper Dent*. Feb 26. [Epub ahead of print]
- Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. (2010) 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. *J Dent Res* 89:1063-1067.

- 
- Opdam NJ, Roeters JJ, Loomans BA, Bronkhorst EM. (2008) Seven-year clinical evaluation of painful cracked teeth restored with a direct composite restoration. *J of Endod* 34:808-811.
  - Opdam NJM, Van de Sande FH, Bronkhorst E, Cenci MS, Bottenberg P, Pallesen U, Van Dijken JW. (2014) Longevity of posterior composite restorations: A systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 93:943-949.
  - Osorio R, Ceballos L, Tay F, Cabrerizo-Vilchez MA, Toledano M. (2002) Effect of sodium hypochlorite on dentin bonding with a polyalkenoic acid-containing adhesive system. *J Biomed Mater Res* 60:316-324.
  - Ozel E, Korkmaz Y, Attar N. (2008) Influence of location of the gingival margin on the microleakage and internal voids of nanocomposites. *J Contemp Dent Pract* 9:65-72.
  - Ozturk N, Aykent F. (2003) Dentin bond strengths of two ceramic inlay systems after cementation with three different techniques and one bonding system. *J Prosthet Dent* 89:275-81.
  - Pallesen U, Qvist V. (2003) Composite resin fillings and inlays. An 11-year evaluation. *Clin Oral Investig* 7:71-9.
  - Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB. (2008) How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dent Mater* 24:1501-1505.
  - Park JW, Lee KC. (2004) The influence of salivary contamination on shear bond strength of dentin adhesive systems. *Oper Dent* 29:437-42.

- Park SH, Yoo YJ, Shin YJ, Cho BH, Baek SH. (2016) Marginal and internal fit of nano-composite CAD/CAM restorations. *Restor Dent Endod* 41:37-43.
- Park SH. (1996) Comparison of degree of conversion for light-cured and additionally heat-cured composites. *J Prosthet Dent* 76:613–8.
- Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA, Tay F. (1999) The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1:299-309.
- Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Pashley DH, Carvalho RM. (1997) Dentine permeability and dentine adhesive. *J Dent* 25:355-372.
- Pashley DH, Ciucchi B, Sano H. (1993) Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int* 24:618-31.
- Pashley DH, Horner JA, Brewer PO. (1992) Interactions of conditioners on the dentin surfaces. *Oper Dent* 17:127–50.
- Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M, Carvalho RM. (1995) Adhesion testing of dentin bonding agents: A review. *Dent Mater* 11:117-25.
- Pashley DH, Tay FR, Yiu C, Hashimoto M, Breschi L, Carvalho RM, Ito, S. (2004) Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *J Dent Res* 83:216-21.
- Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, Tezvergil-Mutluay A. (2011) State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dent Mater* 27:1-16.
- Pashley DH. (1991) Clinical correlations of dentin structure and function. *J Prosthet Dent* 66:777–781

- 
- Pashley EL, Comer RW, Simpson MD, Horner JA, Pashley DH, Caughman WF. (1992) Dentin permeability: sealing the dentin in crown preparations. *Oper Dent* 17:13-20.
  - Paul SJ, Scharer P. (1997) The dual bonding technique: A modified method to improve adhesive luting procedures. *Int J Periodontics Restorative Dent* 17:536-545.
  - Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. (2007) Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 51:453-71.
  - Perdigão J, Dutra-Correa M, Anauate-Netto C, Castilhos N, Carmo AR, Lewgoy HR, Cordeiro HJ. (2009) Two-year clinical evaluation of self-etching adhesives in posterior restorations. *J Adhes Dent* 11:149-159.
  - Perdigão J, Frankenberger R, Rosa BT, Breschi L. (2000) New trends in dentin/enamel adhesion. *Am J Dent* 13:25D-30D.
  - Perdigão J, Geraldini S, Hodges JS. (2003) Total-etch versus self-etch adhesive: effect on postoperative sensitivity. *J Am Dent Assoc* 134:1621-9.
  - Perdigão J, Gomes G, Gondo R, Fundingsland JW. (2006) In vitro bonding performance of all-in-one adhesives Part I – microtensile bond strengths. *J Adhes Dent* 8:367–73.
  - Perdigão J, Lopes L, Lambrechts P, Leitao J, Van Meerbeek B, Vanherle G. (1997) Effects of a self-etching primer on enamel shear bond strengths and SEM morphology. *Am J Dent* 10:141–6.
  - Perdigão J, Lopes L, Lambrechts P, Leitao J, Van Meerbeek B, Vanherle G. (1997) Effects of a self-etching primer on enamel shear bond strengths and SEM morphology. *Am J Dent* 10:141-6.

- Perdigão J, Lopes MM, Gomes G. (2008) In vitro bonding performance of self-etch adhesives. II. Ultramorphological evaluation. *Oper Dent* 33:534-49.
- Perdigão J, Muñoz M, Sezinando A, Luque-Martinez I, Staichak R, Reis A, Reis A, Loguercio AD. (2013) Immediate adhesive properties to dentin and enamel of a universal adhesive associated with a hydrophobic resin coat. *Oper Dent* 39:489-99.
- Perdigão J, Sezinando A, Gomes G. (2011) In vitro sealing potential of a self- adhesive pit and fissure sealant. *Quintessence Int* 42:65-73.
- Perdigão J, Van Meerbeek B, Lopes MM, Anbrose WW. (1999) The effect of a re-wetting agent on dentin bonding. *Dent Mater* 15:282-295.
- Perdigão J. (2007) New developments in dental adhesion. *Dent Clin North Am* 51:333-357.
- Pereira PNR, Okuda M, Nakajima M, Sano H, Tagami J, Pashley DH. (2001) Relationship between bond strengths and nanoleakage: evaluation of a new assessment method. *Am J Dent* 14:100-4.
- Pereira PNR, Okuda M, Sano H, Yoshikawa T, Burrow MF, Tagami J (1999) Effect of intrinsic wetness and regional difference on dentin bond strength. *Dent Mater* 15:46-53.
- Peumans M, De Munck J, Mine A, Van Meerbeek B. (2014) Clinical effectiveness of contemporary adhesives for the restoration of non-carious cervical lesions. A systematic review. *Dent Mater* 30:1089-1103.



- 
- Peumans M, De Munck J, Van Landuyt KL, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2010) Eight year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dent Mater* 26:1176-1184.
  - Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2005) Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 21:864-81.
  - Peumans M, Voet M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Ende A, Van Meerbeek B. (2013) Four-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *Clin Oral Investig* 17:739-750.
  - Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Meerbeek B. (2015) Thirteen-year randomized controlled clinical trial of a two-step self-etch adhesive in non-carious cervical lesions. *Dent Mater* 31:308-14.
  - Peutzfeldt A, Asmussen E. (2000) The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites. *J Dent* 28:447-52.
  - Peutzfeldt A, Asmussen E. (2002) Composite restorations: influence of flowable and self-curing resin composite linings on microleakage in vitro. *Oper Dent* 27:569-75.
  - Peutzfeldt A, Asmussen E. (1990) A comparison of accuracy in seating and gap formation for three inlay/onlay techniques. *Oper Dent* 15:129-35.
  - Peutzfeldt A. (2001) Indirect resin and ceramic systems. *Oper Dent* 26:153-176.

- Pioch T, Staehle HJ, Duschner H, García-Godoy F. (2001) Nanoleakage at the composite dentin interface: a review. *Am J Dent* 14:2528.
- Pisani-Proença J, Erhardt MC, Amaral R, Valandro LF, Bottino MA, Del Castillo-Salmerón R. (2011) Influence of different surface conditioning protocols on microtensile bond strength of self-adhesive resin cements to dentin. *J Prosthet Dent* 105:227-35.
- Piwowarczyk A, Bender R, Ottl P, Lauer HC. (2007) Long-term bond between dual-polymerizing cementing agents and human hard dental tissue. *Dent Mater* 23:211-217.
- Poggio C, Chiesa M, Scribante A, Mekler J, Colombo M. (2013) Microleakage in Class II composite restorations with margins below the CEJ: in vitro evaluation of different restorative techniques. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 18:793-8.
- Prochnow EP, Amaral M, Bergoli CD, Silva TB, Saavedra G, Valandro LF. (2014) Microtensile bond strength between indirect composite resin inlays and dentin: effect of cementation strategy and mechanical aging. *J Adhes Dent* 16:357-63.
- Purk JH, Dusevich V, Glaros A, Spencer P, Eick JD. (2004) In vivo versus in vitro microtensile bond strength of axial versus gingival cavity preparation walls in Class II resin-based composite restorations. *J Am Dent Assoc* 135:185-93.
- Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. (2008) Self-adhesive resin cements: A literature review. *J Adhes Dent* 10:251-8.

- 
- Rasines Alcaraz MG, Veitz-Keenan A, Sahrman P, Schmidlin PR, Davis D, Iheozor-Ejiofor Z. (2014) Direct composite resin fillings versus amalgam fillings for permanent or adult posterior teeth. *Cochrane Database Syst Rev* 31:3.
  - Re D, Cerutti A, Mangani F, Putignano A. (2009) Restauraciones Estéticas-Adhesivas Indirectas Parciales en Sectores Posteriores. Torino-Italia, Primera edición, Amolca.
  - Rengo C, Goracci C, Juloski J, Chieffi N, Giovannetti A, Vichi A, Ferrari, M. (2012). Influence of phosphoric acid etching on microleakage of a self-etch adhesive and a self-adhering composite. *Aust Dent J* 57:220-226.
  - Rittel AV, Baratieri L. (1999) Ceramic restorations for posterior teeth: guidelines for the clinician. *J Esthet Dent* 11: 72-86.
  - Rocca GT, Bonnafous F, Rizcalla N, Krejci I. (2010) A technique to improve the esthetic aspects of CAD/CAM composite resin restorations. *J Prosthet Dent* 104:273-275.
  - Rocca GT, Krejci I. (2013) Crown and post-free adhesive restorations for endodontically treated posterior teeth: From direct composite to endocrowns. *Eur J Esthet Dent* 8: 156-179.
  - Rocca GT, Gregor L, Sandoval MJ, Krejci I, Dietschi D. (2012) In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases and interface treatment. Post fatigue adaptation of indirect composite restorations. *Clin Oral Investig* 16:1385-93.
  - Rocca GT, Krejci I. (2007) Bonded indirect restorations for posterior teeth: the luting appointment. *Quintessence Int* 38:543-53.

- Rocca GT, Rizcalla N, Krejci I, Dietschi D. (2015) Evidence-based concepts and procedures for bonded inlays and onlays. Part II. Guidelines for cavity preparation and restoration fabrication. *Int J Esthet Dent* 10:392-413.
- Rodrigues SA Jr, Ferracane JL, Della Bona A. (2009) Influence of surface treatments on the bond strength of repaired resin composite restorative materials. *Dent Mater* 25:442-51.
- Roggendorf MJ, Krämer N, Dippold C, Vosen VE, Naumann M, Jablonski-Momeni A, Frankenberger R. (2012) Effect of proximal box elevation with resin composite on marginal quality of resin composite inlays in vitro. *J Dent* 40:1068-73.
- Sadek FT, Monticelli F, Muench A, Ferrari M, Cardoso PE. (2006) A novel method to obtain microtensile specimens minimizing cut flaws. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 78:7–14.
- Sadek FT, Calheiros FC, Cardoso PE, Kawano Y, Tay F, Ferrari M. (2008) Early and 24-hour bond strength and degree of conversion of etch-and-rinse and self-etch adhesives. *Am J Dent* 21:30-4.
- Salehrabi R, Rotstein I. (2004) Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod* 30:846–850. 5.
- Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. (1994a) Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength - evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater* 10:236-40
- Sano H, Shono T, Takatsu T, Hosoda H. (1994b) Microporous dentin zone beneath resin-impregnated layer. *Oper Dent* 19:59-64.

- 
- Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent*. 1995; 20:18-35.
  - Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Matthews WG, Pashley DH. (1995) Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 20:18–25
  - Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, Burrow MF, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, Pashley DH. (1995) Comparative TEM and SEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 20:160-7.
  - Sano, H. (2006) Microtensile testing, nanoleakage, and biodegradation of resin-dentin bonds. *J Dent Res* 85:11-14.
  - Santana VB, de Alexandre RS, Rodrigues JA, Ely C, Reis AF. (2016) Effects of immediate dentin sealing and pulpal pressure on resin cement bond strength and nanoleakage. *Oper Dent* 41:189-99.
  - Saridag S, Sevimay M y Pekkan G. (2013) Fracture resistance of teeth restored with all-ceramic inlays and onlays: an in vitro study. *Oper Dent* 38:626-634.
  - Sarr M, Mine A, De Munck J, Vivian M, Wakhabe A, Vreven J, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. (2010) Immediate bonding effectiveness of contemporary composite cements to dentin. *Clin Oral Invest* 14:569-77.
  - Saskalauskaite E, Tam LE, McComb D. (2008) Flexural strength, elastic modulus, and pH profile of self-etch resin luting cements. *J Prosthodont* 17:262-8.

- Sattabanasuk V, Shimada Y, Tagami J. (2004) The bond of resin to different dentin surface characteristics. *Oper Dent* 29:333-41.
- Sattanasuk V, Vachiramon V, Qian F, Armstrong SR. (2007) Resin-bond strength as related to different surface preparation methods. *J Dent* 35:467–475.
- Sauro S, Pashley DH, Montanari M, Chersoni S, Carvalho RM, Toledano M, Osorio R, Tay FR, Prati C. (2007) Effect of simulated pulpal pressure on dentin permeability and adhesion of self-etch adhesives. *Dent Mater* 23: 705–713.
- Scheibenbogen A, Manhart J, Kunzelmann KH, Hickel R. (1999) Two-year clinical evaluation of direct and indirect composite restorations in posterior teeth *J Prosthet Dent* 82:391-397.
- Schlichting LH, Maia HP, Baratieri LN y Magne P. (2011) Novel-design ultra-thin CAD/CAM composite resin and ceramic occlusal veneers for the treatment of severe dental erosion. *J Prosthet Dent* 105:217-226.
- Sezinando A. (2014) Looking for the ideal adhesive—a review. *Rev Port Estomatol Med Dent Cir Maxillofacial* 55:194–206
- Shinkai K, Suzuki S, Leinfelder KF, Katoh Y. (1994) How heat treatment and thermal cycling affect wear of composite resin inlays. *J Am Dent Assoc* 125:1467-72.
- Shono Y, Terashita M, Shimada J, Kozono Y, Carvalho RM, Russell CM, Pashley DH. (1999) Durability of resin-dentin bonds. *J Adhes Dent* 1:211-8.

- Shor A, Nicholls JI, Phillips KM, Libman WJ. (2003) Fatigue load of teeth restored with bonded direct composite and indirect ceramic inlays in MOD class II cavity preparations. *Int J Prosthodont* 16:64-9.
- Sirisha K, Rambabu T, Ravishankar Y, Ravikumar P. (2014) Validity of bond strength tests: A critical review-Part II. *J Conserv Dent* 17:420-6.
- Smith DS, Vandewalle KS, Whisler G. (2011) Color stability of composite resin cements. *Gen Dent* 59:390-4.
- Soares CJ, Giannini M, Oliveira MT, Martins LRM, Paulillo LAMS. (2004) Effect of surface treatments of laboratory-fabricated composites on the microtensile bond strength to a luting resin cement. *J Appl Oral Sci* 12:45-50.
- Soares CJ, Giannini M, Oliveira MT, Paulillo LAMS, Martins LRM. (2004) Effects of surface treatments of laboratory-fabricated composites on the microtensile bond strength to a luting resin cement. *J Appl Oral Sci* 12:45-50.
- Soares CJ, Martins LR, Fernandes Neto AJ, Giannini M. (2003) Marginal adaptation of indirect composites and ceramic inlay systems. *Oper Dent* 28:689-94.
- Soares CJ, Martins LR, Pfeifer JM, Giannini M. (2004) Fracture resistance of teeth restored with indirect-composite and ceramic inlay systems. *Quintessence Int* 35:281-6
- Soares CJ, Pizi ECG, Fonseca RB, Martins LRM. (2005) Mechanical properties of light-cured composites polymerized with several additional post-curing methods. *Oper Dent*. 30:389-94

- Soares CJ, Soares PV, Pereira JC, Fonseca RB, Pereira JC. (2005) Surface treatment protocols in the cementation process of ceramic and laboratory-processed compositor restorations: a literatura review. *J Esthet Restor Dent* 17:224-35.
- Soles CF, Yee AF. (2000) A discussion of the molecular mechanisms of moisture transport in epoxy resins. *J Polym Sci Part B: Polym Phys* 38: 792–802.
- Soncini JA, Maserejian NN, Trachtenberg F, Tavares M, Hayes C. (2007) The longevity of amalgam versus compomer/composite restorations in posterior primary and permanent teeth: findings From the New England Children's Amalgam Trial. *J Am Dent Assoc* 138:763–72.
- Sorensen JA, Martinoff JT. (1984) Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51:780–784.
- Spencer P, Wang Y. (2002) Quantifying adhesive penetration in adhesive/interface using confocal Raman microspectroscopy. *J Biomed Mater Res* 59: 46–55.
- Spencer P, Ye Q, Park J, Topp EM, Misra A, Marangos O, Wang Y, Bohaty BS, Singh V, Sene F, Eslick J, Camarda K, Katz JL. (2010) Adhesive/Dentin interface: the weak link in the composite restoration. *Ann Biomed eng* 38:1989-2003.
- Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. (2014) Resin bond to indirect composite and new ceramic/polymer materials: a review of the literature. *J Esthet Restor Dent* 26:382-93.



- 
- Spreafico RC, Krejci I, Dietschi D. (2005) Clinical performance and marginal adaptation of class II direct and semidirect composite restorations over 3.5 years in vivo. *J Dent* 33:499-507.
  - Stawarczyk B, Sener B, Trottmann A, Roos M, Ozcan M, Hämmerle CH. (2012) Discoloration of manually fabricated resins and industrially fabricated CAD/CAM blocks versus glass-ceramic: effect of storage media, duration, and subsequent polishing. *Dent Mater J* 31:377-383.
  - Tachibana A, Castanho GM, Vieira SN, Matos AB. (2010) Influence of blood contamination on bond strength of a self-etching adhesive to dental tissues. *J Adhes Dent* 13:349-58.
  - Taha NA, Palamara JE, Messer HH. (2011) Fracture strength and fracture patterns of root filled teeth restored with direct resin restorations. *J Dent* 39:527-35.
  - Tay FR, Hashimoto M, Pashley DH, Peters MC, Lai SCN, Yiu CKY, Cheong C. (2003) Aging affects two modes of nanoleakage expression in bonded dentin. *J Dent Res* 82:537-41.
  - Tay FR, King NM, Chan KM, Pashley DH. (2002a) How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent* 4:255-69.
  - Tay FR, Pashley DH, Suh B, Carvalho R, Miller M. (2004) Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part I. Bond strength and morphologic evidence. *Am J Dent* 17:271–8.

- Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A (2002b) Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent* 30:371-382.
- Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Hiraishi N, Yiu CKY. (2005) Water treeing in simplified adhesives – Deja Vu? Buonocore Memorial Lecture. *Oper Dent* 30: 561–579.
- Tay FR, Pashley DH, Yoshiyama M. (2002) Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. *J Dent Res* 81: 472–476.
- Tay FR, Pashley DH. (2001) Aggressiveness of contemporary self-etching systems I: depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent Mater* 17:296–308.
- Tay FR, Pashley DH. (2003) Have dentine adhesives become too hydrophilic? *J Can Dent Assoc* 69: 724–731.
- Tay FR, Pashley DH. (2003a) Water treeing – a potential mechanism for degradation of dentin adhesives. *Am J Dent* 16: 6–12.
- Thordrup M, Isidor F, Horsted-Bindslev P. (1994) Comparison of marginal fit and microleakage of ceramic and composite inlays: an in vitro study. *J Dent* 22:147-153.
- Thordrup M, Isidor F, Horsted-Bindslev P. (2006) A prospective clinical study of indirect and direct composite and ceramic inlays: ten-year results. *Quintessence Int* 37:139-44.
- Toba S, Veerapavati W, Shimada Y, Nikaido T, Tagami J. (2003) Microshear bond strengths of adhesive resins to coronal dentin versus the floor of the pulp chamber. *Am J Dent* 16:51-56.

- 
- Touati B, Aidan N. (1997) Second generation laboratory composite resins for indirect restorations. *J Esthet Dent* 9:108–18.
  - Tredwin CJ, Stokes A, Moles DR. (2005) Influence of flowable liner and margin location on microleakage of conventional and packable class II resin composites. *Oper Dent* 30:32-38.
  - Turner EW, Shook LW, Ross JA, deRijk W, Eason BC. (2008) Clinical evaluation of a flowable resin composite in non-carious Class V lesions: two-year results. *J Tenn Dent Assoc.* 88:20-4.
  - Unemori M, Matsuya Y, Matsuya S, Akashi A, Akamine A. (2003) Water absorption of polymethyl methacrylate containing 4 methacryloxyethyl trimellitic anhydride. *Biomaterials* 24: 1381–1387.
  - Van Dijken JW, Pallesen U. (2015) Randomized 3-year clinical evaluation of Class I and II posterior resin restorations placed with a bulk-fill resin composite and a one-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent* 17:81-8.
  - Van Dijken JW. (2000) Direct resin composite inlays/onlays: an 11 year follow-up. *J Dent* 28:299-306.
  - Van Dijken JW. (2003) Resin-modified glass ionomer cement and self-cured resin composite luted ceramic inlays: A 5-year clinical evaluation. *Dent Mater* 19:670-674.
  - Van Landuyt K, De Munck J, Snauwaert J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, Inoue S, Peumans M, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2005) Monomer-solvent phase separation in one-step self-etch adhesives. *J Dent Res* 84:183–8.

- Van Landuyt KL, Mine A, De Munck J, Coutinho E, Peumans M, Jaecques S, Van Meerbeek B. (2008) Technique sensitivity of water-free one-step adhesives. *Dent Mater* 24:1258-1267.
- Van Landuyt KL, Mine A, De Munck J, Jaecques S, Peumans M, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2009) Are one-step adhesives easier to use and better performing? Multifactorial assessment of contemporary one-step self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 11:175–90.
- Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Coutinho E, Poitevin A, Yoshida Y, Suzuki K; Lambrechts P; Van Meerbeek. (2007a) Origin of interfacial droplets with one-step adhesives. *J Dent Res* 86:739-744.
- Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, Van Meerbeek B. (2007b) Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesive. *Biomaterial* 28:3757-3785.
- Van Landuyt KL, Yoshida Y, Hirata I, Snauwaert J, De Munck J, Okazaki M, Suzuki K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. (2008) Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance. *J Dent Res* 87:757-761.
- Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. (2003) Buonocore memorial lecture: adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 28:215-35.
- Van Meerbeek B, Dhem A, Goret-Nicaise M, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. (1993) Comparative SEM and TEM examination of

- the ultrastructure of the resin-dentin interdiffusion zone. *J Dent Res* 72:495-501.
- Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. (1992) Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71:1530-1540.
  - Van Meerbeek B, Perdigão J, Lambrechts P, Vanherle G. (1998) The clinical performance of adhesives. *J Dent* 26:1-20.
  - Van Meerbeek B, Peumans M, Poitevin A, Mine A, Van Ende A, Neves A, De Munck J. (2010) Relationship between bond-strength tests and clinical outcomes. *Dent Mater* 26:100-121.
  - Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, Yoshida Y, Inoue S, Suzuki K. (2005) Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J* 24:1-13.
  - Van Meerbeek B, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Abe Y, Fukuda R, Okazaki M, Lambrechts P, Vanherle G. (2000) Bonding mechanisms and micro-tensile bond strength of a 4-MET-based self-etching adhesive. *J Dent Res* 79:249.
  - Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. (2011) State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater* 27:17-28.
  - Vaz RR, Hipólito VD, D'Alpino PH, Goes MF. (2012) Bond strength and interfacial micromorphology of etch-and-rinse and self-adhesive resin cements to dentin. *J Prosthodont* 21:101-11.

- Veneziani M. (2010) Adhesive restorations in the posterior area with subgingival cervical margins: New classification and differentiated treatment approach. *Eur J Esthet Dent* 5:50-76.
- Viotti R, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais C, Reis AF. (2009) Microtensile bond strength of new self adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 102:306-12.
- Waidyasekera K, Nikaido T, Weerasinghe DS, Ichinose S, Tagami J. (2009) Reinforcement of dentin in self-etch adhesive technology: a new concept. *J Dent* 37:604-9.
- Wang Y, Spencer P. (2002) Analysis of acid-treated dentin smear debris and smear layers using confocal Raman microspectroscopy. *J Biomed Mater Res* 60:300-308.
- Wang Y, Spencer P. (2004) Physicochemical interactions at the interfaces between self-etch adhesive systems and dentine. *J Dent* 32:567-579.
- Wang Y, Spencer P. (2005) Interfacial chemistry of Class II composite restoration: structure analysis. *J Biomed Mater Res* 75:580–58
- Wassel RW, Walls AW, McCabe JF. (2000) Direct composite inlays versus conventional composite restorations: 5-year follow up. *J Dent* 28:375–82.
- Weiser F, Behr M. (2015) Self-Adhesive Resin Cements: A Clinical Review. *J Prosthodont* 24:100-108.
- Wendt SL Jr, Leinfelder KF. (1992) Clinical evaluation of a heat-treated resin composite inlay: 3-year results. *Am J Dent* 5:258-62.

- 
- Wibowo G, Stockton L. (2001) Microleakage of class II composite restorations. *Am J Dent* 14:177-185.
  - Wieczkowski GJ, Yu XY, Davis EL, Joynt RB. (1992) Microleakage in various dentin bonding agent/composite resin systems. *Oper Dent* 5: 62–67.
  - Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. (2006) Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 22:45-56.
  - Yiu CKY, King NM, Carrilho MRO, Sauro S, Rueggeberg FA, Prati C, Carvalho RM, Pashley DH, Tay FR. (2006) Effect of resin hydrophilicity and temperature on water sorption of dental adhesive resins. *Biomaterials* 27: 1695–1703.
  - Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, Inoue S, Tagawa Y, Suzuki K, De Munck J, Van Meerbeek B. (2004) Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res* 83:454-458.
  - Yoshida Y, Van Meerbeek B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellemans L, Lambrechts P, Vanherle G, Wakasa K. (2000) Evidence of chemical bonding at biomaterial–hard tissue interfaces. *J Dent Res* 79:709–14.
  - Yoshioka M, Yoshida Y, Inoue S, Lambrechts P, Vanherle G, Nomura Y, Okazaki M, Shintani H, Van Meerbeek B. (2002) Adhesion/ decalcification mechanisms of acid interactions with human hard tissues. *J Biomed Mater Res* 59:56–62.

- Yoshiyama M, Carvalho R, Sano H, Horner J, Brewer PD, Pashley DH. (1995) Interfacial morphology and strength of bonds made to superficial versus deep dentin. *Am J Dent* 8:297–302.
- Yu XT, Davis EL, Joynt RB, Wieczkowski GJ. (1992) Origination and progression of microleakage in a restoration with a smear layer mediated dentinal bonding agent. *Quintessence Int* 23:551–555.
- Yuan Y, Shimada Y, Ichinose S, Sadr A, Tagami, J. (2007) Effects of dentin characteristics on interfacial nanoleakage. *J Dent Res* 86:1001-1006.
- Zaghoul H, Elkassas DW, Haridy MF. (2014) Effect of incorporation of silane in the bonding agent on the repair potential of machinable esthetic blocks. *Eur J Dent* 8:44–52.
- Zaruba M, Göhring TN, Wegehaupt FJ, Attin T. (2013) Influence of a proximal margin elevation technique on marginal adaptation of ceramic inlays. *Acta Odontol Scand* 71:317-24.
- Zhang SC, Kern M. (2009) The role of host-derived dentinal matrix metalloproteinases in reducing dentin bonding of resin adhesives. *Int J Oral Sci* 1:163–76.
- Zicari F, Couthino E, De Munck J, Poitevin A, Scotti R, Naert I, Van Meerbeek B. (2008) Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. *Dent Mater* 24:967-77.



9

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA



Los resultados obtenidos a lo largo de la realización de la presente Tesis Doctoral han sido difundidos a través de los siguientes medios:

## **1. CONGRESOS**

Título: "INFLUENCIA DE LA REPOSICIÓN CORONAL DEL MARGEN GINGIVAL EN LA RESISTENCIA ADHESIVA DE INCRUSTACIONES DE COMPOSITE "

Formato: Comunicación Oral

Autores: Dayana Da Silva Gonçalves, María Cura, M<sup>a</sup> Victoria Fuentes y Laura Ceballos

Congreso: III Jornadas A.E.M.O, "Nuevos enfoques en el tratamiento multidisciplinar"

Lugar y fecha: Madrid, 2-3 de marzo del 2012.

Primer premio a la mejor Comunicación Oral.

Título: " INFLUENCIA DE LA REPOSICIÓN CORONAL DEL MARGEN GINGIVAL Y EL CEMENTO UTILIZADO EN LA RESISTENCIA ADHESIVA DE INCRUSTACIONES DE COMPOSITE"

Formato: Poster

Autores: Dayana Da Silva Gonçalves, María Cura, M<sup>a</sup> Victoria Fuentes y Laura Ceballos

Congreso: XIX Congreso Nacional y VI Internacional de la Sociedad Española de Odontología Conservadora.

Lugar y fecha: Santiago de Compostela, 19 de mayo del 2012.

Título: " NANOFILTRACIÓN DE INCRUSTACIONES DE COMPOSITE: INFLUENCIA DEL MARGEN GINGIVAL Y DEL CEMENTO"

Formato: Comunicación Oral

Autores: Dayana Da Silva Gonçalves, M<sup>a</sup> Victoria Fuentes y Laura Ceballos

Congreso: XXI Congreso Nacional y VIII Internacional de la Sociedad Española de Odontología Conservadora

Lugar y fecha: Granada, 19 al 21 de mayo del 2016.

## **2. PREMIO DE INVESTIGACIÓN**

Premio del Consejo Social para Jóvenes Investigadores: Premio Universidad Rey Juan Carlos – Dentaid (Modalidad A), por el trabajo de Investigación: “ INFLUENCIA DE LA REPOSICIÓN CORONAL DEL MARGEN GINGIVAL Y EL CEMENTO UTILIZADO EN LA RESISTENCIA ADHESIVA DE INCRUSTACIONES DE COMPOSITE” (Móstoles, 24 de abril del 2013).

## **3. ARTÍCULO CIENTÍFICO**

Título: “Influence of proximal box elevation on bond strength of composite inlays”

Autores: Dayana Da Silva Gonçalves, María Cura, M<sup>a</sup> Victoria Fuentes y Laura Ceballos

Revista y año: Clinical Oral Investigations, 2016.

DOI: 10.1007/s00784-016-1782-7.

# Influence of proximal box elevation on bond strength of composite inlays

Dayana Da Silva Gonçalves<sup>1</sup> · María Cura<sup>1</sup> · Laura Ceballos<sup>1</sup> · M<sup>a</sup> Victoria Fuentes<sup>1</sup>

Received: 25 February 2015 / Accepted: 2 March 2016  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

## Abstract

**Objectives** The objective of the present study was to evaluate the influence of proximal box elevation on microtensile bond strength (mTBS) of composite inlays to the proximal box floor, using either a total-etch or a self-adhesive resin cement. **Materials and methods** Twenty-five human molars were selected, and a class II OM (inlay) cavity preparation was performed in each tooth. Cavities were randomly assigned into four experimental groups, according to the location of the proximal cervical margin (located 1 mm below cemento-enamel junction (CEJ), or with proximal box elevation with composite resin) and the resin cement used for luting (a total-etch resin cement RelyX ARC or a self-adhesive resin cement G-Cem). After 1-week water storage, samples were subjected to mTBS test. Results were analyzed by Kruskal–Wallis and Mann–Whitney *U* tests ( $p < 0.05$ ).

**Results** Kruskal–Wallis revealed statistically significant differences among experimental groups ( $p = 0.007$ ). Both resin cements showed similar bond strength values when cervical margin was located below CEJ. The proximal box elevation improved the bond strength of composite inlays for both resin cements. However, only for G-Cem was this improvement statistically significant.

**Conclusions** The proximal box elevation improved the bond strength attained by G-Cem resin cement. For RelyX ARC, the position of the cervical margin did not affect composite inlays bond strength.

**Clinical relevance** Proximal box elevation does not decline bond strength of composite inlays to the proximal floor when a total-etch or a self-adhesive resin cement is used.

**Keywords** Proximal box elevation · Bond strength · Resin cement · Composite inlays

## Introduction

Restoration of compromised teeth can be achieved by means of a direct or an indirect restoration [1]. It has been reported that for large cavities, composite indirect restorations bear advantages over direct techniques such as improvements in anatomic form, contour, fracture resistance, and wear resistance [2]. Furthermore, extra-oral fabrication aids in the relief of residual stresses and ensures that the negative effects of polymerization shrinkage are confined to the thin layer of resin cement [3].

Generally, cavities of large dimensions extend beyond the cemento-enamel junction (CEJ) with margins more or less deeply located in subgingival areas and with limited or no enamel presence [4]. In such situations, cavity preparation, impression taking, and adhesive cementation under dry conditions can be challenging [5–9]. As an alternative to surgical crown lengthening, it is possible to relocate deep proximal margins applying an appropriate increment of composite resin over the pre-existing margin before placing an indirect restoration [4, 5, 7]. This procedure, known as proximal box elevation (PBE) technique or coronal margin relocation [5], provides several advantages during clinical procedures. One of them lies in the simplified approach of optical and conventional impression taking of margins located supragingivally [4, 7]. Moreover, PBE facilitates appropriate isolation with rubber dam and, consequently, moisture control during the

✉ M<sup>a</sup> Victoria Fuentes  
victoria.fuentes@urjc.es

<sup>1</sup> Department of Stomatology and Nursing. Health Sciences Faculty, Rey Juan Carlos University, Avda. Atenas s/n, 28922 Alcorcón, Madrid, Spain

whole luting procedure [6, 7]. Furthermore, the removal of excess luting composite is better controlled with the margin relocated supragingivally [9, 10]. Finally, a base or liner placed underneath inlays and onlays also contributes to avoid unnecessary tissue sacrifice to meet geometrical restrictions of indirect restorations and functions as an ideal protection of the pulpo-dentinal complex during the temporary phase [11–13].

Although PBE represents a common, non-invasive alternative to a surgical crown lengthening [5], information available in literature is scarce. Overall, most studies are specifically focused on the material used for this approach and the marginal quality obtained [6–9]. Recently published studies demonstrate that a meticulous layering technique with a hybrid resin composite is the best way to counteract gap formation in the area surrounding PBE, for both ceramic and composite inlays [6, 8].

To date, no information is available about the bonding effectiveness of class II composite inlays with PBE. This aspect is crucial as, in part, it contributes to the clinical success of these restorations [14]. Several types of resin cements are available for luting indirect restorations. According to dental tissue treatment or adhesion strategy, these cements can be classified as total-etch, self-etch, and self-adhesive resin cements [15–17]. Currently, the most accepted adhesive approach is the total-etch technique, despite that they are technique sensitive and more time consuming [18]. On the other hand, due to the simplicity of the clinical procedure together with their ability to bond to different restorative substrates, self-adhesive luting agents are becoming increasingly popular [19, 20], even for luting inlays/onlays [21].

Therefore, the aim of the present study was to evaluate the influence of proximal box elevation on bond strength of resin composite inlays, using a total-etch and a self-adhesive resin cement. The null hypothesis was that the PBE does not modify the bond strength values of composite inlays luted with a total-etch or a self-adhesive resin cement.

## Materials and methods

Twenty-five caries-free extracted human third molars were selected for this study. All teeth were stored in a thymol solution at 4 °C for a period of time no longer than 6 months since their extraction.

### Specimen preparation

On each tooth, a standardized divergent mesio/occlusal class II inlay cavity was prepared under a copious water spray using 80- $\mu$ m diamond burs (Kommet, Lemgo, Germany, Ref 845KR314021) and finished with 25- $\mu$ m diamond burs (Kommet, Ref 845KREF314025) in a high-speed handpiece. The occlusal box depth was 2 mm, and the bucco-lingual

widths of the occlusal and proximal boxes were 3 and 4 mm, respectively. No bevels were added. Proximal margins were located 1 mm below the cemento-enamel junction (CEJ). In half of the prepared teeth, the proximal margins were relocated with resin composite 1 mm above CEJ (PBE groups) with an increment 2 mm thick. For this purpose, the adhesive system Adper Scotchbond 1XT (3 M ESPE, St. Paul, MN, USA) was applied to the floor of the proximal box according to the manufacturer's instructions (Table 1) and, afterward, the resin composite Filtek Z250 (3 M ESPE) was inserted in two layers of 1 mm of thickness. Each increment was photopolymerized for 40 s by means of the LED unit Elipar S10 (3 M ESPE), with a light output of 1200 mW/cm<sup>2</sup>.

### Fabrication of inlay restorations

An impression of each prepared tooth was taken using heavy- and light-body polyvinyl siloxane materials (Virtual VPS, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) with a one-step impression technique. Impressions were cast in type 4 stone (KERR-Lab, Orange, CA, USA). The indirect composite restorations were made using Gradia Indirect (GC, Tokyo, Japan) in the stone dies after placing two layers of Gradia Separator (GC). The restorations were made by a single operator using the horizontal incremental placement technique, applying layers 2 mm thick maximum. Each increment was light-cured with the LED unit Elipar S10 for 40 s. Afterward, composite inlays were polymerized in an oven (Lumamat 100, Ivoclar-Vivadent) with program 3, at 104 °C and high light intensity for 25 min.

Before luting procedure, the cavities were cleaned with pumice slurry. The resin composite used for the PBE as well as the inner surface of the inlays were sandblasted (Rondoflex plus 360, KaVo, Biberach, Germany) with 50- $\mu$ m aluminum oxide particles (Rondoflex, KaVo) for 10 s at a distance of 10 mm. Then, the inlays were ultrasonically cleaned for 10 min in distilled water and cleaned with ethanol. Afterward, a thin layer of the adhesive, Adper Scotchbond 1XT, was applied on the inner inlay surfaces and light-cured for 20 s.

### Luting procedure and experimental groups

Each group was further subdivided according to the resin cement used for inlay cementation: a total-etch resin cement, RelyX ARC (3 M ESPE), or a self-adhesive one, G-Cem (GC). Therefore, the following experimental groups were tested:

- Group 1. Cervical margin below CEJ/RelyX ARC
- Group 2. Proximal box elevation/RelyX ARC
- Group 3. Cervical margin below CEJ/G-Cem
- Group 4. Proximal box elevation/G-Cem

**Table 1** Chemical composition and handling of materials tested

Materials	Composition	Application technique
<b>Adhesive system</b>	<i>Scotchbond Etchant</i> : 35 % H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Etch dentin surfaces with Scotchbond etchant (15 s), rinse, blot excess water using a cotton pellet; apply 2–3 consecutive coats of adhesive for 15 s with gentle agitation; gently air thin (5 s); light-cure for 10 s
<i>Adper Scotchbond 1 XT</i> 3M ESPE	<i>Adper Scotchbond 1 XT</i> : Bis-GMA, HEMA, UDMA, dimethacrylates methacrylate functional copolymer (polyacrylic and polyitaconic acids), ethanol, water, silica nanofillers (5 nm; 10 %wt)	
<b>Resin composite</b>	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA, zirconia/silica (0.01–3.5 μm, 60 vol%)	Apply the adhesive system following manufacturer's instruction (above). Place resin composite in increments less than 2.5 mm. Light-cure each increment for 20 s
<i>Filetek Z250 (A3)</i> 3M ESPE		
<b>Resin cements</b>		
<i>RelyX ARC</i> 3M ESPE (total-etch resin cement) Shade: Trans, A1	<i>Scotchbond Etchant</i> <i>Adper Scotchbond 1 XT</i> <i>Cement</i> : Bis-GMA, TEGDMA, dimethacrylated polymer, zirconia/silica filler	Apply the adhesive system following manufacturer's instruction (above). Mix cement. Apply the cement onto the substrate. Light-cure through the composite inlay for 40 s from occlusal, buccal, and lingual sides
<i>G-Cem Capsule</i> GC CORPORATION (self-adhesive resin cement) Shade: translucent	Powder: fluoroaluminosilicate glass, initiator, pigment. Liquid: 4-META, phosphoric acid ester monomer, water, UDMA, dimethacrylate, silica powder, initiator, stabilizer 65–70 %wt	Activate the capsule and mix it for 10 s. Apply the cement onto the substrate. Light-cure through the composite inlay for 40 s from occlusal, buccal, and lingual sides

*4-META* 4-methacryloxyethyl trimellitic acid, *Bis-GMA* bisphenol glycidyl methacrylate, *TEGDMA* tetraethyleneglycol dimethacrylate, *UDMA* urethane dimethacrylate

Resin cements were applied following the manufacturers' instructions (Table 1), and each inlay was luted on the cavity under a seating pressure of 1 kg for 5 min. Excess of cement was removed with a brush before its light - curing for 40 s from occlusal, buccal, and lingual with the same curing unit. Margins were finished using a scalpel and PoGo polisher points (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany).

### Microtensile bond strength test and failure mode distribution

After a week of water storage since luting procedure, all samples were sectioned with a water-cooled diamond saw (Isomet 5000, Buehler, Lake Buff, IL, USA) in both *x* and *y* directions, perpendicularly to the gingival floors to obtain beams from the dentin of each proximal box with a cross-sectional area of approximately 0.8 mm<sup>2</sup>. The number of valid beams for each tooth was variable, from 1 to 3, due to several factors such as the small dimension of the proximal boxes, the position of the disk in its regard, and the presence of enamel in the beams. The exact dimensions of the beams were measured using a digital caliper (Mitutoyo Corp, Kanogawa, Japan). Each beam was attached to a device for microtensile testing with a cyanoacrylate adhesive (Loctite Super Glue-3 gel; Henkel, Düsseldorf, Germany) and subjected to microtensile test in a

universal testing machine (Instron 3345, Instron Corp, Canton, MA, USA) at a cross-head speed of 0.5 mm/min.

Fractured beams were observed by a single operator under a stereomicroscope at a magnification up to ×30 to determine the mode of failure: adhesive between dentin–resin cement, composite for PBE–resin cement, or between resin cement and the inlay; mixed adhesive (simultaneous adhesive failures); cohesive failure (within the cement, dentin, or composite); or mixed (simultaneous adhesive and cohesive fractures). An additional failure mode was registered for groups with PBE when the failure occurred between dentin and the resin composite used for PBE.

Representative specimens were selected, sputter-coated with 15-nm gold (SCD 005 Sputter Coater, BalTec, Balzers, Liechtenstein), and observed under scanning electron microscopy (Phillips XL30 ESEM, FEI Company, Hillsboro, OR, USA).

### Statistical analysis

Each tooth was considered as a statistical unit, and the mean microtensile bond strength of all beams from the same tooth was used for statistical purposes. Pre-testing debonded specimens were included in the mean value for the tooth, attributing them the average value between zero and the lowest bond

strength value obtained in all experiments [22]. Therefore, the value of 3.5 MPa was attributed when pre-testing failures were recorded. Microtensile bond strength values were subjected to the Shapiro–Wilk confidence test, which proved that data were not normally distributed. Hence, the microtensile bond strength values were analyzed by non-parametric Kruskal–Wallis test followed by Mann–Whitney *U* test for pairwise comparisons. All statistical testing was performed at a pre-set alpha of 0.05 using SPSS 19 for Windows software (IBM Corporation, Armonk, NY, USA).

## Results

Table 2 shows the descriptive statistics obtained for each experimental group. Kruskal–Wallis revealed statistical significant differences among the experimental groups ( $p = 0.007$ ). Results from pairwise comparison are also expressed in Table 2. The proximal box elevation improved the bond strength of composite inlays luted with G-Cem. With regards to the cement RelyX ARC, bond strength values were similar between the two locations of the proximal cervical margin. Moreover, statistical differences in bond strength values were not detected for both resin cements when cervical margin was relocated.

The distribution of failure modes among experimental groups is shown in Table 3. For groups with cervical margin below CEJ (without PBE), the predominant failure was the mixed adhesive for cement RelyX ARC (Fig. 1a, b) and the adhesive between the dentin and the cement for G-Cem (Fig. 1c, d). Groups with PBE failed predominantly at interface between dentin/composite filling level (PBE/RelyX ARC, 84.6 %; and PBE/G-Cem, 76.5 %; Fig. 1e–h). When the failures were located at composite for PBE/inlay, the predominant failure was the adhesive between the cement and the inlay for both cements.

## Discussion

When proximal defects are located in deep subgingival areas, the proximal box elevation is a less invasive alternative procedure than others such as surgical crown lengthening [5]. This approach facilitates cavity preparation, impression taking, and adhesive cementation under dry conditions [5–9]. PBE may improve light - curing and the marginal integrity of indirect restorations and, furthermore, removal of excess luting composite is better controlled when margins are relocated supragingivally [6, 8–10]. In the underlying study, the influence of proximal box elevation on the bond strength to dentin of composite inlays was evaluated using a conventional resin cement (RelyX ARC) and a self-adhesive cement (G-Cem). According to the obtained results, the null

hypothesis has to be rejected, since the group luted with G-Cem in which the proximal cavity floor was elevated showed higher bond strength values. In the case of specimens luted with RelyX ARC and PBE, they showed a tendency to higher bond strength, even though they were not statistically significant.

Several factors may have contributed to these results. One of them is that curing through indirect restorations may be facilitated when proximal boxes exhibit less depth. A dramatic attenuation in light irradiance with increasing indirect material thickness has been reported, resulting in a decrease of the degree of cure of the resin cement [1, 23], as chemical curing alone does not completely harden the resin cements [24]. In turn, a deficient or a lower polymerization of the resin cement reduces its bond strength to dental structures [20, 25–28].

However, the main reason could be the good interaction between the resin composite used for PBE and the resin cement. This composite was previously sandblasted with aluminum oxide particles which promote micromechanical retention to pre-cured composite [29, 30]. Moreover, immediate dentin sealing has been reported to increase the bond strength of indirect restorations [31]. Several authors support the idea that freshly cut dentin is an ideal substrate for adhesion [32–34] resulting in an increased bond strength [35, 36] and gap formation reduction [37, 38]. Nevertheless, in groups in which PBE was performed, the predominant failure mode was located at the interface between the dentin and the composite for PBE (composite filling), showing that this interface is more critical and responsible for the bond strength values obtained [13]. According to previous papers, the gingival wall of a class II restoration is where failures are most frequent, mainly below the CEJ [39–42]. Several facts contribute to this situation as dentin in the gingival floor presents dentinal tubules that run obliquely and parallel to this wall, and their density and diameter are higher as corresponds to a deep dentin [43–45]. Moreover, polymerization shrinkage is the first stress induced at the adhesive interface and is high in class II cavities due to the cavity configuration. Moreover, the absence of enamel in the gingival margin makes the bonding procedure even more challenging [42], since dentin bonding is less predictable than enamel bonding [46]. Therefore, the selection of the adhesive is relevant to ensure a stable adhesion to the gingival wall [45] and Adper Scotchbond IXT (Adper Single Bond Plus) has shown similar bond strength at different walls of MOD preparations [45].

In the present study, both evaluated cements (RelyX ARC and G-Cem) showed similar bond strength values to dentin, regardless of their different mechanism of adhesion to dentin. While the bonding efficacy of G-Cem may be due, primarily, to its ability to chemically interact with the smear layer



**Table 2** Descriptive statistics of microtensile bond strength in megapascals obtained for each experimental group

			Cervical margin location		
			Below CEJ	vs.	PBE
Resin cement	RelyX ARC	Mean (SD)	29.0 (10.2)		37.3 (12.1)
		Median	22.4	ns	38.0
		Confidence interval	(21.7–36.3)	$P > 0.05$	(30.2–44.6)
		Number of teeth	5		7
		Beams	10		13
		vs.	ns	–	ns
			$P > 0.05$		$P > 0.05$
	G-Cem	Mean (SD)	29.2 (5.0)		46.2 (16.9)
		Median	28.8		50.2
		Confidence interval	(25.6–32.8)	$P = 0.008$	(37.5–55.0)
Number of teeth		6		7	
Beams		10		17	

Comparisons of values within the same resin cement for both locations of the cervical margins that are not significant different are marked with “ns” (read horizontally). Comparisons of values within the same location of the cervical margin for the different cements that are not significant different are marked with “ns” (read vertically)

covered dentin surface [47, 48], in the case of RelyX ARC, the total-etch technique is required, to completely remove the smear layer and to demineralize the underlying dentin, allowing the infiltration of the collagen network by the adhesive resin and the establishment of multiple resin tags and a thick hybrid layer [48].

The differences in methodology could justify the different results with regards to previous studies in which a lower adhesive effectiveness was observed for the self-adhesive cement G-Cem with respect to the RelyX ARC cement [49–51]. In most studies investigating dentin bonding effectiveness, SiC-ground dentin surfaces are used for reasons of standardization and ease of preparation [52]. However, during clinical procedures, the smear layer is created with a diamond or a tungsten bur. Although the smear layer thicknesses produced for SiC paper and burs are similar, for the latter, the layer is rather compact [52] and more attached to dentin [53]. The chemical adhesion to this more compact and adhered smear layer could supposedly improve the chemical adhesion

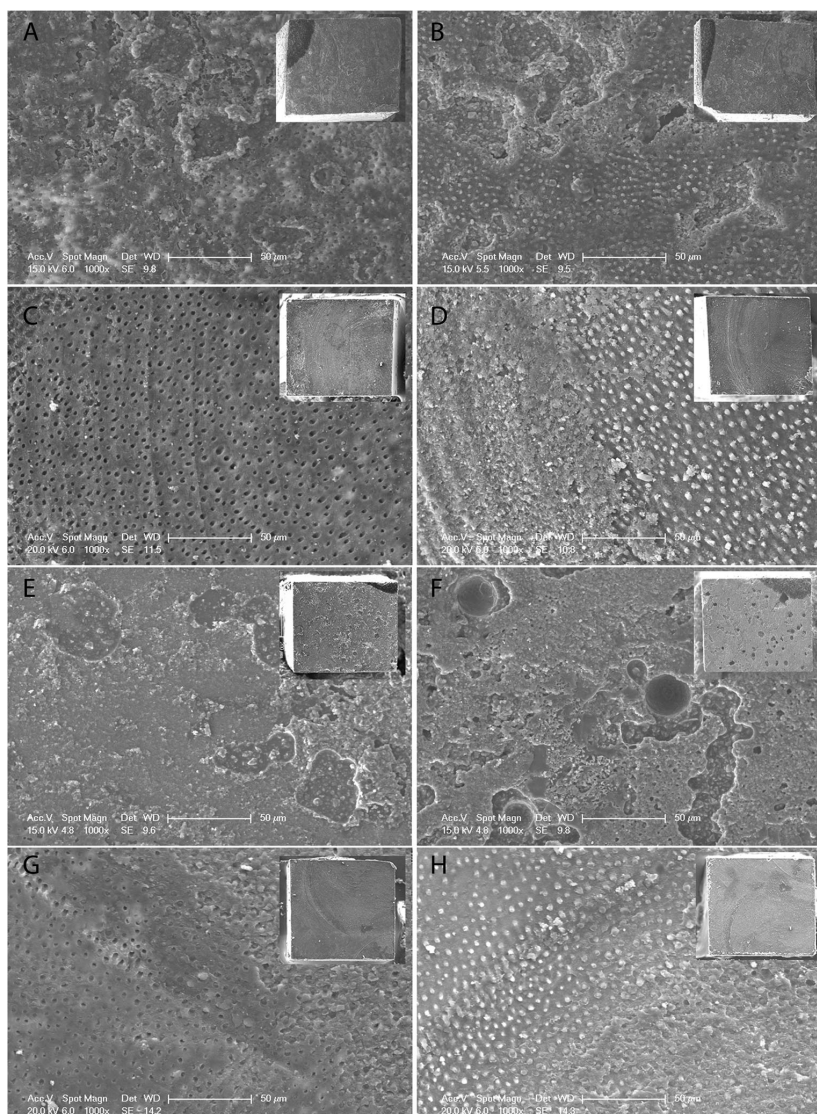
of G-Cem that, due to its pH, is not able to eliminate the smear layer and, due to its elevated viscosity, cannot imbricate a porous smear layer either [47]. Moreover, in the present study, the adhesive resistance was measured after a week. Self-adhesive resin cements have a rapid polymerization reaction initiated by light irradiation, and a slow acid–base reaction between the reactive glass filler and the acid functional monomer through water [54, 55]. This acid–base reaction may continue to progress with time as a result of water absorption [56, 57]. In the case of G-Cem, Marghalani [58] found that the cement (due to its content of UDMA, 4-META, phosphoric acid ester, and distilled water) expressed the highest sorption compared to other resin-based dentin materials, yielding its highest value at 7 days. This water sorption may have an essential effect in compensating polymerization shrinkage of the resin, thus relieving internal stresses created during shrinkage [59] favoring its retention and justifying the similar results found between the two cements evaluated in this study.

**Table 3** Failure mode distribution at proximal box (%)

Experimental groups	Failure mode (%)					
	AD	AC	AI	MA	C	A D-PBE
Margin below CEJ/RelyX ARC	30 %	–	0	60 %	10 %	Not applicable
Proximal box elevation/RelyX ARC	–	0	15.4 %	0	0	84.6 %
Margin below CEJ/G-Cem	60 %	–	0	30 %	10 %	Not applicable
Proximal box elevation/G-Cem	–	0	11.7 %	5.9 %	5.9 %	76.5 %

AD adhesive between dentin and resin cement (without PBE); AC adhesive between composite filling and resin cement (PBE groups); AI adhesive between resin cement and inlay; MA mixed adhesive, adhesive at the dentin/cement or composite filling/cement level and cement/inlay simultaneously; C cohesive failure (within the cement, dentin or composite); A D-PBE (only for PBE groups) adhesive between dentin and composite for PBE

**Fig. 1** **a-h** SEM micrographs ( $\times 1000$ ) of representative failure mode for experimental groups. **a, b** Mixed failure from cervical margin below CEJ/RelyX ARC group. **a** (dentin surface) Some cement-covered areas can be observed, as well as other cement-free areas with exposed dentinal tubules. **b** (inlay surface) Cement-covered areas with some resin tags, as well as cement-free areas can be detected. **c, d** Adhesive failure between dentin and PBE composite from proximal box elevation/RelyX ARC group. **c** (dentin surface) Exposed dentin surface with open dentinal tubules. **d** (composite filling) Surface covered with adhesive with a large amount of resin tags. **e, f** Adhesive failure between dentin and resin cement from cervical margin below CEJ/G-Cem group. **e** (dentin surface) Surface partially covered with smear layer. **f** (inlay surface) Resin cement with presence of air bubbles can be observed covering the bar surface. **g, h** Adhesive failure between dentin and composite filling from proximal box elevation/G-Cem group. **g** (dentin surface) On the left lower side, exposed dentin with open dentinal tubules can be observed, while the right upper side is covered by the adhesive. **f** (composite filling) Mirror image of the previous one. One side is covered by the adhesive and resin tags can be detected, and the other shows the composite surface



Based on the results of this study, the application of a composite to perform an elevation of the proximal box could, therefore, improve the clinical results when G-Cem resin cement is used. Although, in case of RelyX ARC, the results were not significant, at least, the bond strength in that area would not be compromised and other aspects, such as the marginal adaptation, could be improved, as already published in *in vitro* studies for other total-etch cements [13].

It should be mentioned that this is an *in vitro* study and the results could not be extrapolated to a clinical setting. Moreover, although microtensile bond strength is routinely

used for laboratory evaluation of resin cements [60], further research should be conducted on sealing ability when PBE approach is applied together with the application of chemical/mechanical stress which may provide useful information to predict the clinical behavior to some extent [61].

## Conclusion

According to the obtained results, the largest benefit in terms of proximal box elevation technique was obtained with G-

Cem cement, since it showed a significant increase in the bond strength. In the case of the RelyX ARC cement, the proximal box elevation did not affect the bond strength values obtained.

**Acknowledgments** The authors thank the manufacturers for supplying materials for this study. This study is part of a thesis to be submitted in partial fulfillment of the requirements for the PhD degree of author Dayana Da Silva.

**Compliance with ethical standards** This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Funding** This study was not funded by any company.

**Informed consent** This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors; thus, informed consent is not required.

## References

- Acquaviva PA, Cerutti F, Adami G, Gagliani G, Ferrari M, Gherlone E, Cerutti A (2009) Degree of conversion of three composite materials employed in the adhesive cementation of indirect restorations: a micro-Raman analysis. *J Dent* 37:610–615. doi:10.1016/j.jdent.2009.04.001
- Wassell RW, Walls AW, McCabe JF (1995) Direct composite inlays versus conventional composite restorations: three-year clinical results. *Br Dent J* 179:343–349
- Hickel R, Manhart J (2001) Longevity of restorations in posterior teeth and reasons for failure. *J Adhes Dent* 3:45–64
- Veneziani M (2010) Adhesive restorations in the posterior area with subgingival cervical margins: new classification and differentiated treatment approach. *Eur J Esthet Dent* 5:50–76
- Dietschi D, Olsburgh S, Krejci I, Davidson C (2003) In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases. *Eur J Oral Sci* 111:73–80. doi:10.1034/j.1600-0722.2003.00004.x
- Roggendorf MJ, Krämer N, Dippold C, Vosen VE, Naumann M, Jablonski-Momeni A, Frankenberger R (2012) Effect of proximal box elevation with resin composite on marginal quality of resin composite inlays in vitro. *J Dent* 40:1068–1073. doi:10.1016/j.jdent.2012.08.019
- Zaruba M, Göhring TN, Wegehaupt FJ, Attin T (2013) Influence of a proximal margin elevation technique on marginal adaptation of ceramic inlays. *Acta Odontol Scand* 71:317–324. doi:10.3109/00016357.2012.680905
- Frankenberger R, Hehn J, Hajtó J, Krämer N, Naumann M, Koch A, Roggendorf MJ (2013) Effect of proximal box elevation with resin composite on marginal quality of ceramic inlays in vitro. *Clin Oral Investig* 17:177–183. doi:10.1007/s00784-012-0677-5
- Ilgstein I, Zitzmann NU, Bühler J, Wegehaupt FJ, Attin T, Weiger R, Krastl G (2015) Influence of proximal box elevation on the marginal quality and fracture behavior of root-filled molars restored with CAD/CAM ceramic or composite onlays. *Clin Oral Investig* 19:1021–1028. doi:10.1007/s00784-014-1325-z
- Lutz E, Krejci I, Oldenburg TR (1986) Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 17:777–784
- Dietschi D, Spreafico R (1998) Current clinical concepts for adhesive cementation of tooth-colored posterior restorations. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 10:47–54
- Rocca GT, Krejci I (2007) Bonded indirect restorations for posterior teeth: from cavity preparation to provisionalization. *Quintessence Int* 38:371–379
- Rocca GT, Gregor L, Sandoval MJ, Krejci I, Dietschi D (2012) In vitro evaluation of marginal and internal adaptation after occlusal stressing of indirect class II composite restorations with different resinous bases and interface treatments. “post-fatigue adaptation of indirect composite restorations”. *Clin Oral Investig* 16:1385–1393. doi:10.1007/s00784-011-0632-x
- Aggarwal V, Logani A, Jain V, Shah N (2008) Effect of cyclic loading on marginal adaptation and bond strength in direct vs indirect class II MO composite restorations. *Oper Dent* 33:587–592. doi:10.2341/07-152
- Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulcicevic ZR, Ferrari M (2008) Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent* 10:251–258
- Sarr M, Mine A, Munck J, Vivan M, Wakhabe A, Vreven J, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL (2010) Immediate bonding effectiveness of contemporary composite cements to dentin. *Clin Oral Invest* 14:569–577. doi:10.1007/s00784-009-0327-8
- Duarte S, Botta AC, Meire M, Sadan A (2008) Microtensile bond strengths and scanning electron microscopic evaluation of self-adhesive and self-etch resin cements to intact and etched enamel. *J Prosthet Dent* 100:203–210. doi:10.1016/S0022-3913(08)60179-1
- Abo Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G (2005) Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 9:161–167. doi:10.1007/s00784-005-0308-5
- Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ (2011) Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil* 38:295–314. doi:10.1111/j.1365-2842.2010.02148.x
- Piwowarczyk A, Bender R, Ottl P, Lauer HC (2007) Long-term bond between dual-polymerizing cementing agents and human hard dental tissue. *Dent Mater* 23:211–217. doi:10.1016/j.dental.2006.01.012
- Peumans M, Voet M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Ende A, Van Meerbeek B (2014) Four-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *Clin Oral Investig* 17:739–750. doi:10.1007/s00784-012-0762-9
- Luque-Martínez IV, Perdigão J, Muñoz MA, Sezinando A, Reis A, Loguercio AD (2014) Effects of solvent evaporation time on immediate adhesive properties of universal adhesives to dentin. *Dent Mater* 30:1126–1135. doi:10.1016/j.dental.2014.07.002
- Musanje L, Darvell BW (2006) Curing-light attenuation in filled-resin restorative materials. *Dent Mater* 22:804–817. doi:10.1016/j.dental.2005.11.009
- Giráldez I, Ceballos L, Garrido MA, Rodríguez J (2011) Early hardness of self-adhesive resin cements cured under indirect resin composite restorations. *J Esthet Restor Dent* 23:116–124. doi:10.1111/j.1708-8240.2011.00408.x
- Arrais CA, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH (2007) Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. *J Prosthet Dent* 97:99–106. doi:10.1016/j.prodent.2006.12.007
- De Durão MPJ, González-López S, Aguilar-Mendoza JA, Félix S, González-Rodríguez MP (2007) Comparison of regional bond strength in root thirds among fiber-reinforced posts luted with different cements. *J Biomed Mater Res* 83:364–372. doi:10.1002/jbm.b.30805

27. Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schläpfer R, Hämmerle C, Fischer J (2008) Shear bond strength of resin cements to human dentin. *Dent Mater* 24:944–950. doi:10.1016/j.dental.2007.11.021
28. Chang HS, Kim JW (2014) Early hardness and shear bond strength of dual-cure resin cement light cured through resin overlays with different dentin-layer thicknesses. *Oper Dent* 39:398–406. doi:10.2341/13-122-L
29. Dall'Oca S, Papacchini F, Goracci C, Cury A, Suh BI, Tay FR, Polimeni A, Ferrari M (2007) Effect of oxygen inhibition on composite repair strength over time. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 81:493–498. doi:10.1002/jbm.b.30689
30. Rodrigues SA, Ferracane JL, Della Bona A (2009) Influence of surface treatments on the bond strength of repaired resin composite restorative materials. *Dent Mater* 25:442–451. doi:10.1016/j.dental.2008.09.009
31. Magne P, Kin TH, Calcione D, Donovan E (2005) Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *J Prosthet Dent* 94:511–519. doi:10.1016/j.prosdent.2005.10.010
32. Pashley EL, Comer RW, Simpson MD, Horner JA, Pashley DH, Caughman WF (1992) Dentin permeability: sealing the dentin in crown preparations. *Oper Dent* 17:13–20
33. Magne P (2005) Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent* 17:144–155
34. De Andrade OS, de Goes MF, Montes MAJR (2007) Marginal adaptation and microtensile bond strength of composite indirect restorations bonded to dentin treated with adhesive and low-viscosity composite. *Dent Mater* 23:279–287. doi:10.1016/j.dental.2006.01.028
35. Jayasooriya PR, Pereira PN, Nikaido T, Tagami J (2003) Efficacy of a resin coating on bond strengths of resin cement to dentin. *J Esthet Restor Dent* 15:105–113
36. Ozturk N, Aykent F (2003) Dentin bond strengths of two ceramic inlay systems after cementation with three different techniques and one bonding system. *J Prosthet Dent* 89:275–281. doi:10.1067/mpr.2003.37
37. Magne P, Douglas WH (1999) Porcelain veneers: dentin bonding optimization and biomimetic recovery of the crown. *Int J Prosthodont* 12:111–121
38. Jayasooriya PR, Pereira PN, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J (2003) The effect of a “resin coating” on the interfacial adaptation of composite inlays. *Oper Dent* 28:28–35
39. Mjör IA (1998) The location of clinically diagnosed secondary caries. *Quintessence Int* 29:313–317
40. Purk JH, Dusevich V, Glaros A, Spencer P, Eick JD (2004) In vivo versus in vitro microtensile bond strength of axial versus gingival cavity preparation walls in class II resin-based composite restorations. *J Am Dent Assoc* 135:185–193
41. Brunton PA, Kassir A, Dashti M, Setcos JC (2004) Effect of different application and polymerization techniques on the microleakage of proximal resin composite restorations in vitro. *Oper Dent* 29:54–59
42. de Mattos Pimenta Vidal C, Pavan S, Briso AL, Bedran-Russo AK (2013) Effects of three restorative techniques in the bond strength and nanoleakage at gingival wall of class II restorations subjected to simulated aging. *Clin Oral Investig* 17:627–633. doi:10.1007/s00784-012-0748-7
43. Garberoglio P (1994) The ratio of the densities of dentinal tubules on the cervical and axial walls in cavities. *Quintessence Int* 25:49–52
44. Cavalcanti AN, Mitsui FH, Silva F, Peris AR, Bedran-Russo A, Marchi GM (2008) Effect of cyclic loading on the bond strength of class II restorations with different composite materials. *Oper Dent* 33:163–168. doi:10.2341/07-65
45. Cavalcanti AN, Mitsui FH, Lima AF, Mathias P, Marchi GM (2010) Evaluation of dentin hardness and bond strength at different walls of class II preparations. *J Adhes Dent* 12:183–188. doi:10.3290/jad.a17524
46. Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De Munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, Yoshida Y, Inoue S, Suzuki K (2005) Technique-sensitivity of contemporary adhesives. *Dent Mater J* 24:1–13. doi:10.4012/dmj.24.1
47. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M (2008) Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 87:974–979. doi:10.1177/154405910808701012
48. Cantoro A, Goracci C, Carvalho CA, Coniglio I, Ferrari M (2009) Bonding potential of self-adhesive luting agents used at different temperatures to lute composite onlays. *J Dent* 37:454–461. doi:10.1016/j.jdent.2009.02.006
49. Viotti R, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais C, Reis AF (2009) Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 102:306–312. doi:10.1016/S0022-3913(09)60180-3
50. Stawarczyk B, Hartmann R, Hartmann R, Roos M, Özcan M, Sailer I, Hämmerle CH (2011) The effect of dentin desensitizer on shear bond strength of conventional and self-adhesive resin luting cements after aging. *Oper Dent* 36:492–501. doi:10.2341/10-292-L
51. Fuentes MV, Ceballos L, González-López S (2013) Bond strength of self-adhesive resin cements to different treated indirect composites. *Clin Oral Investig* 17:717–724. doi:10.1007/s00784-012-0752-y
52. Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Poitevin A, Van Ende A, Matsumoto M, Yoshida Y, Kuboki T, Yatani H, Van Meerbeek B (2014) Dentin-smear remains at self-etch adhesive interface. *Dent Mater* 30:1147–1153. doi:10.1016/j.dental.2014.07.006
53. Wang Y, Spencer PJ (2002) Analysis of acid-treated dentin smear debris and smear layers using confocal Raman microspectroscopy. *Biomed Mater Res* 60:300–308
54. Bourke AM, Walls AW, McCabe JF (1992) Light-activated glass polyalkenoate (ionomer) cements: the setting reaction. *J Dent* 20:115–120. doi:10.1016/0300-5712(92)90118-V
55. Nicholson JW (1998) Chemistry of glass-ionomer cements: a review. *Biomaterials* 19:485–494
56. Doerr CL, Hilton TJ, Hermes CB (1996) Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin-modified glass ionomers. *Am J Dent* 9:19–21
57. Kim Y, Hirano S, Hirasawa T (1998) Physical properties of resin-modified glass-ionomers. *Dent Mater J* 17:68–76. doi:10.4012/dmj.17.68
58. Marghalani HY (2012) Sorption and solubility characteristics of self-adhesive resin cements. *Dent Mater* 28:187–198. doi:10.1016/j.dental.2012.04.037
59. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL (1990) Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69:36–39. doi:10.1177/00220345900690010501
60. Turkistani A, Sadr A, Shimada Y, Nikaido T, Sumi Y, Tagami J (2014) Sealing performance of resin cements before and after thermal cycling: evaluation by optical coherence tomography. *Dent Mater* 30:993–1004. doi:10.1016/j.dental.2014.05.010
61. Inukai T, Abe T, Ito Y, Pilecki P, Wilson RF, Watson TF, Foxten RM (2012) Adhesion of indirect MOD resin composite inlays luted with self-adhesive and self-etching resin cements. *Oper Dent* 37:474–484. doi:10.2341/11-081