

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA II (ODONTOLOGÍA CONSERVADORA)



TESIS DOCTORAL

**Influencia del tipo de cemento y la técnica de polimerización en el cementado
adhesivo de postes de fibra:**

estudio mecánico de microfiltración

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA
PRESENTADA POR**

Natalia Montalvo Sánchez

Directores

Álvaro Enrique García Barbero
Vicente Vera González

Madrid, 2015

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Departamento de Estomatología II
(Odontología Conservadora)



**INFLUENCIA DEL TIPO DE CEMENTO
Y LA TÉCNICA DE POLIMERIZACIÓN
EN EL CEMENTADO ADHESIVO DE POSTES DE FIBRA:
ESTUDIO MECÁNICO Y DE MICROFILTRACIÓN**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Natalia Montalvo Sánchez

Bajo la dirección de los doctores

Álvaro Enrique García Barbero
Vicente Vera González

Madrid, 2015

*A mis padres y mi hermano,
pilares de mi vida y
ejemplo a seguir.*

*A Jaime, por su apoyo
y por hacerme feliz.*

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, he de expresar mi más sincero agradecimiento a los dos Doctores que han codirigido esta Tesis Doctoral.

Al Doctor Enrique García Barbero, mi Maestro, el que me ha guiado durante toda mi formación. Le agradezco su paciencia, su dedicación y su tiempo durante todo el proceso de ejecución del presente trabajo, así como sus sabios consejos y enseñanzas, las cuales me han llevado a admirarle y respetarle no solo cómo profesor, sino también como persona.

Al Dr. Vicente Vera González, por sus lecciones y su apoyo en los momentos difíciles, por depositar su confianza en mí y hacerme ver que sería capaz de culminar este trabajo de forma satisfactoria.

Agradezco al Departamento de Odontología Conservadora, en cuyas instalaciones he podido trabajar y de cuyos profesores he recibido valiosas enseñanzas en distintos momentos de mi formación. En especial me siento agradecida a su Director, el Doctor Javier García Barbero y también a la Doctora Patricia Barasona Mercado, gran endodoncista y mejor persona. Gracias a todos los colaboradores, "Endolovers", compañeros doctorandos y sobre todo al equipo de Compleja, por haber hecho de los jueves el mejor día de la semana. ¡Se os echa de menos! Al personal auxiliar, sobre todo a Mari Carmen, Silvia y Paloma, siempre amables y dispuestas a ayudar con todo aquello que pudiera estar en su mano. Gracias por vuestra dedicación, vuestro cariño, vuestra eficacia, y por el inmejorable trato que he recibido de vosotras.

A D. Juan Luis Baldonado Rodríguez, D. Alfonso Rodríguez Muñoz y Dña. Ana Vicente Montaña, técnicos del ICTS Centro Nacional de Microscopía Electrónica de la Universidad Complutense de Madrid; por realizar el análisis de las muestras, y orientarme con entusiasmo dentro del increíble mundo de la microscopía electrónica.

A D. Ricardo García Mata, del Departamento de Apoyo a la Investigación de los Servicios Informáticos de la Universidad Complutense de Madrid, por realizar de forma eficaz y desinteresada el análisis estadístico de los datos obtenidos; y por explicarme con paciencia y esmero todo lo relacionado con el mundo de la estadística.

A la casa comercial GC, y en especial a M^º José González, por suministrarnos los materiales de forma desinteresada.

A mi familia, por su apoyo incondicional, su cariño y su ayuda. Agradezco a mis padres el tiempo que han dedicado a mi educación y el esfuerzo que han realizado para que poco a poco pudiera alcanzar las metas que me proponía. Gracias, sin vosotros nunca hubiera sido posible.

A mis amigos, por los buenos y malos momentos que hemos compartido, por escucharme y animarme a seguir, y sobre todo mucho ánimo para todos aquellos que estáis dentro de esta “aventura”, en especial a Ana, Verónica y Paula. ¡No desesperéis, ya lo tenéis hecho!

A Jaime, con el que he compartido todo este tiempo, gracias por tu dedicación día a día, tu infinita paciencia, tu confianza y por haberme elegido como compañera en este viaje. ¡Gracias por hacerme la persona más feliz del mundo!

ÍNDICE

	Páginas
❖ 1. Justificación.....	1-4
❖ 2. Hipótesis y objetivos.....	5-6
❖ 3. Introducción	
○ Generalidades.....	7-9
○ Postes de fibra.....	9-12
○ Agentes cementantes.....	12-17
○ Técnicas para el estudio de las interfaces adhesivas.....	18-21
❖ 4. Material y método.....	22-47
❖ 5. Resultados.....	48-64
❖ 6. Discusión.....	65-90
❖ 7. Conclusiones.....	91-92
❖ 8. Abstract.....	93-104
❖ 9. Bibliografía.....	105-119
❖ 10. Anexos	

1. JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

Los postes prefabricados de resina reforzados con fibra de vidrio, carbono, o cuarzo, constituyen una opción cada vez más extendida para la restauración del diente endodonciado tanto por razones estéticas como biomecánicas.[1] Son numerosos los estudios publicados en los que se analizan las características de este procedimiento restaurador[2-9], sobre todo, aspectos relacionados con el comportamiento de los diferentes sistemas cementantes empleados, las características de la adhesión a la dentina radicular o a la superficie del poste y las variables por las cuales se ve afectada, así como sobre el comportamiento biomecánico del conjunto. Sin embargo, existen variables con gran trascendencia clínica que aún no han sido suficientemente analizadas, en concreto ciertos aspectos relacionados con la sistemática de cementado como son: la técnica de polimerización aplicada al emplear cementos a base de resina y de polimerización dual y la incidencia que puede tener la cinética de polimerización de los mismos sobre la interfase adhesiva. Dichas variables requieren ser estudiadas en profundidad ya que se cree que pueden influir de manera importante en el comportamiento clínico de estos sistemas.

En efecto, la sistemática de polimerización influye de forma notoria en el estrés de contracción, especialmente en cavidades muy restrictivas y con alto valor del factor de configuración o factor "C", como ocurre en el caso de los lechos preparados para el cementado de postes. La polimerización en modo auto permite que el *flow* interno del material compense en cierta medida el estrés de contracción de tal forma que éste tenga una menor repercusión en la interfase adhesiva. Por el contrario, al fotopolimerizar, la conversión de la resina tiene lugar más bruscamente impidiendo que pueda producirse dicha compensación.[10]

Por otro lado, de forma paralela a la aparición de los cementos de resina autoadhesivos ha surgido una tendencia actual consistente en emplear la resina utilizada para la realización de muñones como cemento de resina para el cementado de postes de fibra. El objetivo radica en simplificar la técnica restauradora, logrando además una continuidad entre el material de cementado y el de restauración. El mayor porcentaje de relleno inorgánico que presentan estas resinas de muñones en relación con los agentes cementantes propiamente dichos, puede dar lugar a importantes diferencias en cuanto a fluidez, humectancia y contracción de polimerización, que a su vez podrían repercutir sobre la interfase adhesiva creada entre el cemento y la dentina radicular. [11] El estudio combinado de ambas variables, tipo de cemento y modo de polimerización, presumiblemente permitirá aclarar algunos aspectos relacionados con el cementado de postes adhesivos y mejorar en definitiva el resultado clínico de esta técnica restauradora. Por ello consideramos plenamente justificada la realización del presente estudio.

Existen diferentes metodologías de investigación que permiten abordar el estudio de los sistemas de restauración mediante postes de fibra desde distintos puntos de vista. Los test mecánicos, mediante ensayos de micro-tracción o más recientemente ensayos de *micropush-out* son los más utilizados en la actualidad, ya que permiten determinar la fuerza de unión entre el sistema restaurador y el diente. Por otro lado, los análisis ultraestructurales con microscopía electrónica de barrido permiten analizar las características morfológicas de las interfaces adhesivas que se producen (interfase cemento-dentina, e interfase cemento-poste).[12, 13]Existen otro tipo de estudios como son los de microfiltración, que a pesar de ser escasamente utilizados consideramos de gran importancia, ya que permiten evaluar el sellado de las interfaces existentes. En efecto, el problema del sellado de la interfase poste-cemento-dentina radicular es crucial para la longevidad de la restauración, ya que un defecto en el sellado podría dar lugar a filtración bacteriana a lo largo de la interfase adhesiva, con la posibilidad de que se produzca un

fracaso del tratamiento de conductos a largo plazo.[14] Por todo ello, consideramos que la utilización combinada de estas tres metodologías, es el mejor método para analizar las interfases adhesivas creadas al cementar postes de fibra de vidrio en conductos radiculares. Finalmente, es fundamental conocer en profundidad la microestructura de dichos postes, ya que de ella van a derivar sus propiedades y en consecuencia, su posterior comportamiento clínico por lo que se hace necesario su estudio ultraestructural, en este caso, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En base a lo expuesto en la justificación, para el presente estudio *In Vitro* planteamos una única **hipótesis nula (H_0)**:

Ni la técnica de cementado (grabado total y cemento de resina convencional frente a cemento de resina autoadhesivo), ni la técnica de polimerización aplicada (autopolimerización, frente a fotopolimerización y técnica combinada), influyen sobre las características mecánicas, morfológicas y de sellado de las interfases adhesivas que tienen lugar al cementar postes de fibra de vidrio en conductos radiculares.

OBJETIVOS

General

Estudiar las características de las interfases adhesivas producidas al cementar postes de fibra de vidrio en conductos radiculares, empleando diferentes agentes cementantes a base de resina, y distintas sistemáticas de polimerización del cemento.

Específicos

Determinar la influencia de la variable tipo de cemento sobre la fuerza de adhesión y el sellado de las interfases adhesivas.

Determinar la influencia de la variable sistemática de polimerización sobre la fuerza de adhesión y el sellado de las interfases adhesivas.

Determinar si existen diferencias en el sellado de las interfases en función del nivel radicular.

Determinar los tipos de fracasos ante ensayos mecánicos y establecer sus frecuencias.

Determinar los parámetros que caracterizan la microestructura del sistema de postes de fibra utilizado.

3. INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

3.1. Generalidades

La restauración del diente endodonciado con excesiva pérdida de tejido remanente requiere frecuentemente del uso de anclajes complementarios, como son los postes, que favorezcan la retención del material restaurador. A lo largo de los años se han propuesto diferentes técnicas y materiales para poder llevar a cabo dicha rehabilitación. [14] Inicialmente y durante décadas se han venido utilizando como anclajes complementarios tanto los pernos colados como los postes metálicos prefabricados. Dichos sistemas rígidos presentan un módulo de elasticidad muy distinto al de la dentina (18GPa), lo cual provoca que se generen vectores de fuerza desfavorables en el interior del conducto radicular. Diversos estudios confirman que la presencia de postes rígidos en el interior del canal radicular, incrementa el riesgo de producir fracturas verticales de la raíz por la transmisión de niveles elevados de estrés concentrados en la zona apical. [15, 16] La visualización de la distribución de las tensiones producidas dentro de los dientes restaurados mediante estos sistemas accesorios, ha sido demostrada a través de estudios de análisis de elementos finitos (FEA) entre los que destacan los análisis que utilizan modelos en 3D por ser considerados los más fiables. En ellos se ha destacado la importancia de preservar el efecto ferrule y de utilizar materiales de restauración con unas propiedades elásticas similares a las de la dentina, tales como resinas compuestas o materiales a base de las mismas, para reducir el estrés producido y permitir un comportamiento más favorable del sistema restaurador. [15, 17]

Por dichas razones biomecánicas, junto con la creciente tendencia a la utilización de materiales estéticos, el uso de postes metálicos prefabricados como sistema complementario en la

restauración del diente endodonciado se ha reducido de forma notoria en la práctica clínica, dando paso a los sistemas de fibra.

3.2 Postes de fibra

La primera cita en la bibliografía de un sistema de reconstrucción de dientes endodonciados con resinas reforzadas con fibras, data de 1983 cuando Lovell propuso la utilización de fibras de carbono sumergidas en una matriz de naturaleza orgánica[18]. El sistema era artesanal y sin una fiabilidad clínica demostrada. Los postes de fibra se introdujeron en el ámbito odontológico hacia el año 1990 revolucionando los procedimientos restauradores. Fue en dicho año cuando Duret[19, 20] promulgó la utilización de los postes de resina epoxi, reforzados con fibras de carbono y propuso una técnica basada en la unión de materiales con características biomecánicas similares. Esta filosofía ha sido la que ha orientado las investigaciones en los últimos años. Posteriormente, las fibras de carbono han dado paso a las fibras de vidrio y cuarzo, más estéticas y con mejores propiedades mecánicas. Actualmente, como respuesta a las necesidades de los clínicos existen en el mercado numerosos sistemas prefabricados como son los postes de resina epoxi reforzados con fibra de carbono, postes de resina epoxi o metacrilato reforzados con fibra de vidrio o cuarzo y postes de polietileno reforzados con fibra.[21] Los postes de fibra reforzados con resina se fabrican mediante fibras de carbono, cuarzo o vidrio, embebidas en una matriz de resina epoxi o metacrilato. Las fibras se orientan de forma paralela al eje longitudinal del poste y su diámetro varía en un rango entre 6 y 15 μm . (Figura 1.)

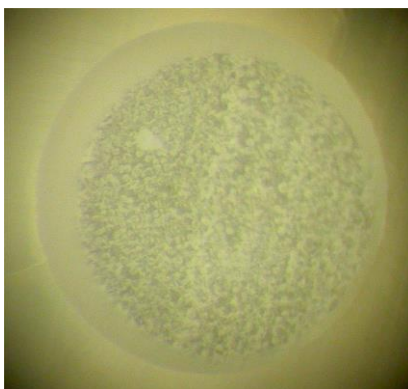


Fig. 1. Corte representativo de un poste de fibra de vidrio reforzado con resina visto al MO.

La densidad de las fibras, es decir, el número de fibras por mm^2 en la superficie de una sección transversal de un poste, varía entre 25 y 35 dependiendo del tipo de poste, por lo tanto, de un 30-50% del área total del mismo se encuentra ocupada por fibras.[22] Las fibras sintéticas estudiadas en este ámbito incluyen: fibras de vidrio, fibras aramídicas (Kevlar) y fibras de carbono.

- Las *fibras aramídicas* presentan un color amarillento y una resistencia a la tensión relativamente baja. No son muy adecuadas para el refuerzo de matrices de resina, ya que al ser menos rígidas es posible su fractura dúctil. [23]

- Las *fibras de carbono*, que poseen las mejores propiedades mecánicas son antiestéticas. Para utilizarlas, deben como mínimo opacificarse. [24]

- Las *fibras de vidrio* en sus diferentes formas han representado el sistema más común de refuerzo de las matrices poliméricas y ya en la década de 1960, se estudiaron como refuerzo de resinas para bases protésicas. Las fibras de vidrio están disponibles en diferentes composiciones químicas, las más comunes son de sílice (50-60% SiO_2) y contienen otros óxidos (calcio, boro, sodio, aluminio, hierro...). [25]

El uso de postes de fibra de vidrio reforzados con resina ha manifestado una eficacia clínica satisfactoria atribuible principalmente a su comportamiento biomimético. De forma específica la presencia en el interior del conducto radicular de un dispositivo menos rígido con un

módulo de elasticidad más próximo al de la dentina (18GPa) permite una distribución adecuada de las tensiones tanto al diente como a los tejidos circundantes, proporcionando un efecto protector contra la fractura radicular.[15, 26]Adicionalmente, por el hecho de presentar un comportamiento biomecánico favorable y homogéneo se reduce la microfiltración en la interfase cemento dentina reduciendo la producción de caries secundarias y la reinfección del área periapical. Además, los postes de fibra ofrecen otra serie de ventajas que han propiciado una rápida difusión entre los clínicos: simplifican el procedimiento de restauración post-endodóntica, al compararlos con los pernos colados, ya que eliminan la fase de laboratorio. También son fáciles de eliminar del conducto mediante el uso de ultrasonidos o elementos rotatorios en caso de que fuese necesario el retratamiento [27, 28] y en términos estéticos, tanto los postes de fibra de vidrio como los de cuarzo son los que presentan las propiedades ópticas más favorables para reproducir el aspecto natural del diente a restaurar.[29]

A pesar de que la fractura vertical es la causa más severa de fracaso por ser irreparable, la pérdida de retención parece ser el fracaso más frecuente. Otro mecanismo por el cual se producen fallos es la contaminación del canal radicular por la vía ortógrada como consecuencia de la filtración de fluidos orales y microorganismos, debido a una falta de adaptación marginal y sellado adecuados. [30]

Las fuerzas de adhesión de la interfase poste-cemento-dentina se encuentran condicionadas por numerosos factores como son: el grado de hidratación de la dentina intrarradicular, un factor de configuración de la cavidad (factor C) desfavorable, el uso de cementos selladores para endodoncia que contengan eugenol, el tipo de sistema adhesivo y cemento utilizado, las diferencias anatómicas en cuanto a densidad y orientación de los túbulos dentinarios en los diferentes niveles radiculares; pero sobre todo, por la dificultad técnica de

realizar el procedimiento de forma precisa debido a las características de los canales radiculares y la imposibilidad de tener visión directa sobre los mismos .[31-33]

3.3 Agentes cementantes

Al hablar de los agentes cementantes, la evolución sufrida a lo largo de la historia ha sido comparable a la de los sistemas de postes.

❖ El *cemento de vidrio ionómero* (CVI) fue formulado en 1969 por Wilson y Kent, llegando a ser en la década de los 90 el agente cementante definitivo más utilizado. Dicha popularidad ha sido atribuida a su facilidad de manejo, sus adecuadas propiedades como la adhesión a la estructura dentaria y los metales de base, su potencial cariostático, su adecuada translucidez, resistencia y su bajo coste.[34] Las propiedades físicas del CVI pueden variar de forma significativa dependiendo de la proporción de polvo/liquido, por lo que deberán seguirse para su preparación las instrucciones del fabricante. [35]

❖ El *cemento de fosfato de zinc* se ha venido usando desde hace más de un siglo. Presenta una alta resistencia inicial, por lo que puede utilizarse para el cementado de postes prefabricados metálicos cuando posteriormente se vaya a realizar un muñón con amalgama, o en el caso de colocar un perno-muñón colado. Como el resto de cementos (excepto los de resina), el cemento de fosfato de zinc fragua a través de una reacción ácido-base y sus propiedades se pueden ver afectadas por diversas variables que intervienen durante su preparación, como puede ser la proporción polvo/liquido o la temperatura.[35]

❖ El *cemento de policarboxilato de zinc* fue desarrollado por el británico Dennis Smith en la década de 1960. Constituyó el primer cemento con capacidad para adherirse a la estructura dentaria. Al igual que ocurre con cemento de fosfato de zinc, el de policarboxilato presenta un pH muy bajo cuando entra en contacto con el diente, pero se considera que existe una mínima

penetración en los túbulos dentinarios debido a su elevado peso molecular , por lo que la respuesta histológica del tejido pulpar suele ser buena. En comparación con el cemento de fosfato de zinc, el de policarboxilato presenta menor resistencia inicial a la compresión, pero la resistencia a la tracción es mucho mayor. Además, presenta cierta adhesión a la estructura dentaria a pesar de que su mecanismo de retención es principalmente mecánico.[34]

La mayoría de los clínicos se encuentran familiarizados con las características y posibles aplicaciones de los cementos que se han venido usando con mayor frecuencia, como son el cemento de fosfato de zinc y el cemento de vidrio ionómero, en cambio, surgen dudas sobre la composición específica y las indicaciones de otros tipos de cementos de reciente incorporación, como son los cementos de resina.[36]

❖ *Cementos de resina.* Los agentes cementantes con base de metil metacrilato aparecieron en la década de 1950. Actualmente, existen en el mercado un gran número de cementos de resina modernos para uso dental debido a su gran versatilidad, alta resistencia a la compresión y a la tracción, baja solubilidad y cualidades estéticas favorables. Dentro de las deficiencias que presentan este tipo de agentes, encontramos principalmente la sensibilidad en la técnica y el elevado coste.[34] Estos productos forman polímeros por lo que no constituyen un cemento como tal, a pesar de ello dicho término es comúnmente utilizado para reflejar la función del material (unir una restauración a la estructura dentaria), en lugar de su química. Estos materiales pueden clasificarse siguiendo distintos criterios, en primer lugar pueden dividirse por el mecanismo de formación de la matriz en: cementos de resina autopolimerizables, fotopolimerizables y de polimerización dual. Además, pueden clasificarse según el mecanismo de adhesión en: cementos de resina que requieren del uso previo de un sistema adhesivo de grabado total o de autograbado, y por último, cementos de resina autoadhesivos.[37] Los cementos de resina se propusieron como agentes cementantes en el cementado de postes.

Parece razonable utilizar un cemento de resina si el sistema de retención accesorio que se va a colocar es también de resina, permitiendo la unión química entre ambos,[38] pero será el clínico el que decida entre las distintas opciones tras valorar las características de cada caso. A continuación, centraremos nuestra atención en los cementos de resina autoadhesivos por ser los materiales menos estudiados e investigados, debido a su reciente incorporación al área odontológica.

❖ Los *cementos de resina autoadhesivos* se introdujeron en la odontología durante la pasada década, pero ganaron popularidad entre los clínicos de forma temprana. Se definen como cementos a base de polímeros de relleno diseñados para adherirse a la superficie del diente sin el requerimiento previo de un sistema adhesivo o un grabado ácido. Son materiales híbridos que combinan las características de los composites restauradores, adhesivos autograbantes y cementos dentales. La principal ventaja que presentan estos materiales, a priori, es la simplicidad en su aplicación y manejo. RelyXUnicem® (3M ESPE, St. Paul, MN, USA) fue el primer cemento de resina autoadhesivo comercializado, pero en la actualidad existen en el mercado más de una docena de ellos, cuya composición química específica puede obtenerse a través de los distintos fabricantes.[36] De forma genérica, los cementos de resina presentan en su composición dos materiales distintos que requieren ser mezclados de forma previa a su aplicación. Dicha unión puede llevarse a cabo de forma manual, a través de la vibración o trituración de una cápsula, o mediante un sistema dispensador de auto-mezcla. Uno de los componentes se basa en mono, di y/o múltiples monómeros de metacrilato utilizados en una amplia variedad de materiales dentales compuestos a base de resina. Estos monómeros son Bis-GMA, UDMA, HEMA, GDMA, TEGDMA... entre otros. Los monómeros ácidos utilizados en la actualidad para lograr tanto la desmineralización como la unión a la superficie dentaria siguen siendo predominantemente metacrilatos con grupos carboxílicos ácidos como 4-META o PMGDM y también grupos fosfato

ácidos (MDP). Además, existen propiedades adicionales derivadas de los monómeros ácidos, principalmente de aquellos procedentes de fosfatos y de fosfonatos, como el MDP, BMP y Penta-P entre otros; los cuales se han desarrollado de forma específica para llevar a cabo la desmineralización tanto del esmalte como de la dentina y a su vez, promover la formación de sales estables con la participación del calcio presente en el sustrato. La selección de la estructura del monómero ácido es de capital importancia, como se demuestra en la formación de complejos de sales fuertes e insolubles en medio acuoso, como los formados entre el calcio y el MDP. En cambio, 4-META, da lugar a un complejo con el calcio con una estabilidad más limitada y mayor dilución.[39, 40] La concentración de monómeros ácidos en estos materiales debe estar debidamente equilibrada. Tiene que ser lo suficientemente baja para evitar una excesiva capacidad hidrófila del polímero final, pero a la vez lo suficientemente alta para lograr un grado aceptable de autograbado y unión a esmalte y dentina. Un excesivo carácter hidrófilo, puede comprometer tanto la resistencia mecánica como la estabilidad dimensional. Inicialmente, tras llevar a cabo la mezcla de los componentes del cemento éstos presentan un comportamiento más hidrófilo, lo cual facilita su humectancia y adaptación a la superficie del diente, pasando a ser más hidrófobos tras la reacción del ácido con el calcio presente en el sustrato.[39, 40] Por otro lado, el otro componente lo constituye el relleno cuyo contenido total presente en la composición de los cementos de resina autoadhesivos se encuentra en un rango aproximado del 60-75 % en peso. [41] La necesidad de separar los distintos componentes del cemento surgió para evitar reacciones prematuras del tipo ácido-base, así como para permitir la separación de los iniciadores de las reacciones redox promoviendo la presencia de radicales libres durante el proceso de autopolimerización. Además, con ello se permitió la incorporación de radicales libres fotoiniciadores.

Al hacer referencia a los distintos modos de curado posibles, podemos encontrar en el mercado cementos de resina autopolimerizables, fotopolimerizables, o duales, es decir, aquellos que combinan auto y fotopolimerización. La autopolimerización ha resultado ser una característica esencial en los cementos de resina de uso dental debido a la imposibilidad de conseguir una intensidad de luz adecuada a todos los niveles de la mayoría de las restauraciones indirectas. Ésto sucede en los lechos preparados para el cementado de postes, donde se combinan distintas características desfavorables para la adhesión ya que se trata de cavidades estrechas, profundas y con poco control por parte de los clínicos debido a la imposibilidad de tener visión directa de la misma. Por ello se excluye el uso de materiales únicamente fotopolimerizables para llevar a cabo dicho procedimiento.[36]

Mientras que algunos materiales están diseñados para emplearlos en modo autopolimerizable exclusivamente, la mayoría de los cementos autoadhesivos promueven la polimerización dual combinando en su composición fotoiniciadores e iniciadores redox. [36]En cuanto a los mecanismos de adhesión propuestos, se hace hincapié en el proceso de polimerización de los radicales libres de metacrilato como reacción primaria. Estos monómeros son activados mediante dos posibles rutas: la química y la fotoquímica para comenzar el proceso de entrecruzamiento y polimerización. Los grupos ácidos se unen con el calcio de la hidroxiapatita para formar uniones estables entre la red de metacrilato y la estructura dentaria. Los iones liberados del relleno neutralizan los grupos ácidos restantes para crear una red tridimensional de metacrilato reforzado.[36]

Es necesario insistir en la existencia de una gran cantidad de barrillo dentinario secundario tras la preparación del lecho que albergará el poste. Dichos detritus obstruyen la entrada de los túbulos dificultando la adhesión, por ello es necesario eliminarlo de forma previa a la aplicación de los materiales cementantes. Existe gran controversia sobre los posibles

compuestos a utilizar. El primer protocolo que ha revelado un resultado clínicamente aceptable ha sido la aplicación de ácido ortofosfórico al 37%, el cual elimina completamente el *smear layer*.^[42] Además, se ha valorado el uso de otras sustancias como el EDTA al 17% (Ácido etilendiaminotetraacético) y el hipoclorito de sodio (NaOCl) en distintas concentraciones. Mao y colaboradores^[43] llevaron a cabo un estudio en el cual compararon tres tratamientos de la dentina de forma previa al cementado de postes, concluyendo que los mejores resultados se obtenían alternando EDTA e hipoclorito.

Los cementos de resina autoadhesivos han sido diseñados específicamente para interactuar tanto con la dentina como con el esmalte, siendo necesaria una mínima preparación del sustrato. Si bien históricamente la unión a esmalte mediante el grabado previo con ácido ortofosfórico se ha catalogado como una unión muy efectiva, estos nuevos cementos mediante el uso de ácidos más débiles en su composición, pueden no producir patrones de grabado equivalentes para dar lugar a una correcta adhesión.^[44] Parece existir acuerdo entre los autores sobre la escasa interacción de estos materiales con el esmalte o la dentina en términos de desmineralización, así como en la formación de tags. Sin embargo, hay indicadores mediante espectroscopía de rayos X (XPS) que muestran una adecuada interacción química con el calcio de la hidroxiapatita, lo cual proporciona cierta retención química y micromecánica, con una infiltración próxima a 1mm en dentina.^[44]

3.4 Técnicas para el estudio de las interfases adhesivas

Un apartado importante en los estudios de cementado es la evaluación desde diferentes puntos de vista de las interfases adhesivas que se producen. La atención recae principalmente en el conocimiento de la fuerza de adhesión de los cementos de resina a la dentina como sustrato.[2, 3, 5-7, 32, 45-52]Se hace necesario destacar la importancia del estudio de la interfase adhesiva cemento-dentina, por ser la más comprometida al estar formada por elementos de distinta naturaleza química. Para llevar a cabo la valoración del estado de la interfase adhesiva y el cálculo de las fuerzas de adhesión existen distintas técnicas, entre ellas merecen especial mención los estudios mecánicos, los estudios morfológicos y los estudios de microfiltración.

❖ Estudios mecánicos

A lo largo de la historia se han ido desarrollando diferentes métodos o pruebas mecánicas para medir las fuerzas de adhesión a dentina de postes cementados. Inicialmente se llevaban a cabo estudios de tracción sobre la dentina radicular externa[53], o sobre la superficie de dentina intrarradicular mediante pruebas denominadas de *pull-out* (literalmente, tirar hacia fuera)[54, 55]; para posteriormente dar paso a los ensayos de microtracción[5] y más recientemente a los denominados de "*push-out*" (empujar hacia fuera).[2, 6-8, 56] El test de *push-out* como tal fue descrito por primera vez para el uso en odontología en el año 1970[57], pero fue en el año 1996 cuando dicho test se comenzó a utilizar para el estudio de la adhesión a dentina intrarradicular.[12] El *push-out* ofrecía una aproximación más precisa a las fuerzas de adhesión reales, ya que con este sistema el fracaso o fractura de las muestras se producía de forma paralela a la interfase adhesiva cemento-dentina.[58] Posteriormente el *push-out* se confirmó como un test más fiable que el de microtracción, tras el estudio llevado a cabo por Goracci y colaboradores en el año 2004[45]. En él, compararon la capacidad de las dos técnicas

citadas anteriormente para medir de forma exacta las fuerzas de adhesión conseguidas al cementar postes de fibra en el interior del conducto radicular. Tras someter a las muestras a las citadas pruebas concluyeron que los resultados obtenidos mediante el test de *push-out* proporcionaban unas medidas útiles con una mínima variabilidad. Se consideró que el test de *push-out* se correspondía con la técnica más precisa y fiable para medir la fuerza de unión de los postes de fibra a la dentina radicular. En dicho estudio, la técnica mecánica utilizada no fue la de *push-out* convencional, sino que desarrollaron una técnica de *micropush-out* basada en los conocimientos previos de las técnicas de microtracción llevadas a cabo por autores como Bouillaguet y Pashley.[32] Dicha técnica, se fundamentaba en la reducción del tamaño de los especímenes para permitir una distribución más uniforme del estrés generado durante la realización del ensayo. La distribución poco uniforme de las tensiones ha sido planteada por algunos autores como una razón de peso para descartar el método de *push-out*.^[59] Este inconveniente se solventó al reducir las muestras a un grosor aproximado de 1 mm. La técnica desarrollada, debido a sus características, también permitía diferenciar la fuerza de adhesión existente en los distintos niveles radiculares.[45] Los ensayos mecánicos se complementan mediante el estudio de los tipos de fractura, los cuales pueden clasificarse en: adhesiva, cohesiva o mixta, en cada uno de los materiales que configuran el sistema. Dicho estudio se lleva a cabo mediante visión con magnificación, generalmente microscopía óptica.

❖ Estudios de microfiltración

Estos estudios se pueden llevar a cabo mediante diferentes pruebas.

Fue Hidehiko Sano (Universidad de Hokkaido, Japón) el que describió por primera vez en el año 1995 el fenómeno de nanofiltración. [60, 61] Introdujo el término para describir “La difusión de pequeños iones o moléculas dentro de la capa híbrida, en ausencia de formación de gaps”. Dicho autor utilizó nitrato de plata como marcador para determinar los caminos nanométricos abiertos en el interior de la capa híbrida.[62]

El sellado hermético entre distintos sistemas adhesivos y el esmalte ya ha sido logrado, en cambio, el sellado de la interfase cemento-dentina supone todavía un gran reto debido a las características heterogéneas de la estructura de ésta y la morfología de su superficie.[63] La nanofiltración es un indicador muy importante de la capacidad de sellado que presentan los materiales, considerándose que se debe a una infiltración insuficiente por parte de los monómeros de resina, o a una polimerización incompleta de los monómeros hidrófilos.[60, 61] En la actualidad los términos micro y nanofiltración se utilizan indistintamente para referirse a dicho fenómeno.

Numerosos autores han llevado a cabo estos estudios, complementando los mismos con el análisis de los especímenes mediante microscopía electrónica de barrido.[7, 50, 52, 64, 65]

❖ Estudios ultraestructurales

Generalmente el análisis ultraestructural se utiliza en estos trabajos de investigación de forma complementaria a los ensayos mecánicos y de microfiltración. En odontología se han venido usando cuatro sistemas microscópicos para la visualización de las interfases adhesivas, con especial mención a la interfase cemento-dentina.[66] Dichos sistemas son: el microscopio electrónico de barrido[67-70], el microscopio confocal láser de barrido[71], el microscopio

electrónico de transmisión[9] y el microscopio de fuerza atómica[72]. En el caso del microscopio electrónico de barrido, técnica de elección en el presente estudio, el método de evaluación estándar para determinar el estado de las interfases adhesivas se realiza mediante cortes transversales de los postes cementados en conductos radiculares. La observación de los especímenes mediante magnificación y alta resolución permite analizar las características de dichas interfases tanto de forma cualitativa como cuantitativa. Además del análisis de dichas características, la utilización de este sistema junto con un agente de tinción permitirá discernir con gran exactitud si las aberturas existentes en las interfases son debidas a un defecto en el sistema de adhesión o a una alteración durante la manipulación de la muestra. Por otro lado, el estudio mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) nos permite analizar la microestructura del sistema de postes. Los parámetros analizados en la mayoría de los estudios para el conocimiento de dicha estructura interna son: el ratio fibras/matriz, es decir, el porcentaje tanto de fibras como de matriz que componen el conjunto del poste, la densidad de fibras, número de fibras por mm^2 ; el diámetro de las fibras (μm) y la distribución de las mismas en el interior de la matriz, ya que una distribución homogénea será más deseable que una heterogénea. De todos estos parámetros derivarán las propiedades del sistema de postes y en consecuencia, su comportamiento clínico, por lo que su estudio y conocimiento presentan gran relevancia.

4. MATERIAL Y MÉTODO

MATERIAL Y MÉTODO

4.1 Procedimiento de selección y tamaño de la muestra

Para el estudio se emplearon premolares inferiores extraídos por razones periodontales u ortodóncicas y con un periodo de almacenamiento extraoral en suero fisiológico inferior a un año, siguiendo para ello un muestreo no probabilístico de casos consecutivos. Se consideró necesario utilizar un tamaño muestral de 66 especímenes.

El procedimiento de selección fue el siguiente: se llevó a cabo una inspección visual para seleccionar aquellos que cumplían criterios de inclusión. Tras ella, la muestra estaba compuesta por 80 premolares inferiores. Posteriormente, se procedió a medir cada uno de ellos mediante un calibre digital descartando aquellos que presentaban una longitud inferior a 14 mm desde el cuello anatómico al ápice. Finalmente, 14 de ellos se excluyeron.

4.2 Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión

- Premolares inferiores humanos
- Ausencia de caries
- Raíz recta
- Longitud radicular superior a 14mm desde cuello anatómico al ápice
- Ausencia de restauraciones coronarias
- Ausencia de fisuras radiculares detectables mediante inspección visual

Criterios de exclusión

- Reabsorción radicular
- Múltiples raíces
- Presentar tratamiento de conductos previo
- Ápice abierto

4.3 Desarrollo del proyecto

4.3.1 Material

- Preparación de las muestras
- Premolares inferiores humanos que componen la muestra.
- Calibre digital.
- Juegos de limas Protaper® (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suiza).
- Limas K FlexoFile® (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suiza).
- EDTA líquido (17%).
- Hipoclorito sódico al 5%.
- Puntas de papel.
- Gutapercha.
- Cemento sellador AH Plus® (DentsplyDeTrey, Konstanz, Alemania).
- Cavit® (3M ESPE, Seefeld, Alemania).
- Fresas de Gates-Glidden nº 2 y nº 3.
- Postes de fibra de vidrio reforzados con resina, del sistema GC Fiber Post® de 1,2 mm de Ø.(Tabla 1.)

Tabla 1. Características de los postes de fibra de vidrio reforzados con resina del sistema GC Fiber Post®

Poste de fibra	1,2 mm Ø
Código de color	Rojo
Longitud total	22 mm
Longitud de la sección cónica	4 mm
Ángulo cónico	4°
Mayor dimensión	12 mm
Mínima dimensión	0,5 mm



- Drills correspondientes al sistema GC Fiber Post® para postes de fibra de vidrio reforzados con resina de 1,2 mm de Ø. (Tabla 2.)

Tabla 2. Características de los drills del sistema GC Fiber Post®

Fresa	1,2mm
Código de color	Rojo
Longitud de la fresa	10 mm
Diámetro de la fresa	1,3 mm

- Cemento de resina autoadhesivo G-CEM Automix® (GC, Tokio, Japón).
- Cemento de resina GC Gradia core® (GC, Tokio, Japón).
- Sistema adhesivo GC Self-etching bond® (GC, Tokio, Japón).

- Silano (GC Ceramic Primer A y B).
- Suero fisiológico.
- Rollos de algodón.

- Test de micropush-Out

- Cinta adhesiva de doble cara.
- Rotulador permanente.

- Análisis de microfiltración

- Nitrato de plata (AgNO_3) en cristales.
- Hidróxido de amonio (NH_4OH).
- Agua destilada.
- Revelador fotográfico.

- Análisis ultraestructural mediante MEB

- Ácido ortofosfórico al 37%.
- Hipoclorito sódico al 5%.
- Discos de pulir con granos de carburo de silicio de 600μ , 800μ y 2400μ .

4.3.2 Equipo e instrumentos

a. Preparación de las muestras

- Turbina y micromotor KaVo Dental.
- Lámpara de fotopolimerizar de luz halógena Spectrum™800 Dentsply.
- Cortadora EKAKT®.

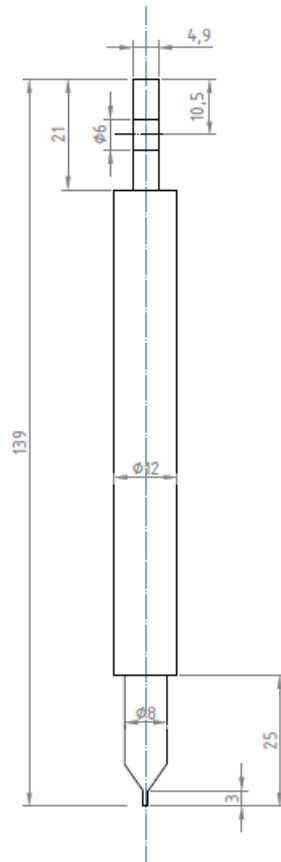
b. Pruebas de Push-Out

- Máquina universal de ensayos electromecánicos Hounsfield test Equipment®. (Tabla 3.)
- Software de ensayos avanzados Metrotest®.

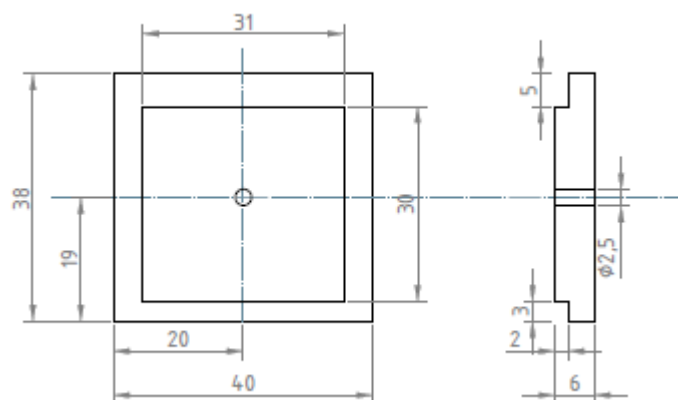
Tabla 3. Características de la Máquina universal de ensayos electromecánicos Hounsfield test Equipment®.

Exactitud	± 1%
Capacidad máxima	1 (KN)
Rango de medición	0,4% -100% de FS
Resolución de desplazamiento	0.001 mm
Control de velocidad	0.005-500 mm / min
Rango de medición de deformación	2% -100% de máx. deformación
Exactitud de la medición de la deformación	≤ ± 0,5% (un 2% -100% de máx. deformación)
Espacio de tracción / compresión	800 mm
Peso del Marco de Ensayos neto	180 Kg
Suministro Eléctrico	0.5KW, AC 220V ± 10%, Monofásica 50 Hz

- Punzón de acero de 0,8 mm en su punta, diseñado específicamente para el presente estudio. (Figura 2.)



- Pletina para apoyo de las muestras, diseñada específicamente para el presente estudio. (Figura 3.)



- Microscopio óptico Leica® MZ 12; con cámara fotografica Nikon® Coolpix integrada.
- Analizador de imagen Image Tools 3.0®

c. Pruebas de microfiltración

- Matraz aforado.

d. Análisis ultraestructural en el MEB

- Pulidora Struers Dap-7®.
- Metalizadora.
- Microscopio electrónico de barrido JSM 6400 JEOL.

Este microscopio proporciona imágenes y datos físico-químicos de la superficie de las muestras. Sus especificaciones técnicas son las siguientes:

-Cátodo termoiónico con filamento de tungsteno.

-Detectores de:

Electrones secundarios: resolución de la imagen a 35 Kv:

A 8 mm de distancia de trabajo: 3,5 nm

A 39 mm de distancia de trabajo: 10,0 nm

Electrones retrodispersados: resolución de la imagen:

A 8 mm de distancia de trabajo: 10,0 nm

4.3.3 Procedimiento para la realización del proyecto

a. Preparación de las muestras

Sesenta y seis premolares inferiores unirradiculares extraídos por razones periodontales u ortodóncicas fueron seleccionados para este estudio (n=66). Se conservaron en suero fisiológico y a temperatura ambiente durante un periodo inferior a 6 meses. Se procedió a medir nuevamente cada uno de los dientes desde el ápice hasta el cuello anatómico para corroborar que su longitud radicular era superior a 14mm. Posteriormente, cada uno de ellos se cortó a 14mm del ápice, con un disco de diamante, a baja velocidad y abundante irrigación con agua. Se llevó a cabo el tratamiento de conductos combinando tanto la instrumentación manual como la mecánica del sistema Protaper® (Dentsply-Maillefer, Ballaigues, Suiza) y la irrigación con EDTA líquido al 17% e hipoclorito sódico al 5%. Posteriormente el conducto se obturó con gutapercha, cemento sellador AH Plus® (Dentsply DeTrey, Konstanz, Alemania) mediante técnica de condensación lateral. La apertura del conducto se selló con un cemento temporal (Cavit®, 3M ESPE, Seefeld, Alemania) y todas las muestras se conservaron en suero fisiológico y a temperatura ambiente durante 7 días. Pasado ese periodo se procedió a la preparación de los lechos para el cementado de los postes de fibra de vidrio reforzados con resina. El objetivo de dicha preparación fue crear un espacio para alojar el poste, con una profundidad de 9mm medidos desde la línea amelocementaria en la cara vestibular del diente. Como paso previo se utilizaron fresas Gates-Glidden del nº 2 y del nº 3 medidas a dicha longitud para retirar la gutapercha presente en el conducto. Posteriormente se utilizó el drill correspondiente al sistema GC Fiber Post® para postes de fibra de vidrio reforzados con resina de 1,2 mm de Ø, con abundante irrigación con agua. Cada drill fue utilizado únicamente para llevar a cabo 8

preparaciones, pasando a ser reemplazado por otro nuevo al alcanzar dicho número. Una vez preparados los conductos, se lavaron con EDTA líquido al 17% para eliminar el barrillo dentinario existente, e hipoclorito sódico (5%), se aclararon con agua en jeringa y se secaron con aire libre de aceite y puntas de papel. Llegados a este punto, la muestra estaba compuesta por los sesenta y seis premolares inferiores con el tratamiento de conductos realizado y labrado el lecho para alojar el poste. El número total de especímenes (n= 66) se distribuyeron siguiendo una tabla de números aleatorios en seis grupos de trabajo (n=11) en función del cemento y la sistemática de polimerización que se iba a aplicar. En todos ellos se cementarían postes de fibra de vidrio reforzados con resina del sistema GC Fiber Post[®] de 1,2 mm de Ø. Los grupos de trabajo fueron los siguientes (Tabla 4):

Tabla 4. Grupos de trabajo

GRUPO	SISTEMA DE CEMENTADO	SISTEMÁTICA DE POLIMERIZACIÓN
G1	GC Self-etching bond [®] + GC Gradia core [®]	Fotopolimerización inmediata 40 ''
G2	G-CEM Automix [®]	Fotopolimerización inmediata 40 ''
G3	GC Self-etching bond [®] + GC Gradia core [®]	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
G4	G-CEM Automix [®]	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
G5	GC Self-etching bond [®] + GC Gradia core [®]	Autopolimerización
G6	G-CEM Automix [®]	Autopolimerización

La selección y preparación del poste se llevó a cabo de forma similar en los seis grupos. Inicialmente se seleccionó el poste, se probó en el lecho y se cortó transversalmente con un

disco de diamante a una longitud de 9mm desde su extremo apical. Después se limpió con un algodón y alcohol y se secó con aire libre de aceite para posteriormente tratar su superficie con un silano (GC Ceramic Primer A y B). Los cementos utilizados: cemento de resina autoadhesivo G-CEM Automix® y cemento de resina GC Gradia Core® se manipularon de acuerdo con las instrucciones del fabricante (Tabla 5.) por ello, se llevaron a cabo dos técnicas de cementado diferentes; una para los grupos 1, 3 y 5 y otra para los grupos 2, 4 y 6.

Tabla 5. Composición/Manipulación de materiales.

CEMENTO DE RESINA	USO	GRUPO	COMPOSICIÓN
G-CEM Automix®	Extruir el cemento de la jeringa de automezcla. Aplicar el cemento sobre el sustrato.	Cemento de resina autoadhesivo	UDMA, fluoro-alumino-silicato de vidrio, dimetacrilato, ácido fosfórico monómero de éster, dióxido de silicio, iniciador, inhibidor, pigmento
GC Gradia Core®.	Tras la aplicación del adhesivo GC Self-etching bond®, cargar el cartucho en la jeringa dispensadora y extrudir el cemento sobre el sustrato.	Cemento de resina con adhesivo autograbante	UDMA, , fluoro-alumino-silicato de vidrio, dióxido de silicio, iniciador, inhibidor, pigmento
GC Self-etching bond®	Mezclar los componentes A y B, aplicar y dejar actuar 30", secar 10" y polimerizar 10".	Adhesivo autograbante	Agua destilada, etanol, anhídrido 4-methacryloxyethyltrimelitico, dimetacrilatos, dióxido de silicio, iniciador
GC Fiber Post®	Destinado a ser cementado en el canal radicular de un diente para estabilizar y soportar una restauración.	Poste	Fibra de vidrio (77%), matriz de metacrilato (23%)

- Grupos 1, 3 y 5 (G1, G3 y G5): Cementados con GC Gradia Core®. Se mezclaron los líquidos A y B del adhesivo de autograbado GC Self-etching bond® en un pocillo, para posteriormente aplicarlo en el canal radicular con la ayuda de un micropincel y se dejó actuar durante 30 segundos. Se eliminaron los excesos con puntas de papel, y se secó con aire libre de aceite. Una vez aplicado el adhesivo se insertó el cemento GC Gradia Core® dentro del conducto con la ayuda de la pistola dispensadora GC Cartridge Dispenser y una punta para endodoncia. Se inyectó de dentro hacia fuera, manteniendo la boquilla inmersa en el cemento durante todo el proceso para evitar el atrapamiento de aire. Posteriormente se introdujo el poste de fibra de vidrio (GC Fiber Post®) previamente silanizado, con una presión suave, y se retiraron los excesos con la ayuda de un rollo de algodón. A continuación en el grupo 1 (G1) se procedió a fotopolimerizar de forma inmediata, mediante la aplicación del terminal de la lámpara de luz halógena (Spectrum®800 Dentsply) en la superficie oclusal, de forma paralela a la misma y durante 40 segundos. En el grupo 3 (G3) no se fotopolimerizó hasta pasados 5 minutos después de haberse iniciado el proceso de autopolimerización. Tras este periodo se fotopolimerizó durante 40 segundos, del mismo modo que en el grupo 1. En el grupo 5 (G5) las muestras polimerizaron únicamente en modo auto.

- Grupos 2, 4 y 6 (G2, G4 y G6): Cementados con G-CEM Automix®. En este caso, al tratarse de un cemento autoadhesivo y siguiendo las instrucciones del fabricante, fue innecesario el pretratamiento de la dentina intrarradicular. El procedimiento de cementado se inició con la aplicación de la punta GC para endodoncia, previamente colocada en la jeringa de automezcla del cemento, en el interior del conducto radicular.

El material se inyectó de dentro hacia fuera, manteniendo el terminal inmerso en el cemento para evitar el atrapamiento de aire. Posteriormente se introdujo el poste de fibra de vidrio (GC

Fiber Post®) previamente silanizado, con una presión suave y se retiraron los excesos con la ayuda de un rollo de algodón. A continuación, en el grupo 2 (G2) se procedió a fotopolimerizar de forma inmediata mediante la aplicación del terminal de la lámpara de luz halógena (Spectrum® 800 Dentsply) en la superficie oclusal, de forma paralela a la misma y durante 40 segundos. En el grupo 4 (G4) no se fotopolimerizó hasta pasados 5 minutos después de haberse iniciado el proceso de autopolimerización. Tras este periodo se fotopolimerizó durante 40 segundos, del mismo modo que en el grupo 2. En el grupo 6 (G6) las muestras polimerizaron únicamente en modo auto.

En todos los grupos, la parte coronal de las muestras se cubrió con el agente cementante utilizado en cada caso mediante un muñón que se polimerizó de forma simultánea al poste, de acuerdo a la sistemática seguida en los distintos grupos. (Tabla 4.)

Todas las muestras se almacenaron en suero fisiológico y a temperatura ambiente durante 7 días.

b. Test de micropush-out

Siguiendo una tabla de números aleatorios, se seleccionaron ocho especímenes de cada grupo experimental (n=48) para ser sometidos al citado test mecánico. Inicialmente, cada uno de los dientes fue seccionado mediante cortes transversales a su eje longitudinal utilizando para ello una cortadora Exakt® y abundante irrigación con agua. (Figura 4.)



Fig. 4. Cortadora Exakt con segmento radicular obtenido tras el corte de la raíz.

Se obtuvieron de cada espécimen tres segmentos radiculares de 1,6 mm de grosor aproximado cada uno. Para poder ser sometidos a dicho test se marcó el lado correspondiente a la superficie apical de cada uno de los cortes con un rotulador permanente. A continuación, se fijó el disco mediante una cinta adhesiva de doble cara a la pletina diseñada para el estudio, la cual estaba posicionada sobre la base del dispositivo de la máquina de tracción. Se enfrentó la superficie coronal del espécimen con la pletina y se dejó el poste de fibra perfectamente centrado con el orificio que presentaba ésta. Una vez centrada y fijada la muestra se realizó el ensayo mecánico en la máquina universal de ensayos electromecánicos Hounsfield® HTE (Croydon, Inglaterra) (Figura 5.)



Fig. 5. Máquina universal de ensayos electromecánicos Hounsfield® HTE.

El ensayo se llevó a cabo mediante un punzón de acero, cilíndrico y de 0,8 mm de \varnothing en su punta, centrado con respecto a la sección del poste, evitando cualquier posible contacto con la superficie de dentina circundante. Dicho punzón fue específicamente diseñado para este estudio. (Figuras 6 y 7.) La carga se aplicó en dirección apical-coronal a una velocidad de $0,5 \text{ mm min}^{-1}$ hasta alcanzar la carga de fracaso, que se manifestó por la extrusión parcial del poste de fibra de la porción radicular. Para poder expresar la fuerza de adhesión del sistema en MPa, fue necesario recurrir a la siguiente fórmula:

$$F \text{ de adhesión} = \text{Carga del fracaso (N)} / \text{Área de la interfase de unión (mm}^2\text{)}$$

Para poder calcular el área de la interfase de unión se utilizó la fórmula que se muestra a continuación, correspondiente al área de un tronco de cono:

$$A = \pi (R + r)[h^2 + (R-r)^2]0,5$$

Donde $\pi = 3,14$; R = Radio coronal del poste, r = Radio apical del poste, y

h = Grosor del corte de la raíz (1,6mm)

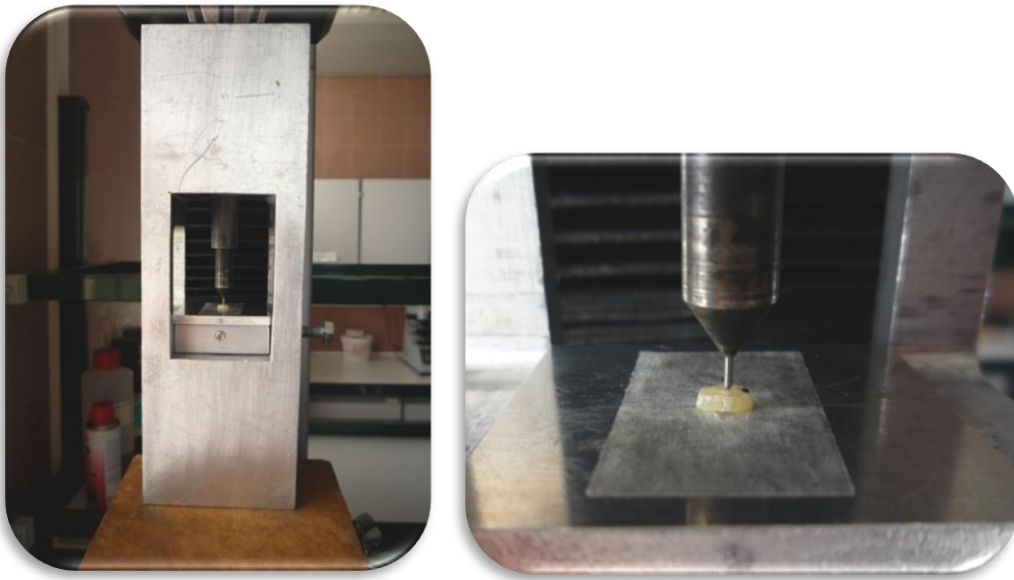


Fig. 6 y 7. Conjunto del dispositivo de ensayo y detalle del punzón de acero centrado sobre la muestra.

Para llevar a cabo la medición del radio del poste de una forma más exacta y precisa se registraron imágenes estandarizadas de todos los cortes, tanto de su superficie coronal como apical, antes y después de haber sido sometidos al ensayo mecánico, a través de la cámara fotográfica Nikon Coolpix® instalada en el microscopio óptico Leica® MZ 12. Dicha distancia se midió posteriormente sobre las fotografías obtenidas con la ayuda del analizador de imagen ImageTool 3.0®. Se realizaron tres mediciones simultáneas, se calculó la media y se utilizó ésta para calcular la fuerza de adhesión.

Tras someter a cada uno de los cortes al ensayo de micropush-out, éstos fueron analizados de manera inmediata e individual en el microscopio óptico para determinar el tipo de fracaso mediante el examen de la superficie coronal de cada corte.(Figuras 8 y 9.)

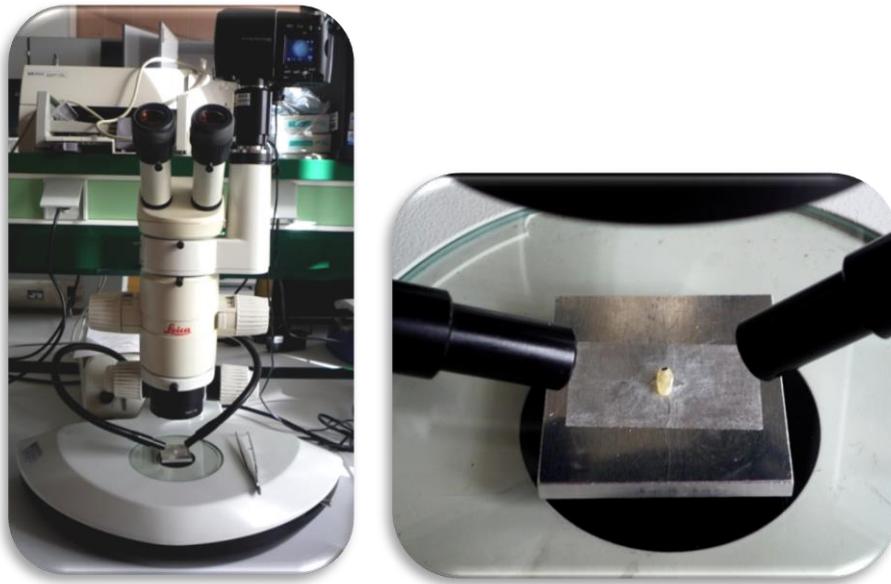


Fig. 8 y 9. Microscopio óptico Leica® MZ 12 y detalle de una muestra.

Las muestras seccionadas se ensayaron y clasificaron en la misma sesión para evitar sesgos derivados del almacenamiento de los cortes en medio acuoso.

Para ordenar los tipos de fracturas o fracasos, se utilizó la clasificación seguida por Perdigão y colaboradores en su estudio publicado en el año 2006[73].

- 1) Adhesivo entre el poste y el cemento de resina (No hay cemento de resina visible alrededor del poste).
- 2) Mixto, con cemento de resina cubriendo del 0-50% del diámetro del poste.
- 3) Mixto, con cemento de resina cubriendo del 50-100% del diámetro del poste.
- 4) Adhesivo entre el cemento de resina y la dentina intrarradicular (El poste se encuentra rodeado completamente por cemento de resina).
- 5) Fractura cohesiva de dentina
- 6) Fractura cohesiva de cemento

Los resultados obtenidos, tanto de la fuerza de adhesión como de los tipos de fracasos, se sometieron a análisis estadístico para determinar las posibles diferencias entre grupos.

c. Análisis de microfiltración

De la muestra inicial total (n=66), tres especímenes de cada grupo experimental (n=18) fueron preparados para evaluar la microfiltración existente en las interfases adhesivas. La selección de los mismos se realizó de acuerdo con una tabla de números aleatorios. Para ello, los dientes fueron seccionados mediante cortes transversales a su eje longitudinal, utilizando para ello una cortadora Exact® y abundante irrigación con agua. Se obtuvieron tres discos de cada diente, de 1,6 mm de grosor aproximado cada uno, los cuales fueron clasificados en apical, medio y coronal, en relación al tercio radicular al cual pertenecían. No se perdió ninguna muestra en la fase de corte. Sobre la superficie apical de cada uno de ellos se realizó una pequeña muesca con una fresa de punta de lanza de diamante de grano fino para poder orientar posteriormente la muestra. La cuantificación de la microfiltración se hizo observando únicamente su superficie coronal. Todos los cortes se introdujeron en una dilución de nitrato de plata solución amoniaca al 50% en peso durante 24 horas, preparada siguiendo la técnica descrita por Pashley[63] del modo siguiente: se diluyen 25 g de AgNO_3 en cristales, en 25 ml de hidróxido de amonio (NH_4OH) acuosos al 28% en peso. Se crea así una suspensión de partículas de plata negras. Se va añadiendo progresivamente NH_4OH a dicha solución hasta que ésta llegue a ser transparente; en ese momento, los complejos de iones amonio transforman la plata en iones diamina de plata ($[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$). Esta solución se diluye posteriormente en 50 ml de agua destilada para conseguir el 50% en peso. (Figura 10.)

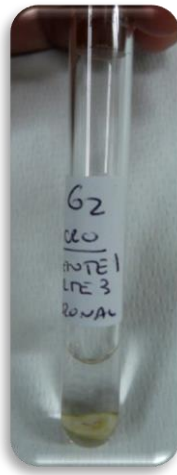


Fig.10. Detalle de una muestra sumergida en nitrato de plata solución amoniacal al 50% en peso, dentro de un tubo de ensayo.

Transcurridas 24 horas, las muestras teñidas se lavaron abundantemente con agua y se sumergieron en una solución reveladora durante 8 horas. Pasado este tiempo se aclararon abundantemente con agua y se fijaron por la cara apical a los portamuestras individuales mediante adhesivo de cianoacrilato. Se pulió la superficie coronal de cada uno de los cortes utilizando papeles abrasivos con granos de carburo de silicio de 600 μ , 800 μ y 1200 μ de grosor, montados sobre una pulidora Struers Dap-7[®] y mediante abundante irrigación. A continuación se grabaron con ácido ortofosfórico al 37% durante cinco minutos para eliminar los restos orgánicos y componente minerales de la dentina, se enjuagaron con agua destilada y se sumergieron en una solución de hipoclorito sódico al 5% durante dos minutos para desproteinizarlos. Antes de metalizar las muestras para poder ser analizadas al MEB, éstas se observaron al microscopio óptico (Leica[®] MZ 12) y fueron fotografiadas, ayudándonos de la cámara instalada en el mismo. Dichas imágenes se tomaron en condiciones estándar, a una magnificación de 30X y sin flash.

(Figura 11.)

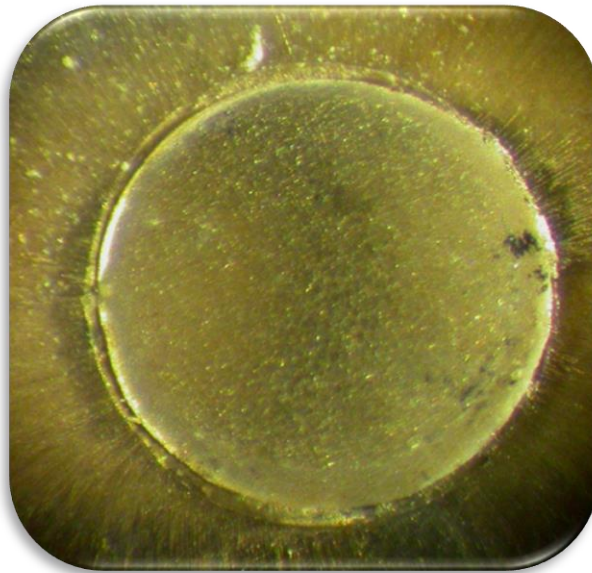


Fig.11. Detalle de corte apical con depósitos de nitrato de plata.
Imagen tomada con el MO a 30X.

d. Análisis ultraestructural mediante microscopía electrónica de barrido (MEB)

Este tipo de estudio se utilizó de forma complementaria al análisis de microfiltración. Todas las muestras sometidas a microfiltración (n=18) se prepararon de la misma manera para ser observadas al MEB. Una vez pulidas, atacadas, desproteinizadas, evaluadas y fotografiadas al microscopio óptico, las muestras se aclararon abundantemente con agua destilada y se dejaron secar para finalizar su preparación con la metalización con grafito durante 30 minutos. Posteriormente, fueron examinadas al microscopio electrónico de barrido JSM 6400 JEOL. (Figura 12.)



Fig.12. Microscopio electrónico de barrido JSM 6400 JEOL del ICTS (Centro Nacional de Microscopía Electrónica)

La cuantificación de la microfiltración se llevó a cabo basándonos en el modelo descrito por Saboia y colaboradores[64] a través del análisis de una serie de imágenes tomadas con el MEB de forma estandarizada a 50X y electrones retrodispersados. (Figura 13.)

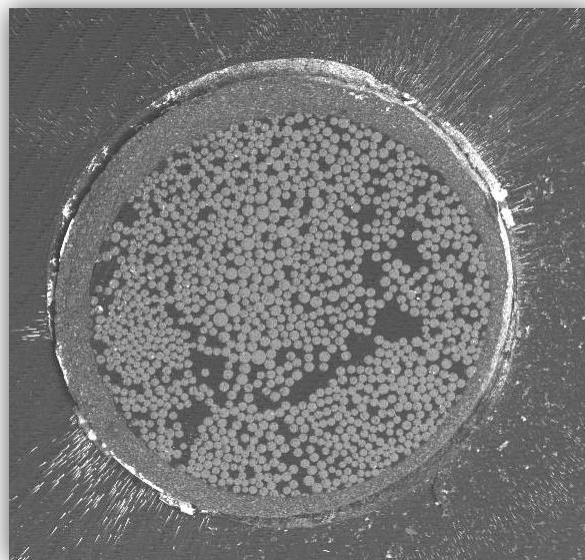


Fig. 13. Detalle de corte apical (mismo corte que en la Imagen 11), tomado con el MEB a 50X.

Con dicho método se cuantificó la longitud de la interfase en la cual aparecían depósitos de nitrato de plata en base a la longitud total de la interfase adhesiva, ayudándonos para ello del analizador de imagen ImageTool 3.0®.

Las muestras, según el grado de microfiltración, se clasificaron en cuatro grupos:

Grupo 1: < 25 % de microfiltración.

Grupo 2: $25 \leq 50\%$ de microfiltración.

Grupo 3: $50 \leq 75\%$ de microfiltración.

Grupo 4: >75% de microfiltración.

Los resultados obtenidos de la microfiltración fueron sometidos a análisis estadístico.

e. Estudio ultraestructural de la microestructura del poste (GC Fiber Post®)

Del total de las muestras utilizadas para el estudio de microfiltración (n=18), se seleccionaron de forma aleatoria diez de ellas (n =10) dentro de las clasificadas como “coronal” para el estudio ultraestructural de la microestructura del poste.

Para ello, se realizaron tres fotografías consecutivas con el MEB a cada una de ella, de forma estandarizada a 750X y electrones secundarios. Éstas se clasificaron en F1, F2 y F3.

Cada una de las treinta fotografías fue analizada de forma individual con la ayuda del analizador de imagen ImageTool 3.0® para determinar:

- Ratio fibras/matriz (%), a través de la fórmula:

$$(\text{Área de fibras} / \text{Área matriz}) \times 100$$

Para ello se estableció el área de la imagen y se midió el diámetro de cada una de las fibras, calculando posteriormente la media y el área correspondiente a una fibra. Tras contar el número total de fibras, se multiplicó por el área correspondiente a una, obteniendo el “área de fibras”. El “área matriz” se obtuvo restando el área de la imagen al valor de área de fibras

- Densidad de fibras (n/mm^2)

Se estableció el área de la imagen. A continuación, se calculó el número de fibras de cada una de las imágenes y mediante una regla de tres se determinaron las fibras presentes en un mm^2 .

- Diámetro de las fibras (μm)

Se midió el diámetro de las fibras enteras presentes en cada una de las treinta imágenes registradas. Posteriormente se calculó la media y la desviación estándar.

- Distribución de las fibras.

Para poder establecer éste parámetro, cada una de las treinta imágenes que componen la muestra se dividió en cuatro sectores. Se midieron las fibras que había en cada uno de los sectores, contabilizando las fibras seccionadas dentro de aquel sector en el cual había mayor superficie de fibra. Tras llevar a cabo la medición, se calculó la desviación estándar (DS) existente entre los distintos sectores. En función de dicho parámetro (DS) establecimos una clasificación:

A, B, C y D, siendo A el mayor grado de homogeneidad en la distribución de las fibras, y D el menor.

- DS 0 - 1,0 → A

- DS 1,01 - 2,00 → B

- DS 2,01 - 3,00 → C

- DS 3,01 - 4,00 → D

4.4 Recogida de datos en tablas

Inicialmente, todos los registros obtenidos en los ensayos de micropush-out (Carga del fracaso (N), desplazamiento...) se registraron mediante el software de ensayos avanzados Metrotest®. Por otro lado, los tipos de fracasos observados con la ayuda del microscopio óptico en cada uno de los cortes sometidos a ensayo mecánico, se registraron en una tabla realizada con el programa Microsoft Excel 2007. Finalmente, todos los datos registrados, derivados tanto de los ensayos de micropush-out como del análisis del tipo de fracaso, se unificaron en una única tabla realizada con el programa Microsoft Excel 2007. (Anexo 1) Los datos obtenidos del estudio de microfiltración se incluyen en el Anexo 3. De la misma forma, los datos correspondientes al estudio ultraestructural de la microestructura del poste mediante el MEB, se registraron en una tabla realizada con el programa Microsoft Excel 2007. (Anexo 6)

4.5 Método para el control y calidad de los datos

Para asegurar la calidad de los datos registrados, se llevaron a cabo distintas acciones:

- Proceso de aprendizaje y familiarización con los instrumentos y maquinaria a utilizar en el presente estudio mediante la realización de ensayos de prueba. Dichos ensayos se desarrollaron tanto con los estudios de micropush-out, como con los de microfiltración.
- Comprobación del grosor de cada uno de los cortes mediante un calibre digital de forma previa a su estudio.
- Estandarización de todas las imágenes obtenidas de las muestras al ser observadas tanto con el microscopio óptico, como con el microscopio electrónico.

- Uso de un analizador de imagen (ImageTool 3.0®) para determinar tanto el radio del poste, el grado de microfiltración presente en cada uno de los cortes y las características de la microestructura del poste de fibra.

4.6 Análisis estadístico de los resultados

El análisis estadístico se realizó mediante el programa SAS® 9.2, en colaboración con el Centro de Cálculo de la Universidad Complutense de Madrid.

Debido al tipo de muestra y las características de las variables estudiadas, fue necesaria la realización de las siguientes pruebas:

Para el análisis de las fuerzas de adhesión obtenidas en los ensayos de micropush-out, medidas en MPa, se utilizó un Test ANOVA Bifactorial con repetición.

Para analizar los tipos de fracasos, se utilizó un test de frecuencias.

Para el análisis de los datos de microfiltración, se utilizaron el test de suma de rangos de Wilcoxon, el test de Kruskal-Wallis y un test de frecuencias.

Para el análisis de la microestructura del poste y la determinación de la distribución de las fibras se utilizó el coeficiente de correlación intraclase, el coeficiente de correlación de Pearson, y un T Test pareado de comparación de medias.

5. RESULTADOS

RESULTADOS

5.1 Test de micropush-out

La estadística descriptiva de las fuerzas de adhesión (MPa) conseguidas en los ensayos de micropush-out se muestra en la Tabla 6. Todos los resultados de la estadística inferencial se adjuntan en el Anexo 2.

Tabla 6. Fuerzas de adhesión registradas en los ensayos de micropush-out.

GRUPO	FUERZA MEDIA (MPa)	DS
GRUPO 1 (G1)	8,973	2,775
GRUPO 2 (G2)	3,523	2,179
GRUPO 3 (G3)	9,007	4,934
GRUPO 4 (G4)	2,186	0,925
GRUPO 5 (G5)	8,955	3,245
GRUPO 6 (G6)	3,523	2,179

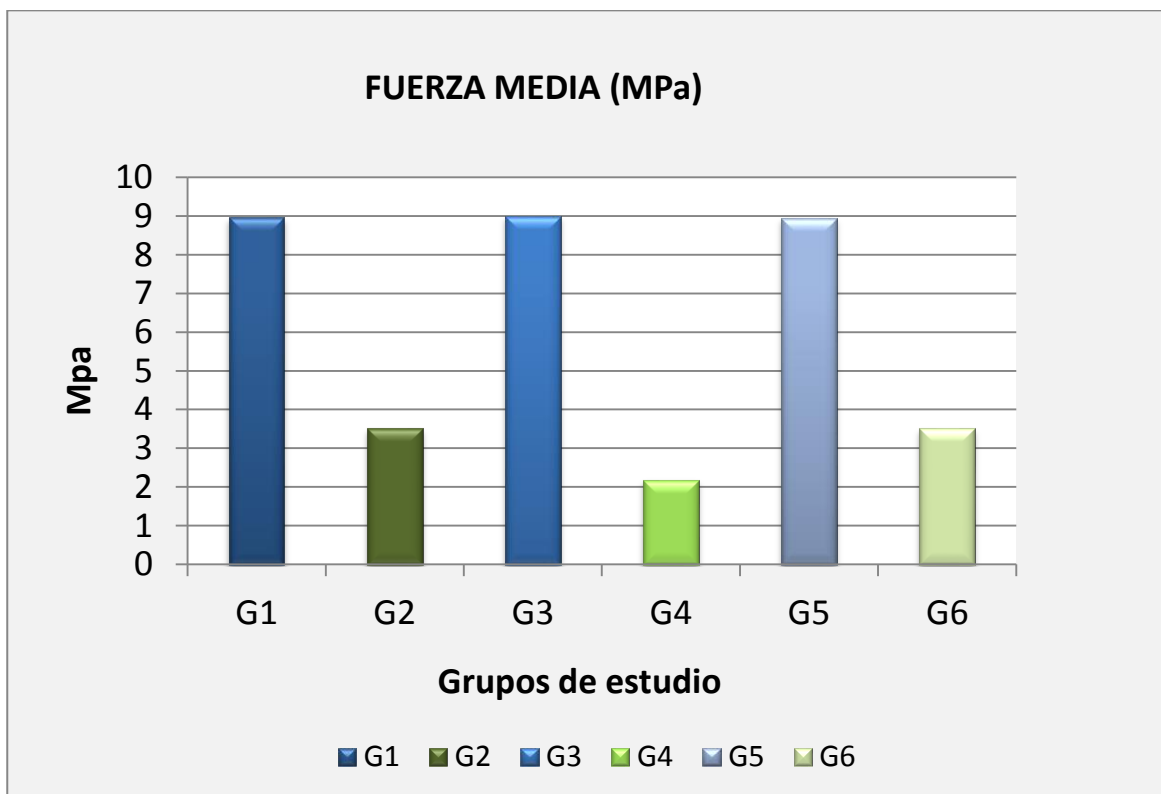
G1= GC Gradia core® y Self-etching bond®+ 40'' fotopolimerización/ G2= G-CEM Automix® + 40'' fotopolimerización/
G3= GC Gradia core® y Self-etching bond®+ 5' auto + 40'' fotopolimerización/ G4= G-CEM Automix® +5' auto + 40''
Fotopolimerización/ G5 = GC Gradiacore® y Self-etching bond®+ autopolimerización/ G6 = G-CEM Automix® +
autopolimerización.

DS: Desviación standard.

Existieron diferencias estadísticamente significativas en las fuerzas de adhesión registradas, al cementar postes de fibra de vidrio a dentina intrarradicular, en función del material utilizado ($P < 0,001$).

El cemento de resina GC Gradia Core®, registró mayores fuerzas de adhesión que el cemento de resina autoadhesivo G-CEM Automix®. (Gráfico 1.)

Gráfico 1. Fuerza media de adhesión para cada grupo de trabajo.



G1/G3/G5 = Grupos cementados con GC Gradia core® y Self-etching bond®
G2/G4/G6 = Grupos cementados con G-CEM Automix®.

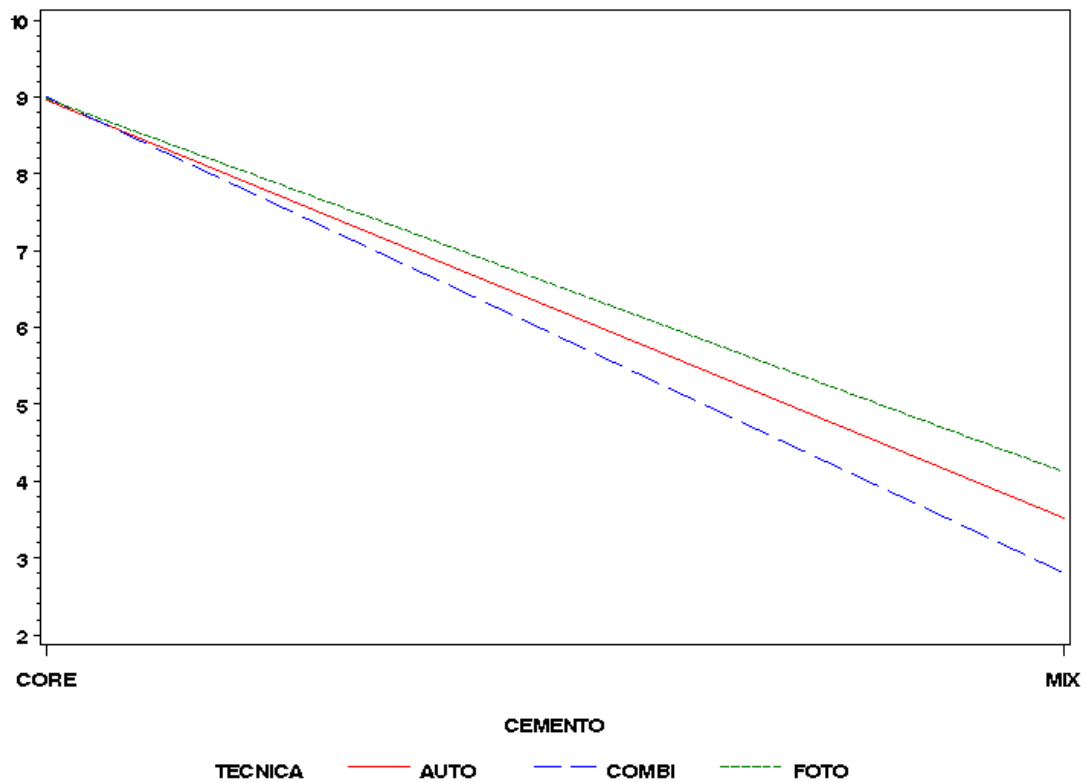
En cuanto a las tres sistemáticas de polimerización comparadas, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

No existió interacción entre las dos variables, tipo de cemento y sistemática de polimerización aplicada. (Gráfico 2.)

Gráfico2. Interacción cemento Vs técnica para la variable fuerza.

Gráfico de interacción. Variable Fuerza

Cemento Vs Técnica



El tipo de fracaso más frecuente al evaluar las dos variables (Tipo de cemento y sistemática de polimerización) ha sido el tipo 4, es decir, fracaso adhesivo entre el cemento de resina y la dentina intrarradicular.

El análisis de los tipos de fracasos se resume en las Tablas 7 y 8 y los Gráficos 3 y 4

Tabla 7. Número y tipo de fracasos según el tipo de cemento.

Fracaso Cemento	Fracaso					
	1	2	3	4	5	6
Gradia Core®	15	14	20	22	1	0
G-CEM Automix®	0	6	19	44	3	0

1= Adhesivo poste-cemento de resina/ 2= Mixto, con cemento cubriendo del 0-50% del diámetro del poste/
 3= Mixto, con cemento cubriendo del 50-100% del diámetro del poste / 4= Adhesivo cemento-dentina/
 5= Fractura cohesiva de dentina/ 6= Fractura cohesiva de cemento

Gráfico 3. Tipo de fracasos según cemento.

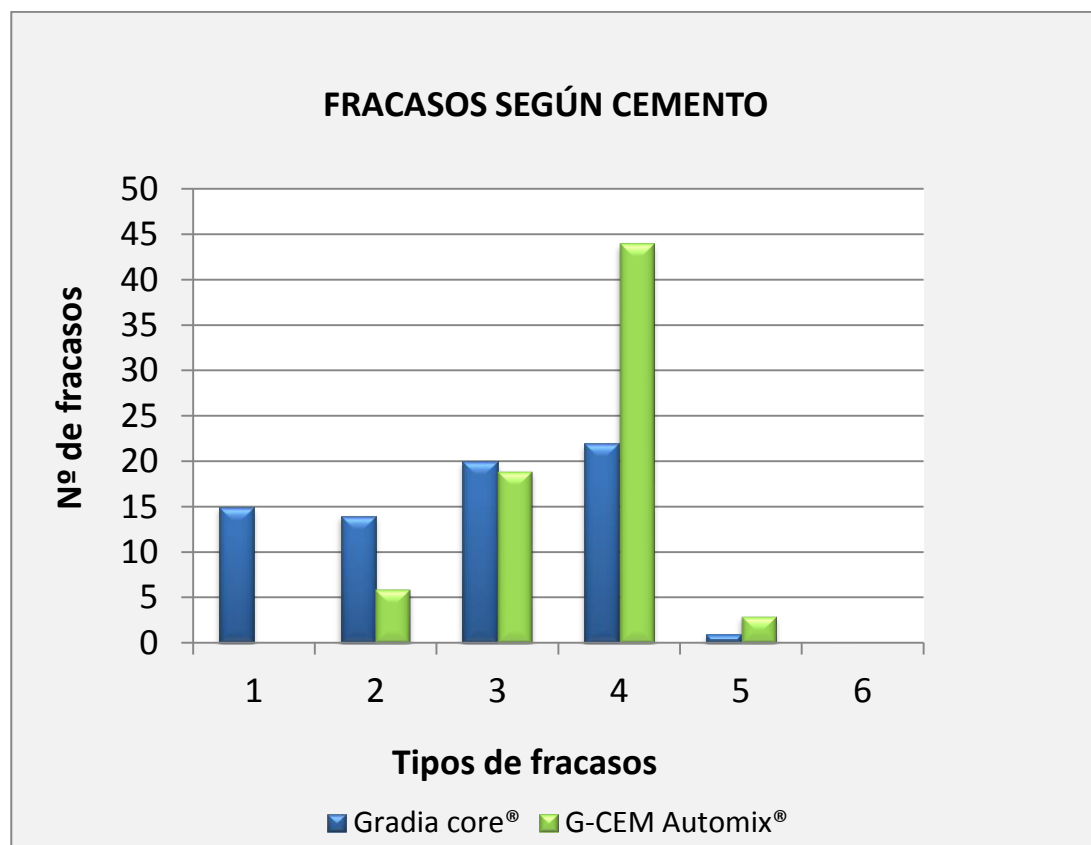


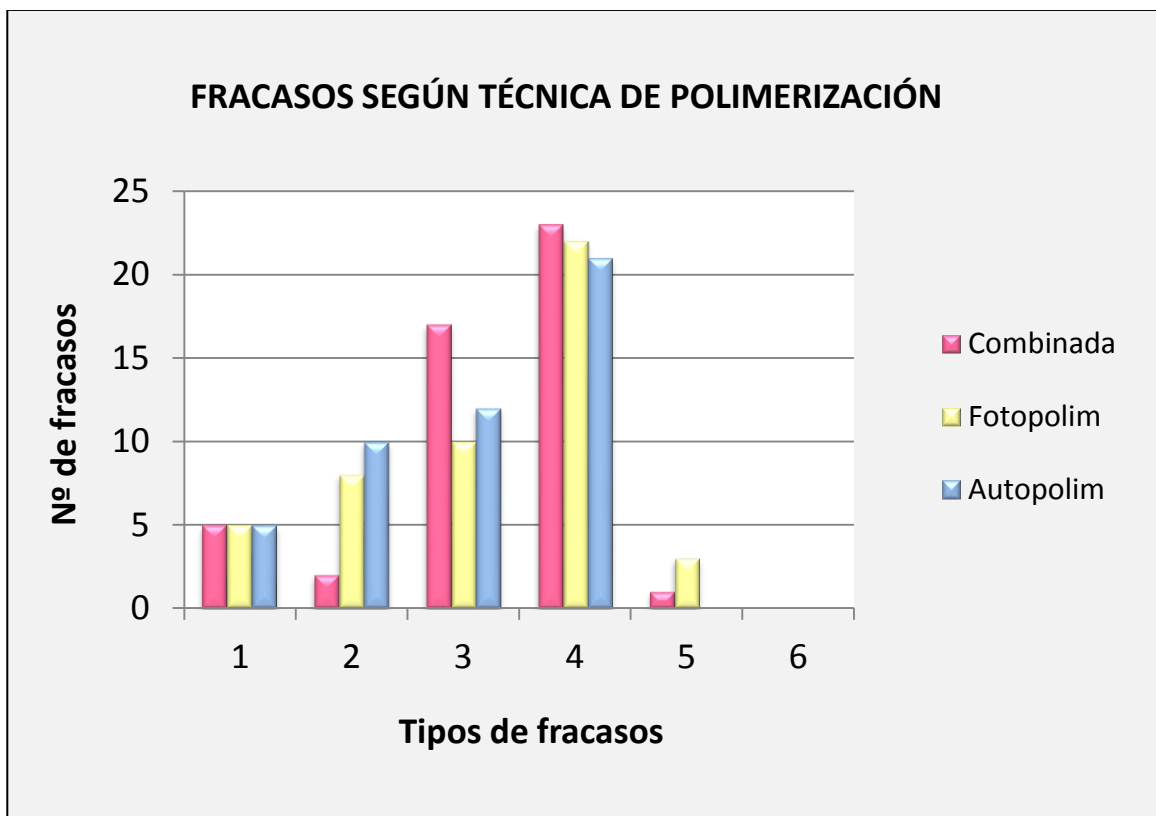
Tabla 8. Número y tipo de fracasos según la sistemática de polimerización.

Fracaso Técnica	1	2	3	4	5	6
Combinada	5	2	17	23	1	0
Fotopolim	5	8	10	22	3	0
Autopolim	5	10	12	21	0	0

Técnica de polimerización: Combinada = 5' auto + 40'' fotopolimerización/ Fotopolim = 40'' fotopolimerización/ Autopolim = autopolimerización completa.

1= Adhesivo poste-cemento de resina/ 2= Mixto, con cemento cubriendo del 0-50% del diámetro del poste/ 3= Mixto, con cemento cubriendo del 50-100% del diámetro del poste / 4= Adhesivo cemento-dentina/ 5= Fractura cohesiva de dentina.

Gráfico 4. Tipo de fracaso según técnica de polimerización.



La diferencia entre el fracaso más frecuente (Tipo 4) y el siguiente en frecuencia, el tipo 3 (Fracaso mixto, con cemento cubriendo del 50-100% del diámetro del poste) ha sido más notable para los grupos cementados con GC G-CEM Automix® (19 fracasos tipo 3/ 44 fracasos tipo 4) que para los grupos cementados con GC Gradia Core® (20 fracasos tipo 3/ 22 fracasos tipo 4).

El tipo de fracaso menos frecuente al evaluar las dos variables, ha sido el tipo 5, es decir, fracaso cohesivo de dentina; exceptuando para los grupos cementados con G-CEM Automix®, en los cuales ha sido el Tipo 1 (Fracaso adhesivo poste-cemento de resina).

5.2 Análisis de la microfiltración

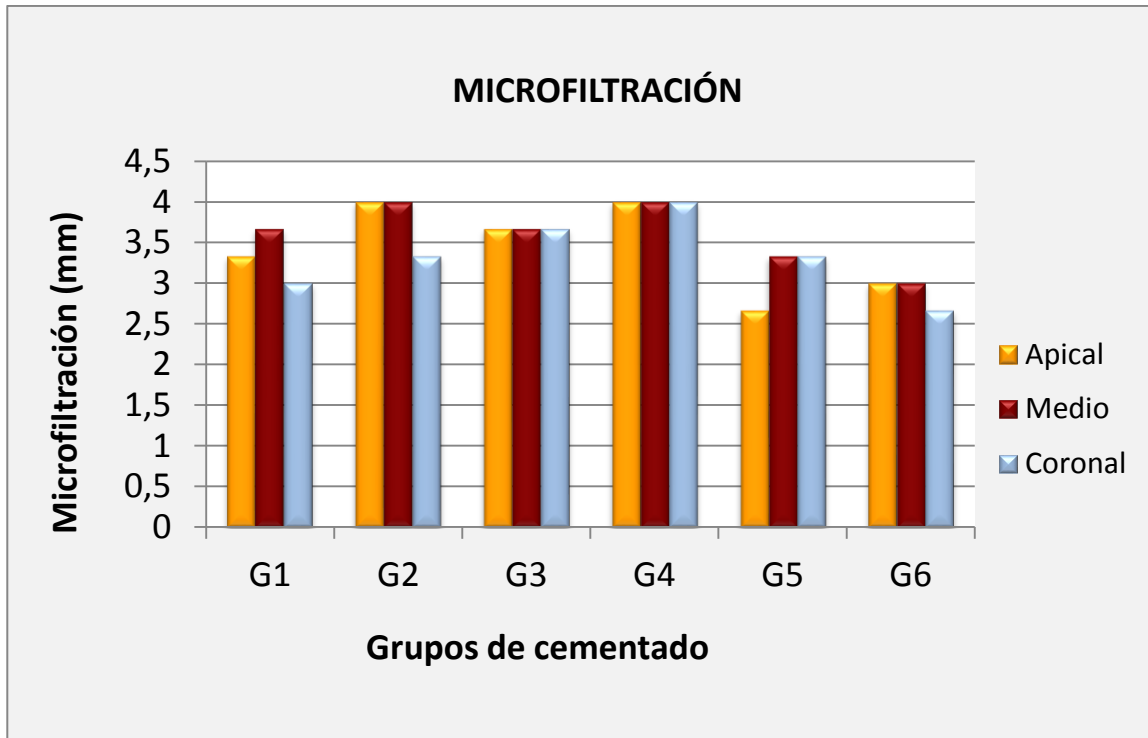
La estadística descriptiva del grado de microfiltración se muestra en la Tabla 9. Todos los resultados de la estadística inferencial se adjuntan en el Anexo 4.

Tabla 9. Valores registrados en los ensayos de microfiltración

GRUPO	NIVEL RADICULAR	MICROFILTRACIÓN (mm)	DS
GRUPO 1 (G1)	APICAL	3,333	0,577
	MEDIO	3,667	0,577
	CORONAL	3	0
GRUPO 2 (G2)	APICAL	4	0
	MEDIO	4	0
	CORONAL	3,333	0,577
GRUPO 3 (G3)	APICAL	3,667	0,577
	MEDIO	3,667	0,577
	CORONAL	3,667	0,577
GRUPO 4 (G4)	APICAL	4	0
	MEDIO	4	0
	CORONAL	4	0
GRUPO 5 (G5)	APICAL	2,667	0,577
	MEDIO	3,333	0,577
	CORONAL	3,333	0,577
GRUPO 6 (G6)	APICAL	3	1
	MEDIO	3	1
	CORONAL	2,667	0,577

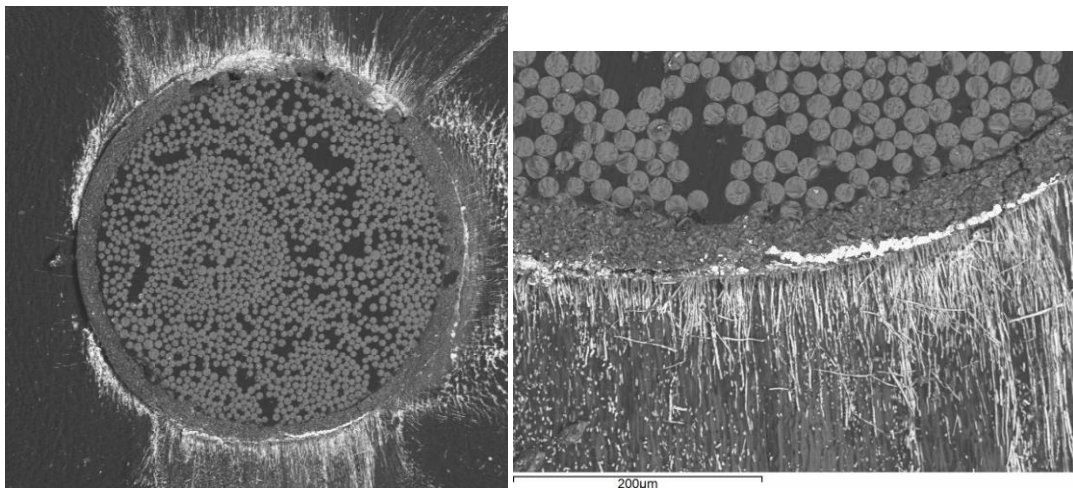
G1= GC Gradia core® y Self-etching bond®+ 40'' fotopolimerización/ G2= G-CEM Automix® + 40'' fotopolimerización/G3= GC Gradiacore® y Self-etching bond®+ 5' auto + 40'' fotopolimerización/ G4= G-CEM Automix® +5' auto + 40'' Fotopolimerización/ G5 =GC Gradiacore® y Self-etching bond®+ autopolimerización/ G6 = G-CEM Automix® +autopolimerización.
DS: Desviación standard.

Gráfico 5. Microfiltración según grupo de trabajo



G1=GC Gradia core®GC y Self-etching bond®+ 40'' fotopolimerización/ G2= G-CEM Automix® + 40'' fotopolimerización/G3= GC Gradiacore® y Self-etching bond®+ 5' auto + 40'' fotopolimerización/ G4= G-CEM Automix® +5' auto + 40''Fotopolimerización/ G5 = GC Gradiacore® y Self-etching bond®+ autopolimerización/ G6 = G-CEM Automix® +autopolimerización.
DS: Desviación standard.

En las Figuras 13-24 se muestran cortes representativos de cada grupo de trabajo.



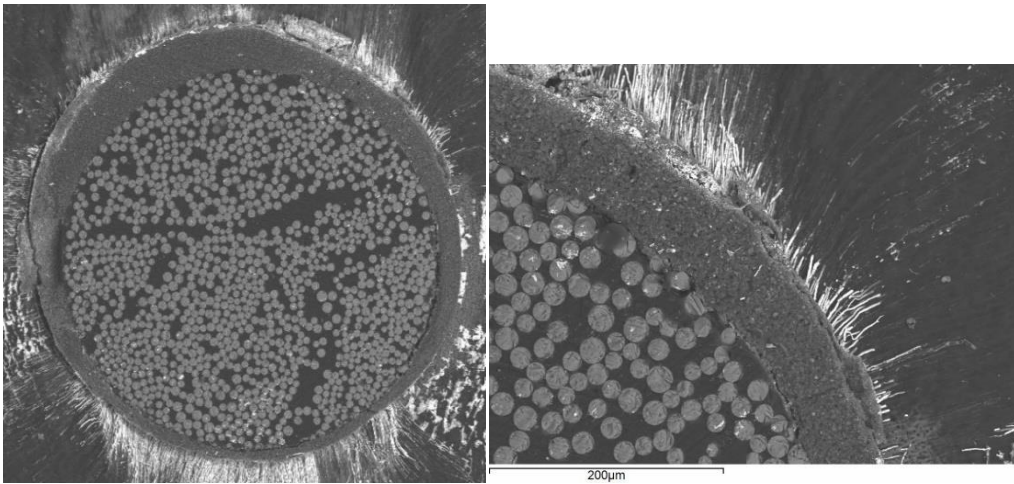


Fig.15 y 16. Detalle de corte apical perteneciente al G2 (Cementado con GC G-CEM Automix® + 40'' fotopolimerización). 50X y 250X.

No existieron diferencias estadísticamente significativas en la microfiltración registrada para los distintos materiales empleados.

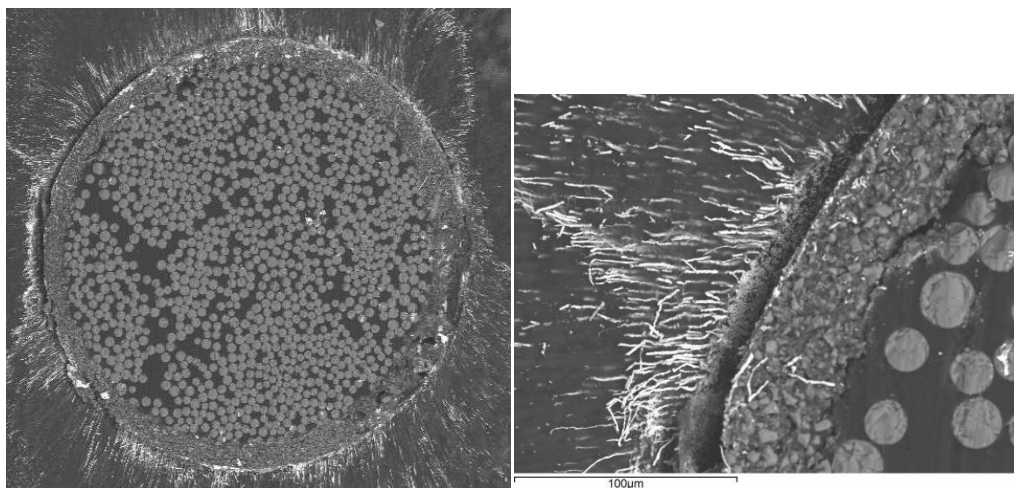


Fig.17 y 18. Detalle de corte apical perteneciente al G3 (Cementado con GC Gradia Core® y Self-etching bond® + 5' auto + 40'' fotopolimerización). 50X y 250X.

En cuanto a las tres sistemáticas de polimerización utilizadas, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la microfiltración registrada entre la sistemática de polimerización denominada "autopolimerización", y la técnica "combinada".

Dichas diferencias son atribuibles al cemento G-CEM Automix®.

La técnica “combinada” fue la que registró un mayor grado de microfiltración seguida por la “fotopolimerización” y por último la “autopolimerización”.

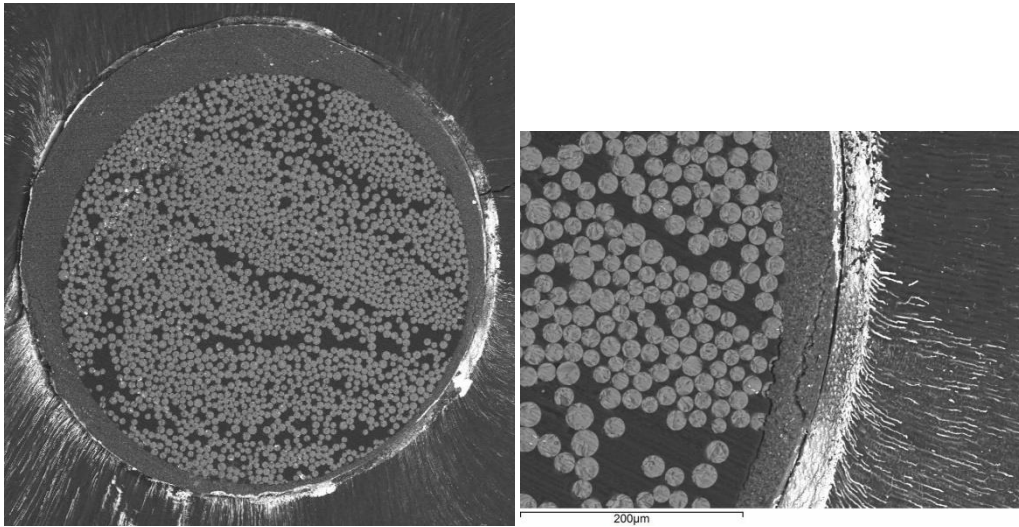


Fig.19 y 20. Detalle de corte medio perteneciente al G4 (Cementado con GC G-CEM Automix® +5' auto + 40'' fotopolimerización). 50X y 250X.

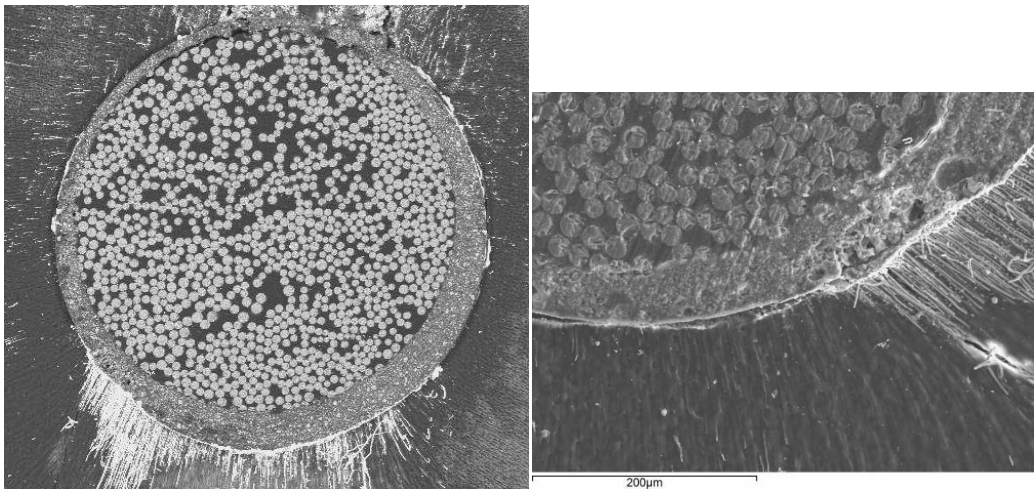


Fig.21 y 22. Detalle de corte apical perteneciente al G5 (Cementado con GC Gradia Core® y Self-etching bond® + autopolimerización). 50X y 250X.

En contraposición, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la microfiltración registrada en los distintos niveles radiculares evaluados.

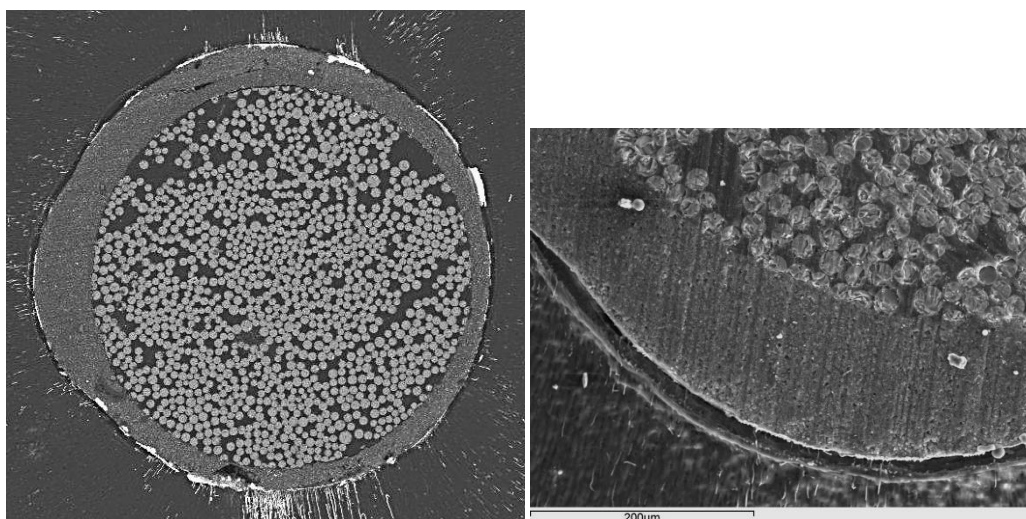


Fig.23 y 24. Detalle de corte apical perteneciente al G6 (Cementado con G-CEM Automix® + autopolimerización). 50X y 250X.

En ninguna de las muestras se ha registrado un valor de microfiltración inferior al 25%, siendo los valores más frecuentes $50 \leq 75\%$ ó $>75\%$.

La distribución de frecuencias según los diferentes grados de microfiltración y las distintas variables estudiadas, se muestran en las Tablas 10, 11 y 12 y en los Gráficos 6, 7 y 8.

Tabla 10. Grado de microfiltración según el tipo de cemento.

Microfiltración Cemento	<25%	25-50%	50-75%	>75%
GC Gradia Core®	0	1	15	11
G-CEM Automix®	0	3	6	18

Gráfico 6. Microfiltración según cemento.

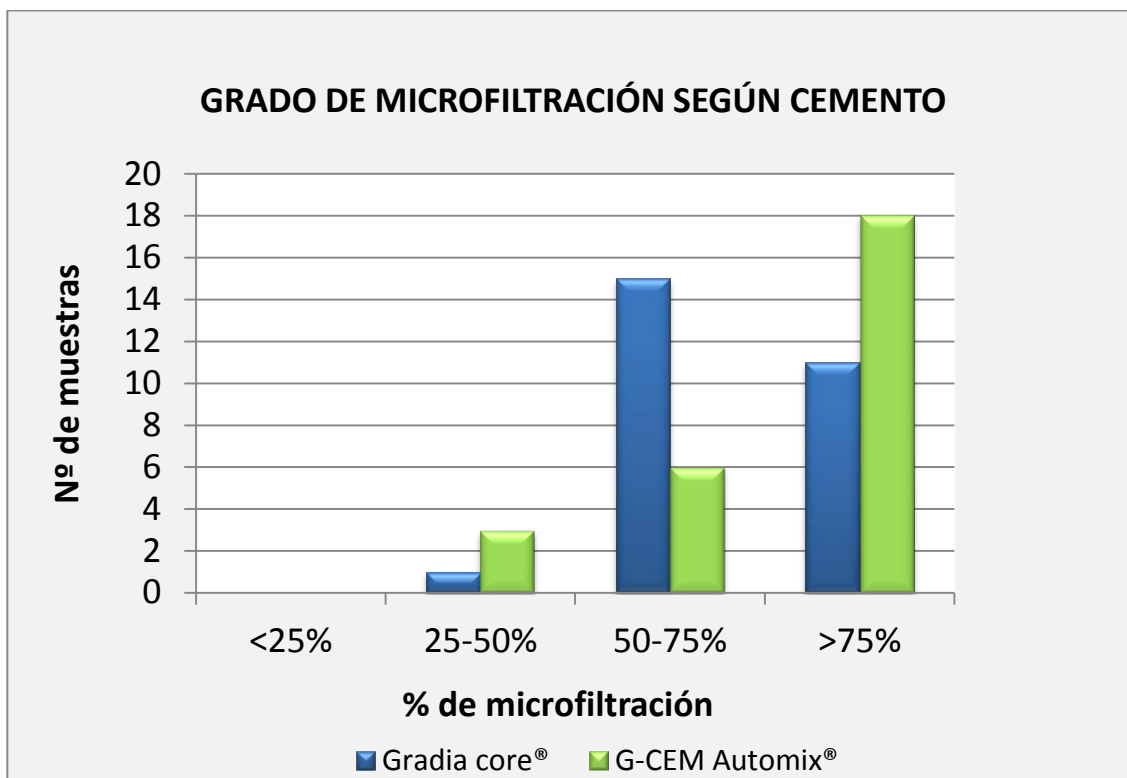


Tabla 11. Grado de microfiltración según la sistemática de polimerización.

Microfiltración \ Cemento	<25%	25-50%	50-75%	>75%
Combinada	0	0	3	15
Fotopolim	0	0	8	10
Autopolim	0	4	10	4

Técnica de polimerización: Combinada = 5' auto + 40'' fotopolimerización/ Fotopolim = 40'' fotopolimerización/
Autopolim = autopolimerización total.

Gráfico 7. Microfiltración según técnica de polimerización.

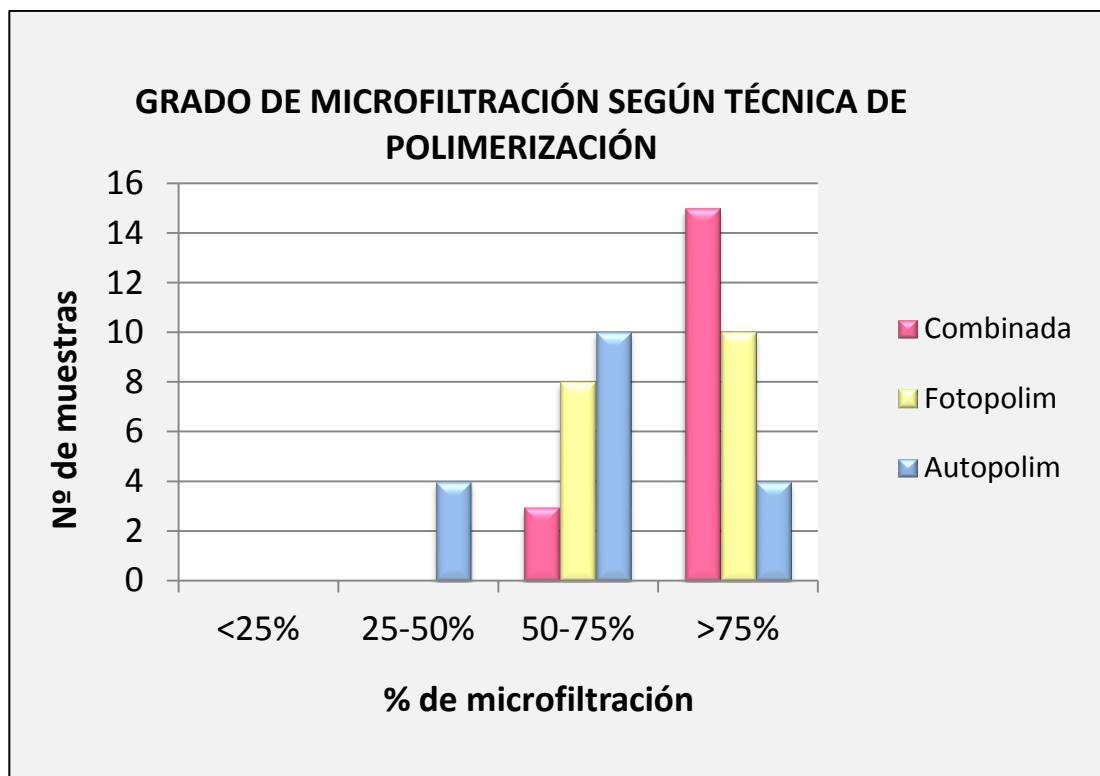
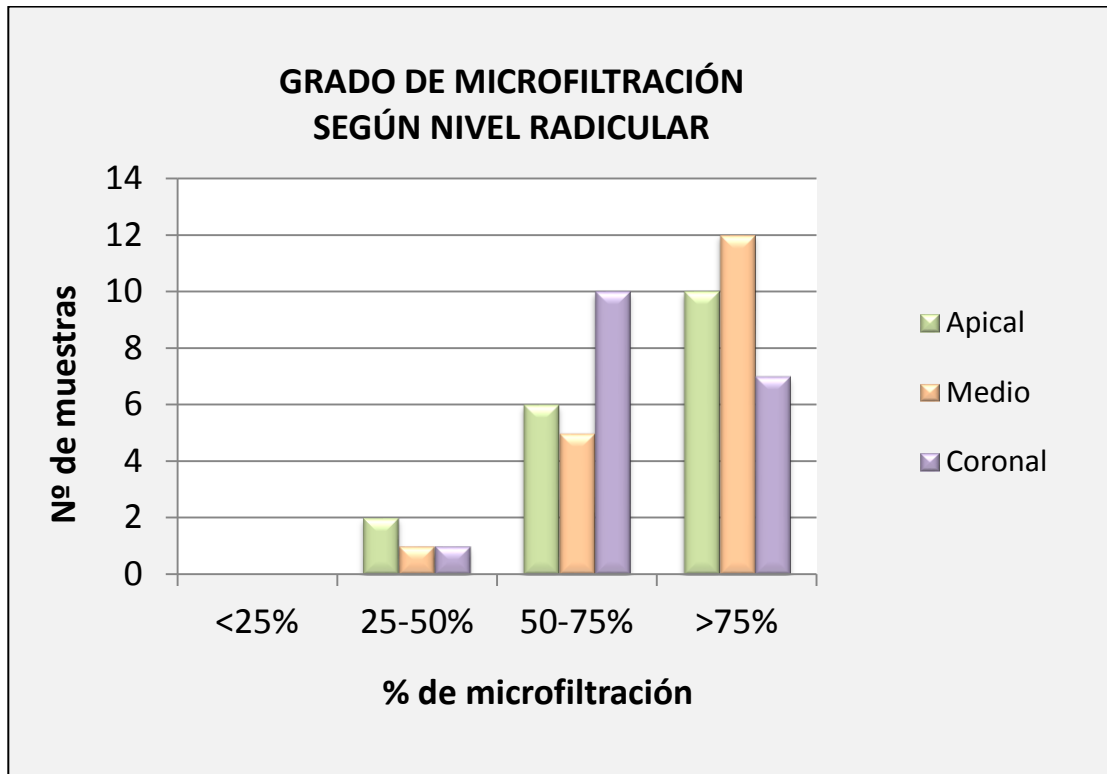


Tabla 12. Grado de microfiltración según el nivel radicular.

Microfiltración / Cemento	<25%	25-50%	50-75%	>75%
Apical	0	2	6	10
Medio	0	1	5	12
Coronal	0	1	10	7

Gráfico 8. Microfiltración según nivel radicular.



Todas las imágenes obtenidas mediante el MEB y analizadas para determinar el nivel de microfiltración de las muestras, se adjuntan en el Anexo 5.

5.3 Análisis microestructural del poste de fibra

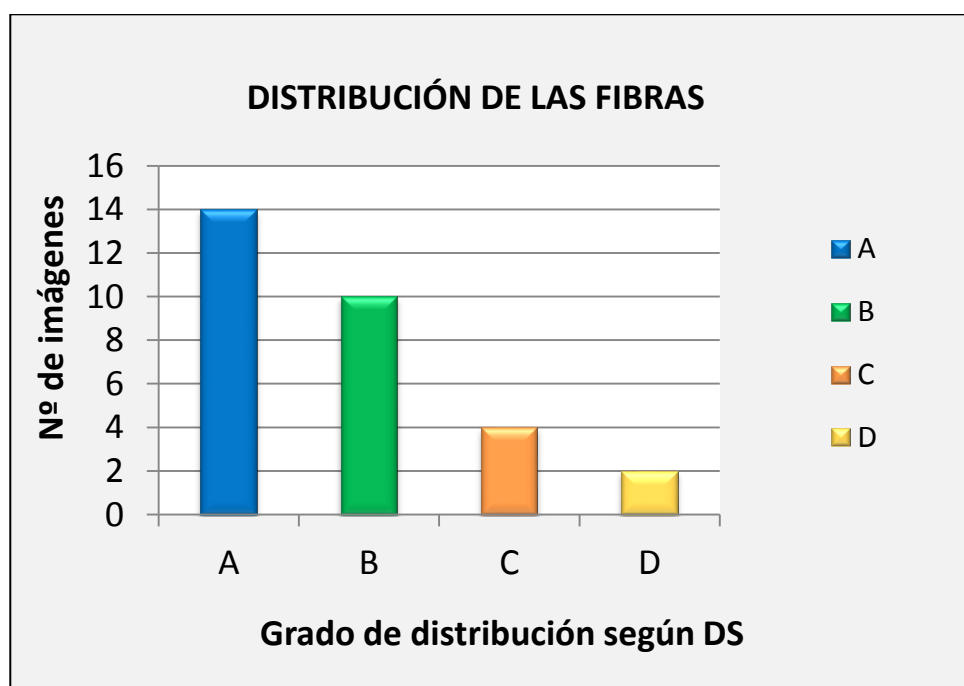
Sistema de postes	Densidad de fibras (nº/mm ²)	Diámetro fibras (µm)	Ratio fibras/matriz (%)
GC Fiber Post	2093	18,385	55%

Grado de distribución según DS	A	B	C	D
Nº de imágenes	14	10	4	2

Grupo distribución según DS: 0 - 1,0 →A / DS: 1,01 - 2,00 →B /

DS: 2,01 - 3,00 →C/ DS: 3,01 - 4,00 →D

Gráfico 9. Grado de distribución de las fibras.



En las Figuras 25-28 se muestran cortes representativos de cada grupo de distribución de fibras.

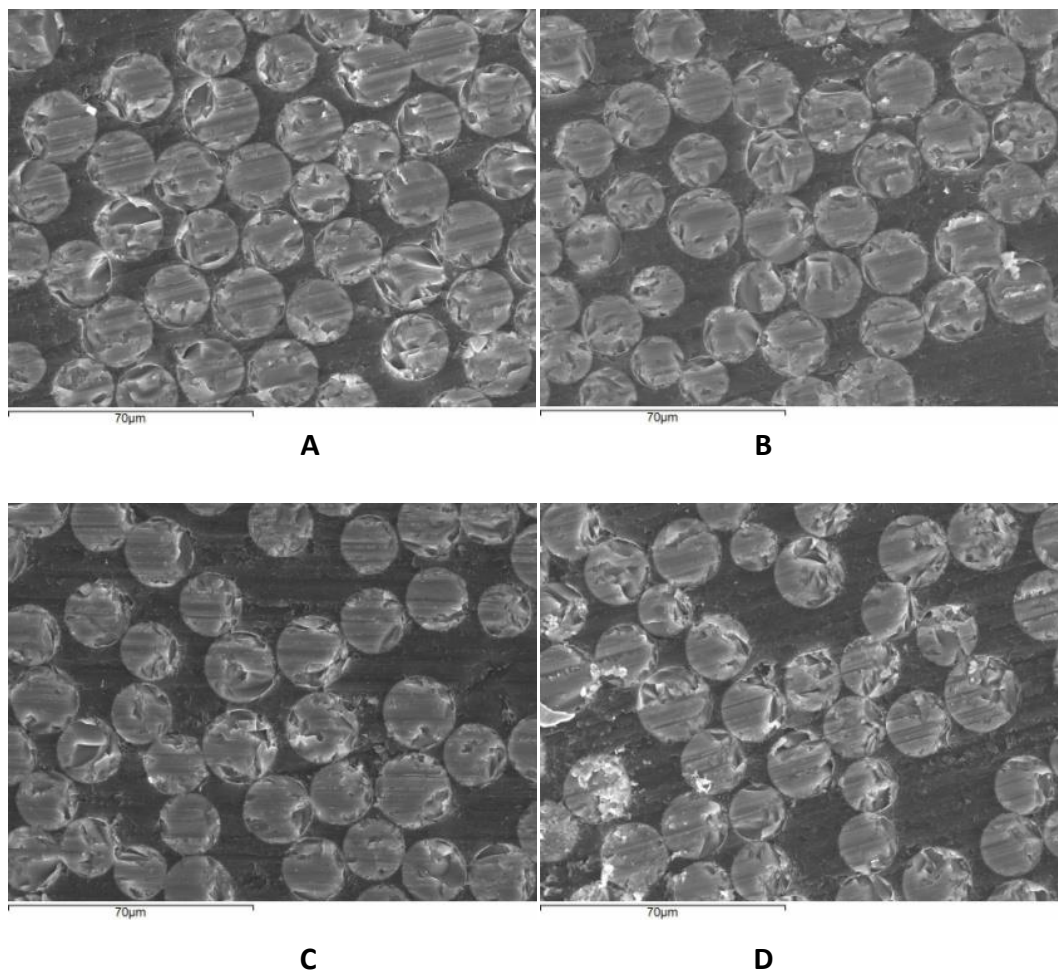


Fig.25,26 ,27 y 28. Detalle de cortes de postes del sistema GC Fiber Post® según los grupos de distribución de fibras en función de la DS. A: DS 0 - 1,00/ B: DS 1,01 – 2/C: DS 2,01 – 3/ D: DS 3,01 - 4

Todas las imágenes obtenidas mediante el MEB y analizadas para determinar la microestructura del poste, se adjuntan en el Anexo 7.

6. DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

La restauración del diente endodonciado y en particular la utilización de postes de fibra de vidrio y cementos de resina es un tema de gran actualidad en el ámbito odontológico como pone de manifiesto la abundante bibliografía existente. Aspectos como el comportamiento biomecánico, la fuerza de adhesión, o la influencia de las distintas técnicas clínicas de cementado, han sido ampliamente estudiadas.

Analizando la metodología empleada para desarrollar el presente estudio, ensayos previos han mostrado que la técnica de *micropush-out* es la que ofrece unos resultados más fiables en cuanto a las fuerzas de adhesión ya que presenta una mayor similitud con la situación clínica y una distribución más homogénea de las tensiones que se generan durante las pruebas mecánicas, respecto a otros test mecánicos como los de microtracción y *pull-out*. [45, 58] En el presente trabajo se ha estudiado la presencia de aberturas o *gaps* a lo largo de toda la longitud de la interfase, no la filtración coronal como tal, y gracias a la utilización del nitrato de plata como medio de contraste hemos podido diferenciar entre defectos de adhesión y artefactos producidos durante el procesado de las muestras, todo ello con la ayuda del análisis mediante microscopía electrónica de barrido (MEB). El uso del MEB también nos ha permitido el estudio ultraestructural del sistema de postes de fibra utilizado, obteniendo con ello datos sobre el tamaño medio de sus fibras, densidad y distribución de las mismas; en definitiva, el conocimiento de su estructura interna para poder valorar su comportamiento clínico.

El comportamiento mecánico de los sistemas restauradores está siendo muy estudiado, en cambio, algunos aspectos importantes de los cuales puede derivar el éxito o fracaso de nuestros tratamientos en la clínica, como puede ser la microfiltración, reciben una menor atención por parte de los investigadores. Tanto es así, que en revistas de impacto como es el International

Endodontic Journal, solo el 2% de los artículos publicados sobre el tema en el año 2012 evaluaron dicha microfiltración, frente a casi un 70% que estudiaron características mecánicas[74].

El conocimiento de la microfiltración nos proporciona un dato mucho más objetivo si cabe que la fuerza de adhesión, ya que la presencia de gaps en los cuales se fija el agente de tinción nos informa sobre la calidad de la adhesión entre el sustrato y el cemento. Además, pueden visualizarse dichas interfases mediante imágenes tomadas con el MEB. Con todo ello nos reafirmamos en la necesidad de llevar a cabo el presente trabajo en el cual se han combinado ensayos mecánicos, con estudios de microfiltración y estudios ultraestructurales.

Los ensayos *in vitro*, presentan una dificultad añadida a la hora de establecer comparaciones debido a la falta de uniformidad en la metodología de los estudios. Existe un número limitado de los mismos en los cuales se presenten ensayos bajo condiciones comparables en cuanto a tipos de cementos, sustrato, modos de polimerización similares, o medios de almacenamiento entre otros.

Los materiales empleados en este estudio pertenecen a un mismo fabricante, por lo que hemos eliminado la variable “composición” que podría influir en nuestros resultados. En la actualidad existe un gran número de cementos autoadhesivos con componentes diferentes, por lo que se hace necesario el estudio de cada uno de los materiales para determinar tanto sus características como su comportamiento clínico. De esta forma, el tipo de cemento es considerado como una variable más.

El tamaño muestral total de especímenes estudiados fue de 66 (n=66), de los cuales 48 (n=48) fueron sometidos a ensayos de *micropush-out*, y 18 (n=18) a ensayos de microfiltración. Se consideró un tamaño muestral adecuado siguiendo los utilizados en estudios previos, llevados a cabo por otros equipos de investigación.[7, 51, 65, 75]

Para homogeneizar la muestra se utilizaron premolares inferiores por tratarse de dientes que presentan, en la mayoría de los casos, una única raíz (97,9% - 99,6%) y un solo conducto radicular (75,8% - 91%). [76, 77] Al revisar la bibliografía se ha determinado que son los más utilizados para llevar a cabo estudios sobre el cementado de postes de fibra de vidrio debido a que son un grupo dentario muy uniforme en su anatomía.[3, 5, 7, 50, 75, 78] Además, eran necesarios dientes con una longitud radicular igual o superior a 14 mm. Dicho grupo cumple el criterio de inclusión al presentar una longitud radicular media de 14 - 14,5 mm.

Las muestras se almacenaron en recipientes clasificados e individuales. Figura 29.



Fig.29. Detalle de los recipientes en los cuales se almacenaron y clasificaron las muestras

Todas fueron sumergidas en suero fisiológico y a una temperatura ambiente de entre 15° y 20°. En la bibliografía aparecen diferentes medios de almacenamiento, como la cloramina o el timol[7, 9, 47, 50, 56, 79] a pesar de ello, se consideró que el suero fisiológico constituía el medio más adecuado para mantener las características biológicas iniciales de las muestras y evitar la alteración de los materiales utilizados para el ensayo de acuerdo con Giachetti[51].

La aproximación de las condiciones de las muestras a la situación clínica de los dientes al realizar estudios *in vitro* es un tema importante. Para solventar dicha situación se propusieron tanto el

termociclado como la fatiga mecánica de los especímenes de forma previa a la realización de las pruebas mecánicas. Las muestras del presente ensayo no han sido sometidas ni a termociclado, ni a ciclos de fatiga mecánica. Según la literatura revisada esto podría influir en determinados resultados. Estudios anteriores han comprobado que los procedimientos de termociclado reducen de forma significativa la resistencia a la flexión de los postes de fibra.[58] Además, el someter las muestras a fatiga mecánica incrementa la microfiltración en el cementado de todo tipo de postes[80]; sin embargo, no produce cambios en las fuerzas de adhesión conseguidas para los postes de fibra. [81, 82] Autores como Calixto[6], Cantoro[7], Dimitrouli[2],Gomes[47]y Juloski[78]entre otros, tampoco sometieron las muestras a ninguno de los procedimientos citados con anterioridad en sus respectivos estudios publicados de forma reciente entre los años 2011 y 2013.

Tras la preparación del lecho que alojará el poste y de forma previa al cementado del mismo es necesario eliminar el *smear layer* generado. Para ello no se recomienda la limpieza del conducto con ácido ortofosfórico cuando posteriormente se utilice un sistema autograbante o un cemento de resina autoadhesivo, como sucede en el presente estudio. El ácido ortofosfórico es un ácido fuerte capaz de generar una desmineralización del sustrato más profunda que la capacidad de penetración de este tipo de cementos, lo que provocaría la creación de una capa híbrida aún más débil al dejar debajo de ésta sustrato desmineralizado sin penetración de resina y formación de tags.[36]

En un estudio llevado a cabo por Bitter y colaboradores en el año 2013 [83], se comparó el efecto de distintos protocolos de irrigación previa al cementado de postes de fibra de vidrio sobre la fuerza de adhesión dentro del conducto radicular. Emplearon para ello distintos cementos, uno más adhesivo autograbante, uno autoadhesivo y otro que requería de grabado total previo y aplicación de adhesivo. Centrándonos en los resultados del cemento más adhesivo autograbante

y el cemento autoadhesivo, por ser los que nos compete para el presente trabajo, destacaron una mayor fuerza de adhesión tras los ensayos de push-out en aquellos grupos en los que se había llevado a cabo la última irrigación con NaOCl y EDTA. De estos resultados se podría deducir que con dicha combinación de irrigantes, se eliminaría mayor cantidad de *smear layer*, produciéndose una menor interferencia del mismo sobre las fuerzas de adhesión obtenidas y por tanto, mayor éxito en el tratamiento.

Al revisar el material y métodos de nuestro estudio, puede observarse que todos los conductos radiculares se limpiaron con EDTA líquido (17%) para asegurar la remoción del barrillo dentinario, e hipoclorito sódico (NaOCl) al 5% y se aclararon con agua en jeringa tras la preparación del lecho y de forma previa al cementado. El NaOCl puede influir sobre las fuerzas de adhesión de los cementos de resina a la dentina intrarradicular, como demuestran numerosos estudios[83-86]. Este hecho podría justificarse por la presencia de una dentina intrarradicular rica en oxígeno tras la aplicación del hipoclorito, lo que produciría la inhibición de la polimerización de los materiales compuestos a base de resina[84] como en este caso los cementos. A pesar de ello, su uso se encuentra justificado mediante ensayos previos, [87, 88] por su labor como vehículo de arrastre de detritus y para inactivar el EDTA líquido, siendo éste el encargado de eliminar el *smear layer* o barrillo dentinario generado durante la preparación del lecho.

El grosor de las muestras se determinó en 1,6 mm. La fórmula de *micropush-out* aplicada en el presente estudio aumenta su fiabilidad en especímenes de un grosor mayor de 1,1mm. A partir de éste espesor y hasta 1,6 mm, el estrés generado en la interfase cemento-dentina es similar y mucho menor que si lo comparamos con el resto de especímenes; por ello, teniendo en cuenta estos resultados y valorando la mayor facilidad de manejo de unas muestras de mayor tamaño, se eligió dicho grosor [89].

Haciendo referencia a los tipos de ensayos mecánicos existentes para valorar las fuerzas de adhesión de los postes de fibra a dentina intrarradicular, actualmente los más utilizados son los ensayos de microtracción y los de *push-out*, los cuales presentan características diferentes. Además, la medida de dichas fuerzas depende considerablemente del método de ensayo utilizado para su evaluación [90]. Autores como Gallo[13]o Ngoh[91], sugirieron en sus respectivos artículos que durante los ensayos de *push-out* podrían desarrollarse tensiones elevadas a lo largo de la interfase adhesiva, tanto al ensayar el poste completo como secciones radiculares, lo cual explicaría el registro de fuerzas de adhesión bajas al aplicar este método[91]. En cambio, con el método de microtracción se produciría una distribución más uniforme de las tensiones a lo largo de la interfase debido a la utilización de muestras de pequeño tamaño.[32, 92] A pesar de ello, la mayoría de los estudios recomiendan las pruebas de *push-out* como método para determinar la resistencia de la unión de los postes de fibra a la dentina [45, 93, 94]. Se considera que presenta mayor similitud con las condiciones clínicas que los ensayos de microtracción[59]. Además, los ensayos de *push-out* más recientes han demostrado, a través del análisis de elementos finitos, una distribución más homogénea de las tensiones [94] y una menor variabilidad en el test comparado con los de microtracción[45, 93, 94]. Este último presentó gran cantidad de fallos prematuros, a diferencia de los ensayos de *push-out* donde no apareció ninguno.[45, 93]

Para poder realizar los ensayos mecánicos de *micropush-out* es fundamental la fijación de los discos obtenidos tras la sección de las raíces a la base del dispositivo de la máquina de tracción. En la bibliografía revisada dicha fijación se lleva a cabo mediante un adhesivo de cianoacrilato. En nuestro estudio, el uso de una cinta adhesiva de doble cara en vez de dicho adhesivo se encuentra justificado por los ensayos de prueba realizados de forma previa, donde el 100% de las muestras fijadas con adhesivo de cianoacrilato se fracturaron al ser sometidas al ensayo de

micropush-out, por lo que se descartó este modo de fijación por la generación de vectores de fuerza desfavorables que llevaron al fracaso de los especímenes.

En cuanto al uso de la microscopía electrónica como técnica complementaria a los ensayos mecánicos, en el presente estudio se desestimó la opción de usar microscopía electrónica de transmisión debido a las características biológicas de las muestras utilizadas, ya que el proceso de preparación de las mismas para su observación es muy agresivo, pudiendo alterar su estructura y dando lugar a sesgos en las mediciones posteriores. Mediante el uso de microscopía electrónica de barrido (MEB) es posible analizar las características de las interfases adhesivas presentes tras el cementado de postes de fibra en conductos radiculares con la ayuda de un material de tinción, en este caso el nitrato de plata en solución amoniacal al 50% en peso[63]. La elección de este colorante se determinó por presentar una característica fundamental, ya que durante la preparación y manipulación de las muestras en el microscopio electrónico, éstas pueden sufrir alteraciones que producen la aparición de grietas o aberturas sobre su superficie. Con el uso del nitrato de plata podemos determinar si dichos defectos son previos o posteriores a la inmersión de las muestras en el colorante, ya que si se trata de un fracaso previo los *gaps* aparecerán con depósitos del colorante. Esta técnica nos permite diferenciar los artefactos de los defectos reales en la adhesión. (Figuras 30 y 31.)

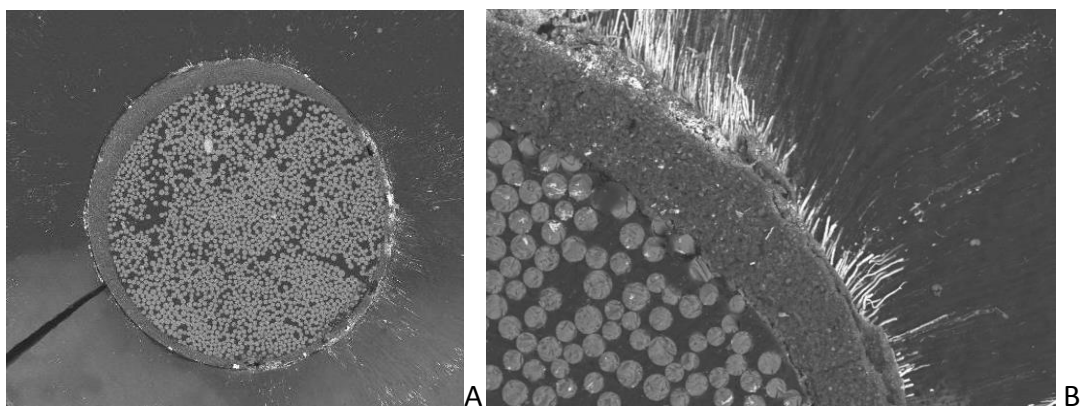


Fig. 30 y 31.A: Muestra con grieta producida por contracción durante la manipulación en el MEB.
B: Muestra con abertura en interfase cemento-dentina y depósito de nitrato de plata con penetración en túbulos dentinarios.

Para llevar a cabo el análisis de la microfiltración registrada puede utilizarse un método cualitativo[95] o un método cuantitativo[64], siendo este último el elegido en el presente ensayo por ser un método objetivo y repetible. Existen diferentes técnicas para el estudio de la microfiltración, por un lado, puede evaluarse la microfiltración coronal introduciendo los especímenes enteros dentro del colorante[96], y por otro, como en el caso de la técnica utilizada en el presente trabajo, se introducen los cortes transversales radiculares para identificar posibles aberturas o *gaps* existentes dentro de las interfases adhesivas, no para evaluar la filtración coronal. Esta técnica nos permite evaluar la calidad de la adhesión tanto del cemento al sustrato como del cemento al poste de fibra, al poder visualizar de forma directa las zonas con depósito de nitrato, es decir, superficies donde la adhesión ha fracasado permitiendo la penetración del colorante.

En cuanto al análisis de los resultados, el tipo de cemento empleado para cementar postes de fibra de vidrio reforzados con resina influye de forma significativa sobre la fuerza de adhesión conseguida a dentina intrarradicular, en cambio, debido al gran porcentaje de filtración registrada en la mayoría de las muestras (50-75 %), no se han encontrado diferencias significativas entre los materiales estudiados en el apartado de microfiltración. La variable “sistemática de polimerización” parece no influir sobre la fuerza de adhesión, pero sí se han encontrado diferencias estadísticamente significativas al evaluar la microfiltración. Así mismo, el nivel radicular no influye en la microfiltración registrada. Por todo ello, la hipótesis nula (H_0) propuesta para este estudio, queda parcialmente rechazada.

En la actualidad, no existe acuerdo sobre cuál es el agente cementante ideal a utilizar en el cementado de postes de fibra. Existe cierto consenso en cuanto a que las fuerzas de adhesión son menores para los sistemas autoadhesivos, en cambio su mayor simplicidad de uso permite

un cementado en clínica con menos riesgo de cometer errores, lo que podría dar lugar a un mejor resultado a largo plazo; es por ello que algunos autores lo recomiendan.[49, 97, 98] Sin embargo, el poder conseguir una adhesión estable y adecuada depende de la ausencia de diversos factores negativos que pueden existir y no podemos controlar, como la existencia de pequeños restos de pulpa o detritus remanentes, barrillo dentinario, restos residuales de líquido irrigante o de medicamentos intraconducto, o la propia variabilidad en la histología de la dentina intrarradicular[31, 99, 100]. Al evaluar los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos, podemos observar que con el cemento de resina GC Gradia Core® junto con la aplicación del adhesivo autograbante GC Self-etching bond®, se han obtenido valores más elevados de la fuerza de adhesión a dentina intrarradicular que con el cemento de resina autoadhesivo G-CEM Automix®. La penetración del cemento de resina autoadhesivo en el sustrato de dentina es muy limitada. Su interacción con el tejido mineralizado es muy superficial, por lo que no se forma una capa híbrida bien diferenciada y la formación de *tags* de resina es limitada [44, 101, 102] observándose en imágenes tomadas durante el estudio mediante microscopio electrónico, poca interacción entre ambos. En un estudio llevado a cabo por Bitter y colaboradores [103] se analizaron las interfases adhesivas utilizando un microscopio confocal de barrido láser, demostrando que los especímenes cementados con materiales que requerían de grabado ácido previo y aplicación de adhesivo presentaban una capa híbrida bien diferenciada y numerosos *tags* de resina formados tanto por el adhesivo como por cemento de resina. En cambio, aquellos en los que se había utilizado un cemento de resina autoadhesivo no se detectó la formación de capa híbrida y la penetración del material dentro de los túbulos dentinarios ocurrió de forma esporádica. Además, una elevada viscosidad del material junto con un efecto de neutralización del cemento debido a la capacidad *buffer* de la dentina y la presencia de restos de *smear layer* secundario en el lecho del poste, han sido considerados como factores que afectan de forma

negativa tanto al potencial de desmineralización como a la penetración de los cementos de resina autoadhesivos en dentina.[44, 50]

Los resultados estadísticos obtenidos de las pruebas de *micropush-out* al evaluar la fuerza de adhesión en función de la variable “tipo de cemento”, son comparables a los obtenidos por otros autores en estudios similares como el de Zicari y colaboradores[50]. En él se valoraron las fuerzas de adhesión de cinco sistemas cementantes mediante ensayos de *push-out*. Dos de los cementos eran autograbantes (Panavia® 21 EX/ Clearfil®esthetic cement), dos autoadhesivos (RelyX®Unicem/ GC-experimental®) y uno requería de grabado total previo (Variolink® II). Concluyeron que con los cementos autograbantes se registraban mayores fuerzas de adhesión al someter a las muestras a ensayos mecánicos que con los cementos autoadhesivos y los convencionales que requerían grabado total. De forma previa, Goracci y colaboradores [9] lograron resultados aproximados en su investigación, afirmando que las fuerzas de adhesión registradas para los cementos de resina que requerían de grabado total (Variolink® II), demostraban un elevado potencial de unión a la dentina intrarradicular. Contrariamente, los monómeros ácidos responsables de acondicionar el sustrato en los cementos de resina autoadhesivos (RelyX®Unicem) y autograbantes (Panavia® 21), resultaron ser menos efectivos, lo que se explicaría por menores fuerzas de adhesión en los especímenes cementados con estos materiales. Calixto y colaboradores[6] ensayaron mecánicamente, mediante pruebas de *push-out*, 140 incisivos bovinos para el estudio de cinco cementos de resina. Dos de ellos eran cementos convencionales (C&B Cement®/ RelyX® ARC), dos autograbantes (Multilink®/ Panavia® F 2.0) y un último autoadhesivo (RelyX®Unicem). Tras llevar a cabo el ensayo, determinaron que este último presentaba los valores más bajos de las fuerzas de adhesión a dentina intrarradicular. En cambio, Dimitrouli [2] obtuvo resultados más esperanzadores para los cementos de resina autoadhesivos. Concluyeron que la fuerza de adhesión conseguida al cementar postes de fibra de

vidrio con cementos de resina era independiente del tipo de cemento utilizado, siendo los resultados comparables entre los cementos de resina autoadhesivos (RelyX®Unicem/ Maxcem Elite®/ iCem®/ BifixSE®) y aquel convencional que requería de grabado total previo (Variolink® II). Conclusiones similares obtuvieron dos estudios independientes realizados por Farina[8] y Leme[104] respectivamente. En el primero de ellos[8] se sometieron a pruebas mecánicas de *push-out* 40 caninos superiores, en los cuales se cementaron de forma aleatoria postes de fibra de vidrio y postes de fibra de carbono. Como agentes cementantes se utilizaron un cemento de resina autoadhesivo (RelyX®Unicem), y un cemento de resina convencional (Cement-Post®). Se registraron valores de fuerza más elevados en el caso de los especímenes cementados con RelyX®Unicem. En el ensayo de Leme y colaboradores[104] se obtuvieron conclusiones comparables. De igual forma, en un estudio llevado a cabo por Gomes [47] sobre una muestra de 48 incisivos centrales, se utilizaron como agentes cementantes dos cementos de resina. Uno de ellos requería de grabado total previo (RelyX® ARC) y el segundo presentaba características autoadhesivas (RelyX®Unicem). Dichos autores determinaron que las fuerzas de adhesión no se veían afectadas de forma significativa por el tipo de material utilizado, siendo comparables las fuerzas registradas en todos ellos. Resultados similares obtuvieron Juloski y colaboradores[78]. Como puede apreciarse, existe gran controversia entre los resultados obtenidos por los distintos autores. Dichas discordancias pueden deberse en gran medida a la falta de estandarización en la sistemática de investigación y al estudio de diferentes materiales con distintas composiciones. Además, no debemos obviar la presencia en todos los ensayos clínicos, de variables incontrolables que podrían llegar a influir sobre los resultados.

Por otro lado al estudiar la variable “sistemática de polimerización” son varios los factores a tener en consideración, entre ellos las características de los materiales o la configuración de la cavidad. De acuerdo con Ferrari[11], existe una correlación positiva entre la contracción de

polimerización y el contenido de relleno de los agentes cementantes. Curiosamente, los valores de las fuerzas registradas en los ensayos de *push-out* desarrollados en dicho estudio, resultaron ser inversamente proporcionales al porcentaje de relleno presente en los materiales testados. De hecho, al aumentar el contenido del relleno las fuerzas decrecían de forma significativa. Basándose en sus resultados dichos autores especularon que la incorporación de elevados porcentajes de relleno dentro de los agentes cementantes, podía aumentar su rigidez incrementado el estrés que tiene lugar durante la polimerización del material. La presencia de un factor de configuración de la cavidad (factor C) elevado junto con la contracción de polimerización que tiene lugar en el interior del conducto, crean unas condiciones desfavorables para la correcta adhesión dentro del conducto radicular[32]. Se pensaba que el modo de polimerización influía de manera importante tanto en los cambios dimensionales como en el estrés de contracción que se genera durante el curado del material, gracias a los estudios llevados a cabo por autores como Spinell y colaboradores[105]. Dicho estrés de contracción generado en el interior del conducto radicular, podría exceder a la fuerza de adhesión conseguida por el cemento dando lugar al descementado del sistema y al fracaso de la restauración. La composición del material es un factor que puede influir en la magnitud del estrés producido tras la polimerización, de hecho, de acuerdo con la Ley de Hook, los cementos de resina con un módulo de elasticidad bajo producen un menor estrés de contracción.[106] Como resultado, con el fin de distribuir adecuadamente el estrés generado por la carga funcional, minimizar el estrés de contracción y asegurar unas interfases adhesivas adecuadas, los cementos de resina deben tener un grado de conversión bajo. Consecuentemente, su módulo de elasticidad será también bajo, manteniendo, sin embargo, una adecuada resistencia mecánica.[107] En nuestro estudio el cementado con un material con mayor porcentaje de relleno no ha producido peores resultados, ya que al tratarse de un agente cementante de

polimerización dual, la fase autopolimerizable (de curado lento) le proporciona unas condiciones más favorables para la distribución del estrés de contracción a lo largo de la interfase adhesiva, al alargarse la fase de pre-gel permitiendo que el *flow* interno del material compense la contracción y reduciéndose así el estrés resultante. [32, 108] Dicho curado lento proporciona una adecuada distribución de la contracción, pero no podemos determinar que produzca un mejor curado del material. En la bibliografía, la influencia de los mecanismos de polimerización sobre las fuerzas de adhesión ha sido estudiada en menor profundidad. Dentro de los estudios más recientes, se encuentra el de Moraes y colaboradores [10] en el cual evaluaron la polimerización de los cementos de resina autoadhesivos en modo dual o auto, comparándolo con los cementos de resina convencionales. Concluyeron que todos los cementos estudiados conseguían mayor grado de conversión en modo dual que en modo auto, de forma general e independientemente del tiempo. Además, los cementos de resina autoadhesivos obtenían una menor polimerización que los convencionales con cualquiera de las dos sistemáticas. Si tenemos en cuenta estos resultados, podríamos deducir que ese menor grado de conversión derivaría en un peor comportamiento ante ensayos mecánicos y menor fuerza de adhesión para los cementos de resina autoadhesivos. Más recientemente, Ilie y su equipo [109], estudiaron el efecto de la luz sobre las propiedades mecánicas de ocho cementos de resina autoadhesivos (entre los que se encontraba el utilizado en el presente trabajo, G-CEM Automix®) comparándolas con las de dos cementos de resina convencionales, todos ellos de polimerización dual. Concluyeron que existe una gran influencia de la composición del material, es decir el porcentaje tanto en peso como en volumen del relleno y las partículas por las cuales se compone el mismo. Por otro lado, la influencia del tipo de cemento y la sistemática de polimerización fue menor. Registraron menores fuerzas de adhesión los cementos de resina autoadhesivos que los convencionales. [109] Contrariamente a lo esperado, en nuestro estudio no se han encontrado

diferencias significativas en cuanto a las fuerzas de adhesión registradas tras los ensayos mecánicos al utilizar una u otra sistemática de polimerización. Podría deberse a la aplicación de la luz a través del poste de fibra de vidrio translúcido. Este hecho habría inducido una polimerización lenta, dando lugar a fuerzas de adhesión aproximadas en ambos grupos. De igual manera, existen factores que determinan en gran medida la atenuación de la luz, como son el grosor de cemento[110], la composición química del mismo [109, 111] y el número, tamaño y distribución de los defectos, poros o pigmentos presentes. Giachetti obtuvo resultados similares a los del presente estudio[51], donde comparó la fuerza de adhesión obtenidas en pruebas de *push-out* tras cementar postes de fibra de vidrio en 39 premolares y siguiendo dos sistemáticas de polimerización distintas, una técnica de fotopolimerización y otra dual. Dichos autores concluyeron que las fuerzas de adhesión obtenidas eran similares para ambas sistemáticas de curado. De igual forma, en un trabajo previo realizado por Foxtton y colaboradores [112] la sistemática de polimerización seguida no influyó sobre las fuerzas de adhesión registradas. Además, algunos estudios han determinado que el mecanismo principal de retención de los postes de fibra dentro del canal radicular no es adhesivo sino por fricción[113, 114]. En el presente estudio, debido a la utilización del sistema de drills correspondiente con los postes de fibra de vidrio que se iban a cementar, se ha conseguido una adaptación adecuada de los sistemas de retención a las paredes del conducto. Esta adaptación de los postes al conducto radicular, además de mejorar dichos mecanismos de fricción reduce el espesor de la capa de cemento de resina lo cual contribuye a minimizar los efectos del estrés de contracción generado durante la polimerización del material.

El análisis de los tipos de fracaso que han tenido lugar en los especímenes ensayados mecánicamente mediante pruebas de *micropush-out* se hizo siguiendo la clasificación utilizada por Perdigão y colaboradores en su estudio del año 2006. [73] La evaluación de dichos fracasos

nos aporta información sobre la zona más débil de todo el sistema compuesto por el sustrato, el cemento y el poste. En este caso dicha zona es la interfase cemento-dentina. Estos datos complementan los registrados tanto en las pruebas mecánicas como en las de microfiltración y nos anuncian la necesidad de hacer mayor hincapié en el estudio y la mejora de las propiedades de los cementos en cuanto a lo que adhesión a dentina se refiere, obteniendo con ello una calidad superior en nuestros tratamientos. La causa más frecuente de fracaso en el cementado de postes de fibra de vidrio es el descimentado o fracaso por fallo adhesivo.[115]En el presente estudio existe un predominio del fracaso tipo 4, es decir, el descrito como fracaso adhesivo en la interfase cemento-dentina, seguido por el fracaso tipo 3 (Fracaso mixto con cemento cubriendo del 50-100% del diámetro del poste) al estudiar tanto el tipo de cemento como la sistemática de polimerización. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos en ensayos previos por autores como Calixto[6], Cantoro[7], Gomes[47] y Zicari[50]; en cambio no es compartido por otros como Aksornmuang[3], en cuyo estudio realizado sobre 12 premolares inferiores, los principales tipos de fracaso fueron el cohesivo del poste y fallo adhesivo en la interfase cemento-poste.

El hecho de que en nuestro caso los fracasos menos frecuentes hayan sido el tipo 1(Adhesivo entre poste y cemento) y el tipo 5 (Fractura cohesiva de la dentina), podría justificarse por la aplicación de un silano (GC Ceramic Primer A y B) sobre la superficie del poste, de forma previa al cementado del mismo, y también por la presencia de componentes similares tanto en la matriz del poste como en la del cemento de resina que favorecen su unión. Los agentes de acoplamiento de silano son compuestos híbridos que pueden mediar en la adhesión entre las matrices inorgánicas y orgánicas a través de una doble reactividad intrínseca.[73]Existe controversia sobre si el uso de dichos compuestos incrementa o no las fuerzas de adhesión en el cementado de postes de fibra. Autores como Sahafi en diversos estudios [116, 117] no encontró

incremento en las fuerzas de adhesión. A pesar de ello, apoyándonos en los resultados obtenidos por Goracci[113] y en los del presente ensayo, podríamos pensar que el pretratamiento del poste de fibra de vidrio con dicho compuesto favorece de forma notable su unión a los cementos de resina en el proceso de cementado.

Para determinar el éxito del cementado de postes se hace necesario conseguir tanto una unidad resistente a las cargas masticatorias, como un sellado coronal perfecto con respecto a la cavidad oral. La filtración coronal a través de los márgenes de la restauración puede dar lugar al paso de saliva o endotoxinas bacterianas al espacio del poste, resultando en la aparición de caries y/o desintegración de los materiales cementantes, e incluso el fracaso del tratamiento de conductos. [118] Durante décadas, se ha venido investigando la capacidad de sellado de distintas técnicas y materiales a través de diferentes métodos como eran la filtración bacteriana, el método electroquímico, la filtración de fluidos o la penetración de marcadores.[80, 119, 120] En el presente estudio se utilizó la microfiltración para evaluar el estado de las interfases adhesivas ayudándonos de un agente de tinción como es el nitrato de plata solución amoniaca, preparado siguiendo la técnica descrita por Pashley[63]; no se registró la filtración coronal, ya que se estudiaron cortes, no el diente completo. Al referirnos a la capacidad de sellado, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la microfiltración registrada para los distintos materiales empleados. Tras la evaluación de las dos interfases adhesivas con el microscopio óptico y posteriormente con el microscopio electrónico de barrido JSM 6400 JEOL, se ha determinado que ninguno de los especímenes mostraba microfiltración en la interfase cemento-poste, apoyando aún más la hipótesis enunciada con anterioridad de que el pretratamiento del poste de fibra de vidrio con un silano favorece la unión a cementos de resina. En cambio, todas las muestras observadas presentaban mayor o menor grado de discontinuidad en la interfase adhesiva cemento-dentina, la cual se ponía de manifiesto por el depósito de

nitrate de plata en la misma. A pesar de ello aquellas muestras cementadas con GC Gradia Core® presentaron un predominio del Grupo 3 ($50 \leq 75\%$ de microfiltración), menor microfiltración que aquellas cementadas con G-CEM Automix® donde predominó el grupo 4 ($>75\%$ de microfiltración). Se sabe que la adhesión de materiales a base de resina a la superficie de dentina es más débil que la adhesión a esmalte. La elevada filtración registrada en la totalidad de los grupos pone de manifiesto la presencia de aberturas o *gaps* a lo largo de toda la interfase cemento- dentina, lo que induce a pensar que la capacidad de adhesión y sellado de los agentes cementantes utilizados en el presente estudio para el cementado de postes de fibra no es perfecta. Estudios previos como el llevado a cabo por Pereira y colaboradores [121] obtuvieron resultados similares. En su caso, todas las muestras evaluadas presentaban aberturas en la interfase cemento-dentina. Esta falta de adaptación entre la restauración y el diente repercutirá a su vez en el comportamiento biomecánico, ya que para que el conjunto se comporte como un *monoblock*, es necesaria la unión íntima entre todos los materiales restauradores. El término *monoblock* significa literalmente “una única unidad”. La primera referencia sobre la existencia de un *monoblock* mecánicamente homogéneo en el interior de un conducto radicular es del año 1996 con la adhesión de un poste de resina epoxi reforzado con fibras de carbono a dentina radicular.[122] Los *monoblocks* creados dentro del espacio del conducto radicular pueden clasificarse en: primarios, secundarios y terciarios, en función del número de interfases existentes entre el sustrato de unión y el material. En los *monoblocks* primarios existe una única interfase entre el material de obturación radicular y la dentina; en los secundarios hay dos interfases, una entre el poste de fibra/material de obturación radicular y el cemento/cemento sellador y otra entre el cemento/cemento sellador y la dentina radicular. En los *monoblock* terciarios, se crea una nueva interfase cuando está presente un revestimiento adhesivo sobre la superficie del poste/ material de obturación. Los *monoblocks* secundarios son

los que aparecen clásicamente en la literatura referente a odontología restauradora y endodoncia. Es imprescindible que se den dos requisitos simultáneamente para que los *monoblocks* funcionen como una unidad mecánica homogénea; el primero de ellos es que el material que constituye el *monoblock* tenga la capacidad de adherirse fuertemente al sustrato, el segundo, es que dicho material tenga un módulo de elasticidad similar al del sustrato al que va a adherirse.[123]

En cuanto a las diferentes sistemáticas de polimerización evaluadas, se encontraron diferencias significativas en la microfiltración registrada entre la sistemática denominada “autopolimerización” y la técnica “combinada”, atribuible a los grupos cementados con G-CEM Automix[®]. Contrariamente a lo esperado, los grupos en los que se llevó a cabo una técnica “combinada” presentaron un peor sellado que aquellos en los que se procedió a la “fotopolimerización” inmediata. Siendo los especímenes que curaron mediante “autopolimerización” completa, aquellos que presentaron un menor grado de filtración.

Uno de los factores condicionantes de la adhesión son las diferencias anatómicas existentes en cuanto a densidad y orientación de los túbulos dentinarios en los diferentes niveles radiculares.[31] Se ha podido comprobar que tanto el número como el tamaño de los túbulos dentinarios decrecen de forma progresiva desde la zona coronal hasta el ápice radicular,[124] por ello, se ha considerado el hecho de valorar la presencia de *gaps* o defectos en la adhesión en los diferentes tercios radiculares mediante el depósito de nitrato de plata. Debido a que la adhesión mejora cuanto mayor sea la penetración de la resina en el interior de los túbulos, parece razonable pensar que al existir un mayor número de éstos por mm² en la zona más coronal se producirá una mejor unión a ese nivel; pero por otro lado, la hibridación de la dentina no tiene lugar de manera uniforme a lo largo de todo el conducto radicular, y la forma de cono truncado que presentan los *tags* de resina en la zona de la

entrada de los túbulos, no se observa en el tercio apical de la interfase adhesiva cemento dentina.[125] Otro factor que puede jugar un papel importante es la mayor accesibilidad de la porción coronal del conducto y la disminución progresiva de la misma al ir descendiendo, lo que permite una mejor aplicación de los materiales y un mayor control de la técnica durante todo el procedimiento. A pesar de todo ello no se han encontrado diferencias en la microfiltración registrada en los distintos niveles radiculares evaluados: apical, medio y coronal. Esta ausencia de diferencias significativas podría deberse a la elevada microfiltración registrada a lo largo de toda la interfase cemento-dentina con niveles de entre el 50-75% de la interfase filtrada, o en la mayoría de los caso >75%. Esto pone de manifiesto lo comentado anteriormente, la presencia *gaps* y la ausencia de una adhesión perfecta de estos materiales a nivel de dentina radicular, factores a tener en cuenta en la práctica clínica para depurar aún más la técnica y aumentar con ello el éxito de los tratamientos. Estos resultados coinciden con los de otros autores como Zicari y colaboradores[50], en cuyo estudio no encontraron diferencias estadísticamente significativas en los distintos niveles radiculares para ninguno de los materiales estudiados (Panavia 21 EX/ Clearfil esthetic Cement, RelyXUnicem/ GC-experimental, Variolink II).

Parece que la calidad de la interfase adhesiva también se ve afectada por la cantidad de relleno presente en los agentes cementantes. Según un estudio publicado por Ferrari y colaboradores en el año 2009 [11], se produce un aumento en la microfiltración al aumentar el porcentaje de relleno del material. Contrariamente, aquellos materiales más elásticos (10%-30% de relleno) revelaron un incremento en la capacidad de sellado de la interfase.

Un aspecto importante a determinar en cualquier estudio de odontología adhesiva es la durabilidad de dicha adhesión, ya que es sabido que factores como la degradación hidrolítica, la fatiga cíclica o la degradación enzimática son factores que afectan negativamente a las interfases

adhesivas.[126]- 127] En nuestro trabajo no se fijó como objetivo determinar dicha durabilidad ni la influencia de los citados factores, todo lo cual deberá ser motivo de otros estudios específicos.

El estudio de la microestructura de los postes de fibra es importante ya que de ella derivan sus propiedades y su comportamiento clínico. Se basa en evaluar el diámetro de las fibras individuales, su densidad, la calidad de la adhesión entre la matriz de resina y las fibras y la calidad de la superficie externa del poste. Dichos parámetros se controlan mediante la microscopía electrónica de barrido (MEB), que permite llevar a cabo una evaluación tanto cualitativa como cuantitativa. El conocimiento de dichos parámetros es fundamental para poder determinar las propiedades mecánicas de los distintos sistemas de postes, de manera que a mayor densidad de fibras junto con un menor diámetro de las mismas, se obtendrán postes con una mayor resistencia. Los postes de fibra reforzados con resina pueden estar compuestos por fibras de carbono, de cuarzo, o fibras de vidrio [127], existiendo diferencias entre ellos. Los de cuarzo, se componen de dióxido de silicio principalmente, mientras que los de vidrio, además presentan mayor variedad de óxidos en su composición, aunque generalmente se equiparan unos con otros. Independientemente de su composición, las fibras están orientadas de forma paralela al eje longitudinal del poste y su diámetro varía en un rango entre 6 y 15 μm . Este parámetro, el diámetro de las fibras, presenta una gran importancia para el conocimiento de las propiedades mecánicas, ya que como se ha citado con anterioridad, es preferible un menor diámetro de fibras para que puedan caber un mayor número en la superficie del poste. Fibras grandes no confieren mayor resistencia. A pesar de este conocimiento, existe una gran variabilidad tanto en el tamaño de las fibras como en su distribución en función del fabricante (Fig. 32-37.)

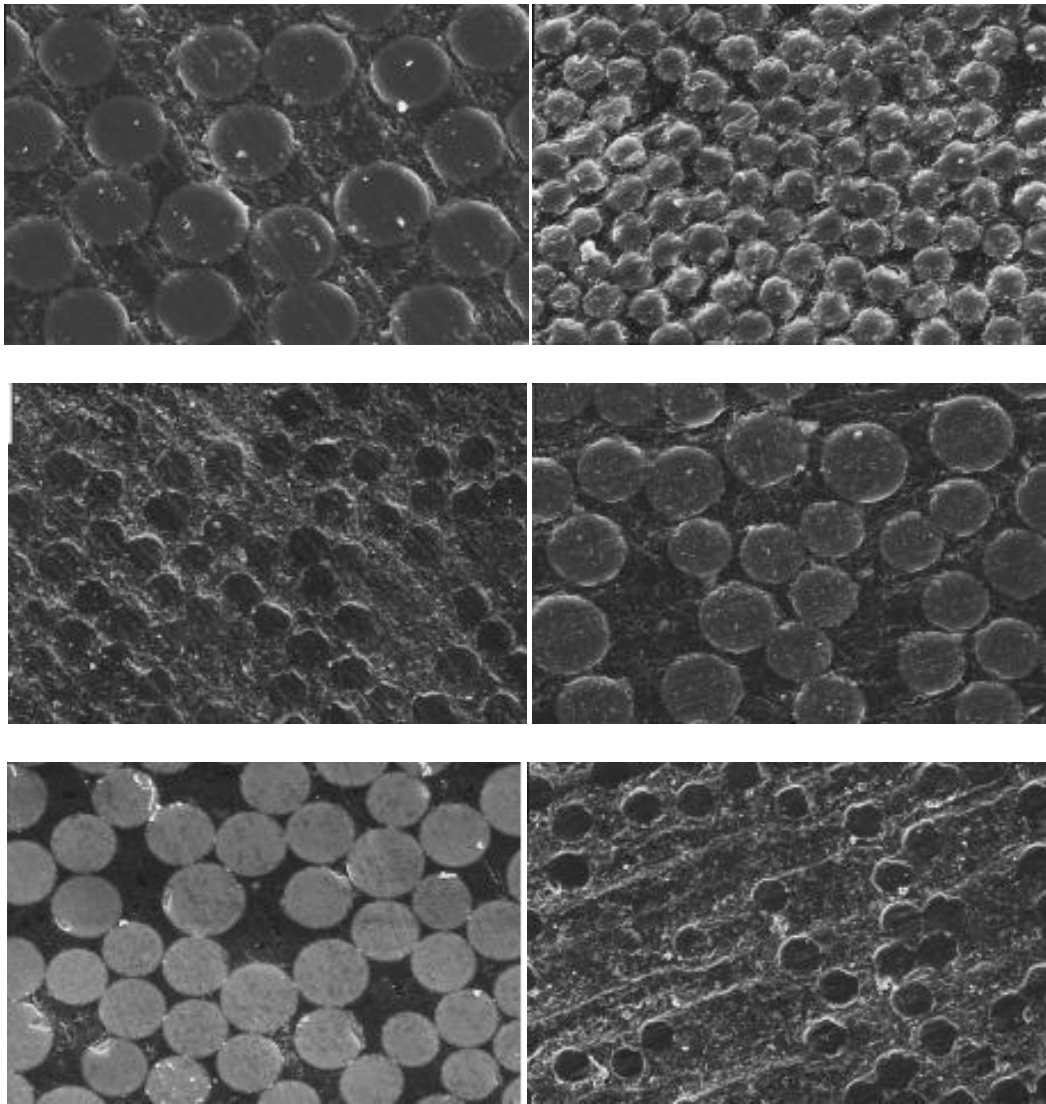


Fig.32-37. Detalles de cortes transversales de distintos sistemas de postes de fibra con gran variabilidad tanto en diámetros como en distribución.

La adhesión entre las fibras de cuarzo o vidrio y la matriz de resina se ve reforzada por la silanización de éstas de forma previa a su incorporación. De esta forma se genera un vínculo fuerte entre ambas partes permitiendo la transferencia de las cargas de la matriz a las fibras; derivando todo ello en una mejora de las propiedades del sistema.[128] Las fibras son responsables de la resistencia a las cargas de flexión, mientras que la matriz de resina proporciona resistencia frente al estrés de compresión. Además, esta última puede interactuar con los monómeros funcionales presentes en los cementos adhesivos.[129] Los postes de fibra presentan un característico comportamiento anisotrópico, es decir, que sus propiedades físicas

dependen de la dirección en la cual se ejercen las fuerzas. Diversos autores han centrado sus investigaciones en el efecto del ratio fibras/matriz (superficie ocupada por fibras, por mm^2) sobre las propiedades mecánicas de los postes de fibra, obteniendo resultados poco uniformes.[128, 130, 131]

Para el estudio de las características estructurales de los postes de fibra se hace imprescindible el uso de un sistema de magnificación como es el microscopio electrónico de barrido (MEB), el cual permite calcular la densidad, el diámetro y la distribución de las fibras, así como el ratio fibras/matriz. Además, ayuda en la detección de defectos como burbujas o espacios [130, 132]. En el presente estudio, tras el análisis microestructural de los postes de fibra de vidrio del sistema GC Fiber Post[®], hemos obtenido una densidad de 2093 fibras por mm^2 , con un diámetro medio de $18,385\mu\text{m}$, y un ratio fibras/matriz del 55%. Haciendo hincapié en este último concepto (ratio fibras/matriz), consideramos que el término es inadecuado, ya que en realidad lo que se mide no son las fibras con respecto a la matriz únicamente, sino las fibras con respecto al total (conjunto fibras + matriz). Por tanto, nuestros resultados de un ratio fibras/matriz del 55%, lo que representa en realidad, es que dentro del conjunto, el 55% son fibras, dejando el 45% restante para el volumen ocupado por la matriz de resina. Dado que es un concepto utilizado por todos los autores, como muestra la bibliografía revisada, lo hemos aceptado e incluido como tal en el presente estudio. Por otro lado, la distribución de las fibras juega un papel importante en el comportamiento mecánico de toda la estructura. Existen distintos métodos y clasificaciones para evaluarla, dependiendo de los autores [131, 133]. El método desarrollado para el presente estudio se basa en la desviación estándar (DS) y ha sido descrito previamente en el apartado de material y método. En función de dicho parámetro (DS) establecimos una clasificación: A, B, C y D (Tabla13.) correspondiendo A con el mayor grado de homogeneidad en la distribución de las fibras, y D con el menor.

Tabla 13. Distribución de las fibras del sistema GC Fiber Post®

DESVIACIÓN ESTÁNDAR	GRADO DE DISTRIBUCIÓN
0 - 1,00	A
1,01 - 2	B
2,01 - 3	C
3,01 - 4	D

Se han considerado aceptables las distribuciones de los grupos A y B.

En este punto, resulta difícil establecer comparaciones debido a la falta de estudios y estandarización en los mismos. Además, hay grandes diferencias en cuanto a la sistemática de fabricación de los sistemas de postes función del fabricante. Respecto al sistema específico de postes utilizado en nuestro estudio, Zicari y colaboradores[133] describieron la estructura de los postes del sistema GC Fiber Post® y obtuvieron una densidad de fibras diferente a la de nuestro estudio. El diámetro medio y el ratio fibras/matriz resultaron aproximados. Tras observar todas las fotografías tomadas mediante el MEB, dicha diferencia con el ensayo de Zicari y colaboradores en cuanto a la densidad de fibras es explicable debido a la gran variabilidad existente entre muestras sacadas del mismo blíster, incluso en distintas zonas de la superficie de la misma muestra. Parecería razonable pensar que debido a la forma de fabricación de estos sistemas de anclaje complementario, todos ellos deberían presentar una distribución y una densidad homogénea, pero no es así, apareciendo grandes zonas de matriz de resina sin presencia de fibras en muchos de ellos (Fig.38-40). Sería recomendable poner en conocimiento de los fabricantes dichos hallazgos, debido a su importancia para el posterior comportamiento mecánico de los sistemas.

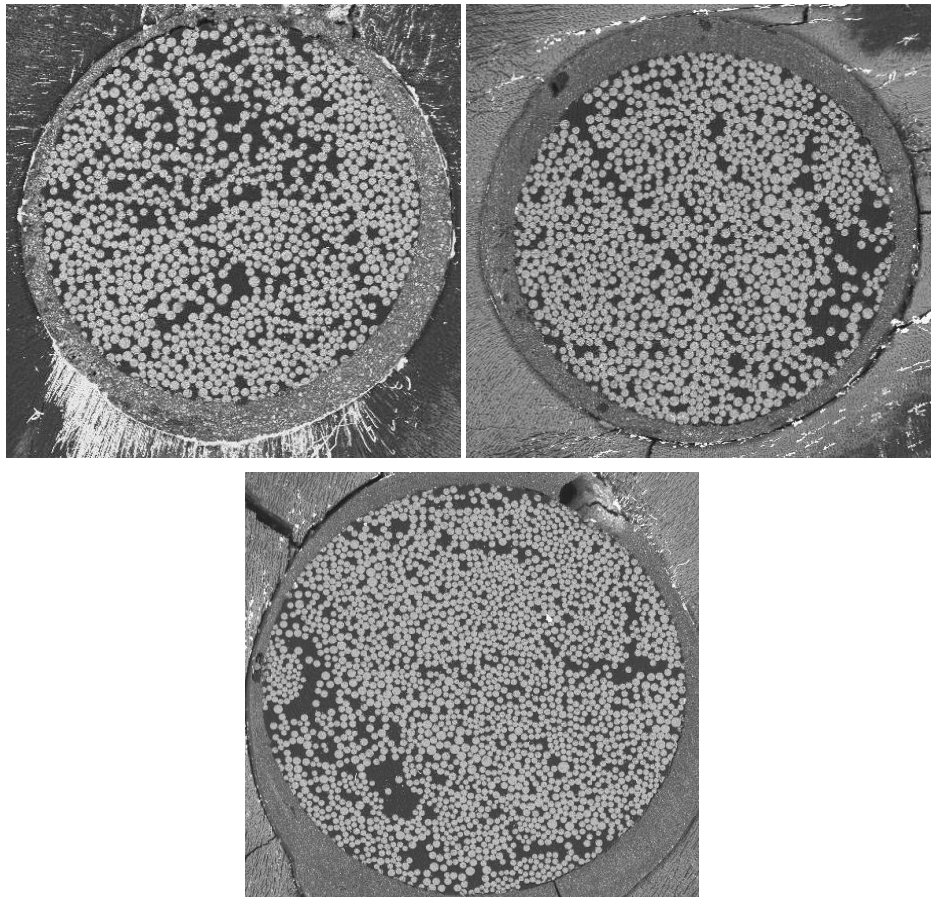


Fig. 38-40. Imágenes tomadas con el MEB a 50X donde se observa la falta de homogeneidad en densidad de fibras dentro de la estructura de postes de fibra del sistema GC Fiber Post.

Para concluir, podemos decir que la combinación de postes de fibra y cementos de resina han supuesto un gran avance en las técnicas restauradoras debido a su comportamiento biomimético y su buena integración en la odontología adhesiva contemporánea. Los cementos de resina convencionales parecen exhibir mejores propiedades mecánicas y dar lugar a unas interfases adhesivas de características más adecuadas que los cementos autoadhesivos. De todos modos, la adhesión a dentina intrarradicular parece no ser óptima en ninguno de los dos sistemas, encontrándose discontinuidades en las interfases en todos los casos, lo que indudablemente repercutirá, a corto o largo plazo en el resultado clínico de estos sistemas de restauración. Por otro lado el sistema de postes estudiados muestra una características microestructurales adecuadas de acuerdo a los parámetros establecidos para este tipo de materiales. El cementado

de postes de fibra en todos sus aspectos, y en particular mediante el empleo de cementos de resina autoadhesivos, debe seguir siendo un motivo importante de estudio, por tratarse de materiales de reciente incorporación en el sector odontológico y por ello, el conocimiento tanto de sus propiedades como de su comportamiento clínico es limitado. En cuanto a la metodología, si bien los test *in vitro* son necesarios para poder llevar a cabo dichas investigaciones, no son suficientes, debiendo complementarse con estudios clínicos que permitan ampliar el conocimiento sobre dichos materiales y validar su aplicación en la práctica odontológica diaria.

7.CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Tras la finalización del presente estudio podemos concluir que:

1. El cementado de postes de fibra con cemento de resina autoadhesivo produjo menor fuerza de adhesión que el cementado con cemento de resina y adhesivo previo.
2. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la microfiltración registrada en función de los materiales empleados
3. Las diferentes técnicas de polimerización analizadas no han producido diferencias estadísticamente significativas en la fuerza de adhesión.
4. La técnica "Autopolimerización" produjo un menor grado de microfiltración que la técnica "Combinada", empleando auto y después fotopolimerización.
5. No hay interacción entre la microfiltración y el nivel radicular.
6. El tipo de fracaso más frecuente tras los ensayos mecánicos fue el adhesivo a nivel de la interfase cemento-dentina (Fracaso tipo 4).
7. Los postes de fibra de vidrio estudiados presentan una densidad media de 2093 fibras/mm², un diámetro medio de 18,385 μm y un ratio fibras/matriz del 55%, con una distribución aceptable y homogénea de las fibras dentro de la matriz de resina.
8. Son necesarias más investigaciones tanto *in vitro* como mediante estudios clínicos, para determinar de un modo concluyente el comportamiento de estos materiales a corto, medio y largo plazo.

8.ABSTRACT

JUSTIFICATION

FRC post (reinforced with fibreglass, carbon or quartz) are an increasingly popular option for restoration of the endodontically treated tooth, both for aesthetic and biomechanical reasons [1]. Indeed, numerous studies have discussed restorative procedures involving resin posts [2-9]. These investigations are mainly focused on the behaviour of various cement-based systems, the characteristics of adhesion to root dentin or post surfaces (i.e, variables affecting adhesion), and overall biomechanical behaviour. Nevertheless, there remain factors with great clinical significance that have not been sufficiently analysed. In particular, certain aspects related to the cementing process have not been addressed, such as the curing technique applied when using resin-based or dual-curing cements and the effect that curing shrinkage can have on adhesive interfaces. These variables need to be studied in depth, as they could have an important impact on the clinical behaviour of these systems.

Curing technique noticeably influences shrinkage stress, particularly in the context of very restrictive cavities displaying high configuration factor (C-factor) values, such as post spaces. Auto curing allows the inner flow of the material to partially compensate for contraction stress, resulting in reduced impact on the adhesive interface. Conversely, photo curing leads to more abrupt conversion of the resin; thereby hamper this compensation [10].

Furthermore, in parallel with the development of self-adhesive resin cements, a new trend has emerged, which involves the use of core resin as cement during FRC post cementing. This technique aims to simplify the restorative technique, while at the same time achieving continuity between the cementing and restoration materials. However, core resins display a higher percentage of inorganic filler than cementing agents, which can lead to significant differences in flow rate, humectancy and curing shrinkage. These factors can negatively impact the adhesive interface created between the cement and root dentin [11]. Thus, the combined study of both variables (i.e., type of cement and curing mode) can clarify doubts related to the cementation of adhesive posts, ultimately improving the clinical outcome of this restorative technique. Therefore, it is crucial that such investigations are performed.

There are several research methodologies that can be employed to study restoration systems involving FRC post from different perspectives. Mechanical (micro-tensile or more recently

micropush-out) tests are currently the most widely used, as they can determine the strength of bonding between the tooth and restorative system. On the other hand, ultrastructural analysis using scanning electron microscopy allow the study of the morphological characteristics of adhesive interfaces (dentin–cement and cement–post interfaces) [12, 13]. Although used more sparingly, other techniques that allow for evaluation of the seal that exists between the interfaces (i.e., microleakage) are of great importance. In fact, formation of an adequate post-cement–dentin interface is critical for restoration longevity, as sealing defects can give rise to bacterial microleakage that can result in long-term failure of root canal treatments [14].

Thus, comparative study of the adhesive interfaces created by cementing of FRC post with self-adhesive resin cements or resin for making cores is important. In addition, the influence of curing techniques on these interfaces must be evaluated. Here, we have used micropush-out mechanical testing methods, microleakage tests, and scanning electron microscopy (SEM) to investigate these variables.

WORKING HYPOTHESIS

Variability with regard to self-adhesive cements and composite resins used to manufacture cores (i.e., physical properties and adhesion mechanisms) may result in interface differences when cementing FRC posts. Furthermore, differential curing kinetics resulting from auto curing and photo-curing have the potential to cause interface variability, which could be evaluated both mechanically and morphologically.

To date, studies have yielded inconsistent results. However, it seems reasonable that lower adhesion forces would be obtained from self-adhesive resin cements as compared to conventional resin cements due to the presence of weak acids in their composition, which might lead to lower substrate demineralization and reduced penetration of the material into the dentinal tubules. Although this reduced material–substrate interaction could result in more gaps, leading to greater microleakage, these results do not depend solely on the composition of the materials. Indeed, additional factors (i.e., the technique utilized for cement curing) could affect the quality of the adhesive interfaces, thereby affecting the longevity of the restoration.

Here, we propose an *in vitro* study with a single **null hypothesis (H₀)**:

Neither the cementing technique (total etch and conventional resin cement versus self-adhesive resin cement), nor curing technique applied (self-curing, photo-curing and combined technique) influence the mechanical, morphological and sealing characteristics of the adhesive interfaces that take place when cementing FRC posts in root canals.

AIMS

General:

To study the characteristics of adhesive interfaces produced when cementing FRC posts in root canals using different resin-based cementing agents and cement curing techniques.

Specific:

To assess the influence of types of cement on bond strength and interface sealing.

To assess the influence of curing techniques on bond strength and interface sealing.

To determine if there are differences in interface sealing depending on root level.

To identify failure types via mechanical tests and establish their frequencies.

To determine the parameters that characterizes the microstructure of the FRC post system used.

MATERIALS

1. Sample preparation

- Human mandibular premolars.
- Digital Caliper.
- Protaper[®] Files (Dentsply - Maillefer , Ballaigues , Switzerland).
- K FlexoFile[®] Files (Dentsply - Maillefer , Ballaigues , Switzerland).
- EDTA (17%).
- 5% sodium hypochlorite.
- Bits of paper.

- Guttapercha .
- Cement sealer AH Plus[®] (DeTreyDentsply , Konstanz , Germany).
- Cavit[®] (3M ESPE, Seefeld, Germany).
- Gates -Glidden burs # 2 and # 3 .
- Fiberglass reinforced resin posts, GC Fiber System Post[®] Ø 1.2 mm.
- Drills for the GC Fiber Post[®] system with 1.2 mm diameter.
- Self-Adhesive resin Cement G -CEM Automix[®] (GC, Tokyo, Japan).
- Cement resin GC Gradia Core[®] (GC, Tokyo, Japan).
- Adhesive Self -etching bond GC[®] (GC, Tokyo, Japan).
- Silane (GC Ceramic Primer A and B).
- Saline.
- Cotton rolls.

2. **Micropush -Out Test**

- Double-sided adhesive tape.
- Permanent marker.

3. **Microleakage analysis**

- Silver nitrate (AgNO₃) in crystals.
- Ammonium hydroxide (NH₄OH).
- Distilled water.
- Photographic developer.

4. **Ultrastructural analysis by SEM**

- 37% orthophosphoric acid.
- 5% sodium hypochlorite.
- Polishing discs with silicon carbide grains of 600 μ, 800 μ and 2400 μ.

EQUIPMENT AND TOOLS

a. Sample Preparation

- Turbine and KaVo Dental micromotor.
- Halogen light curing lamp Dentsply Spectrum 800 TM.
- Cutting EKAKT[®].

b. Micropush -Out Test

- Electromechanical universal testing machine test Hounsfield Equipment[®].
- Software METROTEST[®] advanced testing.
- Punches steel 0.8 mm at its tip, designed specifically for this study.
- Support plate for the samples, specifically designed for this study.
- Optical microscope Leica MZ[®] 12; with photo camera Nikon Coolpix[®] integrated.
- Image Analyzer[®] Image Tools 3.0

c. Microleakage test

- Volumetric flask.

d. Ultrastructural analysis in the SEM

- Polisher Struers Dap -7[®].
- Metallization.
- Scanning electron microscope JEOL JSM 6400.

METHODS

1. Sample preparation

Sixty six single-rooted premolars, extracted for periodontal reasons, were selected for this study. Each of them was cut to 14 mm from the apex with a diamond disc. The root canal treatment was done, and all samples were stored in normal saline at room temperature for 7 days. After such period, the canals were prepared for cementing FRC posts. The specimens (n = 66) were randomly divided into six working groups (n = 11).

❖ Working groups

GROUP	CEMENT TYPE	POLYMERIZATION TECHNIQUE
G1	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Photo-cure 40 "
G2	G-CEM Automix®	Photo-cure 40 "
G3	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Self-cure 5' + Photo-cure 40 "
G4	G-CEM Automix®	Self-cure 5' + Photo-cure 40 "
G5	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Self-cure
G6	G-CEM Automix®	Self-cure

2. Micropush –Out test

Eight specimens from each experimental group were randomly selected (n = 48). Each tooth was sectioned transversely to its longitudinal axis and three root segments were obtained from each specimen. This root segments were attached by double-sided adhesive tape to the plate designed for the study, which was positioned on the base of the device of the testing machine. Once centered and attached, sample mechanical testing was performed on the Hounsfield® HTE electromechanical universal testing machine. The test was carried out using a cylindrical steel punch 0.8 mm of diameter at its tip. The load was applied in apical - coronal direction at a speed of 0.5 mm min⁻¹ until failure load was reached.

After the mechanical test, each root segment was immediately and individually analyzed in the light microscope to determine the type of failure according to Perdigão classification.

The type of failure was classified in six categories:

- 1) Adhesive between post and resin cement (no resin cement visible around the post).
- 2) Mixed with resin cement covering 0-50 % of the post diameter.
- 3) Mixed with resin cement covering 50-100% of the post diameter.
- 4) Adhesive between resin cement and root canal (Post surrounded by resin cement).
- 5) Cohesive in dentin.
- 6) Cohesive in cement.

3. Microleakage analysis

Three specimens of each experimental group (n=18) were prepared to evaluate the microleakage. Each tooth was sectioned transversely to its longitudinal axis and three root segments were obtained from each specimen, which were classified into apical, middle and coronal. Quantification of microleakage was determined only in its coronal area. All segments were immersed in a dilution of ammoniacal silver nitrate solution containing 50% by weight for 24 hours. After 24 hours, the stained samples were washed with water and immersed in a developing solution for 8 hours. After this time, samples were rinsed with water, attached by the apical side to the individual sample holder using cyanoacrylate adhesive, and prepared for exam by scanning electron microscope (JEOL JSM 6400).

4. Ultrastructural analysis by scanning electron microscopy (SEM)

The quantification of microleakage is carried out based on the model described by Saboia and using the image analyzer Image Tool 3.0[®].

The samples were classified into four groups according to the degree of microleakage:

Group 1: < 25 % of microleakage.

Group 2: 25 ≤ 50 % of microleakage.

Group 3: 50 ≤ 75 % of microleakage.

Group 4: > 75 % of microleakage.

5 . Ultrastructural study (GC Fiber Post ®)

Of all the samples used for the study of microleakage (n=18) ten of them were randomly selected (n=10) for ultrastructural study.

Three consecutive pictures of the SEM images were taken in a standardized way (750X and secondary electrons) and classified into F1, F2 and F3.

Each photograph was analyzed individually with an image analyzer (ImageTool 3.0®) to determine:

- Fibers / matrix ratio (%), through the formula:

$$(\text{Fiber area} / \text{matrix area}) \times 100$$

- Fibers density (nº/mm2)

- Fibers diameter (µm)

- Fibers distribution (by standard deviation)

RESULTS

1. Micropush-out test

Regarding the material used, statistically significant differences were observed in the adhesion forces recorded when cementing FRC posts to intraradicular dentin ($P < 0.001$). Bond strength the GC Gradia Core® resin cement yielded higher adhesion forces than the self-adhesive G-CEM Automix® resin cement.

No statistically significant differences were observed among the three curing techniques were compared. Furthermore, there was no interaction between the type of cement and the curing technique employed.

Regarding the type of cement and curing technique, Type 4 failure was the most frequently observed, which mean insufficient bond strength the resin cement and the intraradicular dentin.

Additionally, there was a broader difference between the most common failure (Type 4: cement–dentin adhesive) and the second most common one (Type 3: mixed with cement covering 50–

100% of the diameter of the post) in terms of frequency when comparing groups cemented with GC G-CEM Automix® (19 Type 3 Vs. 44 Type 4) and those cemented with GC Gradia Core® (20 Type 3 Vs. 22 Type 4).

Notably, the least common failure observed was Type 5 (i.e., cohesive failure of dentin), with the exception of the groups cemented with G-CEM Automix®, for which it was Type 1 (post-resin cement adhesive).

2. Microleakage analysis

Considering the materials studied no statistically significant difference we observed in microleakage.

With regard to the three different curing techniques, statistically significant differences were recorded between the auto-curing and combined-curing techniques. These differences could be attributed to the G-CEM Automix® cement. Moreover, the combined-curing technique was associated with the greatest degree of microleakage, followed by photo-curing and finally auto-curing.

In contrast, no statistically significant differences were found in microleakage when the different root levels were assessed.

None of the samples showed less than 25% of microleakage. The most frequent values being ≤ 50 , $\leq 75\%$ or $>75\%$. Frequency of distribution according to microleakage rate and the different variables studied are shown in Tables 10, 11 and 12 as well as Figures 6, 7 and 8.

3. Microstructural analysis of the FRC post

Post system	Quantity of fiber in the polymer matrix (n ² /mm ²)	Fiber diameter (μm)	Vol. % of glass fibers)
GC Fibre Post	2093	18.385	55%

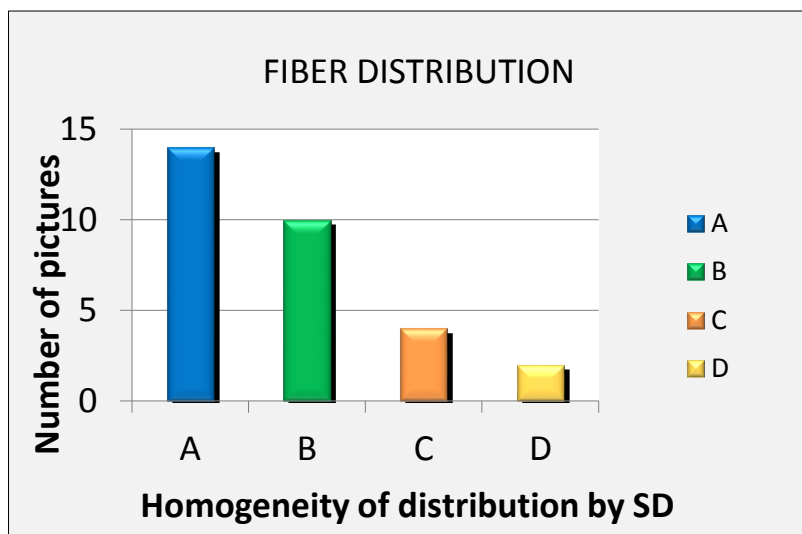
Homogeneity of distribution by SD	A	B	C	D
No. of images	14	10	4	2

SD: Standard deviation

Distribution group by SD: 0–1.0→A/ SD: 1.01–2.00→B/

SD: 2.01–3.00→C/ SD: 3.01–4.00→D

Figure9. Homogeneity of distribution of the fibers



CONCLUSIONS

Our findings allow us to conclude the following:

1. Cementing with self-adhesive resin cement produced a lower bond strength than cementing with adhesive followed by resin cement.
2. No statistically significant differences in microleakage were observed regarding the material used.
3. The different curing techniques analyzed, did not produce any statistically significant differences in bond strengths.
4. The “self-curing” technique produced lower degree of microleakage than the “Combined” technique (using first auto and then photo-curing).
5. There was no interaction between microleakage and root level.
6. The most frequent type of failure after mechanical testing was adhesive failure at the cement–dentin interface (Type 4).
7. The FRC posts presented a mean density of 2,093 fibers/mm², an average diameter of 18,385 μm, and a fiber/matrix ratio of 55%. Moreover, there was an acceptable and uniform distribution of fibers within the resin matrix.
8. Further *in vitro* and *in vivo* researches are necessary to conclusively determine the behavior of these materials in the short, medium and long term.

9.BIBLIOGRAFÍA

1. Mazzitelli C, Monticelli F, Toledano M, Ferrari M, Osorio R. Effect of thermal cycling on the bond strength of self-adhesive cements to fiber posts. *Clin Oral Investig* 2012;16(3):909-15.
2. Dimitrouli M, Geurtsen W, Luhrs AK. Comparison of the push-out strength of two fiber post systems dependent on different types of resin cements. *Clin Oral Investig* 2011;16(3):899-908.
3. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxtan RM, Panyayong W, Tagami J. Regional bond strengths and failure analysis of fiber posts bonded to root canal dentin. *Oper Dent* 2008;33(6):636-43.
4. Amaral M, Santini MF, Wandscher V, Amaral R, Valandro LF. An in vitro comparison of different cementation strategies on the pull-out strength of a glass fiber post. *Oper Dent* 2009;34(4):443-51.
5. Bonfante G, Kaizer OB, Pegoraro LF, do Valle AL. Tensile bond strength of glass fiber posts luted with different cements. *Braz Oral Res* 2007;21(2):159-64.
6. Calixto LR, Bandeca MC, Clavijo V, et al. Effect of resin cement system and root region on the push-out bond strength of a translucent fiber post. *Oper Dent* 2012;37(1):80-6.
7. Cantoro A, Goracci C, Vichi A, et al. Retentive strength and sealing ability of new self-adhesive resin cements in fiber post luting. *Dent Mater* 2011;27(10):e197-204.
8. Farina AP, Cecchin D, Garcia Lda F, et al. Bond strength of fiber posts in different root thirds using resin cement. *J Adhes Dent* 2011;13(2):179-86.
9. Goracci C, Sadek FT, Fabianelli A, Tay FR, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. *Oper Dent* 2004;30(5):627-35.
10. Moraes R, Boscato N, Jardim PS, Schneider LF. Dual and self-curing potential of self-adhesive resin cements as thin films. *Oper Dent* 2011;36(6):635-42.

11. Ferrari M, Carvalho CA, Goracci C, et al. Influence of luting material filler content on post cementation. *J Dent Res* 2009;88(10):951-6.
12. Patierno JM, Rueggeberg FA, Anderson RW, Weller RN, Pashley DH. Push-out strength and SEM evaluation of resin composite bonded to internal cervical dentin. *Endod Dent Traumatol* 1996;12(5):227-36.
13. Gallo JR, 3rd, Miller T, Xu X, Burgess JO. In vitro evaluation of the retention of composite fiber and stainless steel posts. *J Prosthodont* 2002;11(1):25-9.
14. Goracci C, Ferrari M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J* 2011; 56 Suppl 1:77-83.
15. Dietschi DO, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature. Part II (Evaluation of fatigue behaviour, interfaces, and in vivo studies). *Quintessence Int* 2008;39:117-129.
16. Dietschi DO, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature. Part I. Composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence Int* 2007;38:733-743.
17. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials* 2002;23(13):2667-82.
18. Lovell MJ. The bond between CFRC and restorative materials. 1983 M.Sc. Thesis, University of London.
19. Duret B, Reynaud M, Duret F. New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1). *Chir Dent Fr* 1990;60:131-41 contd.
20. Duret B, Reynaud M, Duret F. New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (2). *Chir Dent Fr* 1990;60:69-77

21. Baba NZ, Goodacre CJ. Nonmetallic prefabricate dowels: a review of compositions, properties, laboratory, and clinical test results. *J Prosthodont* 2009;18:527-536.
22. Vichi A, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent* 2000; 83:412-417.
23. Berron JM, Weed RM, Young JM. Fracture resistance of Kevlar-reinforced poly (methyl methacrylate) resin: a preliminary study. *Int J Prosthodont* 1990;3(4):391-5.
24. Yazdanie N, Mahood M. Carbon fiber acrylic resin composite: an investigation of transverse strength. *J Prosthet Dent* 1985;54(4):543-7.
25. Chawla KK. Composite materials. 2nd ed. Springer-Verlag: New York. Science and engineering. 1998.
26. Cagidiaco MC, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Clinical studies of fiber posts: a literature review. *Int J Prosthodont* 2008;21:328-336.
27. Gesi A, Magnolfi S, Goracci C, Ferrari M. Comparison of two techniques for removing fiber posts. *J Endod* 2003;29(9):580-2.
28. Frazer RQ, Kovarik RE, Chance KB, Mitchell RJ. Removal time of fiber posts versus titanium posts. *Am J Dent* 2008;21(3):175-8.
29. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL. Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent* 2000;83(4):412-7.
30. Wu MK, Pehlivan Y, Kontakiotis EG, Wesselink PR. Microleakage along apical root fillings and cemented posts. *J Prosthet Dent* 1998;79(3):264-9.
31. Ferrari M, Manocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjor IA. Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent* 2000;13(5):255-60.

32. Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, et al. Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dent Mater* 2003;19(3):199-205.
33. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 2003;28(3):215-35.
34. Hill EE. Dental cements for definitive luting: a review and practical clinical considerations. *Dent Clin North Am* 2007;51(3):643-58.
35. Habib B, Von Fraunhofer JA, Driscoll CF. Comparison of two luting agents used for the retention of cast dowel and cores. *J Prosthodont* 2005;14(3):164-9.
36. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil* 2011;38(4):295-314.
37. Hill EE, Lott J. A clinically focused discussion of luting materials. *Aust Dent J* 2011;56 Suppl 1:67-76.
38. Pegoraro TA, da Silva NR, Carvalho RM. Cements for use in esthetic dentistry. *Dent Clin North Am* 2007;51(2):453-71.
39. Inoue S, Koshiro K, Yoshida Y, et al. Hydrolytic stability of self-etch adhesives bonded to dentin. *J Dent Res* 2005;84(12):1160-4.
40. Van Landuyt KI, Yoshida Y, Hirata I, et al. Influence of the chemical structure of functional monomers on their adhesive performance. *J Dent Res* 2008;87(8):757-61.
41. Belli R, Pelka M, Petschelt A, Lohbauer U. In vitro wear gap formation of self-adhesive resin cements: a CLSM evaluation. *J Dent* 2009;37(12):984-93.

42. Van Meerbeek B, De Munck J, Matter D, Van Landuyt K, Lambrechts P. Microtensile bond strengths of an etch&rinse and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent* 2003;28(5):647-60.
43. Mao H, Chen Y, Yip KH, Smales RJ. Effect of three radicular dentine treatments and two luting cements on the regional bond strength of quartz fibre posts. *Clin Oral Investig* 2011;15(6):869-78.
44. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli c, Ferrari M, Toledano M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 2008;87(10):974-9.
45. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci* 2004;112(4):353-61.
46. Erdemir U, Sar-Sancakli h, Yildiz E, Ozel S, Batur B. An in vitro comparison of different adhesive strategies on the micro push-out bond strength of a glass fiber post. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2010;16(4):e626-34.
47. Gomes Gm, Gomes OM, Reis A, et al. Regional bond strengths to root canal dentin of fiber posts luted with three cementation systems. *Braz Dent J* 2011;22(6):460-7.
48. Zaitter s, Sousa-Neto MD, Roperto RC, Silva-Sousa YT, El-Mowafy O. Microtensile bond strength of glass fiber posts cemented with self-adhesive and self-etching resin cements. *J Adhes Dent* 2011;13(1):55-9.
49. Bitter K, Meyer.Luecjel H, Priehn k, et al. Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. *Int Endod J* 2006;39(10):809-18.
50. Zicari F, Couthino E, De Munck J et al. Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. *Dent Mater* 2008;24(7):967-77.

51. Giachetti L, Grandini S, Calami P, Fantini G, Scaminaci Russo D. Translucent fiber post cementation using light- and dual-curing adhesive techniques and a self-adhesive material: push-out test. *J Dent* 2009;37(8):638-42.
52. Mazzoni A, Marchesi G, Cadenaro M, et al. Push-out stress for fibre posts luted using different adhesive strategies. *Eur J Oral Sci* 2009;117(4):447-53.
53. Nikaido T, Takano Y, Sasafuchi Y, Burrow MF, Tagami J. Bond strengths to endodontically-treated teeth. *Am J Dent* 1999;12(4):177-80.
54. Mitchell CA, Orr JF, Connor KN, Magill JP, Maguire GR. Comparative study of four glass ionomer luting cements during post pull-out tests. *Dent Mater* 1994;10(2):88-91.
55. Prisco D, De Santis R, Mollica F, et al. Fiber post adhesion to resin luting cements in the restoration of endodontically-treated teeth. *Oper Dent* 2003;28(5):515-21.
56. Dimitrouli M, Geurtsen W, Luhrs AK. Comparison of the push-out strength of two fiber post systems dependent on different types of resin cements. *Clin Oral Investig* 2012;16(3):899-908.
57. Roydhouse RH. Punch-shear test for dental purposes. *J Dent Res* 1970;49(1):131-6.
58. Drummond JL, Sakaguchi RL, Racean DC, Wozny J, Steinberg AD. Testing mode and surface treatment effects on dentin bonding. *J Biomed Mater Res* 1996;32(4):533-41.
59. Sudsangiam S, Van Noort R. Do dentin bond strength tests serve a useful purpose? *J Adhes Dent* 1999;1(1):57-67.
60. Sano H, Takatsu T, Ciucchi B, et al. Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 1995;20(1):18-25.

61. Sano H, Yoshiyama M, Ebisu S, et al. Comparative SEM and TEM observations of nanoleakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 1995;20(4):160-7.
62. Van Meerbeek B. The "myth" of nanoleakage. *J Adhes Dent*, 2007. 9(6): p. 491-2.
63. Pashley EL, Agee KA, Pashley DH, Tay FR. Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentine bonding. *J Dent* 2002;30:83-90.
64. Saboia VP, Nato F, Mazzoni A, et al. Adhesion of a two-step etch-and-rinse adhesive on collagen-depleted dentin. *J Adhes Dent* 2008;10(6):419-22.
65. Bitter K, Perdigao J, Hartwig C, Neumann K, Kielbassa AM. Nanoleakage of luting agents for bonding fiber posts after thermomechanical fatigue. *J Adhes Dent* 2011;13(1):61-9.
66. Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue S, et al. Microscopy investigations. Techniques, results, limitations. *Am J Dent* 2000;13:3D-18D.
67. Esclassan Noirrit E, Gregoire G, Cournot M. Morphological study of fiber-reinforced post-bonding system-root dentin interface by evaluation of two bonding systems. *J Dent* 2008;36(3):204-13.
68. Watzke R, Frankenberger R, Naumann M. Different scanning electron microscopic evaluation methods of cement interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Acta Odontol Scand* 2011;69(2):101-7.
69. Poggio C, Chiesa M, Lombardini M, Dagna A. Influence of ethanol drying on the bond between fiber posts and root canals: SEM analysis. *Quintessence Int* 2011;42(1):e15-21.
70. Poggio C, Chiesa M, Lombardini M, Dagna A. Influence of ethanol drying on the bond between fiber posts and root canals: SEM analysis. *Quintessence Int* 2011;42(1):e15-21.

71. Bitter K, Paris S, Martus P, Schartner R, Kielbassa AM. A Confocal Laser Scanning Microscope investigation of different dental adhesives bonded to root canal dentine. *Int Endod J* 2004;37(12):840-8.
72. Yoshida Y, Van Meerbeek B, Snauwaert J, et al. A novel approach to AFM characterization of adhesive tooth-biomaterial interfaces. *J Biomed Mater Res* 1999;47(1):85-90.
73. Perdigao J, Gomes g, Lee IK. The effect of silane on the bond strengths of fiber posts. *Dent Mater* 2006;22(8):752-8.
74. Mannocci F. Research that matters: restoration of endodontically treated teeth. *Int Endod J* 2013;46(5):389-90.
75. Mazzitelli C, Monticelli F, Toledano M, Ferrari M, Osorio R. Effect of thermal cycling on the bond strength of self-adhesive cements to fiber posts. *Clin Oral Investig* 2012;16(3):909-15.
76. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. The root and root canal morphology of the human mandibular first premolar: a literature review. *J Endod* 2007;33(5):509-16.
77. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. The root and root canal morphology of the human mandibular second premolar: a literature review. *J Endod* 2007;33(9):1031-7.
78. Juloski J, Giovani M, Radovic I, Chieffi N, Vulicevic Z, et al. Push-out bond strength of an experimental self-adhesive resin cement. *Eur J Oral Sci* 2013;121(1):50-6.
79. Perdigao J, Lopes MM, Gomes G. Interfacial adaptation of adhesive materials to root canal dentin. *J Endod* 2007;33(3):259-63.
80. Reid Lc, Kazemi RB, Meiers JC. Effect of fatigue testing on core integrity and post microleakage of teeth restored with different post systems. *J Endod* 2003;29(2):125-31.

81. Drummond JL, Toepke TR, King TJ. Thermal and cyclic loading of endodontic posts. *Eur J Oral Sci* 1999;107(3):220-4.
82. Purton DG, Chandler NP, Qualtrough AJ. Effect of thermocycling on the retention of glass-fiber root canal posts. *Quintessence Int* 2003;34(5):366-9.
83. Bitter K, Hambarayan A, Neumann K, Lunck U, Sterzenbach G. Various irrigation protocols for final rinse to improve bond strengths of fiber posts inside the root canal. *Eur J Oral Sci* 2013;121(4):349-54.
84. Ari H, Yasar E, Belli S. Effects of NaOCl on bond strengths of resin cements to root canal dentin. *J Endod* 2003;29(4):248-51.
85. Erdemir A, Ari H, Gungunes H, Belli S. Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod* 2004;30(2):113-6.
86. Ozturk B, Ozer F. Effect of NaOCl on bond strengths of bonding agents to pulp chamber lateral walls. *J Endod* 2004;30(5):362-5.
87. Gu XH, Mao CY, Liang C, Wang HM, Kern M. Does endodontic post space irrigation affect smear layer removal and bonding effectiveness? *Eur J Oral Sci* 2009;117(5):597-603.
88. Zhang L, Huang L, Xiong Y, Fang M, Chen JH, et al. Effect of post-space treatment on retention of fiber posts in different root regions using two self-etching systems. *Eur J Oral Sci* 2008;116(3):280-6.
89. Chen WP, Chen YY, Huang SH, Lin CP. Limitations of push-out test in bond strength measurement. *J Endod* 2013;39(2):283-7.
90. Castellan CS, Santos-Filho PC, Soares PV, Soares CJ, Cardoso PE. Measuring bond strength between fiber post and root dentin: a comparison of different tests. *J Adhes Dent* 2010;12(6):477-85.

91. Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Effects of eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod* 2001;27(6):411-4.
92. Pashley Dh, Carvalho RM, Sano H, et al. The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent* 1999;1(4):299-309.
93. Cekic-Nagas I, Ergun G, Nagas E, Tezvergil A, Vallittu P, et al. Comparison between regional micropush-out and microtensile bond strength of resin composite to dentin. *Acta Odontol Scand* 2008;66(2):73-81.
94. Soares CJ, Soare PV, Santana FR, Castro CG, Santos-Filho PCF, et al. Finite element analysis and bond strength of a glass post to intraradicular dentin: comparison between microtensile and push-out tests. *Dent Mater* 2008;24(10):1405-11.
95. Yuan Y, Shimada Y, Ichinose S, Tagami J. Qualitative analysis of adhesive interface nanoleakage using FE-SEM/EDS. *Dent Mater* 2007;23(5):561-9.
96. Sadighpour L, Rezaei S, Geramipناه F, Mohammadi M, Choubchian S. Comparison of two techniques for evaluation of coronal leakage along of a glass fiber post. *J Dent (Tehran)* 2010;7(3):124-31.
97. Perdigao J, Monteiro P, Gomes G, Santos V. Restoring teeth with prefabricated fiber-reinforced resin posts. *Pract Proced Aesthet Dent* 2007;19(6):359-64.
98. Sterzenbach G, Karajouli G, Naumann M, Peroz I, Bitter K. Fiber post placement with core build-up materials or resin cements-an evaluation of different adhesive approaches. *Acta Odontol Scand* 2012;70(5):368-76.
99. Schwartz RS, Richard S. Adhesive dentistry and endodontics. Part 2: bonding in the root canal system-the promise and the problems: a review. *J Endod* 2006;32(12):1125-34.

100. Ferrari M, Vichi A, Fadda GM, Cagidiaco MC, Tay FR, et al. A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars. *J Dent Res* 2012;91(7):72S-78S.
101. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, et al. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004;20(10):963-71.
102. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent* 2008;10(4):251-8.
103. Bitter K, Eirich W, Neumann K, Weiger R, Krastl G. Effect of cleaning method, luting agent and preparation procedure on the retention of fibre posts. *Int Endod J* 2012;45(12):1116-26.
104. Leme AA, Coutinho M, Insaurralde AF, Scaffa PM da Silva LM. The influence of time and cement type on push-out bond strength of fiber posts to root dentin. *Oper Dent* 2011;36(6):643-8.
105. Spinell T, Schedle A, Watts DC. Polymerization shrinkage kinetics of dimethacrylate resin-cements. *Dent Mater* 2009;25(8):1058-66.
106. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 1990;69(1):36-9.
107. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bertini F, Giuliani V. Translucent fiber post cementation using a light-curing adhesive/composite system: SEM analysis and pull-out test. *J Dent* 2004;32(8):629-34.
108. Monticelli F, Osorio R, Albadalejo A, et al. Effects of adhesive systems and luting agents on bonding of fiber posts to root canal dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2006;77(1):195-200.
109. Ilie N, Simon A. Effect of curing mode on the micro-mechanical properties of dual-cured self-adhesive resin cements. *Clin Oral Investig* 2012;16(2):505-12.

110. Lee IB, An W, Chang J, Um CM. Influence of ceramic thickness and curing mode on the polymerization shrinkage kinetics of dual-cured resin cements. *Dent Mater* 2008;24(8):1141-7.
111. Valentino TA, Borges GA, Borges LH, Vishal J, Martins LRM. Dual resin cement knoop hardness after different activation modes through dental ceramics. *Braz Dent J* 2010;21(2):104-10.
112. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H. Adhesion to root canal dentine using one and two-step adhesives with dual-cure composite core materials. *J Oral Rehabil* 2005;32(2):97-104.
113. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, et al. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater* 2005;21(5):437-44.
114. Sadek FT, Goracci C, Monticelli F, et al. Immediate and 24-hour evaluation of the interfacial strengths of fiber posts. *J Endod* 2006;32(12):1174-7.
115. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M. Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study. *Int J Prosthodont* 2003;16(6):593-6.
116. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia. *J Adhes Dent* 2003;5(2):153-62.
117. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K. Retention and failure morphology of prefabricated posts. *Int J Prosthodont*, 2004. 17(3): p. 307-12.
118. Sadighpour L, Rezaei S, Geramipناه F, Mohammadi M, Coubchian S. Comparison of two techniques for evaluation of coronal leakage along of a glass fiber post. *J Dent (Tehran)* 2010;7(3):124-31.

119. Bachicha WS, DiFiore PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH. Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts. *J Endod* 1998;24(11):703-8.
120. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF. Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: a confocal microscopic study. *J Prosthet Dent* 2001;85(3):284-91.
121. Pereira JR, Valle AL, Ghizoni J, Só MVR, Ramos MB, et al. Evaluation of push-out bond strength of four luting agents and SEM observation of the dentine/fibreglass bond interface. *Int Endod J* 2013;46(10):982-92.
122. Dallari, A. and L. Rovatti. *Six years of in vitro/in vivo experience with Composipost*. *Compend Contin Educ Dent. Suppl* 1996(20): S57-63.
123. Tay, F.R., et al. *Susceptibility of a polycaprolactone-based root canal filling material to degradation. Evidence of biodegradation from a simulated field test*. *Am J Dent* 2007;20(6):365-9.
124. Carrigan PJ, Morse DR, Furst ML, Snai IH. A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location. *J Endod* 1984;10(8):359-63.
125. Vichi A, Grandini S, Davidson CL, Ferrari M. An SEM evaluation of several adhesive systems used for bonding fiber posts under clinical conditions. *Dent Mater* 2002;18(7):495-502.
126. Bitter K, Aschendorff L, Neumann K, Blunck U, Sterzenbach G. Do chlorhexidine and ethanol improve bond strength and durability of adhesion of fiber posts inside the root canal? *Clin Oral Investig* 2014;18(3):927-34.
127. Baba NZ, Golden G, Goodacre CJ. Nonmetallic prefabricated dowels: a review of compositions, properties, laboratory, and clinical test results. *J Prosthodont* 2009;18(6):527-36.

128. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater* 2005;21(2):75-82.
129. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 1999;27(4):275-8.
130. Lassila LVJ, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater* 2004;20(1):29-36.
131. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater* 2007;23(3):265-71.
132. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M. SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent* 2005;7(3):235-40.
133. Zicari F, Coutinho E, Scotti R, Van Meerbeek B, Naert I. Mechanical properties and micro-morphology of fiber posts. *Dent Mater* 2013;29(4):e45-52.

10.ANEXOS

- **Grupo** → Grupo de trabajo al cual pertenecía la muestra:

GRUPO	SISTEMA DE CEMENTADO	SISTEMÁTICA DE POLIMERIZACIÓN
1	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Fotopolimerización inmediata 40 ''
2	GC G-CEM Automix®	Fotopolimerización inmediata 40 ''
3	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
4	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
5	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización
6	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización

- **Corte** → De cada muestra se obtuvieron tres especímenes. Corte 1, 2 y 3.
- **Fracaso** → Forma en la que falló la muestra durante el ensayo de *micro-pushout*:

1= Adhesivo entre el poste y el cemento de resina.

2= Mixto, con cemento de resina cubriendo del 0-50% del diámetro del poste.

3= Mixto, con cemento de resina cubriendo del 50-100% del diámetro del poste.

4= Adhesivo entre el cemento de resina y la dentina intrarradicular.

5= Fractura cohesiva de dentina.

6= Fractura cohesiva de cemento.

Anexo 1 .Registro de datos de los ensayos de *micro-pushout* y los tipos de fracasos.

Diente	Grupo	Corte	Carga de fracaso (N)	F Adhesión (Mpa)	Fracaso
1	3	1	45,3	10,03820777	3
1	3	2	87,62	18,16696523	3
1	3	3	69,28	14,36438429	4
2	1	1	8,08	1,897938253	4
2	1	2	23,66	4,905619692	4
2	1	3	71,06	14,73344613	3
3	1	1	21,78	5,335619794	3
3	1	2	61,04	12,65591826	3
3	1	3	46,48	9,637075372	4
4	2	1	2,74	0,671239588	4
4	2	2	3,24	0,671775478	4
4	2	3	4,56	0,945461783	4
5	2	1	4,42	1,082802548	4
5	2	2	15,42	3,197153662	4
5	2	3	4,28	0,887407113	4
6	2	1	9	2,114040133	3
6	2	2	6,74	1,397458864	2
6	2	3	10,52	2,181196921	4
7	4	1	3,6	0,881920627	3
7	4	2	17,14	3,553775212	4
7	4	3	20,24	4,196523355	4
8	4	1	2,52	0,617344439	3
8	4	2	18,58	3,852342091	2
8	4	3	6,82	1,414045913	3
9	3	1	12,86	2,897447047	1
9	3	2	36,5	7,56784103	1
9	3	3	66,72	13,83359873	4
10	1	1	14,74	3,610975012	4
10	1	2	14,68	3,043723461	4
10	1	3	34,58	7,169751858	4
11	2	1	3,98	0,975012249	4
11	2	2	3,04	0,630307856	2
11	2	3	1,82	0,377355361	2
12	3	1	36,38	8,83731329	2
12	3	2	57,7	11,96340897	3
12	3	3	68,96	14,29803609	3
13	1	1	43,48	10,65164135	3
13	1	2	63,06	13,07474124	2
13	1	3	74,88	15,52547771	3

Diente	Grupo	Corte	Carga de fracaso (N)	F Adhesión (Mpa)	Fracaso
14	4	1	5,58	1,299799343	4
14	4	2	19,74	4,092854299	3
14	4	3	12,16	2,521231423	4
15	3	1	4,84	1,185693288	3
15	3	2	11,7	2,425855892	4
15	3	3	24,18	5,01343551	3
16	4	1	9,22	2,202311611	4
16	4	2	20,8	4,312632696	3
16	4	3	15,9	3,296675955	3
17	1	1	25,98	5,95168191	3
17	1	2	67,58	14,0119095	2
17	1	3	40,94	8,48842224	4
18	4	1	2,12	0,485664575	4
18	4	2	7,44	1,542595541	4
18	4	3	12,26	2,541965234	4
19	3	1	26,52	6,442153613	3
19	3	2	24,16	5,009288747	5
19	3	3	13,4	2,778330679	4
20	2	1	62,28	15,25722685	5
20	2	2	33,96	7,041202229	5
20	2	3	77,2	16,00650212	5
21	3	1	124,54	30,50955414	4
21	3	2	56,24	11,66069533	1
21	3	3	32,1	6,655553344	1
22	1	1	5,88	1,404511092	2
22	1	2	35,8	7,422704352	3
22	1	3	60,82	12,61030387	2
23	2	1	59,74	14,39008573	4
23	2	2	12,9	2,674661624	3
23	2	3	55,48	11,50311837	4
24	5	1	13,02	3,189612935	1
24	5	2	28,06	5,817907378	4
24	5	3	56,12	11,63581476	3
25	3	1	20,56	4,26287155	4
25	3	2	21,56	4,47020966	3
25	3	3	15,22	3,15568604	4
26	6	1	21,84	4,528264331	3
26	6	2	17,14	3,553775212	3
26	6	3	17,26	3,578655786	3
27	5	1	8,9	2,038874865	4
27	5	2	19,94	4,134321921	4
27	5	3	68,52	14,20680732	4

Diente	Grupo	Corte	Carga de fracaso (N)	F Adhesión (Mpa)	Fracaso
28	2	1	4,72	1,156295933	4
28	2	2	27,84	5,772292994	4
28	2	3	30,96	6,419187898	4
29	6	1	23,98	5,632742488	2
29	6	2	7,06	1,463807059	4
29	6	3	5,54	1,148653132	4
30	5	1	71,32	17,03566856	1
30	5	2	71,32	14,78735403	1
30	5	3	63,76	13,21987792	3
31	3	1	36,92	8,81880094	3
31	3	2	42,96	8,907245223	1
31	3	3	62,2	12,89643047	3
32	6	1	29,22	7,158255757	4
32	6	2	19,66	4,076267251	4
32	6	3	6,2	1,285496285	4
33	2	1	5,04	1,135546899	4
33	2	2	4,98	1,03254379	3
33	2	3	6,6	1,368431529	4
34	4	1	7,08	1,595173024	4
34	4	2	8,28	1,716759554	3
34	4	3	18,32	3,798434183	4
35	6	1	7,26	1,719658814	4
35	6	2	4,08	0,84593949	3
35	6	3	10,34	2,143876062	4
36	4	1	19,3	4,728074473	4
36	4	2	7,56	1,567476115	4
36	4	3	18,66	3,86892914	4
37	6	1	25,56	6,261636453	4
37	6	2	30,54	6,332105892	4
37	6	3	61,22	12,69323912	4
38	5	1	37,9	9,28466438	1
38	5	2	48,24	10,00199045	2
38	5	3	62,84	13,02912686	2
39	1	1	39,44	8,886105097	1
39	1	2	36,3	7,526373408	1
39	1	3	47,9	9,931495488	1
40	6	1	18,64	4,566389025	4
40	6	2	6,28	1,302083333	4
40	6	3	4,84	1,003516454	3
41	5	1	31,9	7,187290887	2
41	5	2	38,26	7,932756104	1
41	5	3	23,3	4,830977972	2

Diente	Grupo	Corte	Carga de fracaso (N)	F Adhesión (Mpa)	Fracaso
42	6	1	17,76	4,068586248	4
42	6	2	4,02	0,833499204	3
42	6	3	4,3	0,891553875	2
43	5	1	35,46	8,191392491	3
43	5	2	29,74	6,166235403	4
43	5	3	12,74	2,641487527	4
44	4	1	28,38	6,610807409	4
44	4	2	15,46	3,205447187	4
44	4	3	17,72	3,674031316	4
45	1	1	54,06	12,18009233	1
45	1	2	61,08	12,66421178	1
45	1	3	58,08	12,04219745	2
46	5	1	24,92	5,952451772	4
46	5	2	38,64	8,011544586	2
46	5	3	49,92	10,35031847	2
47	6	1	25,72	5,794894094	3
47	6	2	15,28	3,168126327	3
47	6	3	2,36	0,489317941	3
48	5	1	62,12	13,99606614	4
48	5	2	58,16	12,0587845	2
48	5	3	44,46	9,218252389	2

Anexo 2. Resultados del análisis estadístico de los datos registrados con el test de *micro-pushout* y los tipos de fracasos.

VARIABLES CATEGÓRICAS

1

The FREQ Procedure

Table of CEMENTO by TECNICA

CEMENTO (CEMENTO)		TECNICA (TECNICA)			Total
Frequency	AUTO	COMBI	FOTO		
CORE	8	8	8	24	
MIX	8	8	8	24	
Total	16	16	16	48	

DESCRIPTIVA VARIABLE FUERZA

2

The MEANS Procedure

Std Variable	N	50th Mean	Dev	Min	Pctl	Max
f_media	48	6.232	4.259	0.661	4.676	16.275
f_mediana	48	5.934	4.289	0.630	4.584	15.257
f_maxima	48	8.907	5.897	0.945	7.164	30.510

DESCRIPTIVA VARIABLE FUERZA

3

The MEANS Procedure

N CEMENTO	Obs	Variable	N	Std Mean	Dev	50th Min	Pctl	Max
CORE	24	f_media	24	8.978	3.600	2.875	8.443	16.275
f_mediana	24	8.439	3.529	2.426	8.250	14.787		
f_maxima	24	12.555	5.279	4.470	12.780	30.510		
MIX	24	f_media	24	3.486	2.895	0.661	2.693	12.768
f_mediana	24	3.429	3.470	0.630	2.318	15.257		
f_maxima	24	5.258	3.926	0.945	4.255	16.007		

DESCRIPTIVA VARIABLE FUERZA

4

The MEANS Procedure

N TECNICA	Obs	Variable	N	Std Mean	Dev	50th Min	Pctl	Max
AUTO	16	f_media	16	6.239	3.873	1.570	6.158	15.014
f_mediana	16	5.669	4.016	0.892	4.976	14.787		
f_maxima	16	8.935	4.420	2.144	8.062	17.036		
COMBI	16	f_media	16	5.911	4.689	1.523	3.676	16.275
f_mediana	16	5.484	4.128	1.414	3.771	14.364		
f_maxima	16	8.735	7.499	2.542	4.871	30.510		
FOTO	16	f_media	16	6.547	4.433	0.661	7.162	13.084
f_mediana	16	6.648	4.861	0.630	6.597	15.257		
f_maxima	16	9.049	5.757	0.945	11.271	16.007		

DESCRIPTIVA VARIABLE FUERZA

5

The MEANS Procedure

CEMENTO	TECNICA	N Obs	Variable	N	Mean	Std Dev	Min	50th Pctl	Max
CORE	AUTO	8	f_media	8	8.955	3.245	5.666	7.493	15.014
f_mediana	8	8.521	3.548	4.134	7.599	14.787			
f_maxima	8	12.047	3.143	7.933	12.332	17.036			
f_mediana	COMBI	8	f_media	8	9.007	4.934	2.875	9.154	16.275
f_mediana	8	8.270	4.209	2.426	8.238	14.364			
f_maxima	8	13.204	8.576	4.470	13.365	30.510			
f_mediana	FOTO	8	f_media	8	8.973	2.775	4.608	8.995	13.084
f_mediana	8	8.526	3.249	3.611	8.687	13.075			
f_maxima	8	12.413	2.711	7.170	12.660	15.525			

50th CEMENTO	TECNICA	Obs	Variable	N	Mean	Dev	Min	Pctl	Max
MIX	AUTO	8	f_media	8	3.523	2.179	1.570	2.950	8.429
f_mediana	8	2.817	1.839	0.892	2.444	6.332			
f_maxima	8	5.823	3.137	2.144	5.100	12.693			
f_mediana	COMBI	8	f_media	8	2.816	0.925	1.523	2.758	4.497
f_mediana	8	2.699	1.028	1.414	2.909	3.869			
f_maxima	8	4.267	1.141	2.542	4.145	6.611			
f_mediana	FOTO	8	f_media	8	4.120	4.577	0.661	1.810	12.768
f_mediana	8	4.771	5.658	0.630	1.625	15.257			
f_maxima	8	5.685	6.148	0.945	2.689	16.007			

DESCRIPTIVA VARIABLE FRACASO

6

The FREQ Procedure

Fracaso

Fracaso	Frequency	Frequency	Cumulative
		1	15
		2	20
		3	39
		4	66
		5	144

Table of CEMENTO by Fracaso

CEMENTO (CEMENTO)	Fracaso (Fracaso)					Total
Frequency Row Pct Col Pct	1	2	3	4	5	
CORE	15	14	20	22	1	72
	20.83	19.44	27.78	30.56	1.39	
	100.00	70.00	51.28	33.33	25.00	
MIX	0	6	19	44	3	72
	0.00	8.33	26.39	61.11	4.17	
	0.00	30.00	48.72	66.67	75.00	
Total	15	20	39	66	4	144

Table of TECNICA by Fracaso

TECNICA (TECNICA)	Fracaso (Fracaso)					
Frequency						
RowPct						
Col Pct	1	2	3	4	5	Total
AUTO	5	10	12	21	0	48
	10.42	20.83	25.00	43.75	0.00	
	33.33	50.00	30.77	31.82	0.00	
COMBI	5	2	17	23	1	48
	10.42	4.17	35.42	47.92	2.08	
	33.33	10.00	43.59	34.85	25.00	
FOTO	5	8	10	22	3	48
	10.42	16.67	20.83	45.83	6.25	
	33.33	40.00	25.64	33.33	75.00	
Total	15	20	39	66	4	144

ANOVA BIFACTORIAL CON REPETICIÓN

1

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
CEMENTO	2	CORE MIX
TECNICA	3	AUTO COMBI FOTO

Number of Observations Read 48
 Number of Observations Used 48

ANOVA BIFACTORIAL CON REPETICIÓN

2

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: f_media FUERZA

Sum of Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	5	368.8002128	73.7600426	6.40	0.0002
Error	42	483.9127679	11.5217326		
Corrected Total	47	852.7129807			

R-Square CoeffVar Root MSE f_media Mean
 0.432502 54.46444 3.394368 6.232264

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CEMENTO	1	361.9650178	361.9650178	31.42	<.0001
TECNICA	2	3.2340994	1.6170497	0.14	0.8695
CEMENTO*TECNICA	2	3.6010956	1.8005478	0.16	0.8558

ANOVA BIFACTORIAL CON REPETICIÓN

3

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: f_mediana FUERZA

Sum of Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr> F
Model	5	323.2446784	64.6489357	5.02	0.0011
Error	42	541.2097617	12.8859467		
Corrected Total	47	864.4544402			

R-Square	CoeffVar	Root MSE	f_mediana Mean
0.373929	60.49628	3.589700	5.933754

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr> F
CEMENTO	1	301.2279641	301.2279641	23.38	<.0001
TECNICA	2	12.5255338	6.2627669	0.49	0.6185
CEMENTO*TECNICA	2	9.4911805	4.7455903	0.37	0.6941

ANOVA BIFACTORIAL CON REPETICIÓN

4

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: f_maxima FUERZA

Sum of Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr> F
Model	5	656.278776	131.255755	5.64	0.0005
Error	42	978.079721	23.287612		
Corrected Total	47	1634.358498			

R-Square	CoeffVar	Root MSE	f_maxima Mean
0.401551	54.18182	4.825724	8.906537

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr> F
CEMENTO	1	638.8081092	638.8081092	27.43	<.0001
TECNICA	2	0.8077963	0.4038982	0.02	0.9828
CEMENTO*TECNICA	2	16.6628708	8.3314354	0.36	0.7013

ANOVA BIFACTORIAL CON REPETICIÓN

5

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for f_media

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	42
Error Mean Square	11.52173

Number of Means	2	3
Critical Range	2.422	2.547

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TECNICA
A	6.547	16	FOTO
A	6.239	16	AUTO
A	5.911	16	COMBI

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for f_{mediana}

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	42
Error Mean Square	12.88595

Number of Means	2	3
Critical Range	2.561	2.693

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TECNICA
A	6.648	16	FOTO
A			
A	5.669	16	AUTO
A			
A	5.484	16	COMBI

The ANOVA Procedure

Duncan's Multiple Range Test for f_{maxima}

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	42
Error Mean Square	23.28761

Number of Means	2	3
Critical Range	3.443	3.621

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	TECNICA
A	9.049	16	FOTO
A			
A	8.935	16	AUTO
A			
A	8.735	16	COMBI

- **Corte** → Pertenece a la zona: 1: Apical 2: Medio 3: Coronal.
- **Grupo** → Grupo de trabajo al cual pertenecía la muestra:

GRUPO	SISTEMA DE CEMENTADO	SISTEMÁTICA DE POLIMERIZACIÓN
1	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Fotopolimerización inmediata 40''
2	GC G-CEM Automix®	Fotopolimerización inmediata 40''
3	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40''
4	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40''
5	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización
6	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización

- **Radio** → Distancia desde el centro del poste de fibra hasta la interfase cemento-dentina.
- **Long tot (mm)** → Longitud total de la interfase medida en milímetros y calculada aplicando la fórmula: $L = 2 \pi r$
- **Long filt (mm)** → Longitud de la interfase con depósitos de nitrato de plata (medida en milímetros).
- **Grupo microf** → Clasificación de la longitud filtrada en función de la longitud total de la interfase:
 - Grupo 1: < 25 % de microfiltración.
 - Grupo 2: 25 ≤ 50% de microfiltración.
 - Grupo 3: 50 ≤ 75% de microfiltración.
 - Grupo 4: > 75% de microfiltración.

Anexo 3.Registro de datos de los ensayos de microfiltración.

DIENTE	CORTE	GRUPO	RADIO	LONG TOT mm	LONG FILT mm	GRUPO MICROF
1	1	2	0,585	3,6738	3,58	4
1	2	2	0,72	4,5216	4,48	4
1	3	2	0,69	4,3332	2,75	3
2	1	4	0,62	3,8936	3,78	4
2	2	4	0,655	4,1134	3,75	4
2	3	4	0,675	4,239	4,12	4
3	1	3	0,525	3,297	2,2	3
3	2	3	0,64	4,0192	3,98	4
3	3	3	0,64	4,0192	3,91	4
4	1	1	0,53	3,3284	3,09	4
4	2	1	0,63	3,9564	3,49	4
4	3	1	0,655	4,1134	2,97	3
5	1	3	0,45	2,826	2,78	4
5	2	3	0,6	3,768	2,44	3
5	3	3	0,645	4,0506	3,4	4
6	1	2	0,505	3,1714	3,06	4
6	2	2	0,625	3,925	3,9	4
6	3	2	0,655	4,1134	2,57	3
7	1	1	0,48	3,0144	2,05	3
7	2	1	0,62	3,8936	3,75	4
7	3	1	0,625	3,925	2,89	3
8	1	4	0,44	2,7632	2,37	4
8	2	4	0,635	3,9878	3,76	4
8	3	4	0,595	3,7366	3,7	4
9	1	1	0,49	3,0772	2,09	3
9	2	1	0,66	4,1448	3,09	3
9	3	1	0,66	4,1448	2,7	3
10	1	3	0,445	2,7946	2,54	4
10	2	3	0,57	3,5796	3,48	4
10	3	3	0,635	3,9878	2,26	3
11	1	4	0,59	3,7052	3,65	4
11	2	4	0,63	3,9564	3,27	4
11	3	4	0,64	4,0192	3,3	4
12	1	2	0,465	2,9202	2,38	4
12	2	2	0,62	3,8936	3,24	4
12	3	2	0,655	4,1134	3,24	4
13	1	6	0,555	3,4854	3,3	4
13	2	6	0,62	3,8936	3,55	4
13	3	6	0,7	4,396	2,48	3

DIENTE	CORTE	GRUPO	RADIO	LONG TOT mm	LONG FILT mm	GRUPO MICROF
14	1	5	0,47	2,9516	2,18	3
14	2	5	0,625	3,925	2,83	3
14	3	5	0,65	4,082	3,47	4
15	1	6	0,5	3,14	1,79	3
15	2	6	0,635	3,9878	2,45	3
15	3	6	0,65	4,082	2,67	3
16	1	6	0,475	2,983	0,76	2
16	2	6	0,63	3,9564	1,42	2
16	3	6	0,67	4,2076	1,57	2
17	1	5	0,46	2,8888	1,75	3
17	2	5	0,635	3,9878	2,34	3
17	3	5	0,675	4,239	2,33	3
18	1	5	0,475	2,983	0,99	2
18	2	5	0,67	4,2076	3,28	4
18	3	5	0,69	4,3332	3,19	3

Anexo 4. Resultados del análisis estadístico de los datos registrados con el estudio de microfiltración.

VARIABLES CATEGÓRICAS

1

The FREQ Procedure

Table 1 of TECNICA by CORTE

Controlling for CEMENTO=CORE

TECNICA (TECNICA)	CORTE (CORTE)			Total
Frequency	1	2	3	
AUTO	3	3	3	9
COMBI	3	3	3	9
FOTO	3	3	3	9
Total	9	9	9	27

Table 2 of TECNICA by CORTE

Controlling for CEMENTO=MIX

TECNICA (TECNICA)	CORTE (CORTE)			Total
Frequency	1	2	3	
AUTO	3	3	3	9
COMBI	3	3	3	9
FOTO	3	3	3	9
Total	9	9	9	27

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

2

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

Std	50th	N	Mean	Dev	Min	Pctl	Max
		54	3.463	0.636	2.000	4.000	4.000

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

3

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

CEMENTO	N	Obs	N	Mean	Std Dev	Min	50th Pctl	Max
CORE	27	27	27	3.370	0.565	2.000	3.000	4.000
MIX	27	27	27	3.556	0.698	2.000	4.000	4.000

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

4

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

TECNICA	Obs	N	N	Mean	Std Dev	Min	Pctl	Max	50th
AUTO		18	18	3.000	0.686	2.000	3.000	4.000	
COMBI	18	18	18	3.833	0.383	3.000	4.000	4.000	
FOTO		18	18	3.556	0.511	3.000	4.000	4.000	

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

5

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

CORTE	N Obs	N	Mean	Std Dev	Min	50th Pctl	Max
1	18	18	3.444	0.705	2.000	4.000	4.000
2	18	18	3.611	0.608	2.000	4.000	4.000
3	18	18	3.333	0.594	2.000	3.000	4.000

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

6

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

CEMENTO	TECNICA	Obs	N N	Mean	Dev	Std Min	Pctl	50th Max
CORE	AUTO	9	9	3.111	0.601	2.000	3.000	4.000
COMBI	9	9	3.667	0.500	3.000	4.000	4.000	
	FOTO	9	9	3.333	0.500	3.000	3.000	4.000
MIX	AUTO	9	9	2.889	0.782	2.000	3.000	4.000
	COMBI	9	9	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
	FOTO	9	9	3.778	0.441	3.000	4.000	4.000

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

7

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

CEMENTO	CORTE	Obs	N N	Mean	Std Dev	Min	50th Pctl	Max
CORE	1	9	9	3.222	0.667	2.000	3.000	4.000
	2	9	9	3.556	0.527	3.000	4.000	4.000
	3	9	9	3.333	0.500	3.000	3.000	4.000
MIX	1	9	9	3.667	0.707	2.000	4.000	4.000
	2	9	9	3.667	0.707	2.000	4.000	4.000
	3	9	9	3.333	0.707	2.000	3.000	4.000

DESCRIPTIVA VARIABLE microfiltracion

8

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

TECNICA	CORTE	Obs	N N	Mean	Dev	Std Min	Pctl	50th Max
AUTO	1	6	6	2.833	0.753	2.000	3.000	4.000
2	6	6	3.167	0.753	2.000	3.000	4.000	
	3	6	6	3.000	0.632	2.000	3.000	4.000
COMBI	1	6	6	3.833	0.408	3.000	4.000	4.000
	2	6	6	3.833	0.408	3.000	4.000	4.000
	3	6	6	3.833	0.408	3.000	4.000	4.000
FOTO	1	6	6	3.667	0.516	3.000	4.000	4.000
	2	6	6	3.833	0.408	3.000	4.000	4.000
	3	6	6	3.167	0.408	3.000	3.000	4.000

The MEANS Procedure

Analysis Variable : MICROFILTRACION MICROFILTRACION

CEMENTO	TECNICA	CORTE	N		Mean	Std Dev	50th		
			Obs	N			Min	Pct1	Max
CORE	AUTO	1	3	3	2.667	0.577	2.000	3.000	3.000
		2	3	3	3.333	0.577	3.000	3.000	4.000
		3	3	3	3.333	0.577	3.000	3.000	4.000
	COMBI	1	3	3	3.667	0.577	3.000	4.000	4.000
		2	3	3	3.667	0.577	3.000	4.000	4.000
		3	3	3	3.667	0.577	3.000	4.000	4.000
	FOTO	1	3	3	3.333	0.577	3.000	3.000	4.000
		2	3	3	3.667	0.577	3.000	4.000	4.000
		3	3	3	3.000	0.000	3.000	3.000	3.000
MIX	AUTO	1	3	3	3.000	1.000	2.000	3.000	4.000
		2	3	3	3.000	1.000	2.000	3.000	4.000
		3	3	3	2.667	0.577	2.000	3.000	3.000
	COMBI	1	3	3	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
		2	3	3	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
		3	3	3	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
	FOTO	1	3	3	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
		2	3	3	4.000	0.000	4.000	4.000	4.000
		3	3	3	3.333	0.577	3.000	3.000	4.000

The FREQ Procedure

MICROFILTRACION

MICROFILTRACION	Frequency	Cumulative Frequency
2	4	4
3	21	25
4	29	54

Chi-Square Test

for Equal Proportions

Chi-Square	18.1111
DF	2

Pr>ChiSq 0.0001

Sample Size = 54

Table of CEMENTO by MICROFILTRACION

CEMENTO (CEMENTO)
MICROFILTRACION (MICROFILTRACION)

		Frequency			Total
		2	3	4	
CORE	Row Pct	1	15	11	27
	Col Pct	3.70	55.56	40.74	
25.00	71.43	37.93			
MIX	Row Pct	3	6	18	27
	Col Pct	5.56	11.11	33.33	
11.11	22.22	66.67			
75.00	28.57	62.07			
Total		4	21	29	54

The FREQ Procedure

Statistics for Table of CEMENTO by MICROFILTRACION

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	2	6.5468	0.0379
Likelihood Ratio Chi-Square	2	6.7378	0.0344
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	1.1452	0.2846
Phi Coefficient		0.3482	
Contingency Coefficient		0.3288	
Cramer's V		0.3482	

WARNING: 33% of the cells have expected counts less than 5. Chi-Square may not be a valid test.

Sample Size = 54

Table of TECNICA by MICROFILTRACION

TECNICA (TECNICA)

MICROFILTRACION (MICROFILTRACION)

Frequency |
RowPct |

Col Pct	2	3	4	Total
AUTO	4	10	4	18
	22.22	55.56	22.22	
	100.00	47.62	13.79	
COMBI	0	3	15	18
	0.00	16.67	83.33	
	0.00	14.29	51.72	
FOTO	0	8	10	18
	0.00	44.44	55.56	
	0.00	38.10	34.48	
Total	4	21	29	54

The FREQ Procedure

Statistics for Table of TECNICA by MICROFILTRACION

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	4	17.9901	0.0012
Likelihood Ratio Chi-Square	4	19.7750	0.0006
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	6.8712	0.0088
Phi Coefficient		0.5772	
Contingency Coefficient		0.4999	
Cramer's V		0.4081	

WARNING: 33% of the cells have expected counts less than 5. Chi-Square may not be a valid test.

Sample Size = 54

Table of CORTE by MICROFILTRACION

CORTE (CORTE)

MICROFILTRACION (MICROFILTRACION)

Frequency Row Pct Col Pct	2	3	4	Total
1	2	6	10	18
	11.11	33.33	55.56	
	50.00	28.57	34.48	
2	1	5	12	18
	5.56	27.78	66.67	
	25.00	23.81	41.38	
3	1	10	7	18
	5.56	55.56	38.89	
	25.00	47.62	24.14	
Total	4	21	29	54

The FREQ Procedure

Statistics for Table of CORTE by MICROFILTRACION

Statistic	DF	Value	Prob
Chi-Square	4	3.8103	0.4323
Likelihood Ratio Chi-Square	4	3.7387	0.4425
Mantel-Haenszel Chi-Square	1	0.2748	0.6001
Phi Coefficient		0.2656	
Contingency Coefficient		0.2567	
Cramer's V		0.1878	

WARNING: 33% of the cells have expected counts less than 5. Chi-Square may not be a valid test.

Sample Size = 54

TEST DE SUMA DE RANGOS DE WILCOXON (CEMENTO)

1

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	27	667.50	742.50	51.252013	24.722222
MIX	27	817.50	742.50	51.252013	30.277778

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic	667.5000
Normal Approximation	
Z	-1.4536
One-Sided Pr < Z	0.0730
Two-Sided Pr > Z	0.1461

t Approximation

One-Sided Pr < Z	0.0760
Two-Sided Pr > Z	0.1520

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square	2.1414
DF	1
Pr > Chi-Square	0.1434

----- TECNICA=AUTO -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	92.50	85.50	10.186496	10.277778
MIX	9	78.50	85.50	10.186496	8.722222

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 92.5000

Normal Approximation

Z 0.6381

One-Sided Pr> Z 0.2617

Two-Sided Pr> |Z| 0.5234

t Approximation

One-Sided Pr> Z 0.2660

Two-Sided Pr> |Z| 0.5319

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 0.4722

DF 1
Pr> Chi-Square 0.4920

----- TECNICA=COMBI -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	72.0	85.50	7.321403	8.0
MIX	9	99.0	85.50	7.321403	11.0

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 72.0000

Normal Approximation

Z -1.7756

One-Sided Pr< Z 0.0379

Two-Sided Pr> |Z| 0.0758

t Approximation

One-Sided Pr< Z 0.0468

Two-Sided Pr> |Z| 0.0937

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 3.4000

DF 1
Pr> Chi-Square 0.0652

----- TECNICA=FOTO -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	67.50	85.50	9.761871	7.50
MIX	9	103.50	85.50	9.761871	11.50

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 67.5000

Normal Approximation

Z -1.7927

One-Sided Pr< Z 0.0365

Two-Sided Pr> |Z| 0.0730

t Approximation

One-Sided Pr< Z 0.0454

Two-Sided Pr> |Z| 0.0908

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 3.4000

DF 1
Pr> Chi-Square 0.0652

----- CORTE=1 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	69.50	85.50	10.082017	7.722222
MIX	9	101.50	85.50	10.082017	11.277778

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 69.5000

Normal Approximation

Z -1.5374

One-Sided Pr< Z 0.0621

Two-Sided Pr> |Z| 0.1242

t Approximation

One-Sided Pr< Z 0.0713

Two-Sided Pr> |Z| 0.1426

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 2.5185

DF 1
Pr> Chi-Square 0.1125

----- CORTE=2 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	78.50	85.50	9.367497	8.722222
MIX	9	92.50	85.50	9.367497	10.277778

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 78.5000

Normal Approximation

Z -0.6939

One-Sided Pr< Z 0.2439

Two-Sided Pr> |Z| 0.4878

t Approximation

One-Sided Pr< Z 0.2486

Two-Sided Pr> |Z| 0.4971

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 0.5584

DF 1
Pr> Chi-Square 0.4549

----- CORTE=3 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CEMENTO

CEMENTO	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
CORE	9	84.0	85.50	9.949874	9.333333
MIX	9	87.0	85.50	9.949874	9.666667

Average scores were used for ties.

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic 84.0000

Normal Approximation

Z -0.1005

One-Sided Pr< Z 0.4600

Two-Sided Pr> |Z| 0.9199

t Approximation

One-Sided Pr< Z 0.4606

Two-Sided Pr> |Z| 0.9211

Z includes a continuity correction of 0.5.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 0.0227

DF 1
Pr> Chi-Square 0.8802

TEST DE KRUSKAL-WALLIS (TECNICA)

8

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	18	320.0	495.0	48.320862	17.777778
COMBI	18	645.0	495.0	48.320862	35.833333
FOTO	18	520.0	495.0	48.320862	28.888889

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

DF	2	Chi-Square	15.3468
		Pr > Chi-Square	0.0005

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====
    
```

9

VAR.INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	18	17.7778
COMBI	2	18	35.8333
FOTO	3	18	28.8889

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====
    
```

10

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
	1	2	-18.0556	-3.44306	0.00058 *
	1	3	-11.1111	-2.11881	0.03411
	2	3	6.9444	1.32425	0.18542

----- CEMENTO=CORE -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	9	99.0	126.0	16.970563	11.000000
COMBI	9	159.0	126.0	16.970563	17.666667
FOTO	9	120.0	126.0	16.970563	13.333333

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 4.2917
DF 2
Pr > Chi-Square 0.1170

----- CEMENTO=MIX -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	9	69.00	126.0	16.176907	7.666667
FOTO	9	142.50	126.0	16.176907	15.833333
COMBI	9	166.50	126.0	16.176907	18.500000

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 13.1490
DF 2
Pr > Chi-Square 0.0014

===== TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES =====

VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****

SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION ULT.MOD.:16/05/2000

VAR.INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	9	11.0000
COMBI	2	9	17.6667
FOTO	3	9	13.3333

===== TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES =====

NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)

SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION ULT.MOD.:16/05/2000

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
	1	2	-6.66667	-1.78174	0.07479
	1	3	-2.33333	-0.62361	0.53288
	2	3	4.33333	1.15813	0.24681

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====

```

15

VAR.INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	9	7.6667
COMBI	2	9	18.5000
FOTO	3	9	15.8333

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====

```

16

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
	1	2	-10.8333	-2.89533	0.00379 *
	1	3	-8.1667	-2.18263	0.02906
	2	3	2.6667	0.71270	0.47603

TEST DE KRUSKAL-WALLIS (TECNICA POR CORTE)

17

----- CORTE=1 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	6	33.0	57.0	9.505416	5.500000
COMBI	6	73.0	57.0	9.505416	12.166667
FOTO	6	65.0	57.0	9.505416	10.833333

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

```

Chi-Square      6.6111
DF              2
Pr> Chi-Square  0.0367

```

TEST DE KRUSKAL-WALLIS (TECNICA POR CORTE)

18

----- CORTE=2 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	6	38.00	57.0	8.831761	6.333333
COMBI	6	66.50	57.0	8.831761	11.083333
FOTO	6	66.50	57.0	8.831761	11.083333

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

```

Chi-Square      4.6282
DF              2
Pr> Chi-Square  0.0989

```

----- CORTE=3 -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable TECNICA

TECNICA	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
AUTO	6	42.00	57.0	9.380832	7.000000
COMBI	6	81.50	57.0	9.380832	13.583333
FOTO	6	47.50	57.0	9.380832	7.916667

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

DF	2	Chi-Square	6.9356
		Pr > Chi-Square	0.0312

===== TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES =====

VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****

SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION ULT.MOD.:16/05/2000

VAR. INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	6	5.5000
COMBI	2	6	12.1667
FOTO	3	6	10.8333

===== TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES =====

NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)

SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION ULT.MOD.:16/05/2000

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
	1	2	-6.66667	-2.16295	0.03054
	1	3	-5.33333	-1.73036	0.08357
	2	3	1.33333	0.43259	0.66531

===== TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES =====

VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****

SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION ULT.MOD.:16/05/2000

VAR. INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	6	6.3333
COMBI	2	6	11.0833
FOTO	3	6	11.0833

20

21

22

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====

```

23

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
	1	2	-4.75	-1.54110	0.12329
	1	3	-4.75	-1.54110	0.12329
	2	3	0.00	0.00000	1.00000

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
VARIABLE DE AGRUPACION: tecnica
VARIABLE DE ANALISIS: microfiltracion
**** TAMAÑO Y RANGO PROMEDIO DE LOS GRUPOS ****
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====

```

24

VAR.INDEP. (tecnica)	NUMERO GRUPO	TAMAÑO GRUPO	RANGO PROMEDIO
AUTO	1	6	7.0000
COMBI	2	6	13.5833
FOTO	3	6	7.9167

```

=====
TEST NO PARAMETRICO DE COMPARACIONES MÚLTIPLES
-----
NIVEL DE SIGNIFICACION GLOBAL ALPHA =0.05
NUMERO DE GRUPOS K=3
SIGNIF. ENTRE GRUPOS (*) SI P-VALOR<=ALPHA/(K*(K-1)/2)
-----
SERVICIOS INFORMATICOS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
DPTO. APOYO A INVESTIGACION          ULT.MOD.:16/05/2000
=====

```

25

GRUPO (I)	GRUPO (J)	DIF (I, J)	Z (I, J)	P-VALOR	SIG.
1	2	-6.58333	-2.13592	0.03269	
1	3	-0.91667	-0.29741	0.76616	
2	3	5.66667	1.83851	0.06599	

TEST DE KRUSKAL-WALLIS (CORTE)

26

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	18	495.00	495.0	48.320862	27.500000
2	18	557.50	495.0	48.320862	30.972222
3	18	432.50	495.0	48.320862	24.027778

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

```

Chi-Square      2.2306
DF              2
Pr> Chi-Square  0.3278

```

----- CEMENTO=CORE -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	9	112.0	126.0	16.970563	12.444444
2	9	146.0	126.0	16.970563	16.222222
3	9	120.0	126.0	16.970563	13.333333

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 1.4630
DF 2
Pr> Chi-Square 0.4812

----- CEMENTO=MIX -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	9	138.0	126.0	16.176907	15.333333
2	9	138.0	126.0	16.176907	15.333333
3	9	102.0	126.0	16.176907	11.333333

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 2.2011
DF 2
Pr> Chi-Square 0.3327

----- TECNICA=AUTO -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	6	50.0	57.0	9.603921	8.333333
2	6	64.0	57.0	9.603921	10.666667
3	6	57.0	57.0	9.603921	9.500000

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 0.7083
DF 2
Pr> Chi-Square 0.7018

----- TECNICA=COMBI -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	6	57.0	57.0	6.902685	9.50
2	6	57.0	57.0	6.902685	9.50
3	6	57.0	57.0	6.902685	9.50

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 0.0000
DF 2
Pr> Chi-Square 1.0000

----- TECNICA=FOTO -----

The NPAR1WAY Procedure

Wilcoxon Scores (Rank Sums) for Variable MICROFILTRACION
Classified by Variable CORTE

CORTE	N	Sum of Scores	Expected Under H0	Std Dev Under H0	Mean Score
1	6	63.0	57.0	9.203580	10.50
2	6	72.0	57.0	9.203580	12.00
3	6	36.0	57.0	9.203580	6.00

Average scores were used for ties.

Kruskal-Wallis Test

Chi-Square 5.5250
DF 2
Pr> Chi-Square 0.0631

Anexo 5 .Imágenes tomadas con el MEB a 50X y electrones retrodispersados.

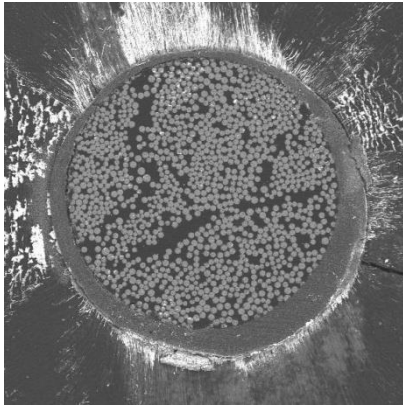
D= Nº de diente

C= Nivel del corte 1: Apical 2: Medio 3: Coronal

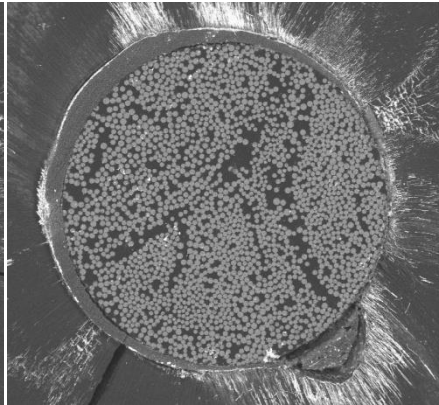
G= Grupo de trabajo

GRUPO	SISTEMA DE CEMENTADO	SISTEMÁTICA DE POLIMERIZACIÓN
G1	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Fotopolimerización inmediata 40 ''
G2	GC G-CEM Automix®	Fotopolimerización inmediata 40 ''
G3	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
G4	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización 5' + Fotopolimerización 40 ''
G5	GC Self-etching bond® + GC Gradia core®	Autopolimerización
G6	GC G-CEM Automix®	Autopolimerización

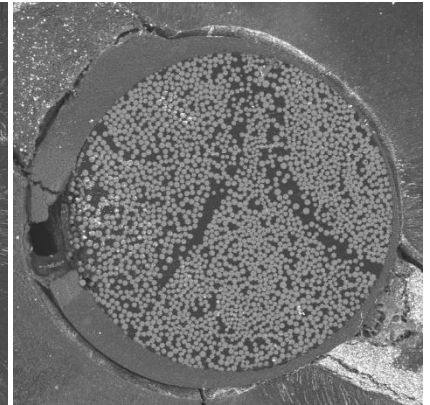
Imágenes distribuidas en orden creciente según el número de diente de izquierda a derecha y de arriba abajo.



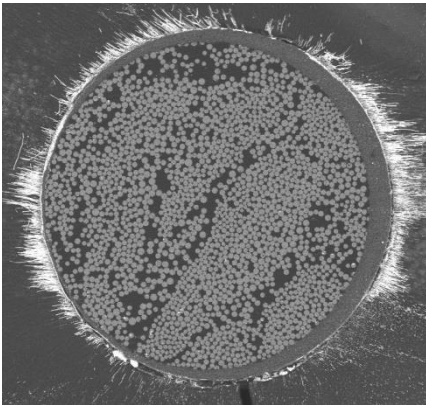
D1C1G2



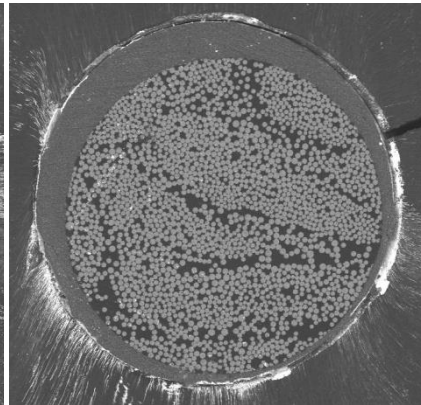
D1C2G2



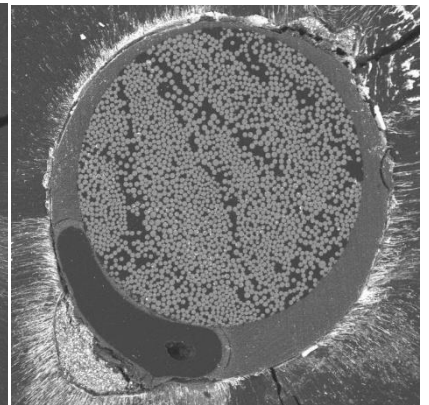
D1C3G2



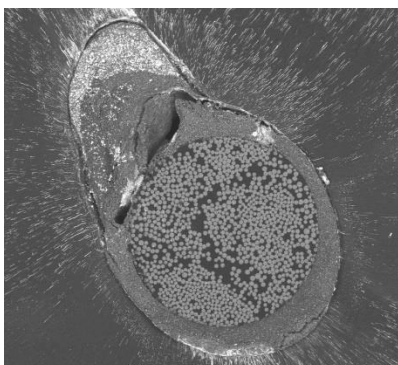
D2C1G4



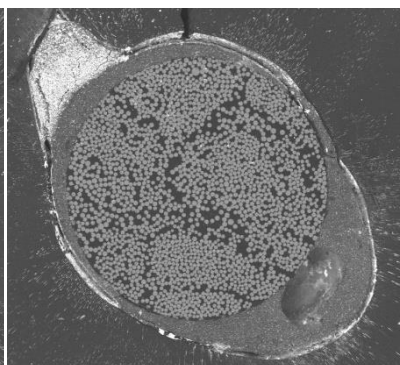
D2C2G4



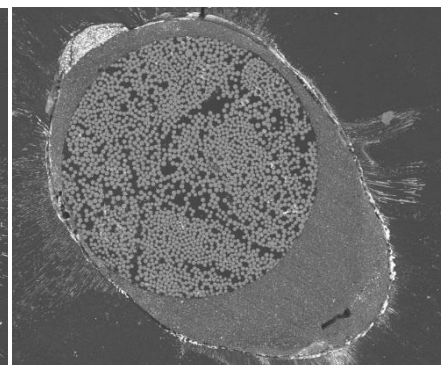
D2C3G4



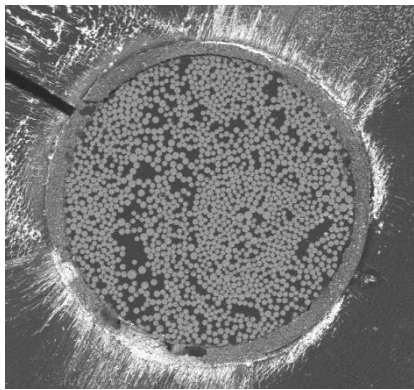
D3C1G3



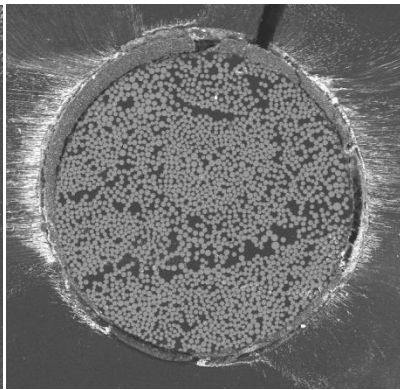
D3C2G3



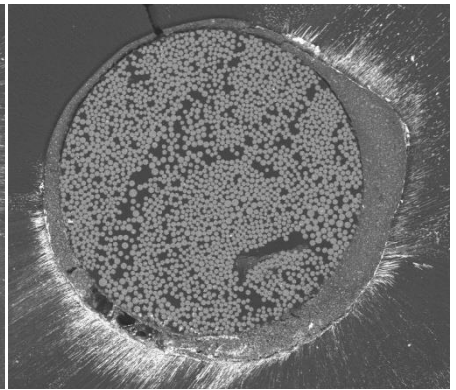
D3C3G3



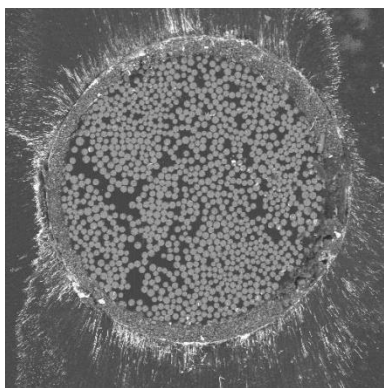
D4C1G1



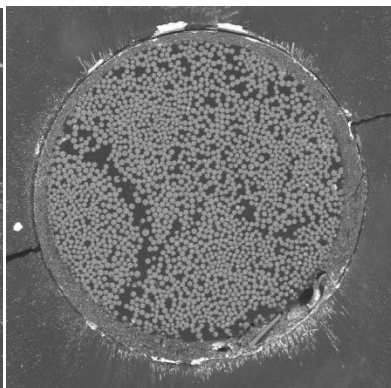
D4C2G1



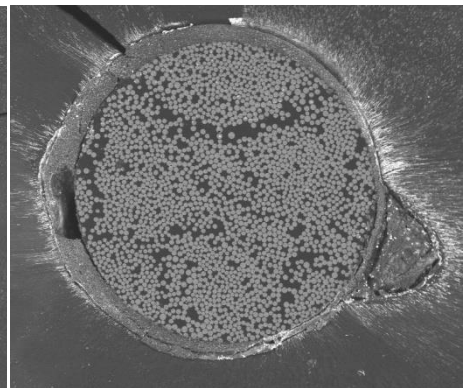
D4C3G1



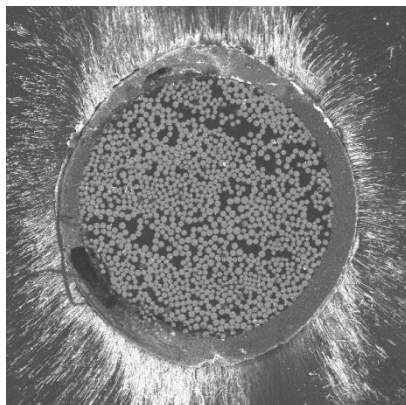
D5C1G3



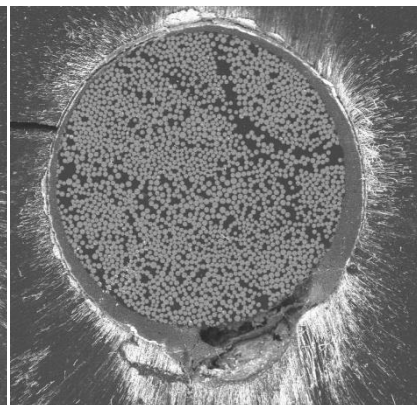
D5C2G3



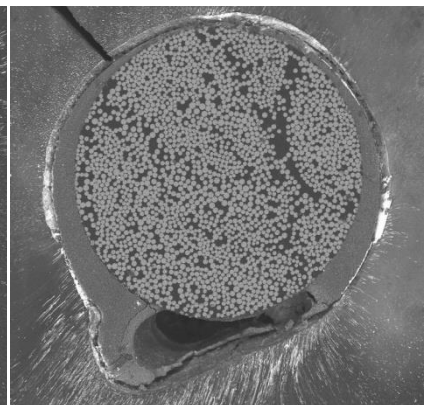
D5C3G3



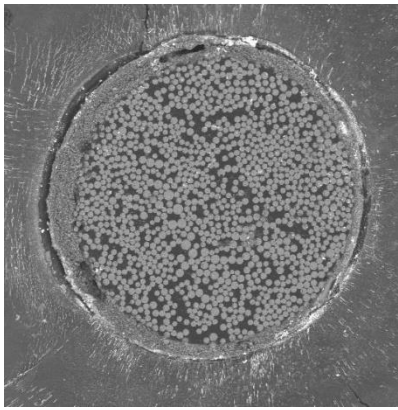
D6C1G2



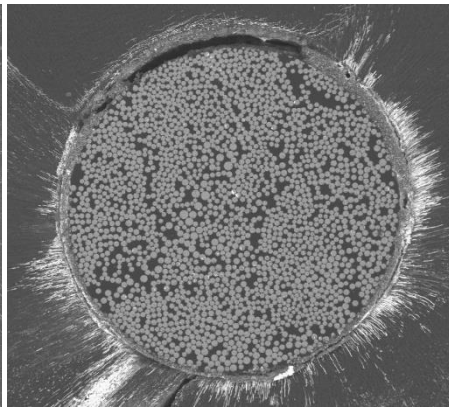
D6C2G2



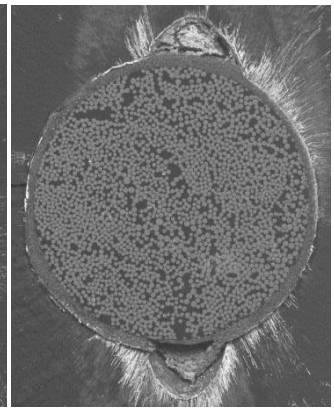
D6C3G2



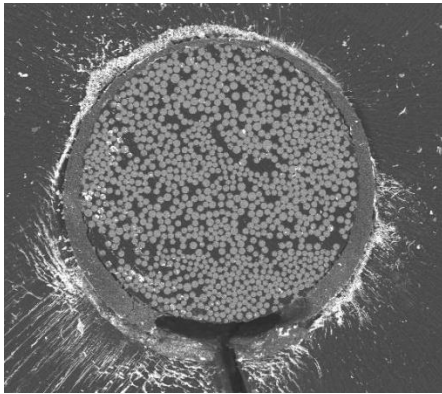
D7C1G1



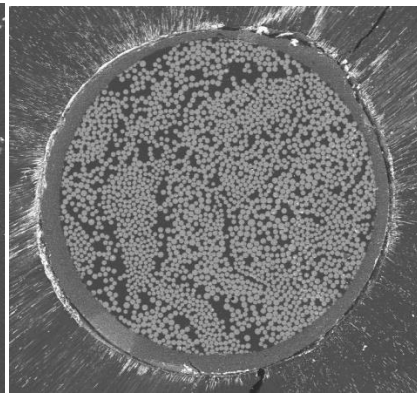
D7C2G1



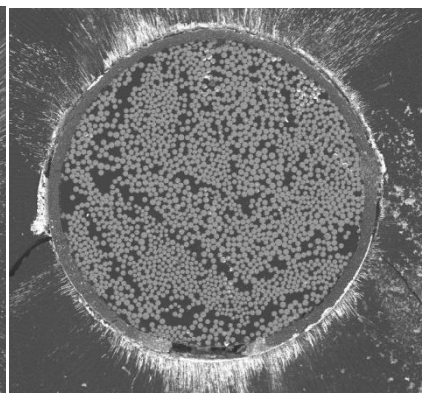
D7C3G1



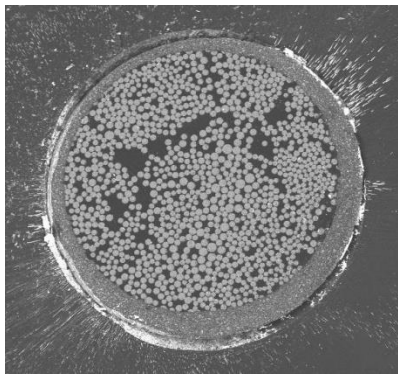
D8C1G4



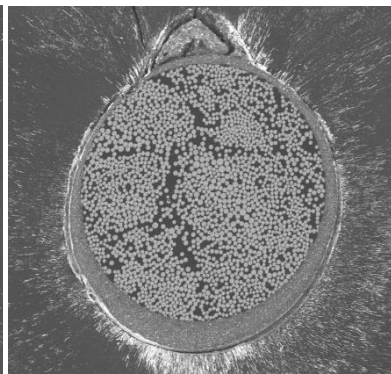
D8C2G4



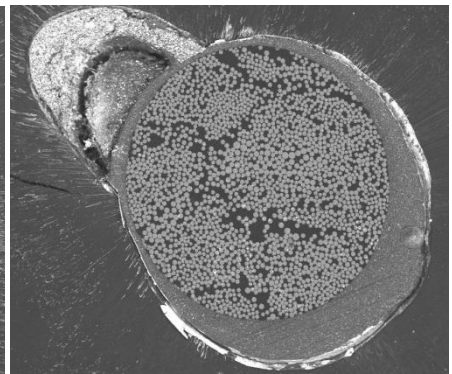
D8C3G4



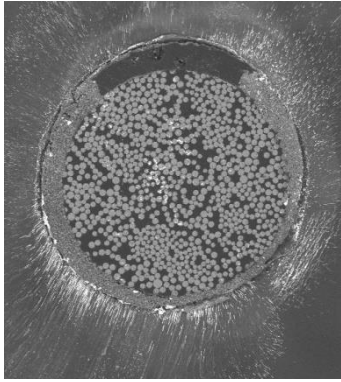
D9C1G1



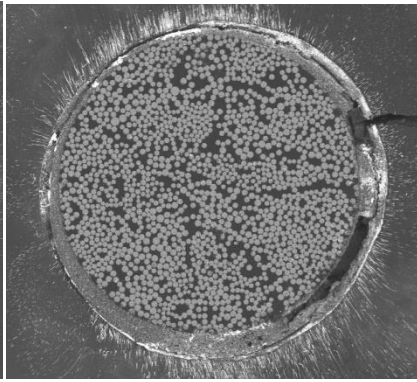
D9C2G1



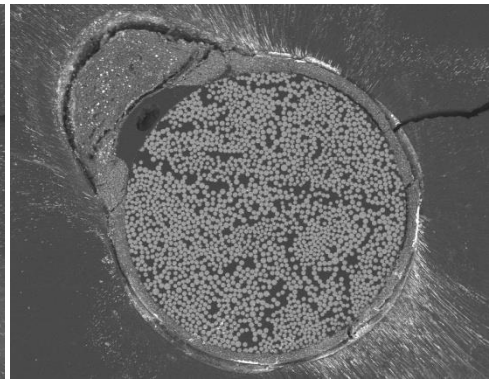
D9C3G1



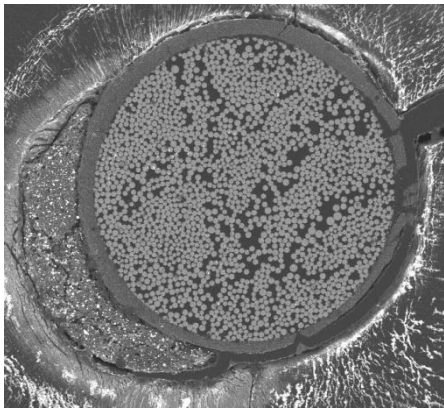
D10C1G3



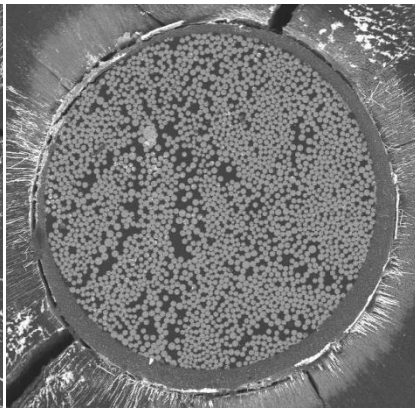
D10C2G3



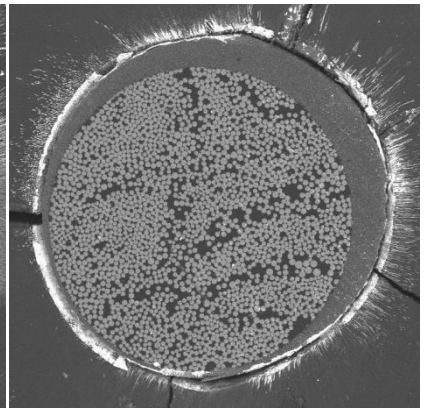
D10C3G3



D11C1G4



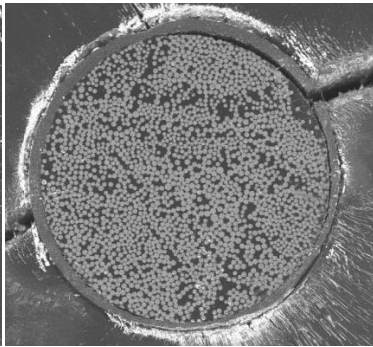
D11C2G4



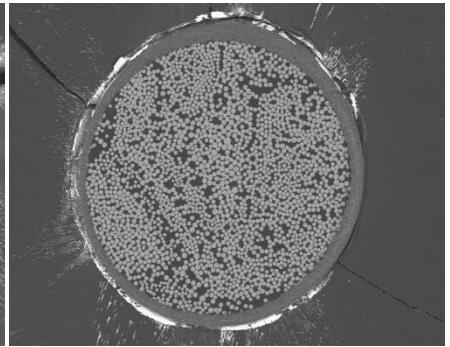
D11C3G4



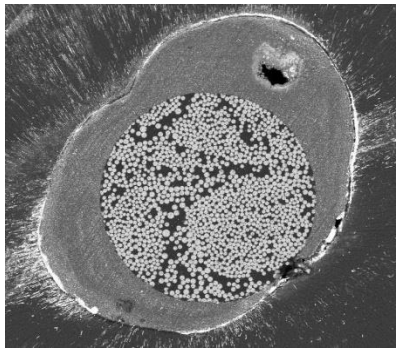
D12C1G2



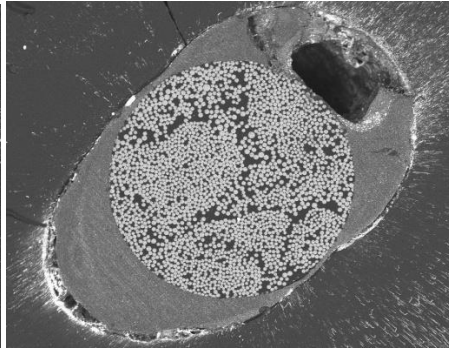
D12C2G2



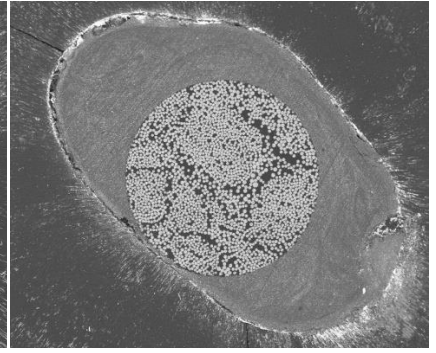
D12C3G2



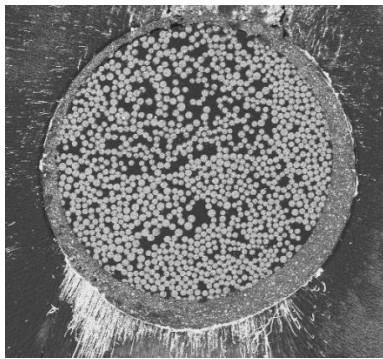
D13C1G6



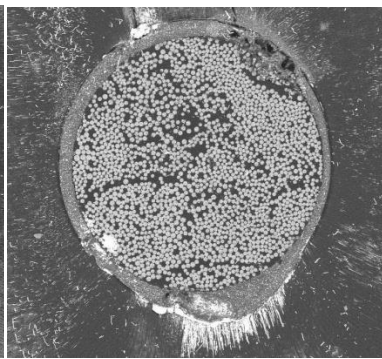
D13C2G6



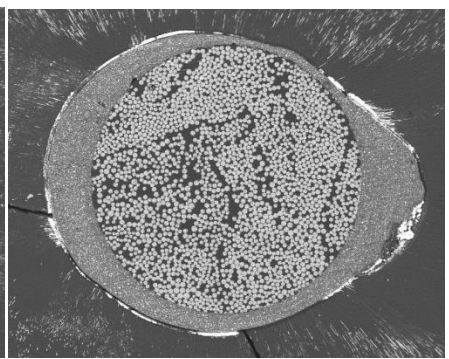
D13C3G6



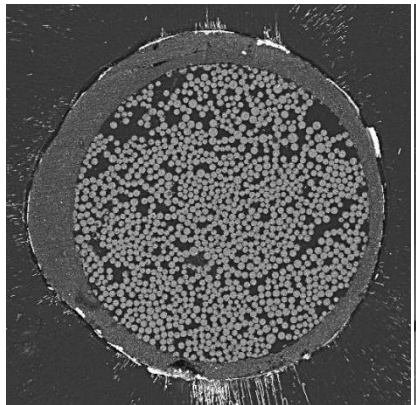
D14C1G5



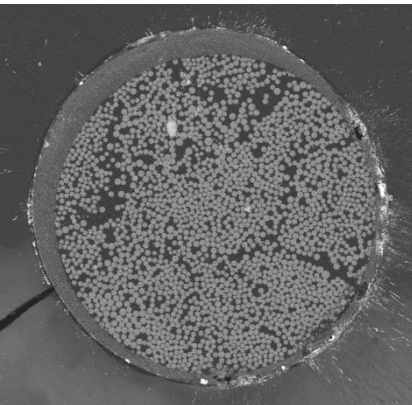
D14C2G5



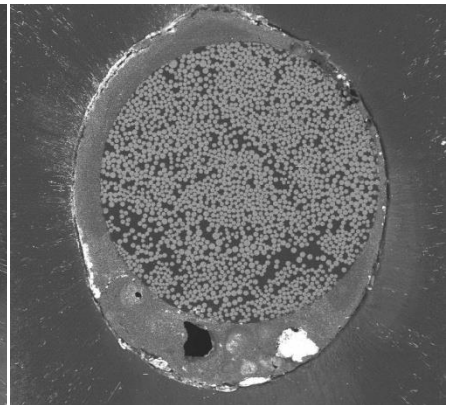
D14C3G5



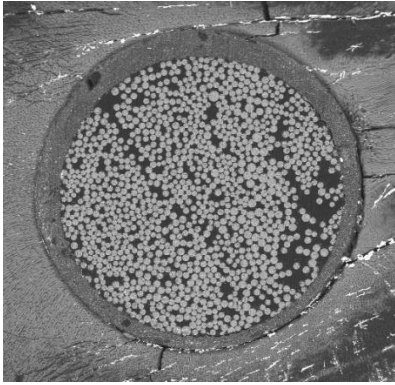
D15C1G6



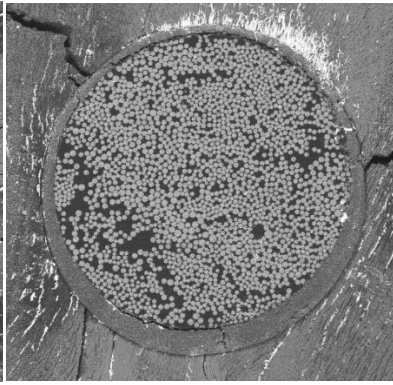
D15C2G6



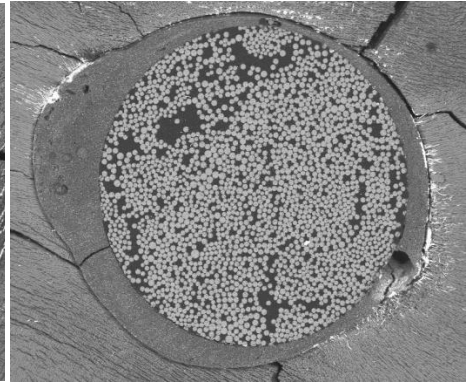
D15C3G6



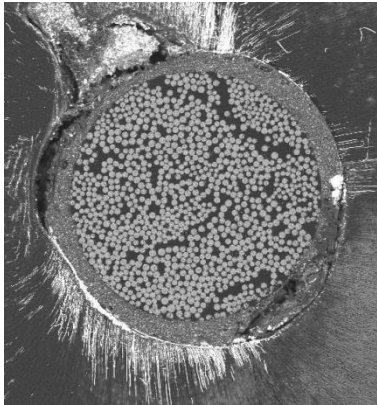
D16C1G6



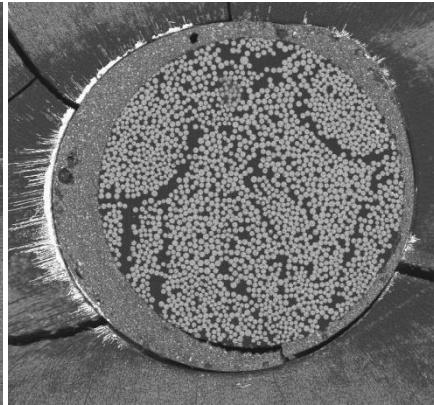
D16C2G6



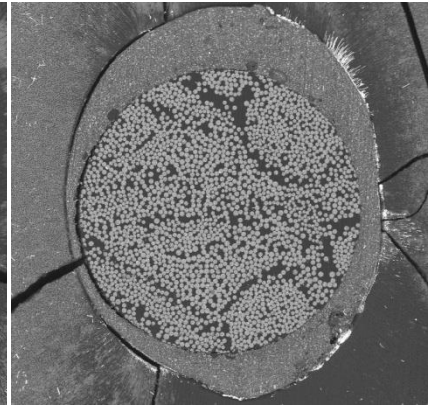
D16C3G6



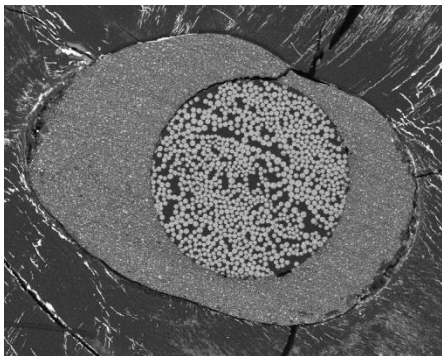
D17C1G5



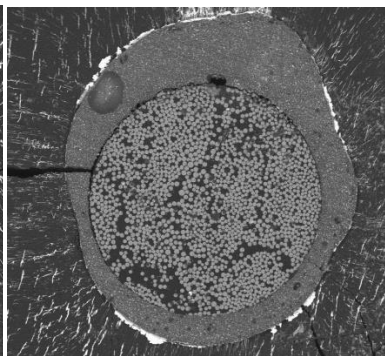
D17C2G5



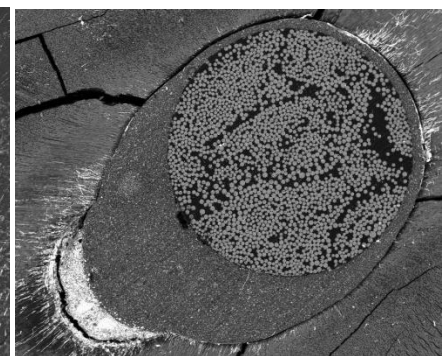
D17C3G5



D18C1G5



D18C2G5



D18C3G5

Anexo 6 .Registro de datos del estudio de la microestructura del sistema de postes.

*** Ratio Fibras/Matriz (%)**

Muestra	Área matriz (μm ²)	Ø medio fibras (μm)	Área fibra (μm ²)	Nº fibras	Área total fibras (μm ²)	Ratio Fibras/Matriz (%)
1	17200	17,28	234,40	40	9375,99	54,51
2	17200	18,41	237,94	33	7614,08	42,27
3	17200	18,97	282,49	32	9039,71	52,56
4	17200	18,04	255,47	37	9452,45	54,96
5	17200	19,75	306,20	23	7042,58	40,95
6	17200	17,86	250,40	33	8263,17	48,04
7	17200	16,75	220,24	48	10571,6	61,46
8	17200	17,26	233,86	42	9822,01	57,10
9	17200	19,36	294,23	27	7944,09	46,19
10	17200	17,29	234,67	46	10794,87	62,76
11	17200	18,46	257,51	36	9630,21	55,99
12	17200	17,81	249	40	9959,96	57,91
13	17200	19,89	310,56	30	9316,66	54,17
14	17200	18,05	255,75	37	9462,93	55,02
15	17200	19,02	283,98	39	11075,29	64,39
16	17200	18,47	267,80	37	9908,44	57,61
17	17200	17,73	246,77	36	8883,61	51,65
18	17200	17,58	242,61	35	8491,32	49,37
19	17200	18,14	258,31	38	9815,85	57,07
20	17200	16,62	216,84	40	8673,45	50,43
21	17200	19,23	290,29	37	10740,63	62,45
22	17200	17,86	250,40	38	9515,16	55,32
23	17200	21,09	349,16	30	10474,76	60,90
24	17200	20,91	343,22	30	10296,72	59,87
25	17200	18,18	259,45	37	9599,73	55,81
26	17200	18,19	259,74	31	8051,87	46,81
27	17200	18,05	255,75	41	10485,95	60,96
28	17200	18,59	271,29	36	9766,32	56,78
29	17200	19,08	285,78	38	10859,50	63,14
30	17200	18,63	272,46	34	9263,48	53,86
MEDIA	-----	18,3850	-----	36,0333	-----	55,0760

Los datos se registraron con cuatro cifras decimales. En la presente tabla se encuentran redondeados, excepto aquellos referentes a la media.

*** Distribución de las fibras**

MUESTRA	TOTAL FIBRAS	FIBRAS EN A	FIBRAS EN B	FIBRAS EN C	FIBRAS EN D	MEDIA FIBRAS	DS	GRUPO DISTRIBUC
1	40	9	9	11	11	10	1,155	B
2	33	7	7	10	9	8,25	1,5	B
3	32	8	9	8	7	8,33	0,816	A
4	37	9	10	9	9	9,25	0,5	A
5	23	5	7	6	5	6,75	0,957	A
6	33	9	9	7	8	8,25	0,957	A
7	48	14	12	14	8	12	2,83	C
8	42	13	10	9	10	11	1,732	B
9	27	9	5	5	8	6,75	2,061	C
10	46	12	12	11	11	11,25	0,577	A
11	36	8	7	10	11	9	1,826	B
12	40	12	11	7	10	9,5	2,160	C
13	30	6	9	9	6	7,75	1,73	B
14	37	9	10	10	8	9,5	0,957	A
15	39	9	11	9	10	9,75	0,957	A
16	37	9	9	10	9	9,25	0,5	A
17	36	10	8	13	5	8,75	3,367	D
18	35	10	7	8	10	9,5	1,5	B
19	38	9	10	10	9	10,75	0,577	A
20	40	12	11	11	6	9,75	2,708	C
21	37	8	11	10	8	9	1,5	B
22	38	10	10	9	9	9,25	0,58	A
23	30	7	8	7	8	7,75	0,577	A
24	30	8	8	8	6	7,5	1	A
25	37	10	9	9	9	8,5	0,5	A
26	31	7	9	6	9	7,25	1,5	B
27	41	5	12	12	12	9,5	3,5	D
28	36	7	10	9	10	9	1.414	B
29	38	10	10	9	9	8,75	0,577	A
30	34	8	8	9	9	8,25	0,577	A

DS: Desviación estándar.

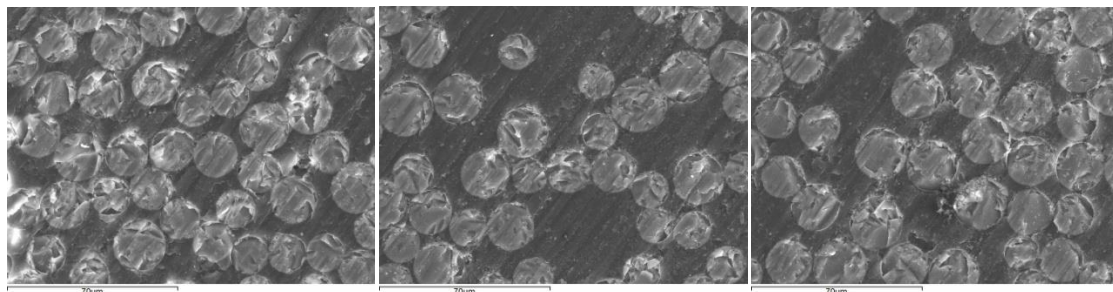
Grupo distribución según DS: 0 - 1,0 →A/ DS: 1,01 - 2,00 →B/DS: 2,01 - 3,00 →C/

DS: 3,01 - 4,00 →D

Anexo 7. Imágenes tomadas con el MEB a 750X y electrones secundarios.

P= nº de poste F= nº de imagen

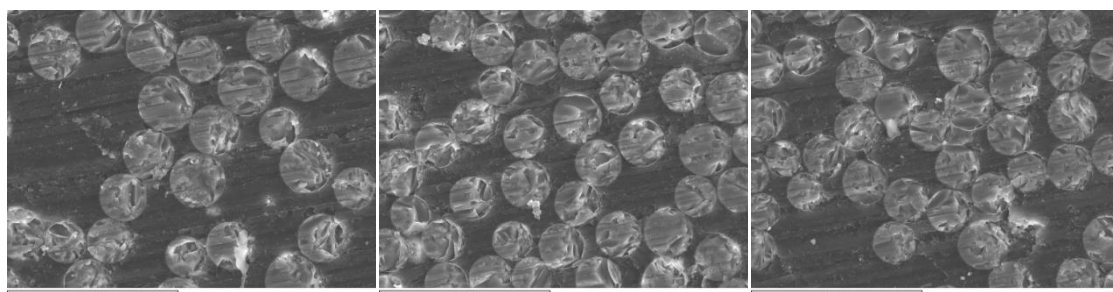
Imágenes distribuidas en orden creciente según el número de poste, de izquierda a derecha y de arriba abajo.



P1F1

P1F2

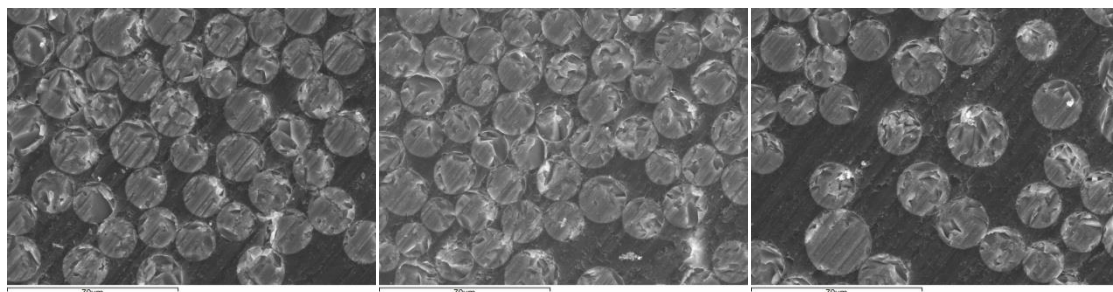
P1F3



P2F1

P2F2

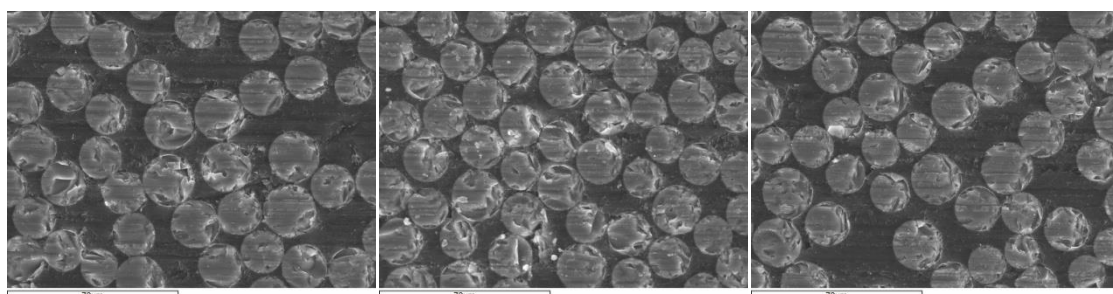
P2F3



P3F1

P3F2

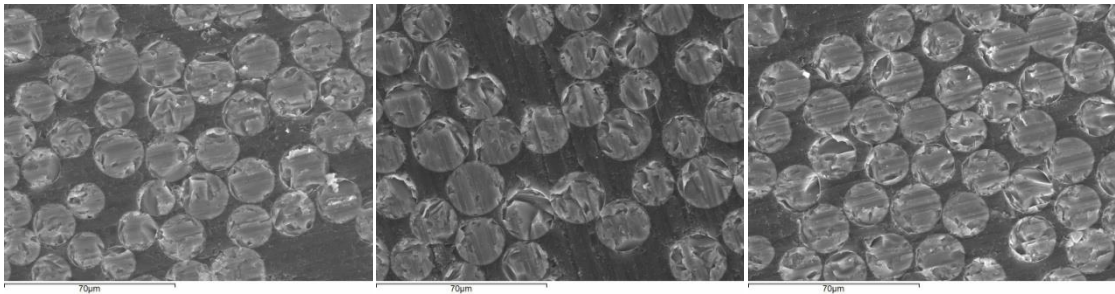
P3F3



P4F1

P4F2

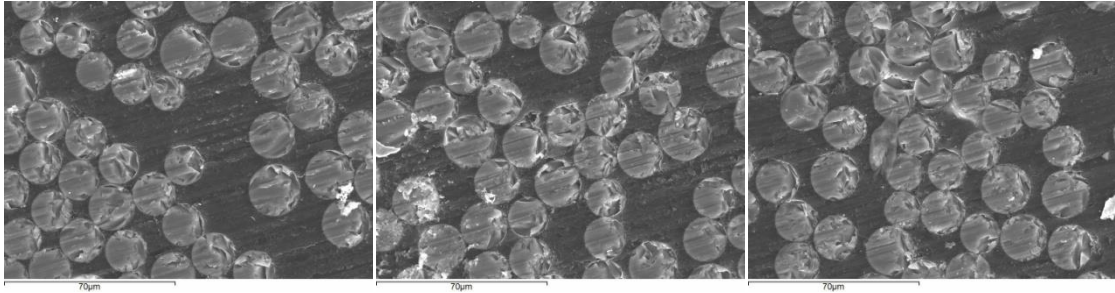
P4F3



P5F1

P5F2

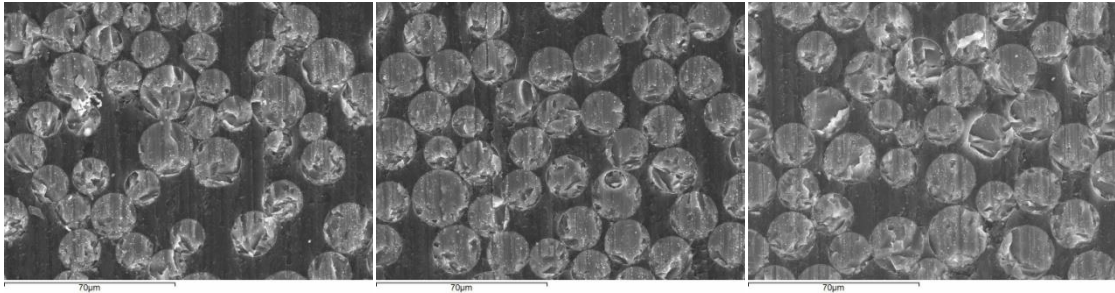
P5F3



P6F1

P6F2

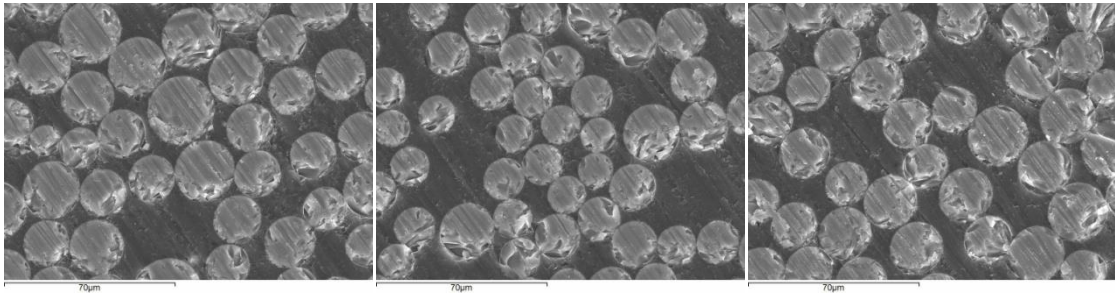
P6F3



P7F1

P7F2

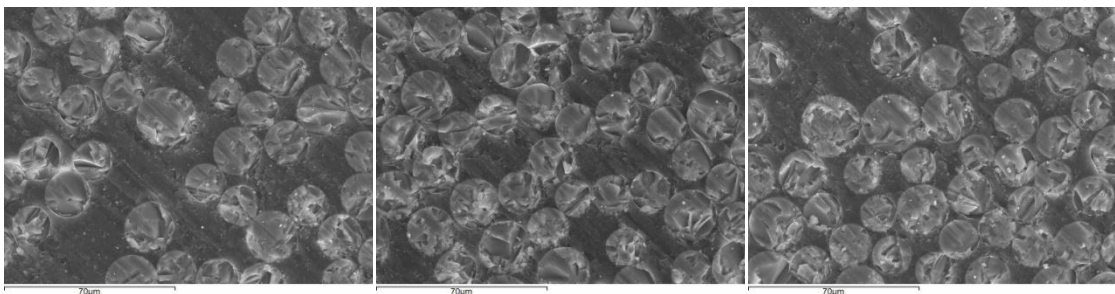
P7F3



P8F1

P8F2

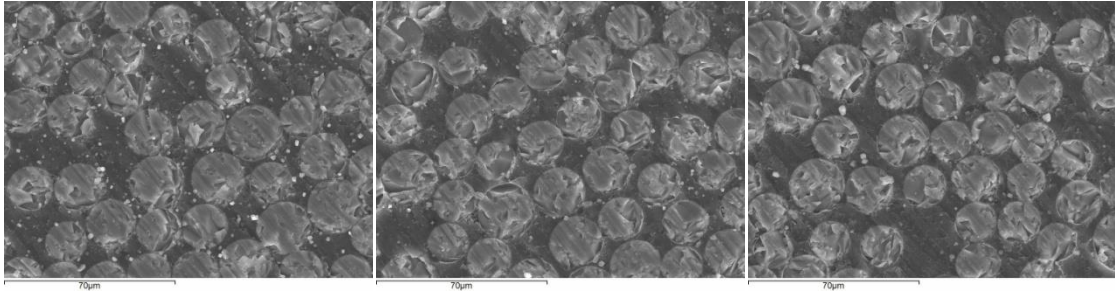
P8F3



P9F1

P9F2

P9F3



P10F1

P10F2

P10F3