

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**Departamento de Estomatología II**



**INFLUENCIA DE LA HUMEDAD Y EL TIEMPO DE  
FRAGUADO SOBRE LA RESISTENCIA AL  
DESPLAZAMIENTO DE LAS OBTURACIONES DE  
AGREGADO TRIÓXIDO MINERAL.**

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

Lucía Gancedo Caravia

Bajo la dirección del Doctor:

Ernesto García Barbero

**Madrid, 2005**

**ISBN: 84-669-2817-0**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**  
**Departamento de Estomatología II**



**Influencia de la humedad y el tiempo de fraguado  
sobre la resistencia al desplazamiento de las  
obturaciones de Agregado Trióxido Mineral.**

**Tesis Doctoral**

**Lucía Gancedo Caravia**

**Director: Dr. Ernesto García Barbero**

Madrid. 2005

*A mis padres y hermana, pilares de mi vida y fuentes de inspiración.*

*A Marisa, mi querida compañera, maestra y amiga. Huella imborrable tanto en lo profesional como en lo personal.*

**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, he de expresar mi más sincero agradecimiento al Doctor Ernesto García Barbero, quien me ha guiado a lo largo de todo mi proceso de formación doctoral. Sin su ayuda y sus sabios consejos este barco nunca hubiera llegado a buen puerto. Agradezco su esmerada paciencia y atención en todas las fases de ejecución de este trabajo, así como sus valiosas enseñanzas durante mi período de formación anterior en el Master de Endodoncia. Además de como profesor, le admiro y respeto como la excelente persona que es.

Agradezco al Departamento de Odontología Conservadora, en cuyas instalaciones me ha sido posible realizar este trabajo, y de cuyos profesores he recibido imprescindibles enseñanzas. En especial, me siento agradecida a los Doctores José María Vega del Barrio, Juan José Hidalgo Arroquia, Javier García Barbero, Enrique García Barbero y José Carlos de la Macorra, quienes han contribuido enormemente a mi formación y de quienes he recibido acertados consejos, ayuda y valiosas aportaciones en distintos momentos de mi doctorado, tanto en los cursos como durante el periodo de investigación.

Al personal auxiliar y de secretaría de este departamento, sobre todo a Mari Carmen Gómez Laseca, siempre amable y dispuesta ante cualquier requerimiento de material o ayuda que pudiera estar en su mano. Gracias por el inmejorable trato, por su eficacia y cariño.

Al Dr. Pedro Cuesta Álvaro, del Departamento de Apoyo a la Investigación de los Servicios Informáticos de la Universidad Complutense de Madrid, por realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos y por explicarme y orientarme, con paciencia y esmero, dentro del mundo de la estadística y en el manejo del programa SPSS.

A mi familia, por su gran apoyo, cariño y ayuda. Agradezco a mi padre todo lo que de él he aprendido, quien también ha contribuido a enseñarme a investigar, razonar y redactar, además de aportarme otros muchos conocimientos y virtudes que me guían en todos los

aspectos de mi vida. Gracias a mi madre, por su dulzura y paciencia, de quien siempre he recibido, además de incondicional apoyo, los más ricos consejos para enseñarme a ser mejor persona. Con todo ello ha sabido orientarme para seguir adelante en estos años de trabajo en la tesis y en todos los demás proyectos que me he propuesto. A mi hermana, también para mí fuente inagotable de sabiduría, en quien en todo momento he encontrado las mejores palabras de aliento, consuelo, orientación y ayuda.

A mis amigos de dentro y fuera de la Universidad, gracias por estar ahí. Por la ayuda que me han brindado, por los buenos y malos ratos que han compartido conmigo, por escucharme y animarme.

A mis compañeros de doctorado, en especial a Cristina González Losada, con quien he compartido las fases iniciales del diseño del modelo experimental. También a Carmen V. Peralta, por ser la persona con quien más de cerca he compartido las inquietudes, problemas, alegrías y vicisitudes que estos cuatro años de formación doctoral nos han traído.

Gracias también a mis compañeros de trabajo y amigos, Marisa y Eduardo, por haber entendido y apoyado mi inquietud e ilusión por este trabajo, por todas sus palabras de ánimo, y por el cariñoso trato que de ellos siempre he recibido.

A las auxiliares de la consulta, Lara, Gema, Delsy y Ana, porque ellas también han contribuido a la ejecución de este trabajo, recogiendo cuidadosamente los dientes y por hacerme siempre más fácil y agradable el trabajo, lo cual me permitía sacar algo de tiempo de la consulta para sumergirme en la redacción de este texto.

---

**ÍNDICE**

<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<i>Pág. 1</i>
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<i>Pág. 4</i>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<i>Pág. 5</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1. EL MATERIAL</b> .....	<i>Pág. 6</i>
<b>2. LAS VARIABLES ESTUDIADAS: Humedad y Tiempo</b> .....	<i>Pág. 33</i>
<b>3. EL PARÁMETRO: La Resistencia al Desplazamiento</b> .....	<i>Pág. 42</i>
<b>MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	<i>Pág. 46</i>
<b>RESULTADOS</b> .....	<i>Pág. 75</i>
<b>DISCUSIÓN</b>	
<b>1. EL MATERIAL Y EL MÉTODO</b> .....	<i>Pág. 83</i>
<b>2. LOS RESULTADOS</b> .....	<i>Pág. 92</i>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<i>Pág.107</i>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<i>Pág.109</i>

## JUSTIFICACIÓN

El agregado trióxido mineral, más conocido como MTA, es un material de relativa reciente aparición, desarrollado con la intención de servir de sellador en las comunicaciones entre el espacio pulpar y la superficie externa de los dientes (*Torabinejad. 1994; Torabinejad. 1995(a); Torabinejad. 1995(b)*).

Se ha sugerido el empleo de MTA en diversas situaciones clínicas relacionadas con la endodoncia. Entre ellas, algunas eran problemas de muy compleja resolución, y pronóstico bastante incierto. Tal es el caso de la reparación de fisuras, fracturas o perforaciones radiculares y de la furca (*Torabinejad y Chivian. 1999*). La complejidad de estos casos viene dada por la dificultad de conseguir un buen sellado de la lesión y de poder asegurar la estabilidad del material restaurador cuando el diente es sometido a cargas funcionales.

El MTA ha demostrado tener, en reposo, una capacidad de sellado excelente (*Lee. 1993; Torabinejad. 1993; Torabinejad. 1994; Torabinejad. 1995(a); Torabinejad. 1995(b); Bates. 1996; Fischer. 1998; Nakata. 1998; Wu. 1998; Yatsushiro. 1998; Aqrabawi. 2000; Roy. 2001; Andelin. 2002; Peters. 2002; Shipper. 2004*), pero tan importante como esto es la estabilidad de las obturaciones realizadas con este material al someterlas a algún tipo de tensión o carga., dado que el desplazamiento de las mismas puede comprometer el sellado obtenido.

En el caso de las reparaciones de fisuras radiculares, las cargas que podrían desplazar el MTA vienen a ser sencillamente las fuerzas generadas con los movimientos masticatorios. Cuando lo que se obtura son perforaciones a nivel de la furca, más que las fuerzas oclusales, lo que podría actuar como fuerza desestabilizadora sería la presión transmitida por el material de obturación colocado en la cámara pulpar, sobre la reparación de la furca.

Otra situación clínica para la que se ha sugerido el empleo de MTA y en la que cobran importancia las fuerzas aplicadas sobre éste, es al utilizarlo para crear una barrera apical en el tratamiento endodóntico de dientes con ápice inmaduro (*Torabinejad y Chivian. 1999; Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2000, 2002; Rocamora. 2001; Schmitt. 2001; Giuliani. 2002; Mendoza. 2002; Hayashi. 2004*). En este caso, la fuerza que puede llegar a desplazar el MTA es la que se ejerce en sentido apical durante la condensación de la gutapercha.

Un aspecto poco contemplado hasta el momento en la bibliografía es precisamente la estabilidad que presentan las obturaciones realizadas con este material, a pesar de la relevancia que este parámetro tiene a la hora de valorar el pronóstico a largo plazo de los tratamientos antes mencionados.

La forma de evitar o reducir el efecto de las fuerzas oclusales en dientes fisurados reparados con MTA sería mantener el diente en reposo, esto es, en anoclusión, siempre que esto sea posible, al menos durante el periodo de fraguado del material, para asegurar que no actúan fuerzas sobre el material que puedan desestabilizarlo antes de alcanzar el máximo grado de sus características físicas. La cuestión que aún está por determinar es cuánto tiempo sería aconsejable esperar antes de permitir que se aplique alguna carga sobre el diente reparado, con la intención de mejorar el pronóstico de dicho tratamiento.

En el caso de dientes con perforación de furca obturada con MTA, para evitar la presión sobre el material y mejorar sus características de fraguado, *Torabinejad y Chivian (1999)* proponen no realizar una obturación definitiva de forma inmediata sobre la reparación con MTA y colocar previamente una bolita de algodón empapada en agua cubriendo la obturación de MTA. Sería muy conveniente comprobar el tiempo más adecuado para mantener sin obturar de manera definitiva la cavidad pulpar y si el hecho de permitir el fraguado en presencia de agua puede ser útil para asegurar que mejora la estabilidad de la obturación.

En cuanto al tratamiento con MTA de los dientes necróticos con ápice inmaduro, la sistemática de trabajo aconsejada consiste en obturar primero la porción apical con MTA, mantener el resto del conducto sin obturar, ocupado sólo por una bolita de algodón o una punta de papel húmeda, durante un tiempo (sin definir de forma clara hasta el momento, ya que los diferentes autores que emplean esta técnica esperan desde 4 horas, unos, hasta una semana, algunos otros) y a continuación obturar el conducto con gutapercha, tomando como stop apical el MTA (*Torabinejad y Chivian.1999; Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2000, 2002; Rocamora. 2001; Schmitt. 2001; Giuliani. 2002; Mendoza. 2002; Hayashi. 2004*). De nuevo en esta situación parece fundamental conocer el tiempo de espera más adecuado antes de proceder a la segunda fase de tratamiento, y, a la vez, determinar hasta qué punto es útil que durante ese tiempo el material permanezca en presencia de agua, o qué ocurriría si se mantuviera seco el conducto.

La cuestión que motiva la ejecución de este trabajo es conocer la evolución de las características físicas que alcanza el material durante el tiempo de fraguado y la influencia del factor humedad ambiental en ese tiempo sobre dichas características.

**HIPÓTESIS**

A la luz de los conocimientos de que disponemos actualmente, en relación con las características físicas y químicas del MTA, suponemos que *la hidratación continuada del material a lo largo del tiempo de fraguado contribuye a mejorar progresivamente las propiedades de este cemento.*

Por otro lado, no está claramente definido el tiempo total durante el que el material completa su fraguado, pero por los datos de que disponemos hasta ahora, parece probable que *el proceso de fraguado se prolongue durante 21 días.*

**OBJETIVOS**

- 1) Comprobar si la humedad durante el fraguado influye en la resistencia al desplazamiento que adquieren las obturaciones de MTA.
- 2) Comprobar si el tiempo de fraguado influye en la resistencia al desplazamiento que adquieren las obturaciones de MTA.
- 3) Determinar durante cuánto tiempo se modifica la resistencia al desplazamiento de las obturaciones de MTA.
- 4) Comprobar si existe alguna diferencia en la resistencia al desplazamiento que adquieren las obturaciones de MTA preparadas con la presentación de color oscuro y las preparadas con la presentación de color claro.

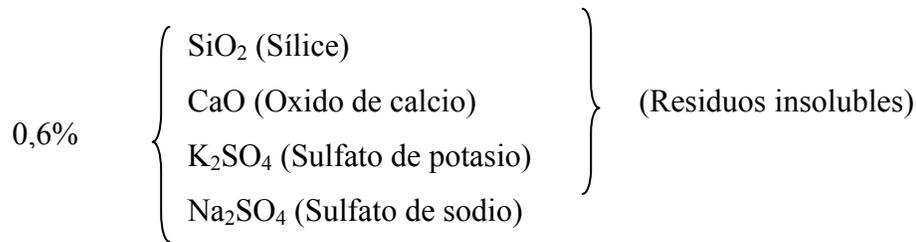
## INTRODUCCIÓN

### 1. EL MATERIAL

El agregado trióxido mineral, o MTA, es un material desarrollado en la Universidad de Loma Linda (California) y viene siendo presentado en la literatura endodóntica desde 1993 (*Lee. 1993; Torabinejad. 1993*) como un excelente cemento capaz de sellar cualquier vía de comunicación entre el espacio pulpar y los tejidos perirradiculares (*Torabinejad. 1994; Torabinejad. 1995(a); Torabinejad. 1995(b)*), y de obtener una respuesta favorable en los tejidos con los que entra en contacto (*Torabinejad. 1995(e); Torabinejad. 1995(f); Torabinejad. 1998; Pitt Ford. 1995; Torabinejad. 1995(g); Torabinejad. 1997*), llegando incluso a inducir la regeneración de tejidos duros (*Pitt Ford. 1995; Torabinejad. 1995(g); Torabinejad. 1997*).

Este material se comercializó inicialmente con el nombre de *ProRoot-MTA*<sup>®</sup> (Dentsply-Maillefer), y se presentó inicialmente en forma de polvo de color grisáceo que ha de mezclarse con agua estéril en proporción 3:1. Este polvo consiste en finas partículas hidrófilas que al hidratarse forman un gel coloidal que fragua y se transforma en una estructura sólida (*Lee. 1993; Torabinejad. 1993*). Según el fabricante, los componentes del polvo de MTA son los siguientes:

75%	{	$\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ (Silicato tricálcico) $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ (Aluminato tricálcico) $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ (Silicato dicálcico) $\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Fe}_2\text{O}_{10}$ (Ferrito-aluminato tetracálcico)
20%	{	$\text{Bi}_2\text{O}_3$ (Oxido de bismuto)
4,4%	{	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Sulfato de calcio dihidratado)



En un estudio realizado por Torabinejad (1995(c)) se analiza su composición y propiedades físicas. Para comprobar su composición emplean la espectrometría de dispersión de rayos X, en combinación con un microscopio electrónico de barrido. Distinguen dos fases específicas en el material una vez fraguado: una con apariencia de cristales discretos, formada fundamentalmente por óxido de calcio, y otra con apariencia amorfa, sin cristales, con aspecto granular, y formada básicamente por fosfato de calcio. La composición media de los prismas, según este estudio, es 87% calcio y 2,47% sílice (SiO<sub>2</sub>). En las áreas de estructura amorfa, encuentran 33% calcio; 49% fosfato (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>); 2% carbono; 3% cloruro (Cl<sup>-</sup>); 6% sílice (SiO<sub>2</sub>).

García Barbero (2000) analiza la composición del MTA mediante difracción de rayos X y también con un espectrómetro de dispersión de rayos X incorporado a un microscopio electrónico de transmisión. Con el primer método identifica los siguientes componentes:

- Óxido de bismuto (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- Silicato tricálcico (Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>)
- Silicato bicálcico (Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>)
- Ferrito-aluminato tetracálcico (Ca<sub>4</sub>Al<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>10</sub>)
- Aluminato tricálcico (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)

Concluye que los constituyentes del material estudiado son los pertenecientes al cemento tipo Portland, a excepción del óxido de bismuto, que no pertenece a este tipo de material. También Estrela (2000) analiza la composición del MTA y la compara con la de dos muestras diferentes de cemento Portland mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X, encontrando resultados muy similares, excepto por el bismuto, sólo presente en el MTA. Otros autores hacen un análisis comparativo en relación con 15 elementos de la composición de MTA y cemento Portland, comprobando que 14 de los 15 elementos contemplados están presentes en los dos cementos (Funteas. 2002).

Actualmente la presentación de este material ha variado. Hoy en día el aspecto del material comercializado con el nombre de *ProRoot-MTA*<sup>®</sup> (Dentsply-Maillefer) es el de un polvo blanquecino. Según el fabricante, este cambio de color sólo ha variado muy ligeramente su composición y por tanto no ha alterado sus propiedades fundamentales. Con ello se pretende únicamente mejorar el aspecto estético. Pocos trabajos existen hasta el momento que analicen o comparen el comportamiento o las propiedades de esta nueva presentación del material respecto a la anterior.

A día de hoy existe también un segundo producto comercializado como MTA: su nombre es *MTA-Angelus*<sup>®</sup> (Ángelus. Odonto-Lógika. Brasil). Se trata de una mezcla de cemento Pórtland al 80% con óxido de Bismuto al 20% (Duarte. 2003). Sin embargo, de momento este nuevo producto no ha sido ampliamente difundido, por lo que todos los trabajos revisados que tratan sobre MTA (excepto el único que menciona este nuevo nombre comercial) emplean el producto comercial inicial (*ProRoot-MTA*<sup>®</sup> de Dentsply-Maillefer).

### **Características**

#### ***1. Propiedades físicas.***

Torabinejad (1995(c)) evalúa algunas propiedades físicas de este cemento, y lo compara, en algunos aspectos, con los cementos empleados más habitualmente en cirugía periapical (amalgama, Super-EBA, IRM):

Determina la evolución del pH durante el fraguado del MTA, midiéndolo inmediatamente después de mezclado y después de 3 horas. La primera medición es de 10.2, y en la segunda asciende a 12.5 y se mantiene constante. Este pH es similar al del hidróxido de calcio, por lo que supone que el comportamiento biológico del MTA puede ser parecido al de este material. (Torabinejad. 1995(c)). En relación con esto, en el trabajo de Duarte (2003) también se mide el pH, así como la liberación de iones calcio de los dos

productos comercializados como MTA, obteniendo unos valores de pH similares, aunque algo inferiores a los medidos por Torabinejad. Tanto el pH registrado como la liberación de iones calcio fue algo superior con *MTA-Angelus* que con *ProRoot*, pero con valores muy próximos (*Duarte. 2003*).

El tiempo de fraguado es estudiado empleando el método recomendado por la ISO (especificación 6876, para cementos selladores de conductos radiculares) y resulta ser de 2 h. y 45 min. (*Torabinejad. 1995(c)*).

En el mismo trabajo evalúa, también siguiendo las especificaciones de la ISO, la resistencia a la compresión del MTA, así como la de la amalgama, IRM y Super-EBA, Realiza el test a las 24 horas y a los 21 días, y observa que la resistencia del MTA a las 24 horas es la menor de todos los cementos (40 Mpa de media, frente a los 312.5 de la amalgama); a los 21 días la resistencia del MTA incrementa (67 Mpa), pero sigue siendo el material menos resistente (*Torabinejad. 1995(c)*).

Sluyk (*1998*) determina la resistencia al desplazamiento del MTA, una vez colocado como reparación de perforaciones en el suelo de la furca de molares inferiores, compara la fuerza necesaria para desobturar las perforaciones a las 24 y 72 horas. Encuentra diferencias significativas entre la fuerza media necesaria para desplazar el material a las 24 horas y a las 72 horas, siendo mayor a las 72h.

Loxley (*2003*) comprueba el efecto de distintas disoluciones, concretamente suero salino, hipoclorito sódico (NaOCl), peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), perborato sódico mezclado con suero salino y perborato sódico mezclado con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sobre la resistencia al desplazamiento que adquieren obturaciones de MTA, IRM y cemento Super-EBA. Para ello perfora muestras de dentina obtenidas a partir de cortes longitudinales de raíces de dientes y obtura estas perforaciones con los distintos materiales estudiados. Después permite el fraguado de los mismos en seco durante 7 días y a continuación mide, en uno de los grupos, la resistencia que oponen las obturaciones a ser desplazadas de su ubicación. El resto de las muestras, después de esos primeros 7 días en seco, se mantienen en presencia

de suero salino o las distintas soluciones oxidantes durante los siguientes 7 días y a continuación se someten al test de desobturación. Las obturaciones de MTA alcanzan una resistencia inferior respecto a los otros dos materiales. Esta diferencia es estadísticamente significativa. En los primeros 7 días en seco, así como al someterlo a la presencia de perborato sódico + suero y perborato sódico + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> el MTA alcanza una resistencia muy baja. Sin embargo, cuando las muestras se mantienen otros 7 días en presencia de suero salino, la resistencia de las obturaciones de MTA aumenta.

Hachmeister (2002) estudia también este parámetro, pero lo hace empleando un modelo in vitro de tratamiento de ápice inmaduro que reproduce el método propuesto para esta aplicación clínica descrita por diferentes autores (Torabinejad y Chivian. 1999; Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2000, 2002; Rocamora. 2001; Schmitt. 2001; Giuliani. 2002; Mendoza. 2002; Hayashi. 2004). Éste consiste en colocar una barrera de MTA en la porción apical del conducto radicular de dientes con ápice abierto por vía ortógrada, esto es, a través de la cavidad de acceso coronaria y llevándola a lo largo de todo el conducto para obturar los milímetros apicales. En este estudio, Hachmeister evalúa la efectividad de esta técnica analizando dos aspectos: por un lado, comprueba la fuerza que opone el material a ser desplazado cuando se ejerce presión vertical sobre la obturación con un vástago desde el interior del conducto. Emplea dos grosores distintos de MTA (1 y 4mm) dejándolos fraguar durante 8 días con puntas de papel húmedas colocadas en el interior de los conductos y bolitas de algodón húmedas en las cavidades de acceso. También comprueba el efecto que puede tener sobre este parámetro el aplicar una medicación previa en el conducto a base de hidróxido de calcio durante una semana antes de la barrera de MTA, como recomiendan algunos de los impulsores de esta técnica. Por otro lado, comprueba la filtración de bacterias a través de esa barrera apical, también en función del grosor y de la presencia o ausencia de medicación con hidróxido de calcio. Según el autor, el grosor de MTA influye de manera decisiva en la fuerza que opone a ser desplazado, siendo significativamente mayor la fuerza detectada con barreras de 4mm que con 1mm de grosor. No encuentra ninguna repercusión en la resistencia por el hecho de colocar hidróxido de calcio en el conducto antes de la barrera apical de MTA. Tampoco detecta diferencias en la filtración de bacterias con ninguna de las dos variables.

## ***2. Capacidad de sellado.***

Un aspecto fundamental, a la hora de emplear este material como obturador de comunicaciones con el exterior, es su capacidad de sellado, por lo que diversos estudios se han dedicado a valorar esta propiedad. La mayoría de ellos comprueban la filtración marginal en obturaciones realizadas con este material (*Lee. 1993; Torabinejad. 1993; Torabinejad. 1994; Torabinejad. 1995(a); Bates. 1996; Fischer. 1998; Nakata. 1998; Wu. 1998; Yatsushiro. 1998; Adamo. 1999; Kwak. 2000; Aqrabawi. 2000; Scheerer. 2001; Roy. 2001; Fogel. 2001; Tang. 2002; Weldon. 2002; Andelin. 2002; Davis. 2003; Lamb. 2003; Vizgirda. 2004; Ferris. 2004; Hardy. 2004; Valois. 2004*).

Por su parte, Torabinejad (*1995(b)*) evalúa el posible sellado que pueda proporcionar este material revisando la capacidad de adaptación del mismo a los márgenes de las comunicaciones que se pretenden sellar con él. Para ello observa bajo microscopio electrónico de barrido los márgenes de preparaciones apicales obturadas con MTA, así como con otros materiales (amalgama, IRM, Super-EBA) para comparar su aspecto. En ninguna de las muestras obturadas con MTA detecta espacios de separación entre diente y material, o “gaps” (término con el que habitualmente se definen estos espacios) en los márgenes, por lo que concluye que la adaptación marginal de este material es mejor que la de los otros. Propone que la excelente adaptación se debe a una expansión sufrida por el material durante el fraguado. Shipper (*2004*), en un trabajo similar, encuentra también mejor adaptación marginal con MTA que con amalgama y lo atribuye igualmente a su expansión de fraguado.

También Peters (*2002*) estudia la adaptación marginal de obturaciones apicales de MTA bajo microscopio electrónico de barrido, y además va un paso más allá en la reproducción de la situación clínica real, evaluando la adaptación del material a los márgenes de la cavidad antes y después de someter los dientes tratados *in vitro* a fuerzas masticatorias simuladas. Observa la adaptación marginal, la incidencia de sobreobturaciones e infraobturaciones, así como la aparición de microcracks después de las cargas oclusales y las compara con las detectadas en iguales circunstancias con Super-EBA.

Con ambos cementos obtiene resultados aceptables de adaptación tanto antes como después de las cargas oclusales, aunque en el caso del Super-EBA sí observa un deterioro de los márgenes estadísticamente significativo, no así con MTA. La buena adaptación marginal del MTA también la atribuye a la expansión que sufre el material durante el fraguado, según dice, por la presencia de sulfato cálcico dihidratado, así como a su largo tiempo de fraguado. Por otra parte, encuentran, en las obturaciones de MTA, una incidencia mayor de infraobturaciones, que aumenta significativamente después de las fuerzas oclusales, pero esto aparentemente no afecta a la adaptación marginal.

Otro trabajo en el que se determina la capacidad de sellado del MTA a través de la adaptación marginal es el de Gondim (2003). En él compara también la adaptación del MTA con la de Super-EBA y de IRM, y comprueba si existe alguna diferencia si se suaviza la superficie de las obturaciones. De nuevo observan una excelente adaptación marginal con MTA, y no detectan diferencias estadísticamente significativas con este material al tratar la superficie de las preparaciones.

Los estudios de filtración marginal se han realizado con diversos métodos: empleando tintes (azul de metileno (Lee. 1993; Torabinejad. 1994; Kwak. 2000; Agrabawi. 2000; Vizgirda. 2004), rhodamina B fluorescente (Torabinejad. 1993), tinta china (Roy. 2001; Andelin. 2002; Davis. 2003), cultivos de bacterias (Torabinejad. 1995(a); Fisher. 1998; Nakata. 1998; Adamo. 1999; Scheerer. 2001; Hachmeister. 2002; Ferris. 2004), incluso endotoxinas (Tang. 2002) y proteínas (Valois. 2004), y por el método de transporte de fluidos (Bates. 1996; Wu. 1998; Yatsushiro. 1998; Fogel. 2001; Weldon. 2002; Lamb. 2003; Hardy. 2004). En la mayoría de ellos, el MTA muestra excelentes resultados.

Todos los estudios revisados que emplean tintes, excepto uno (Vizgirda. 2004), que se comentará más adelante, refieren una filtración significativamente menor de MTA frente a los materiales con que se compara (generalmente amalgama y Super-EBA) (Lee. 1993; Torabinejad. 1993; Torabinejad. 1994; Agrabawi. 2000; Roy. 2001).

En uno de estos trabajos, realizado por Torabinejad (1994), se cuestiona, además el posible efecto de la presencia de sangre al fraguar el material, pero no se observan diferencias significativas en el sellado de ninguno de los materiales en ausencia o presencia de sangre.

Roy (2001) evalúa la posible diferencia en la capacidad de sellado de diversos cementos (entre ellos MTA) al variar el pH ambiental durante el fraguado: somete la mitad de las muestras a un medio ácido (5.0) y la otra mitad al pH biológico normal (7.4) durante 24 horas inmediatamente después de mezclados. El MTA consigue unos grados de filtración más bajos que los otros materiales con ambos niveles de pH. No se encuentra ninguna disminución de sellado estadísticamente significativa con pH ácido en ninguno de los cementos estudiados. Otro trabajo que analiza si la presencia de algún ácido puede afectar las propiedades del MTA es el de Davis (2003). En él comprueba si el hecho de irrigar, antes de obturar, las preparaciones apicales con distintas sustancias (ácido cítrico, doxiciclina y suero salino) puede mejorar el sellado conseguido con MTA, IRM y Super-EBA. El MTA obtiene muy buenos resultados con cualquiera de los tres irrigantes, aunque se observa un cierto grado de filtración en sentido circunferencial algo más evidente cuando se irriga la cavidad con ácido cítrico. El autor explica este hecho sugiriendo que tal vez el ambiente ácido retrasa la reacción de fraguado del MTA (Davis, 2003), afirmación que se contrapone a los resultados obtenidos por Roy (2001).

En el trabajo de Vizgirda (2004) se comprueba la capacidad de sellado del MTA empleado como material de obturación, colocado a lo largo de todo el conducto radicular, y se compara con la de los materiales convencionales, gutapercha y sellador (ya sea condensada lateralmente o termoplastificada). Este estudio es el único de los que emplean el método de filtración de tintes que obtiene peores resultados con el MTA que con los materiales con que se compara. Esto podría deberse, como el mismo autor especula, a la falta de acceso de todo el espesor del material a la exposición a la humedad, aspecto éste necesario para su correcto fraguado, lo cual podría haber provocado un fraguado defectuoso y a eso se debería la peor capacidad de sellado. En relación con este trabajo, existe otro que también analiza la capacidad de sellado del MTA colocado a lo largo de todo el conducto.

Se trata del estudio de Andelin (2002), y en él no se compara la capacidad de sellado del MTA con la de otro material, sino que se mide la filtración a través de una obturación de MTA colocada en una preparación apical convencional y la que se observa si, en lugar de preparar la cavidad y colocar el material por vía retrógrada, se corta la raíz cuyo conducto ha sido previamente obturado por vía ortógrada hasta el final con MTA. En este último estudio no se detectan diferencias significativas entre uno y otro sistema de obturación de la porción apical del conducto, lo que contradice los resultados del trabajo de Vizgirda, ya que en el de Andelin no encuentran evidencia de filtración con ninguno de los dos métodos de obturación con MTA, mientras que Vizgirda sí observa filtración cuando coloca MTA a lo largo de todo el conducto radicular.

Otro estudio en el que se evalúa la filtración con tintes sin comparar el MTA con ningún otro material es el de Kwak (2000). En él comprueban si existe mejor capacidad de sellado al aumentar el espesor de barreras apicales de MTA de 2 a 4 mm y si es mejor obturar el resto del conducto con gutapercha inmediatamente o esperando 24 horas después de colocar el MTA. No encuentran diferencias significativas ni por efecto del espesor de MTA ni por efecto del tiempo.

Los estudios de filtración que emplean bacterias aportan datos algo dispares: En algunos de ellos las obturaciones con MTA previenen significativamente mejor la filtración o no permiten en absoluto la filtración, mientras que en otros no se encuentran diferencias significativas entre unos materiales y otros.

Torabinejad (1995(a)) y Fischer (1998) observan una menor filtración en los márgenes de las obturaciones de MTA al compararlo con amalgama, IRM y Super-EBA, y lo explican por una posible expansión de fraguado del MTA cuando éste ocurre en ambiente húmedo.

Nakata (1998) explica la mayor filtración de la amalgama respecto al MTA por la mayor fuerza de condensación que precisa ésta para conseguir una adaptación marginal adecuada.

Adamo (1999) no encuentra diferencias significativas en la filtración de MTA, amalgama y Super-EBA.

Scheerer (2001) no observa filtración con ninguno de los materiales estudiados (Super-EBA, Geristore y MTA), datos que no se corresponden con el resto de estudios de filtración con bacterias, y atribuye estos resultados al tipo de bacterias empleadas (*Prevotella nigrescens*), por ser éstas de mucho mayor tamaño que las de los otros trabajos.

Hachmeister (2002), como ya se ha mencionado, no compara la filtración de MTA con la de otros materiales, sino que evalúa la técnica de aplicación del material. No detecta diferencias estadísticamente significativas en la capacidad de sellado de barreras apicales de MTA en dientes con ápices abiertos en función del grosor de MTA empleado ni de la aplicación previa en el conducto de hidróxido de calcio, pero sí encuentra una filtración significativamente mayor de bacterias, concretamente de *Enterobacter aerogenes*, cuando el MTA se aplica por vía ortógrada que cuando éste se coloca a retro. También Valois (2004) evalúan la influencia del grosor de MTA (1, 2, 3 y 4 mm), pero esta vez en obturaciones apicales colocadas a retro, y mediante filtración de una solución proteica (concretamente albúmina sérica bovina al 22%). A diferencia de Hachmeister, sí observan diferencias estadísticamente significativas en la filtración entre los grupos con distintos grosores de obturación. Concretamente, en el grupo con obturaciones de 1mm ocurrió filtración en todos los especímenes y en menos tiempo que en el resto, mientras que con 4mm de MTA sólo filtraron un 7% de los dientes y ninguno antes de 31 días. Por lo tanto, este último autor (Valois. 2004) consideran que la eficacia selladora de las obturaciones de MTA mejora en función del espesor de material al menos hasta un grosor de 4 mm.

Los autores que observan una filtración reducida de bacterias a través de los márgenes de obturaciones de MTA (Torabinejad. 1995(a); Fischer. 1998; Nakata. 1998) se cuestionan el posible efecto antibacteriano del producto como coadyuvante a este hecho, aunque consideran más razonable explicarlo por su capacidad de impermeabilizar.

La acción antibacteriana del MTA y otros cementos ha sido objeto de otro estudio, realizado por Torabinejad (1995(d)). En él se comprueba la capacidad de inhibir el crecimiento de diversas cepas de bacterias, anaerobias estrictas y anaerobias facultativas. El MTA no resulta efectivo frente a ninguna de las anaerobias estrictas estudiadas. Sí tiene cierta capacidad de inhibición del crecimiento de *Streptococcus mitis*, *S. mutans*, *S. salivarius*, *Lactobacillus* y *Staphylococcus epidermidis*, pero se concluye que ninguno de los materiales estudiados tiene un completo efecto antibacteriano. Además, la capacidad inhibitoria que presentan es temporal y de corta duración. También se ha comprobado el efecto antifúngico del MTA, concretamente frente a *Candida albicans*, siendo efectivo para inhibir su crecimiento después de 1 día y 3 días de exposición, pero no con una hora de contacto (Al-Nazhan. 2003). Otro trabajo en el que se evalúa la capacidad antimicrobiana y antifúngica del MTA es el de Estrela (2000), donde además la comparan con la del cemento Pórtland, hidróxido de calcio, y otras pastas a base de hidróxido de calcio (Dycal y Sealapex). Este estudio obtiene con el MTA resultados muy similares a los del trabajo de Torabinejad, siendo su capacidad idéntica a la del cemento Pórtland e inferior a la del hidróxido de calcio.

Los estudios de filtración que emplean el método de transporte de fluidos también aportan datos discordantes.

Bates (1996) estudia la filtración de obturaciones a retro de MTA, Super-EBA y amalgama en distintos intervalos de tiempo después de la obturación, siendo el primero a las 24 horas y el último a las 12 semanas. El MTA resulta ser el material que consigue la menor filtración en la mayoría de las mediciones. A las 24 horas, 72 horas y 2 semanas el MTA y Super-EBA consiguen un sellado significativamente mejor que el de la amalgama. Después de 4, 8 y 12 semanas no detecta diferencias estadísticamente significativas entre los tres materiales, pero la amalgama continúa teniendo los mayores niveles de filtración. Tanto el MTA como el Super-EBA demuestran tener una capacidad de sellado buena y estable a lo largo de todo el estudio.

Yatsushiro (1998) también comprueba menor conducción con MTA que con amalgama y relativamente poca variabilidad en los resultados de MTA a lo largo del tiempo de su estudio (entre 1 y 24 semanas).

Por el contrario, Wu (1998) observa que el sellado del MTA mejora con el tiempo: Inicialmente, cuando lo prueba a las 24 horas de la mezcla, el MTA es el material que más filtra, comparado con amalgama y cementos ionómeros; a los 3 y 6 meses la filtración es menor que la de la amalgama y similar a la de un ionómero; a los 12 meses el MTA es el material que menos filtra.

Por su parte, Fogel (2001) no detecta diferencias estadísticamente significativas entre los datos de filtración que obtiene con MTA y los de otros materiales (amalgama, Super-EBA y el adhesivo de autograbado Clearfil Liner Bond 2).

Tampoco Weldon (2002) encuentra diferencias estadísticamente significativas al comparar la filtración a través de perforaciones de furca reparadas con MTA o Super-EBA medidas el mismo día de la obturación (30 minutos después de la obturación en el caso de Super-EBA y a las 4 horas en el caso de MTA), 1 semana después y un mes después, aunque sí detecta filtración significativamente mayor con MTA a las 24 horas.

Hardy (2004) compara el sellado obtenido al reparar perforaciones de furca aplicando sólo MTA en la perforación con el conseguido al combinarlo con una resina de autograbado colocada sobre él en la cámara pulpar, al colocar solamente esta resina y al combinar MTA en la perforación con Super-EBA en la cámara. Mide la filtración a las 24 horas y al mes, obteniendo que a las 24 horas el MTA solo filtra más que los otros métodos de reparación, siendo el mejor modo de reparación la aplicación de sólo una capa de resina. Pero en 1 mes el sellado del MTA mejora, siendo equivalente al obtenido con la resina sola o en combinación con MTA.

Otro estudio de filtración en el que emplean el método de transporte de fluidos es el de Lamb (2003). En él no comparan la capacidad de sellado del MTA con la de otros

materiales, sino que evalúan la filtración ocurrida con obturaciones apicales de distintos grosores de MTA, concretamente 0, 1, 2, 3 y 6 mm. Con 6mm la filtración que detectan es bastante escasa; con 3 mm es algo mayor, aunque no encuentran diferencias estadísticamente significativas; la filtración aumenta significativamente cuando el grosor de MTA es de 2 mm o menos.

### **3. Biocompatibilidad.**

Otro factor determinante para considerar adecuado este material es el efecto que puede tener sobre los tejidos periapicales, ya que está pensado para ser colocado en contacto directo con los mismos. Con relación a esto se han realizado también múltiples trabajos, tanto de pruebas de citotoxicidad con cultivos celulares (*Torabinejad. 1995(e); Osorio. 1998; Keiser. 2000; Asrari. 2003; Pistorius. 2003; Koh. 1998; Haglund. 2003; Zhu. 2000; Balto. 2004; Thomson. 2003; Kettering. 1995*) como tests de implantación (*Torabinejad. 1995(f), 1998; Holland. 1999(a); Yaltirik. 2004*) y de uso en animales de experimentación (*Pitt Ford. 1995; Holland. 2001(a); Torabinejad. 1995(g); Torabinejad. 1997; Pitt Ford. 1996; Regan. 2002; Faraco. 2001*). En todos ellos el MTA obtiene excelentes resultados.

Torabinejad (*1995(e)*), Osorio (*1998*), Keiser (*2000*) y Asrari (*2003*) comparan la citotoxicidad del MTA con la de otros materiales (amalgama, IRM y Super-EBA entre otros), en cultivos de distintas líneas celulares, empleando diferentes métodos descritos y estandarizados para el estudio de este aspecto, como son los tests de difusión en agar, liberación de  $^{51}\text{Cr}$  y test de actividad enzimática mitocondrial, o MTT, entre otros. En estos trabajos, con todos los métodos empelados, el MTA resulta ser el material menos citotóxico. Pistouris (*2003*) compara la citotoxicidad del MTA con la de amalgama y titanio. El MTA y el titanio obtienen resultados muy similares, y, de nuevo, mejores que los de la amalgama.

Koh (1998) evalúa la reacción celular a MTA e IRM de dos maneras: por un lado, observando con microscopio electrónico de barrido el aspecto de cultivos de células óseas humanas incubados en presencia de los materiales durante distintos periodos de tiempo; por otro, mediante determinación de producción de citoquinas. Con el primer método comprueba que las células incubadas con MTA presentan morfología normal (planas y adheridas al cemento), lo cual demuestra biocompatibilidad del cemento, mientras que con IRM las células aparecen redondeadas y en menor número, lo que indica mayor toxicidad de este último material. La decisión de medir la cantidad de citoquinas producidas por las células óseas en presencia del material se debe a la observación, en estudios previos, de formación de tejido duro al colocar el MTA en contacto directo con tejidos periapicales. Se determina la liberación de citoquinas con intención de investigar el mecanismo de este proceso. En presencia de MTA, observan producción de las citoquinas IL1 $\alpha$ , IL1 $\beta$  y IL6. Esto no ocurre en células en contacto con IRM.

Haglund (2003) también comprueba la producción de citoquinas en fibroblastos y macrófagos de ratón cultivados en presencia de MTA, sin embargo en este trabajo, a diferencia de los resultados de Koh (1998), no se detecta liberación de IL1 $\beta$  ni de IL6. También en este trabajo observan una zona de muerte celular alrededor del MTA, aunque más allá de esta zona, el crecimiento y el aspecto de las células es completamente normal (Haglund. 2003).

También Zhu (2000) y Balto (2004) observan, mediante microscopía electrónica de barrido, la morfología celular y adhesión de distintas células cultivadas en presencia de MTA. Zhu comprueba que los osteoblastos humanos se adhieren y extienden bien sobre composite y MTA; no así sobre amalgama e IRM, con los que presentan aspecto redondeado. Estos datos indican de nuevo una respuesta favorable al MTA, así como al composite. Balto detecta adhesión y crecimiento de fibroblastos de ligamento periodontal humano sobre obturaciones de MTA.

Saidon (2003) compara el efecto que tienen sobre cultivos celulares, concretamente de fibroblastos de ratón, el MTA y cemento Pórtland recién mezclados y después de dos

semanas de fraguado. Los resultados con ambos materiales son muy similares, encontrando un área de muerte celular y desnaturalización de proteínas inmediatamente alrededor de los materiales frescos, con crecimiento celular normal más allá de esa zona. Junto a los materiales fraguados, se observa un crecimiento celular normal. Wucherpfenning (1999) compara igualmente la reacción a MTA y cemento Pórtland, en cultivos de osteoblastos, encontrando de nuevo resultados similares parecidos con ambos.

Thompson (2003) comprueba la capacidad de los cementoblastos humanos para crecer y adherirse sobre MTA y para producir, en presencia del material, osteocalcina, una proteína implicada en la regulación del proceso de mineralización de tejido duro. Esto indica, según el autor, que el MTA se puede considerar un material cemento-conductor.

Otro trabajo en el que se revisa la capacidad del MTA, así como de otros materiales, para promover la expresión de un fenotipo osteogénico es el de Bonson (2004). Comprueban que el MTA, a diferencia de un cemento de vidrio ionómero, amalgama y un cemento de óxido de zinc, es capaz de inducir en fibroblastos gingivales y de ligamento periodontal humanos la expresión de genes de proteínas relacionadas con la formación de hueso, como la periostina, o la fosfatasa alcalina.

Kettering (1995) estudia la posible mutagenicidad del MTA, de IRM y de Super-EBA, también con cultivos celulares, con una prueba muy empleada para determinar este aspecto en los biomateriales, concretamente con el test de Ames, el cual básicamente consiste en detectar la cantidad de colonias de *Salmonella typhimurium* cultivadas en presencia de los materiales estudiados en las que se produce una mutación específica que las hace capaces de sobrevivir en un determinado medio. En el citado trabajo no se encuentra que ninguno de los materiales estudiados provoque un aumento en la frecuencia de mutaciones, por lo que se concluye que ninguno de ellos tiene capacidad mutagénica.

Los tests de implantación intraósea realizados por Torabinejad (1995 (f), 1998) en mandíbulas y tibias de cobayas comparan la reacción inflamatoria de los tejidos circundantes a implantes de tubos de teflón rellenos con MTA, Super-EBA, IRM y

amalgama. Los resultados demuestran que la respuesta tisular al MTA es la más favorable. No se detecta reacción inflamatoria en ninguno de los especímenes con MTA, y se observa en algunos de ellos formación de tejido duro adyacente al material.

Otro test de implantación intraósea en mandíbulas de cobayas es el de Saidon (2003), que compara la reacción provocada por tubos de teflón rellenos de MTA y de cemento Pórtland, observando una reacción muy favorable en los tejidos circundantes con ambos materiales, sin un acumulo importante de células inflamatorias.

Por el contrario, Yaltirik (2004), tras implantar tubos de polietileno bien vacíos o bien rellenos con amalgama en unos casos, y con MTA en otros, en el tejido conectivo subcutáneo de conejos y observar la reacción ocurrida a los 7, 15, 30, 60 y 90 días, detecta reacción inflamatoria similar con MTA y con amalgama, siendo ésta significativamente más importante que con los tubos vacíos en todos los intervalos de tiempo excepto a los 90 días.

También Holland (1999(a)) realiza tests de implantación, comprobando la reacción del tejido conectivo subcutáneo de ratas a tubos de dentina rellenos con MTA y con hidróxido de calcio a los 7 y 30 días. Observa con los dos materiales una reacción muy parecida, con formación de granulaciones, consistentes, al parecer, en cristales de calcita, rodeados de zonas de tejido calcificado y alrededor de éstas, sólo una leve reacción inflamatoria. Se cuestiona el motivo por el que el MTA provoca el mismo efecto que el hidróxido de calcio cuando éste no forma parte de su composición, y propone que se debe a la presencia en su composición de óxido de calcio, el cual podría reaccionar con los fluidos tisulares y formar hidróxido de calcio. Eso explicaría que la reacción con MTA sea tan parecida a la provocada por el hidróxido de calcio. El mismo experimento lo realiza comparando también la reacción a hidróxido de calcio y MTA con la provocada por cemento Pórtland, obteniendo similares resultados (Holland. 2001(b)). Igualmente realizan el mismo trabajo comparando MTA e hidróxido de calcio con cementos selladores de conductos que contienen hidróxido de calcio. De nuevo encuentran formación de estas granulaciones de cristales de calcita (Holland. 2002).

Pitt Ford (1995) provoca perforaciones en la furca de premolares inferiores de perros y obtura unas con MTA y otras con amalgama, la mitad inmediatamente y la otra mitad después de permitir la contaminación salivar y formación de lesión ósea. 4 meses después se sacrifican los animales y se comprueba la reacción de los tejidos en torno a los materiales. La respuesta al MTA es claramente más favorable que a la amalgama. De los casos tratados inmediatamente con MTA, en la mayoría se observa ausencia de inflamación y formación de cemento alrededor del material. Incluso algunos de los reparados después de la contaminación tampoco muestran signos de inflamación. Todos los tratados con amalgama presentan inflamación, siendo más severa y extensa que la de los tratados con MTA. La reacción es similar a la que ocurre con hidróxido de calcio, incluso mejor a la hora de tratar este tipo de lesiones, según los autores, puesto que al fraguar el material queda duro y supone una barrera sólida sobre la que el tejido se puede organizar, cosa que no ocurre con el hidróxido de calcio.

Holland (2001(a)) perfora lateralmente raíces de perros inmediatamente después de haber realizado el tratamiento endodóntico. Una vez controlada la hemorragia, repara las perforaciones bien con MTA o bien con cemento Sealapex. 30 y 180 días después observa la respuesta de los tejidos perirradiculares. Los resultados son muy similares a los de Pitt Ford (1995): Depósitos de cemento y menor reacción inflamatoria sobre el MTA. Holland propone que el mecanismo por el que este material induce activamente la formación de tejido duro de manera similar al hidróxido de calcio es la reacción con los tejidos tisulares del óxido de calcio que presenta el MTA en su composición, para formar hidróxido de calcio, y posteriormente formar cristales de calcita, que sirven como sustrato para la aposición del tejido duro. Detecta algunos casos de sobreobturaciones con ambos materiales, aunque menos frecuentes con MTA. Esto último puede estar relacionado, sugieren los autores, con su mayor resistencia a fluir. Los mejores resultados se obtienen cuando no hay sobreobturaciones, por lo que consideran muy importante emplear una manipulación adecuada del material para conseguir que se mantenga en su posición correcta.

Torabinejad (1995(g)) emplea MTA y amalgama para obturar preparaciones apicales a retro en premolares de perros. Previamente provoca la formación de lesiones periapicales exponiendo los sistemas de conductos a la cavidad oral. Después, obtura los conductos con gutapercha unos casos, y con gutapercha y sellador otros. Posteriormente accede con cirugía a la región apical, realiza apicectomías obtura con uno u otro material. Pasado un periodo de curación de 2 a 5 semanas en unos casos y de 10 a 18 semanas en otros, observa la respuesta de los tejidos periapicales. Los resultados son muy similares a los del trabajo de Pitt Ford (1995), con inflamación moderada a severa junto a los dientes obturados con amalgama, mientras que junto al MTA la inflamación es de menor grado y extensión. Con ambos materiales se consigue curación y neoformación de cemento sobre la dentina, pero en el caso del MTA se observa también aposición de cemento sobre el material, fenómeno que no ocurre con la amalgama. La presencia de inflamación crónica en los ápices tratados con amalgama puede ser debida, apuntan los investigadores, a la posible filtración de bacterias desde los conductos a través de los márgenes de la restauración, o bien a la bioincompatibilidad del material. El MTA ha demostrado tener una capacidad de sellado superior, hecho que, junto con la posible capacidad de activar a los cementoblastos para producir matriz de cemento, explicarían los mejores resultados obtenidos en comparación con la amalgama.

En otro trabajo de Torabinejad (1997) se realizan procedimientos similares, aunque sin contaminar previamente los conductos, y empleando monos como animales de experimentación. Consiguen resultados también más favorables con MTA que con amalgama como material de obturación a retro.

Regan (2002) estudia también la reparación de los tejidos periapicales de premolares de perros después de apicectomías y obturaciones a retro realizadas con MTA y la compara con la que ocurre empleando el cemento sellador de conductos Diaket como material de obturación a retro. No detecta diferencias estadísticamente significativas entre MTA y Diaket, pero con ambos obtiene buenos resultados, observando formación de tejido óseo, nuevo ligamento periodontal y recubrimiento de cemento sobre las preparaciones en grados variables tanto con uno como con el otro material.

Pitt Ford (1996) comprueba la respuesta del tejido pulpar en contacto con MTA, y lo compara con la reacción con hidróxido de calcio. Abre cavidades en dientes de monos provocando exposiciones pulpares para después obturarlas, bien colocando hidróxido de calcio sobre la exposición y amalgama en el resto de la cavidad, o bien rellenando toda la preparación con MTA. Cinco meses después examina la reacción del tejido pulpar comprobando la formación de puentes dentinarios y la presencia o ausencia de inflamación. En los seis dientes en los que se emplea MTA como material de recubrimiento pulpar se observa formación de puentes de dentina gruesos, y en todos, excepto uno, ausencia de inflamación. Los tejidos pulpares recubiertos con hidróxido de calcio presentan todos inflamación y sólo en dos de los seis se forman puentes dentinarios. La explicación que dan los autores a estos datos es la posible filtración de bacterias a través de los márgenes de la amalgama, no a la incapacidad del hidróxido de calcio para estimular la formación de dentina, hecho éste comprobado en otros estudios. La formación de dentina adyacente al MTA se atribuye a la capacidad de sellar apropiadamente, además de a su biocompatibilidad y capacidad de estimular la formación de tejido duro. El lento fraguado de este material para los autores se puede considerar una ventaja, ya que no existiría contracción de fraguado y por ello conseguiría mayor impermeabilidad.

Faraco (2001) también compara la respuesta pulpar a recubrimiento con MTA y con hidróxido de calcio, esta vez en dientes de perro. Al igual que Pitt Ford (1996), encuentra una mejor respuesta con MTA que con hidróxido de calcio, y también lo explica por sus similares propiedades y superior capacidad de sellado. Holland (2001(c)) realiza un experimento similar, pero comparando MTA con cemento Pórtland, obteniendo buena respuesta con ambos, y sin hallar diferencias entre los dos materiales.

Tziafas (2002) realiza otro estudio con recubrimientos pulpares de MTA en perros, y analiza la respuesta tisular no sólo con análisis histológicos, sino también mediante microscopio electrónico de barrido, microscopio electrónico de transmisión y con microanálisis de dispersión de rayos X. Sus observaciones confirman la capacidad del MTA para inducir cambios citológicos y funcionales en las células pulpares que provocan la formación de dentina reparativa, lo que no significa que de por sí sea un material capaz

de inducir por sí mismo la dentinogénesis, pero sí parece que es capaz de crear un ambiente adecuado en la pulpa que favorece la expresión del potencial dentinogénico en las células pulpares, probablemente debido a su alcalinidad.

Andelin (2002) también realiza un experimento con recubrimientos pulpares, esta vez en ratas, y compara la eficacia del MTA y de una proteína morfogenética ósea (BMP-7) para estimular la formación de tejido duro, así como el tipo de tejido duro formado sobre pulpas expuestas experimentalmente. Para comprobar este segundo aspecto emplea como marcador una proteína específica de los odontoblastos, concretamente sialoproteína dentinaria (DSP). Detecta formación de puentes de tejido duro más completos y más parecidos a dentina (en estructura y en expresión de DSP) con MTA que con BMP-7, siendo esta diferencia estadísticamente significativa.

Otro test de uso en animales es el reportado por Salako (2003), en el que se compara la efectividad de MTA con la de otros materiales al emplearlos en pulpotomías en molares de rata. En esta aplicación también se observa la mejor respuesta con MTA, detectando formación de puentes dentinarios, a la vez que se mantiene la histología pulpar normal.

Shabahang (1999) utiliza el MTA como material para inducir el cierre apical en dientes inmaduros de perros y compara su eficacia con la del hidróxido de calcio y también con la de una proteína morfogenética ósea, concretamente proteína osteogénica-1 (OP-1). Después de 12 semanas de tratamiento, observa que el MTA induce significativamente más frecuencia de cierres apicales que cualquiera de los otros dos materiales. Además, este autor encuentra una ventaja añadida al empleo del MTA para obtener el cierre apical, y es el hecho de conseguir formar una barrera apical de manera inmediata, a diferencia de los tratamientos de apexificación convencionales.

Holland (1999(b)) emplea el MTA para obturar el interior de los conductos radiculares en combinación con gutapercha, como si de un cemento sellador se tratara. Compara la reacción de los tejidos periapicales con la observada al utilizar un cemento sellador de ionómero (Ketac-Endo). Encuentra una respuesta excelente al MTA, con un

cierre del conducto principal por aposición de cemento y ausencia de inflamación en todos los casos, mientras que con Ketac-Endo, sólo observa cierre parcial del foramen en algunos especímenes, y en todos hay reacción inflamatoria. Repite el experimento comparando MTA con cemento Pórtland y de nuevo obtiene cierre biológico completo y ausencia de inflamación con ambos materiales por igual (*Holland. 2001(d)*).

### **Aplicaciones clínicas**

Después de todas estas experimentaciones, y a la vista de los, en general, buenos resultados obtenidos con este material en lo referente a capacidad de sellado y biocompatibilidad, resulta lógico pensar que se le puede dar múltiples aplicaciones clínicas, algunas de las cuales ya han sido probadas en experimentación animal, como se ha expuesto, y también examinadas mediante estudios clínicos en humanos. Torabinejad y Chivian (1999) proponen diferentes usos y describen las indicaciones y procedimientos clínicos para llevarlos a la práctica clínica, además de dar unas pautas generales de manipulación. Las aplicaciones clínicas que sugieren son las siguientes:

#### *1- Recubrimiento pulpar*

Para el tratamiento de la pulpa vital, como material de recubrimiento directo, o para pulpotomías, siempre que estos tratamientos estén indicados (en casos de dientes inmaduros, con pulpa vital, sana, sin síntomas de pulpitis). Sí advierten que, dada la reducida resistencia a la compresión de este material, no se puede emplear el MTA como material de obturación permanente.

Schmitt (2001) expone también las pautas necesarias para seleccionar correctamente los casos en los que se puede proceder a esta aplicación de MTA y describe la técnica paso a paso.

Esta aplicación ha sido testada por Aeinehchi (2003) en un ensayo clínico sobre dientes humanos, concretamente en terceros molares superiores que precisaban ser extraídos. Compara la reacción de la pulpa en una semana, dos, tres, cuatro y seis meses después de recubrimientos pulpaes con hidróxido de calcio y MTA y concluye, de acuerdo con los autores que realizaron experimentos parecidos con animales, que el MTA es superior al hidróxido de calcio como material de recubrimiento pulpar.

Koh (2001) presenta dos casos clínicos en los que emplea el MTA como material de recubrimiento pulpar para el tratamiento profiláctico de *dens evaginatus* en dos premolares inferiores que 6 meses después extrae por motivos ortodóncicos. El estudio histológico revela también óptimos resultados, con formación de puentes dentinarios completos por debajo del MTA y ausencia de inflamación en el tejido pulpar.

## 2- Apicoformación

Como material de obturación apical en dientes inmaduros con pulpa necrótica, con intención de crear una barrera sólida sobre la que, posteriormente, obturar el conducto con gutapercha.

También otros autores han reportado casos clínicos con resultados favorables empleando el MTA como barrera apical en dientes inmaduros necróticos y exponen los procedimientos clínicos que proponen para emplear en esta aplicación (Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2000; Rocamora. 2001; Schmitt. 2001; Giuliani. 2002; Mendoza. 2002; Hayashi. 2004; Monteiro. 2004).

## 3- Perforaciones radiculares

Para sellar perforaciones radiculares, ya sean de origen iatrogénico u ocasionados por reabsorciones radiculares internas o externas.

Ya Arens (1996) en un artículo anterior al de Torabinejad y Chivian (1999), presenta dos casos clínicos en los que emplea MTA para reparar perforaciones de furca en molares mandibulares con resultados favorables.

También otros autores refieren buenos resultados en los casos que presentan de perforaciones radiculares y reabsorciones tratados con MTA (Schwartz. 1999; Schmitt. 2001; White. 2002; Miñana Gómez. 2002; Bruder. 2004; Kratchman. 2004).

Main (2004) realiza un estudio clínico a largo plazo en el que evalúa la evolución de un total de 16 casos de perforaciones radiculares reparadas con MTA al menos un año después del tratamiento, y en todos ellos observa ausencia de imágenes radiolúcidas alrededor de la perforación.

#### 4- Cirugía periapical

Como material de obturación a retro tras tratamiento endodóntico quirúrgico.

Otros autores sugieren también el empleo de MTA para esta aplicación y presentan casos con resultados satisfactorios (Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2002; Flores Legasa. 2002).

Chong (2003) presenta un estudio clínico prospectivo en el que se compara la evolución de tratamientos quirúrgicos periapicales con IRM y MTA como materiales de obturación a retro. Con ambos materiales obtiene resultados favorables, no encontrando diferencias estadísticamente significativas entre uno y otro, aunque el MTA obtiene mayor frecuencia de curación en los dos periodos post-quirúrgicos estudiados. El hecho de no encontrar diferencias significativas entre los materiales y los buenos resultados obtenidos indican, según el autor, que el material no es el principal factor del que depende el éxito del tratamiento endodóntico quirúrgico. Otros aspectos como la correcta selección del caso y una técnica quirúrgica adecuada también influyen determinadamente en el porcentaje de éxito que se puede obtener con estos tratamientos.

### 5- Obturación coronaria

Como tapón coronario sobre la obturación de los conductos radiculares, bien como material de obturación provisional o bien como aislamiento para aplicar materiales de blanqueamiento interno.

En relación con esta aplicación, el estudio in vitro de Loxley (2003) encuentra que el MTA no es el material más idóneo para ser empleado como aislante bajo determinadas sustancias oxidantes, ya que en presencia de perborato sódico este material ve deterioradas sus propiedades físicas. A diferencia del MTA, en el citado estudio concluyen que el IRM es más estable y adecuado para ser empleado bajo sustancias oxidantes.

### 6- Fisuras y fracturas radiculares

Después de unir internamente los fragmentos con composite, proponen realizar un surco a lo largo de toda la línea de fractura y colocar sobre él el MTA, para a continuación recubrirlo con una membrana reabsorbible. Esta última aplicación, advierten los autores, tiene resultados algo impredecibles, si el MTA entra en contacto directo con la cavidad oral, puesto que, apuntan, el MTA se disuelve en un pH ácido.

### Tratamientos en dentición temporal

Otros autores han sugerido el empleo de MTA para el tratamiento pulpar de dientes temporales. Concretamente, Eidelman (2001) y Maroto Edo (2004) presentan casos de pulpotomías realizadas con MTA con excelentes resultados. También O'Sullivan (2001) presenta un caso de pulpectomía total en un molar temporal mandibular obturado con MTA en el que observa evolución favorable. Incluso se ha presentado un caso de recubrimiento pulpar en un molar temporal tras una exposición mínima al limpiar caries, también en este caso se observa una resultado excelente (Bodem. 2004).

### **Manipulación**

Torabinejad y Chivian (1999) indican brevemente las pautas necesarias para un correcto mezclado y aplicación: Afirman que el MTA debe ser preparado inmediatamente antes de su uso sobre una loseta de vidrio o papel en una proporción de tres partes de polvo por una de agua. Advierten que si se deja la mezcla sobre la loseta, el material se deshidrata y adquiere una consistencia arenosa. En caso de que se seque, se puede añadir más agua. Sugieren llevar el material a la zona operatoria mediante un transportador de amalgama y empaquetarlo con ayuda de atacadores o bolitas de algodón. Una vez colocado, excepto en caso de que el MTA se aplique con abordaje quirúrgico, aconsejan colocar un algodón húmedo sobre el material durante un tiempo mínimo de 3 o 4 horas.

Después de mezclar el polvo de MTA con agua en las proporciones indicadas, el material adquiere una consistencia de pasta bastante fluida que hace difícil y engorroso su manejo. Esto ha llevado a diferentes autores a idear sistemas de aplicación del material en las cavidades con la intención de simplificar la técnica y a la vez mejorar la adaptación del material al espacio que ha de contenerlo. Ejemplo de esto es el trabajo de Lee (2000), quien sugiere preparar cavidades en un bloque de plástico y rellenarlas de MTA para así obtener bloques preconformados que lleva inmediatamente a la cavidad en el diente. Aminoshariae (2003) propone como sistema para adaptar mejor el MTA a la cavidad del diente el empleo de puntas de ultrasonidos, aunque no consigue con esta técnica mejores resultados de adaptación que con la aplicación manual convencional, según se desprende de su trabajo. También Lawley (2004) comprueba si este nuevo sistema de aplicar el MTA con puntas de ultrasonidos resulta más efectivo y para ello compara la capacidad de sellado que se obtiene colocando el MTA manualmente y mediante ultrasonidos, sin llegar a encontrar una ventaja clara con el nuevo sistema.

Otra solución sugerida para facilitar la aplicación de MTA de cara a sellar la porción apical de conductos con apicectomía, especialmente en casos en los que el acceso quirúrgico se prevé complicado consiste, en lugar de preparar la cavidad y colocar el material por vía retrógrada, en cortar la raíz cuyo conducto ha sido previamente obturado

por vía ortógrada hasta el final con MTA (*Apaydin. 2004; Andelin. 2002*). Esta solución ha sido probada encontrando resultados no siempre satisfactorios. Apaydin revisa la cicatrización de tejidos periapicales de perros después de cirugía apical en la que se coloca MTA recién mezclado en cavidades a retro o bien se cortan las raíces con los conductos obturados previamente con MTA, sin encontrar diferencias en las respuestas tisulares al MTA fresco y fraguado. Por otra parte, como ya se ha mencionado, en el estudio de Andelin (2002) no se detecta filtración en los dientes tratados con uno y otro sistemas de obturación de la porción apical del conducto. Sin embargo, Hachmeister (2002) encuentra una filtración significativamente mayor cuando el MTA se aplica por vía ortógrada que cuando éste se coloca a retro. Este dato lo explica por la limitación a la hora de verificar la correcta adaptación del material a las paredes del conducto, puesto que con la técnica ortógrada esto sólo es posible a través de radiografías, además de la dificultad de manipulación del MTA, especialmente en los dientes con ápices abiertos, donde no se dispone de una base sólida sobre la que compactar el material. También Vizgirda (2004) observa una filtración significativamente mayor cuando se obtura toda la longitud del conducto con MTA por vía ortógrada comparada con la que ocurre obturando con gutapercha y cemento sellador.

Lo que es muy importante a la hora de manejar correctamente el material es mantener la proporción de agua-polvo adecuada. Aunque usando menos agua en la mezcla se podría obtener una consistencia más apropiada para la manipulación, esto no es aconsejable, ya que de esta manera las propiedades que adquiere el material no son las esperadas. García Barbero (2003) observa que la cantidad de agua empleada durante la mezcla es determinante para conseguir una correcta adaptación del MTA al diente. Además advierte que el tiempo de espulado es también fundamental a la hora de conseguir una buena cohesión del material y con ello también una mejor adaptación. Por su parte, Fridland (2003) establece la relación existente entre la proporción agua-polvo empleada en la mezcla y la solubilidad y porosidad que adquiere el MTA a las 24 horas. Para ello emplea diferentes proporciones agua-polvo entre 0,26 y 0,33. Tanto la solubilidad como la porosidad aumentan a medida que aumenta la proporción agua-polvo en el momento de la mezcla. Observan que el material endurecido consiste en una matriz porosa que contiene

una fracción soluble capaz de ser liberada en un ambiente acuoso. Este material liberado consiste básicamente en hidróxido de calcio. Cuanto mayor fue la cantidad de agua empleada en la preparación, más cantidad de hidróxido de calcio se libera, por lo que concluyen que el mezclar el polvo de MTA con una proporción agua-polvo de 0,33 es más beneficioso que con una cantidad inferior de agua, ya que se supone que el hidróxido de calcio es el responsable de las propiedades beneficiosas atribuidas al MTA. Están de acuerdo en que la consistencia que adquiere el material al ser mezclado con esta proporción dificulta su manejo, pero proponen esperar a que adquiera una consistencia más adecuada en lugar de usar menos agua para mezclar.

---

## **2. LAS VARIABLES ESTUDIADAS: Humedad y Tiempo**

De las características físicas mencionadas por algunos de los autores que han estudiado este material, cabe destacar fundamentalmente dos de ellas: el tiempo que precisa para su fraguado y la ventaja de que éste se produzca en presencia de humedad. (*Torabinejad. 1995 (c); Torabinejad y Chivian. 1999*).

### **Humedad**

El hecho de que este cemento pueda fraguar en ambiente húmedo supone a todas luces una ventaja, dadas las características del campo en el que es preciso utilizarlo. Sea cual sea la aplicación clínica que se le de, siempre va a estar en contacto con un medio húmedo, ya sea el tejido pulpar, cuando se aplica para recubrir exposiciones pulpares y en pulpotomías, o el periodonto, en casos de perforaciones, fracturas, apicectomías o apicoformaciones. Lo interesante de esto no es ya sólo que la humedad no impida o dificulte el correcto fraguado del material, como ocurre con los otros materiales hasta ahora utilizados para estas aplicaciones (amalgama, Super-EBA, IRM, ionómeros de vidrio, composites) sino que se afirma que la humedad es beneficiosa para su correcto fraguado (*Torabinejad y Chivian.1999*). De hecho, como se ha mencionado, al presentar las aplicaciones clínicas del material y las recomendaciones para su correcto uso y manipulación, se aconseja mantener el material en contacto con agua durante las primeras horas de fraguado. Para ello, en algunas aplicaciones indican que se debe colocar una bolita de algodón húmeda, especialmente en aquellas situaciones en las que el contacto con tejidos periodontales es mínimo o inexistente. (*Torabinejad y chivian.1999*). La mayoría de los autores que describen sus tratamientos con MTA en las diversas aplicaciones clínicas mencionadas respetan esa parte del protocolo propuesto (*Arens. 1996; Schwartz. 1999; Miñana Gómez. 2000; Koh. 2001; Rocamora. 2001; Schmitt. 2001; Giuliani. 2002; Mendoza. 2002; Boraio. 2003*). Sin embargo, otros no consideran oportuno aportar más humedad al material (*O'Sullivan. 2001; Eidelman. 2001; Aeinehchi. 2003; Maroto Edo. 2004; Monteiro. 2004*).

Para el recubrimiento pulpar, Torabinejad y Chivian aconsejan colocar la bolita de algodón húmeda sobre el material y sobre ésta una obturación provisional para cambiarla una semana más tarde por material de restauración definitivo, o bien rellenar toda la cavidad con MTA y pedir al paciente que sujete una gasa mojada entre el diente tratado y el antagonista y que evite emplear ese lado de la boca durante 3 a 4 horas, para una semana después retirar la porción coronal del MTA y sustituirlo por la restauración definitiva. Schmitt (2001) propone también el empleo de la bolita de algodón húmeda, pero además da alguna pauta más acerca de la restauración provisional que debe colocarse sobre ese algodón: advierte que el Cavit<sup>®</sup>, material provisional ampliamente empleado, absorbe agua, por lo que desaconseja su empleo para este fin y propone usar IRM o algún material provisional fotopolimerizable. Aeinehchi (2003), sin embargo, en su estudio clínico sobre recubrimientos pulpares en humanos, no aplica ningún sistema de hidratación adicional y directamente coloca sobre el material de recubrimiento una pasta de óxido de zinc y eugenol y amalgama como obturación definitiva. Obtiene, con este protocolo, resultados muy satisfactorios.

Para su uso como barrera apical en el tratamiento de dientes con ápice inmaduro, Torabinejad y Chivian aconsejan colocar sólo una bolita húmeda en la cámara pulpar. Prácticamente todos los autores que realizan esta técnica hacen lo mismo, aunque algunos prefieren llevar el algodón o bien puntas de papel mojadas al interior de los conductos radiculares, para que el agua quede en contacto directo con el MTA. Los casos clínicos que presentan demuestran la eficacia de esta técnica. Monteiro (2004), sin embargo, considera que es preferible agregar una mezcla acuosa de hidróxido de calcio dentro del conducto y remover el exceso de líquido, porque la colocación de una torunda de algodón humedecida puede provocar un exceso de humedad, lo cual, a su juicio, compromete la estabilidad de la barrera apical de MTA. También presenta un caso resuelto exitosamente siguiendo su protocolo.

En los casos de perforaciones, Torabinejad y Chivian de nuevo aconsejan colocar algodón mojado en contacto con el MTA antes de obturar definitivamente. Arens (1996) emplea este mismo protocolo en los dos casos clínicos que presenta, con buenos resultados.

O'Sullivan (2001), Eidelman (2001), Maroto Edo (2004) y Bodem (2004) presentan casos de tratamientos pulpares en dientes temporales realizados con MTA. Ninguno de ellos coloca bolita de algodón mojada u otro aporte de agua sobre el material, y directamente realizan la obturación definitiva. También verifican el éxito de sus tratamientos.

En cuanto a estudios que evalúen específicamente la influencia de la humedad, solamente consta el de Sluyk (1998). Como parámetro para comprobar el efecto de esta variable emplean la resistencia al desplazamiento de obturaciones de MTA. Aplican el material para la reparación de perforaciones en el suelo de la furca de molares inferiores y comparan los resultados de resistencia obtenidos cuando el material fragua colocando y sin colocar una bolita de algodón húmeda sobre la obturación. No obtienen mejores resultados cuando el material se mantiene húmedo. A la vista de este dato, no estaría justificado el aportar más humedad al material durante el fraguado, como proponen Torabinejad y Chivian, o al menos no con la intención de mejorar la estabilidad de las obturaciones.

Por el contrario, existe otro trabajo en el que se observa que la presencia de humedad sí mejora la estabilidad de obturaciones de MTA: Loxley (2003) comprueba el efecto de distintas disoluciones -suero salino, hipoclorito sódico (NaOCl), peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), perborato sódico mezclado con suero salino y perborato sódico mezclado con  $H_2O_2$ - sobre la resistencia al desplazamiento que adquieren obturaciones de MTA, IRM y cemento Super-EBA. Como dato de referencia toma la resistencia adquirida por cada material después de 8 días de fraguado en seco. Este valor lo compara con el obtenido después de mantener las muestras durante los siguientes 7 días en presencia de suero salino o las distintas soluciones oxidantes. Las obturaciones de MTA alcanzan una resistencia inferior respecto a los otros dos materiales en los primeros 7 días en seco. Sin embargo, cuando las muestras se mantienen otros 7 días en presencia de suero salino, la resistencia de las obturaciones de MTA aumenta. Loxley explica esto especulando que, después de ese primer fraguado en seco, pueden haber quedado óxidos minerales sin reaccionar que, al recibir de nuevo hidratación, solidifican y así aumenta la resistencia del material. Este dato se contrapone al resultado de Sluyk (1998), quien no encuentra un

beneficio significativo al aportar humedad al material. El resultado de Loxley (2003) sí valida la idea de colocar el algodón con agua para hidratar el material durante su fraguado.

Puesto que se sabe que el MTA es, por su composición, un material muy parecido a los cementos tipo Pórtland, cabe esperar que existan semejanzas en las características de fraguado de uno y otros. En relación con esto, es conocido que los cementos Pórtland tienen la capacidad de fraguar en presencia de humedad, lo que se conoce como fraguado hidráulico. Es más, se sabe que uno de los aspectos de que depende que el fraguado continúe su proceso es que la mezcla de cemento y agua se mantenga en presencia de suficiente humedad (Gomá. 1979; Alvarado Rodríguez. 2004). El cemento Pórtland requiere un ambiente con una humedad relativa por encima del 80%. Si la humedad ambiental desciende por debajo de esta cifra, la hidratación y por lo tanto el endurecimiento del cemento se detienen (Alvarado Rodríguez. 2004).

### **Tiempo**

Las recomendaciones de Torabinejad y Chivian (1999) acerca del tiempo aconsejado para permitir fraguar el material antes de obturar definitivamente los dientes tratados con MTA no son siempre respetadas por los diferentes autores revisados. Existen bastantes discrepancias de unos profesionales a otros en los protocolos referidos para las distintas aplicaciones clínicas de este material, y sin embargo con todos ellos alcanzan resultados satisfactorios en los casos tratados clínicamente, según muestran sus publicaciones:

### **Recubrimiento pulpar:**

Torabinejad y Chivian (1999), así como Schmitt (2001) aconsejan esperar una semana antes de colocar la obturación definitiva.

Koh (2001), en los casos clínicos que publica de recubrimiento pulpar con MTA para el tratamiento profiláctico de *dens evaginatus*, mantiene sólo 2 días el MTA en

contacto con el medio bucal, para luego retirar la porción coronal del mismo y cubrir el resto con composite.

Aeinehchi (2003), por el contrario, no espera. Directamente, sobre el material de recubrimiento recién colocado, realiza la obturación definitiva, sin que esto perjudique el resultado de los tratamientos.

#### Barrera apical:

En esta situación clínica es tal vez en la que menos acuerdo existe entre los autores en relación con el tiempo de reposo previo a la obturación definitiva: Las pautas mencionadas en los casos publicados indican desde un tiempo de espera de 4 horas hasta una semana, reportando en todos ellos tratamientos exitosos.

Torabinejad y Chivian mencionan que después de preparar la barrera apical de MTA se debe esperar un mínimo de sólo 3 o 4 horas para obturar el resto del conducto con gutapercha o con resina de composite; Mendoza (2002), en uno de los casos que presenta, espera sólo 4 horas; Borao (2003) considera más oportuno esperar entre 24 y 48 horas; Schwartz (1999) presenta un caso en el que se obtura al día siguiente de colocar el MTA; Miñana (2000) espera a obturar con gutapercha 2 días en un caso y 4 en otro; Schmitt (2001) aconseja retrasar la obturación del resto del conducto hasta una semana después de colocar el MTA o incluso hasta observar la completa curación de la lesión periapical; Rocamora (2001) y Giuliani (2002) realizan la obturación del conducto a la semana de haber colocado el MTA.

#### Perforaciones:

Torabinejad y Chivian de nuevo aconsejan esperar sólo 3 o 4 horas para retirar el algodón húmedo y obturar definitivamente el diente.

Arens (1996) retira el IRM y la bolita de algodón para realizar la obturación definitiva con amalgama en un caso de perforación de furca a las 6 semanas de haber sellado la perforación con MTA.

#### Tratamientos pulpares en molares temporales:

Ninguno de los profesionales que presentan estos tratamientos espera antes de colocar sobre el MTA un cemento de óxido de zinc y eugenol o de vidrio ionómero y obturar con amalgama e incluso con coronas preformadas de acero, con resultados clínicos favorables. (O'Sullivan. 2001; Eidelman. 2001; Maroto Edo. 2004; Bodem. 2004).

A la vista de estas discrepancias, queda claro que todavía está por establecer cuál es el tiempo conveniente para esperar antes de considerar que el material ha alcanzado unas propiedades adecuadas.

En el estudio de Torabinejad (1995(c)) donde se evalúan las características físicas del MTA, el tiempo de fraguado que se establece es de 2 horas y 45 minutos. Este tiempo de fraguado es determinado empleando el método recomendado por la ISO (especificación 6876, para cementos selladores de conductos radiculares). Esta prueba lo que determina es el tiempo transcurrido hasta que el material se hace indeformable, lo cual no significa que el proceso de fraguado ha concluido completamente. De hecho, en el mismo trabajo (Torabinejad. 1995(c)) se evalúa también la resistencia a la compresión del MTA a las 24 horas y a los 21 días, y se observa que la resistencia del MTA aumenta de las 24 horas a los 21 días, lo que en principio indica que hasta 21 días después de la mezcla el material continúa su proceso de fraguado, por lo que cualquier otra propiedad podría seguir mejorando hasta al menos ese tiempo.

Un estudio que contempla la variable tiempo es el de Sluyk (1998). En él comprueban que la resistencia al desplazamiento de obturaciones de MTA a las 72 horas es significativamente mayor que a las 24h. Repiten el ensayo 14 días después y observan que

el material vuelve a oponer resistencia a ser desplazado, lo que significa que el cemento no había terminado el proceso de fraguado ni a las 24 ni a las 72 horas, puesto que en los siguientes 14 días ha vuelto a adquirir resistencia.

Algunos de los trabajos en los que se evalúa la capacidad de sellado del material comprueban esta propiedad después de distintos periodos de fraguado, para saber si con el tiempo la calidad del sellado obtenido continúa siendo la misma o incluso mejora. (*Bates. 1996; Yatsushiro. 1998; Wu. 1998; Kwak 2000; Weldon. 2002; Hardy. 2004*). Estos estudios arrojan resultados bastante contradictorios, sin llegar a establecer en ninguno de ellos cuál es el tiempo necesario para que el MTA alcance una capacidad de sellado adecuada.

Kwak (2000) no encuentra diferencias significativas en el sellado de barreras apicales de MTA por efecto del tiempo, medido inmediatamente y a las 24 horas; Según Bates (1996), el MTA demuestra tener una capacidad de sellado buena y estable a lo largo de todo el tiempo de su estudio (entre 24 horas y 12 semanas); Yatsushiro (1998) comprueba relativamente poca variabilidad en los el sellado conseguido con MTA entre 1 y 24 semanas; Tampoco Weldon (2002) encuentra ninguna relación entre el tiempo y una disminución de la filtración a través de perforaciones de furca reparadas con MTA.

Sin embargo, Wu (1998) sí observa que el sellado del MTA mejora entre las primeras 24 horas después de la mezcla y los 3, 6 y 12 meses siguientes. Hardy (2004) también observa menos filtración a través de perforaciones de furca reparadas con MTA después de 1 mes que a las 24 horas.

Así pues, el tiempo necesario para que ocurra un proceso de fraguado completo del MTA está aun por determinar puesto que ningún estudio ha analizado de manera definitiva este aspecto.

A propósito de esto, conviene analizar la definición de tiempo de fraguado de los materiales dentales: En general, cuando se habla de tiempo de fraguado de un material, es

para referirse al tiempo que transcurre hasta que la masa adquiere una consistencia tal que, sin haber endurecido completamente, ya permite ciertas maniobras, e incluso se vuelve indeformable, pero sin llegar a alcanzar la consistencia y firmeza definitiva (*Vega del Barrio. 1996*). Este periodo debe considerarse como *tiempo de fraguado inicial*, y es el que llega a medir Torabinejad (*1995(c)*) para el MTA, con la prueba estandarizada por la ISO. Se considera *tiempo de fraguado final* aquel que ha de pasar hasta que el material adquiere la firmeza, la consistencia, la dureza y la resistencia deseables, así como cualquier otra propiedad que lo haga apto para desarrollar su función específica. (*Vega del Barrio. 1996*). Este tiempo de fraguado final está aún por definir para el MTA, aunque, por los datos de los estudios mencionados anteriormente (*Torabinejad. 1995(c)*; *Sluyk. 1998*) este tiempo podría ser de al menos 21 días, puesto que se ha observado que alguna de las propiedades puede continuar mejorando durante aproximadamente ese tiempo.

Lo que sí se conoce es el tiempo de fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland y cuál es la evolución de este proceso: En una primera etapa, durante unos quince minutos a partir del contacto con el agua, la mezcla es moldeable y conserva su plasticidad, aunque poco a poco se va espesando, pero pudiendo volverse a una mayor fluidificación mediante un simple amasado mecánico (período de “masa plástica”). Luego la masa tiende a mantenerse rígida, oponiendo resistencia a la penetración. Esta resistencia aumenta hasta llegar a ser indeformable (período de “fraguado”). El tiempo que transcurre desde el contacto con el agua hasta el comienzo del periodo de fraguado se denomina tiempo de fraguado inicial. El momento en que el material se hace indeformable se conoce como “fin del fraguado”, y el tiempo que transcurre desde el inicio hasta este momento se denomina tiempo de “fraguado final”. La duración del período de fraguado varía para los distintos tipos de cemento Pórtland, oscilando entre los 45 minutos y las 4 horas. La medida de estos tiempos está normalizada mediante un ensayo similar al mencionado anteriormente para medir los tiempos de los cementos selladores de conductos, que consiste en una prueba de penetración con una aguja de masa y dimensiones conocidas. Esta normalización depende de normativas estatales. Después de este denominado período de fraguado, la reacción química continúa en el seno del cemento, etapa que se conoce como “período de endurecimiento”, y continúa hasta los 28 días (*Gomá. 1979*).

Como vemos, las definiciones de los tiempos fraguado inicial y final para el cemento Pórtland difieren algo respecto a las establecidas para los materiales dentales, lo cual puede ocasionar cierta confusión a la hora de manejar estos términos y relacionar las características del MTA con las de este tipo de cemento. Lo que en nuestro campo se denominaría tiempo de fraguado final, para el cemento Pórtland se conoce como tiempo de *endurecimiento*. Para evitar confusiones, emplearemos, también para el cemento Pórtland, el término *fraguado* para referirnos a todo el proceso.

Para explicar el proceso de fraguado del cemento Pórtland, se establecen tres fases: Un primer intervalo que dura de 3 a 4 minutos a partir del momento en que el cemento y el agua se ponen en contacto, en el que se produce la hidrólisis del 1% de sus principales componentes y la formación de fases hidratadas que precipitan en forma cristalina unas, y otras en forma de gel; El segundo intervalo comprende 24 horas, y en él ocurre que aumenta la viscosidad del medio a causa de la precipitación continuada del gel, frenándose así el proceso de hidrólisis, ya que el agua debe penetrar hacia las partículas de cemento por difusión a través del gel. Se produce la deshidratación del gel por la absorción de agua por parte de las partículas de cemento, de manera que continúa la formación de cristales, que van quedando envueltos por el gel. Así sigue la precipitación continua de cristales y coloides, formando ambos una urdimbre cada vez más densa en las tres direcciones del espacio; Se dice que existe un tercer período de los 7 a los 28 días en los que, con la presencia de agua suficiente, continúa la formación de fases hidratadas con formación de geles que van rellenando los poros de la masa, sustituyendo el agua que contenían. Este tercer período va asociado a un fenómeno de contracción y de aumento de resistencias (*Gomá. 1979*).

### **3. EL PARÁMETRO: La Resistencia al Desplazamiento**

El parámetro empleado para evaluar la influencia de la humedad y el tiempo en las características de fraguado del material es la resistencia al desplazamiento. Este parámetro se ha elegido dado que lo que se busca revisar es una característica física que represente de alguna manera la utilidad del material para ser empleado en las condiciones y aplicaciones propuestas por los responsables de su desarrollo. Puesto que se trata de un cemento pensado para obturar comunicaciones entre espacio pulpar y periodonto, una de las características que ha de cumplir es la estabilidad de las obturaciones en su emplazamiento. Esta característica se puede medir por distintos métodos, que determinan la *fuerza de unión* entre material y diente.

La fuerza de unión se puede denominar de forma genérica con el término *retención*, que se podría definir como el conjunto de causas mecánicas, físicas o químicas que mantienen dos cuerpos unidos. Este término se diferencia del concepto de *adhesión* en que en este segundo no hay implicación de aspectos mecánicos, sino que se refiere exclusivamente al conjunto de fuerzas que se oponen a la separación de las moléculas que pertenecen a dos cuerpos distintos. Dado que no conocemos las causas que provocan la unión entre este nuevo material y el diente, pero a primera vista sí parece que puede haber un componente mecánico en ella, no parece adecuado hablar de *adhesión* entre MTA y diente, por lo que hablaremos de *unión* o *retención* del material.

Existen diferentes métodos para medir la unión entre diente y un material restaurador, que básicamente consisten en la aplicación de fuerzas sobre los materiales unidos que provocan su separación. La fuerza necesaria para separar los dos cuerpos es la *resistencia de la unión*.

Esta resistencia depende de forma directamente proporcional de la extensión de la superficie de contacto entre los dos sustratos, por lo que siempre se expresa en unidades de fuerza por unidad de superficie, que en el sistema internacional de medida se corresponde con newtons (N) por metro cuadrado (m<sup>2</sup>), ó pascales (Pa). Dadas las reducidas magnitudes

de superficie que se manejan habitualmente en este campo, el denominador siempre es extremadamente pequeño, por lo que en pascales las cifras suelen ser muy elevadas. Por ello lo habitual es que se hable de resistencia generalmente en términos de megapascales (MPa) (dividiendo por 1000 la cifra expresada en pascales).

$$1\text{Pa} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2} = 10^{-6}\text{MPa}$$

Para medir la resistencia de la unión entre materiales y diente generalmente se emplean distintos tests de aplicación de fuerzas con la ayuda de máquinas de ensayos. Estos aparatos han sido diseñados para cubrir una gran gama de ensayos sobre los más diversos materiales. En función del diseño de los porta-muestras que sujetan los materiales a ensayar y del tipo de movimiento que se establezca, con estas máquinas de ensayos se pueden realizar pruebas de resistencia de diferentes tipos, tanto para un solo material como para comprobar la unión entre materiales. Los diferentes tipos de pruebas de resistencia se definen en función de la dirección y sentido de las fuerzas que se aplican sobre los materiales estudiados. Algunas de las pruebas más comúnmente empleadas son:

- Ensayos de compresión.- Este tipo de ensayos se realizan mediante la aplicación de dos fuerzas con igual dirección y sentido opuesto que inciden sobre el material aproximándose entre sí.
- Ensayos de tracción.- Aplicación de dos fuerzas con igual dirección y sentido opuesto que actúan alejándose una de otra.
- Ensayos de cizallamiento.- Aplicación de dos fuerzas con direcciones paralelas y sentidos opuestos que actúan aproximándose entre sí.

Existen distintos modelos y diseños para aplicar este tipo de pruebas, así como otros ensayos de aplicación de fuerzas para determinar la resistencia de la unión entre materiales y diente que no se ajustan a ninguno de estos tipos.

El sistema empleado en este trabajo para medir la retención se denomina *test de extrusión*. Este test básicamente consiste en comprobar la fuerza necesaria para desalojar un material de obturación de una cavidad preparada en una muestra de diente. Este sistema para medir la unión entre material y diente fue introducido inicialmente por Roydhouse en 1970 (Frankenberger. 2000(a,b)). Posteriormente otros autores han empleado este mismo ensayo, con algunas modificaciones (Frankenberger. 2000(a,b); Haller. 1991; Mason. 1998; Patierno. 1996; Shuyk. 1998; Hachmeister. 2002; Loxley. 2003). La sistemática de este test es, a grandes rasgos, la siguiente: en primer lugar, se prepara una cavidad, generalmente cilíndrica o con forma de tronco de cono, de unas dimensiones conocidas, en una muestra de tejido dentario; a continuación se obtura dicha cavidad con el material de prueba; después se aplica una especie de punzón, o émbolo, que ejerce fuerza sobre el material con una dirección paralela al eje de la cavidad, hasta que desaloja la obturación de su emplazamiento. Se mide la magnitud de esa fuerza en el momento que consigue retirar el material. Esa fuerza se relaciona con la superficie de contacto entre material y diente, que no es otra que la superficie del contorno del cilindro o tronco de cono que forma la cavidad. A esa medida la denominamos *resistencia al desplazamiento*, puesto que lo que se produce es un desplazamiento del material, aunque se podría considerar una forma de cizallamiento, ya que las fuerzas que intervienen tienen direcciones paralelas y sentidos opuestos. (Fig. I).

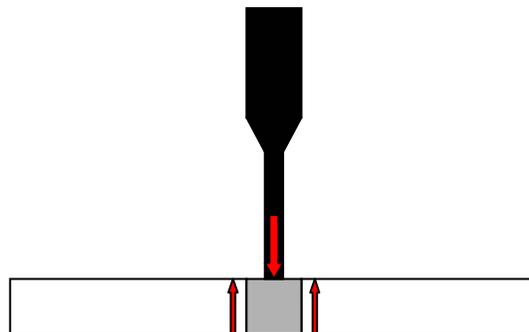


Fig. I: *Test de extrusión*

La resistencia al desplazamiento es un dato que objetiva la utilidad del material para ser empleado en determinadas situaciones clínicas de manera mucho más clara que cualquier otro parámetro que mida la unión entre el MTA y la dentina, como podría ser la resistencia a la tracción. Esto es debido a que el modelo de trabajo que requiere para su

determinación consiste en la extrusión del material de su emplazamiento en cavidades practicadas en dentina, situación que se aproxima bastante a los problemas para los que habitualmente se indica el empleo de MTA (por ejemplo para obturar perforaciones de raíces o de furca, o como barrera apical en apicoformación). Además, el test de extrusión contempla el componente mecánico que puede estar implicado en la unión entre el material y diente, puesto que lo que mide es la resistencia que opone el material a ser separado de una superficie de diente con forma tridimensional, que lo contiene dentro del espacio que delimita, por lo tanto se trata de retención. Por el contrario, los ensayos de tracción estarían más encaminados a evaluar uniones puramente adhesivas.

Cuantificar este parámetro en función de las variables tiempo y humedad puede aportar datos objetivos a la hora de tomar decisiones relevantes para su uso en clínica, tales como establecer el periodo de reposo razonable que debe mantenerse una obturación de MTA antes de permitir que se vea afectada por cualquier tipo de tensión o carga o determinar si el protocolo de aplicación y manipulación propuesto por Torabinejad y Chivian (1999) tiene o no repercusión sobre el resultado final de los casos. Responder a estas preguntas de índole práctica se hace más razonable cuanto más se aproxima el modelo de estudio empleado a las situaciones clínicas reales.

Por otra parte, el hecho de que existan otros trabajos que evalúen la retención del material empleando el mismo parámetro, permite tomar algunas referencias con las que relacionar los resultados obtenidos en el presente estudio, aunque sin poder establecer comparaciones, debido a que los diseños en la metodología difieren bastante, puesto que no existe ningún protocolo establecido y estandarizado para la aplicación de este test de extrusión, y además las variables estudiadas también son diferentes (*Sluyk. 1998; Loxley. 2003; Hachmeister. 2002*).

---

## **MATERIAL Y MÉTODO**

### **1. Material**

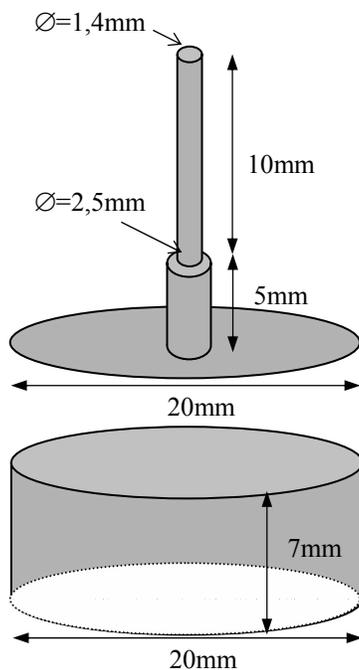
Para realizar el trabajo, se emplea el siguiente material:

- 240 secciones de raíces de dientes humanos extraídos, conservadas en formol al 10%.
- Cortadora mecánica (*EXACT cutting unit 400C*)
- Máquina universal de ensayos (*Hounsfield H5000M. Metrotec*).
- MTA (Agregado trióxido mineral). (*ProRoot<sup>®</sup>. Dentsply-Maillefer*) en las dos presentaciones en que se ha comercializado (de color oscuro y de color claro).
- Fresa cilíndrica de diamante de 1,4mm de diámetro (*314 014.Komet*).
- Pie de fijación para instrumental rotatorio.
- Porta-amalgamas retrógrado de punta fina (*Union Broach*).
- Condensador fino de amalgama tipo *Marquette 1*.
- Agua destilada.
- Resina de poliéster (*Cronolita activada<sup>®</sup>. Plastiform S.A*).
- Vaselina líquida.
- Bolitas de algodón.

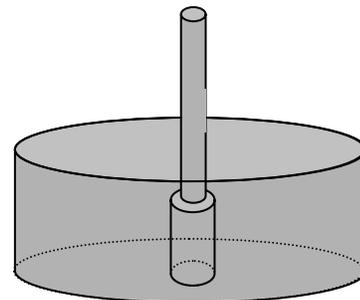
- Esponjas cilíndricas de poliuretano (*Pelle-Tim<sup>®</sup>. Voco*).
- Gasas de 7×7cm.
- Recipiente plástico con tapa hermética de 7×7cm de fondo y 6cm de altura.

Para preparar los especímenes y llevarlos a la máquina de ensayos se diseñaron las siguientes piezas:

- Moldes de acero desmontables que constan de dos piezas:
  - Pieza 1.- Base: Placa circular de 20 mm de diámetro con un vástago central constituido por dos tramos, uno de 2,5 mm de sección y de 5 mm de longitud desde la base y otro de 1,4 mm de sección y 10 mm de longitud;
  - Pieza 2.- Anillo de 20 mm de diámetro interno y 7 mm de altura. (Fig. 1 y 2). (Fotos 6 y 7).



*Fig. 1: Piezas 1 y 2.  
Molde desmontado.*



*Fig. 2: Molde montado*

- Pieza 3.- Cilindros de acero de 2,5 mm de sección y 5 mm de altura. (Fig. 3).  
(Foto 12)

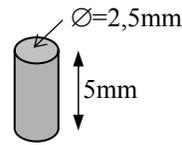


Fig. 3: Pieza 3. Cilindro

- Pieza 4.- Porta-muestras cilíndrico de 20 mm de altura y 30 mm de diámetro con una cavidad en el centro de la superficie superior de 7 mm de profundidad y 20 mm de diámetro (diseñada para albergar los especímenes). En el fondo de esta cavidad hay un pocillo central de 2,5 mm de diámetro). La cara inferior del porta-muestras lleva preparada una rosca (Fig. 5).

Este porta-muestras tiene una tapa, de 2 mm de espesor, que encaja sobre la superficie superior, la cual presenta una perforación en el centro de 1,4 mm de diámetro (Fig. 4). [Pieza 5].

(Fotos 23 y 24)

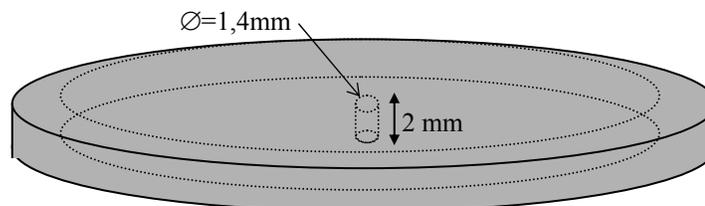


Fig. 4: Pieza 5. Tapa del porta-muestras

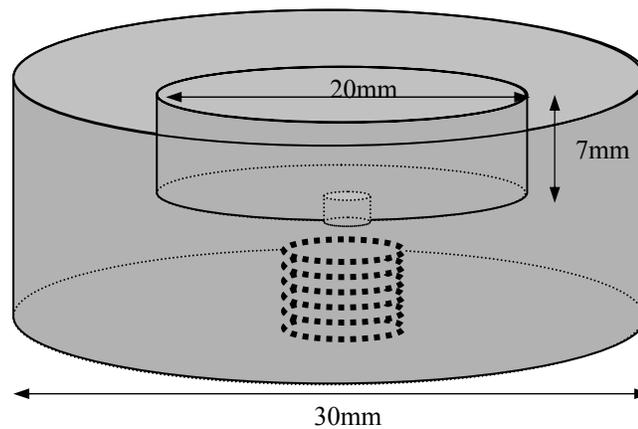
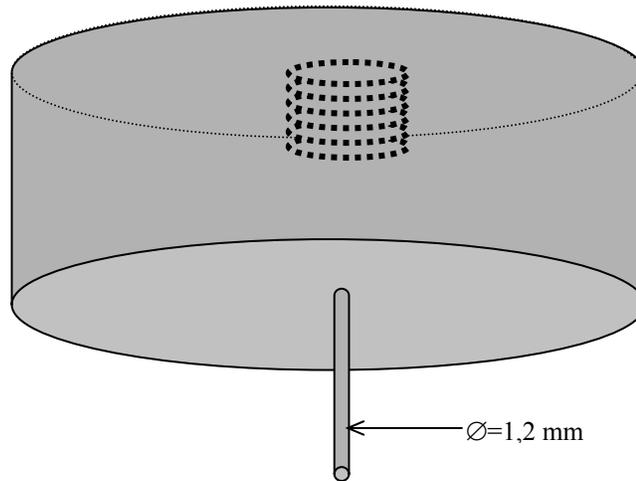


Fig.5: Pieza 4. Porta-muestras

- Pieza 6.- Cilindro de 20 mm de altura y 30 mm de diámetro, de cuya base inferior sobresale, centrado en el eje del cilindro, un vástago cilíndrico de 1,2 mm de sección. En la cara superior lleva practicada una perforación roscada. (Fig. 6). (Foto 26)



*Fig 6: Pieza 6*

- Pieza 7.- Dispositivo de alineamiento para acoplar las dos piezas anteriores a la máquina de ensayos, con forma de prisma, y provisto de dos barras que pasan por el centro de las caras superior e inferior. Las barras deslizan por sus entradas, aproximándose hasta encontrarse en el centro de la parte interna del prisma. Un tramo roscado en el extremo de las barras que queda en el interior del dispositivo permite sujetar a éstas las dos piezas cilíndricas antes descritas [piezas 4 y 6] (Fig. 7). El extremo saliente de cada barra termina en una porción aplanada. Este dispositivo permite centrar a la vez que enfrenta y aproxima las dos piezas cilíndricas que enroscan en los extremos de las barras [piezas 4 y 6] (Fig. 8). (Fotos 27 y 28).

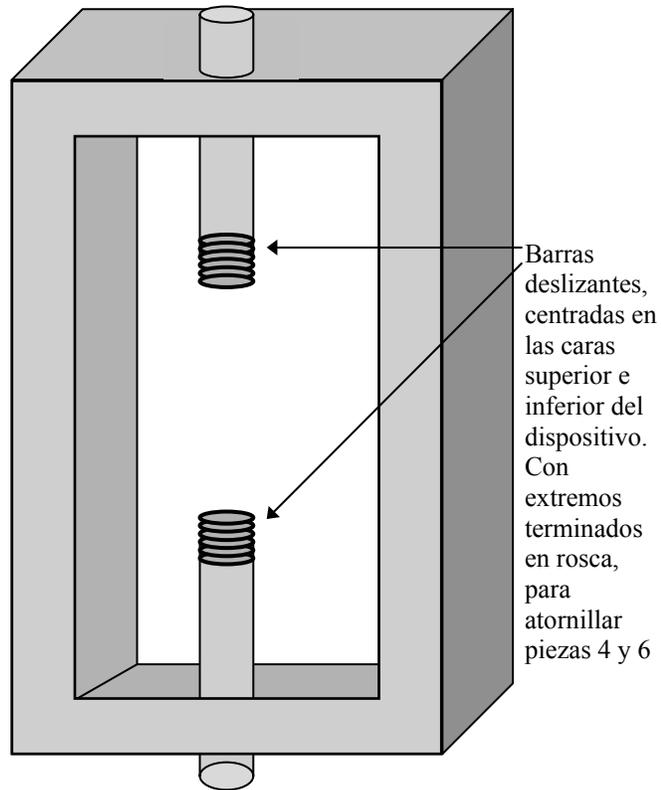


Fig.7: Dispositivo de alineamiento

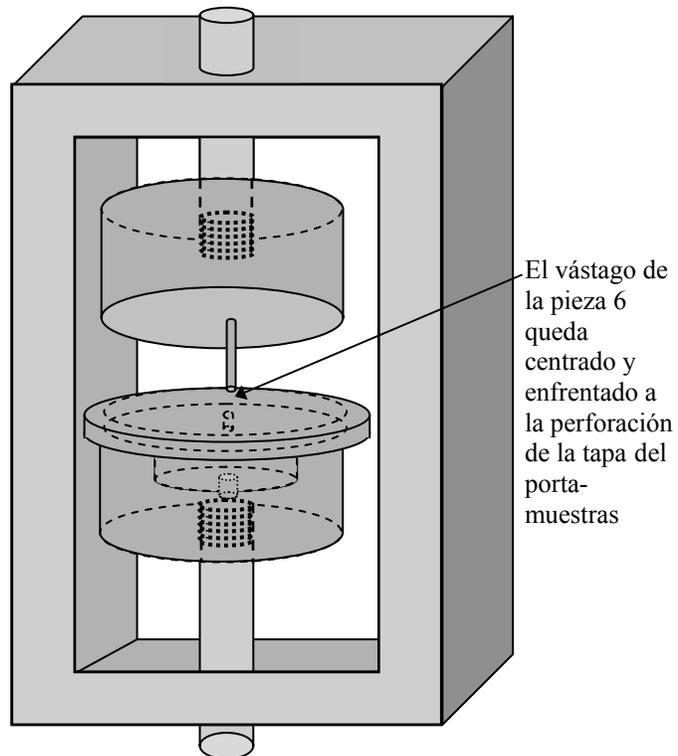


Fig. 8: Dispositivo con piezas 4 y 6 roscadas.

## 2. Método

Para facilitar la lectura de la descripción del método, haremos primero un breve resumen: Se seccionan las raíces perpendicularmente a su eje mayor, se perforan estas secciones, se obturan con MTA, se permite fraguar el MTA en distintas condiciones de humedad y tiempo y por último se mide la fuerza necesaria para desplazar estas obturaciones de su alojamiento. A continuación se describen los pasos realizados para llevar a cabo este proceso.

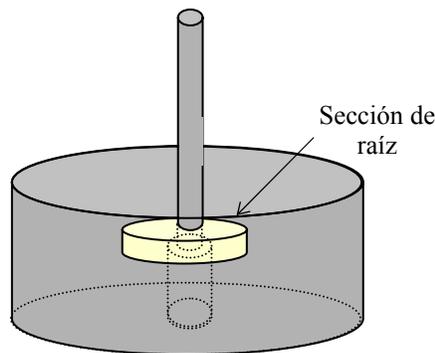
Los dientes se seleccionan primero comprobando que no presentan caries en las raíces. Se prefieren raíces con un solo conducto, o conductos de sección más bien circular. Se excluyen las raíces con conductos alargados o con istmos, y los conductos muy anchos (todos aquellos cuyo diámetro sea mayor de 1,4 mm en alguna dirección) para que la perforación realizada posteriormente quede rodeada de dentina en todo su contorno, y no se comunique con la luz del conducto en ningún punto.

Se cortan las raíces de los dientes extraídos en secciones de 2 mm de espesor, con el plano de corte perpendicular al eje mayor del diente. Para ello se fija el diente en las mordazas de la cortadora mecánica de manera que el eje longitudinal de la raíz quede perpendicular a la cinta de corte. (Fotos 1 y 2)

Se realiza una perforación en el centro de cada sección de raíz de 1,4 mm de diámetro con la fresa de diamante, introduciéndola en dirección perpendicular a la superficie de la misma. Para asegurar que la fresa penetra en dirección perpendicular a la superficie de la sección de diente, se coloca ésta, en posición horizontal, sobre la base del pie de fijación en el que está montado el instrumento rotatorio que acciona la fresa. Este pie consta de una base horizontal, con una pequeña prensa con la que se mantiene sujeta la sección de raíz paralela a esa base, y de un brazo de angulación regulable en el que se fija el instrumento rotatorio (Foto 3). El brazo se fija de manera que la fresa colocada en el instrumento queda en una dirección que forma un ángulo de 90° con respecto a la base,

permitiendo solamente un movimiento vertical en dicho brazo, con lo que la fresa sólo puede penetrar en dicha dirección sobre la sección de diente. (Fotos 4 y 5)

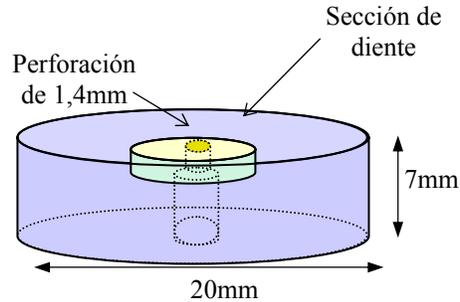
A continuación, las secciones de raíz se incluyen en resina acrílica activada. Para ello, se colocan las secciones en los moldes [Piezas 1 y 2]. Las secciones de diente se introducen en el vástago central, a través de la perforación, y se desplazan hasta hacer tope con la porción más ancha del vástago (Fig.9). (Fotos 8 y 9)



*Fig. 9: Sección de raíz colocada en el molde*

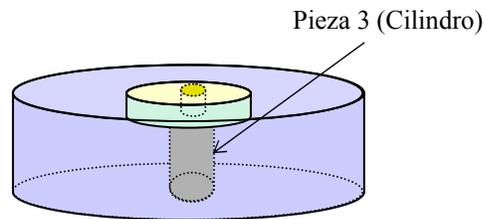
Una vez colocada la sección de diente correctamente, se prepara la resina y se vierte cuidadosamente dentro del molde, evitando que quede sobre la superficie superior del diente. (Foto 10). Previamente, los moldes se cubren con vaselina líquida, para facilitar la extracción de la resina una vez endurecida.

Tras endurecer la resina, y una vez extraídos del molde, los especímenes consisten en bloques cilíndricos de resina de 20 mm de diámetro y 7 mm de altura, con la sección de raíz incluida sobre la cara superior. La perforación de la raíz queda centrada en el eje del cilindro, libre de resina por la superficie externa, e inmediatamente por debajo de la misma queda un espacio vacío dentro de la resina de forma cilíndrica de 2,5 mm de diámetro y 5 mm de altura, también centrado en el eje del cilindro. (Fig.10). (Foto 11).



*Fig. 10: Espécimen: Sección de raíz incluída en resina*

Se obtura la perforación del diente con MTA. Para tener una base sobre la que compactar el MTA en la perforación, se introduce el cilindro de acero [Pieza 3], que encaja en el espacio vacío que queda en la resina inmediatamente por debajo de la perforación del diente. (Fig. 11). (Foto 13).



*Fig. 11: Espécimen con pieza 3 colocada en el espacio inferior*

El polvo de MTA se mezcla con agua destilada en proporción 3:1, como indica el fabricante, hasta conseguir una consistencia pastosa. El material se aplica con el porta-amalgamas retrógrado y se compacta dentro de la perforación con ayuda del condensador fino de amalgama hasta rellenar completamente la cavidad. Se retiran los restos de material de la superficie superior con una bolita de algodón húmeda. (Fotos 14 - 17). Se retira después el cilindro que servía de base para compactar el material.

Para obturar las primeras 180 muestras se emplea el primer tipo de MTA que salió al mercado (*ProRoot-MTA*), de color oscuro. A este grupo de especímenes se le denomina grupo “oscuro” (O). (Foto 18). Posteriormente, se incluye en el estudio la nueva presentación de *ProRoot-MTA* que aparece en el mercado, de color claro, y con este nuevo

polvo se preparan otras 60 muestras, que constituyen el grupo “claro” (C). (Foto 19). Dado que este tipo de material se incorpora en una fase avanzada del estudio, como más adelante se aclara, con este grupo C no se repite todo el análisis realizado con el grupo O, sino que se eligen los grupos con resultados de mayor interés de los obtenidos con los datos del grupo O y se preparan ese mismo número de muestras con el nuevo material.

80 de los especímenes del grupo O se colocan directamente en el recipiente hermético, sin añadir agua destilada. Estos especímenes constituyen el grupo “seco” (S), puesto que el material no recibe ningún aporte adicional de hidratación durante el fraguado.

En el resto de especímenes (100 del grupo O y los 60 del C), se permite fraguar el material en presencia de humedad. Este grupo se denomina “húmedo” (H). Para garantizar que los especímenes se mantienen con una cantidad de agua suficiente como para asegurar que el material puede seguir absorbiendo agua durante todo el tiempo de fraguado, dentro del recipiente se añade un volumen de agua destilada que equivale a aproximadamente 200 veces el volumen total de MTA. Al retirar el cilindro de acero de la parte inferior de los especímenes, éste se sustituye por una esponja cilíndrica de poliuretano (*Pelle-Tim*<sup>®</sup>. *Voco*). (Foto 20). La mitad del agua se vierte en el fondo del recipiente, para que las esponjas lo absorban e hidraten el material, y con la otra mitad se empapa una gasa con la que se cubren los especímenes. A continuación se cierra herméticamente el recipiente, para mantener la humedad durante el fraguado. (Fotos 21 – 22)

A continuación, se mantienen los especímenes en reposo, a una temperatura constante de 37°C durante espacios de tiempo diferentes, para permitir distintos tiempos de fraguado al material: 1, 3, 7, 21 y 28 días.

Dentro del grupo S se establecen los siguientes subgrupos:

- Grupo “oscuro-seco-1 día” (OS1): 20 especímenes se mantienen en ausencia de humedad durante un tiempo de fraguado de 1 día.

- 
- Grupo “*oscuro-seco-3días*” (OS3): 20 especímenes se mantienen en ausencia de humedad durante un tiempo de fraguado de 3 días.
  - Grupo “*oscuro-seco-7días*” (OS7): 20 especímenes se mantienen en ausencia de humedad durante un tiempo de fraguado de 7 días.
  - Grupo “*oscuro-seco-21días*” (OS21). 20 especímenes se mantienen en ausencia de humedad durante un tiempo de fraguado de 21 días.

Como más adelante se expone, a la vista de los resultados obtenidos en un primer análisis de datos, no se sigue aumentando el tiempo de fraguado para este grupo S.

Los especímenes obturados con MTA de color *oscuro* (O) y fraguados en presencia de humedad (H) se dividen en:

- Grupo “*oscuro-húmedo-1día*” (OH1): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 1 día.
- Grupo “*oscuro-húmedo-3días*” (OH3): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 3 días.
- Grupo “*oscuro-húmedo-7días*” (OH7): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 7 días.
- Grupo “*oscuro-húmedo-21días*” (OH21): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 21 días.
- Grupo “*oscuro-húmedo-28días*” (OH28): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 28 días.

Con el MTA de color *claro* se preparan 3 grupos (C). Se eligen los tiempos de fraguado de los grupos que obtienen resultados más llamativos al analizar los datos del grupo O:

- Grupo “*claro-3días*” (CH3): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 3 días.

- Grupo “claro-21días” (CH21): 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 21 días.
- Grupo “claro-28días” (CH28). 20 especímenes se mantienen en ambiente de 100% humedad durante un tiempo de fraguado de 28 días.

La distribución de los grupos de especímenes y su nomenclatura se resumen en la siguiente tabla:

Color	Humedad	Tiempo de fraguado				
		“1día”	“3días”	“7días”	“21días”	“28días”
“oscuro”	“seco”	OS1	OS3	OS7	OS21	
	“húmedo”	OH1	OH3	OH7	OH21	OH28
“claro”	“húmedo”		CH3		CH21	CH28

Pasado el tiempo de fraguado correspondiente en cada grupo, se procede al ensayo de extrusión. Para ello, se coloca el espécimen en el porta-muestras [pieza 4]. (Foto 25). Se atornillan las piezas 4 y 6 (porta-muestras y cilindro con vástago) a las barras del dispositivo de alineamiento [pieza 7], y se coloca la tapa sobre el porta-muestras [pieza 5]. La pieza 7 se acopla en la máquina universal de ensayos, apretando las mordazas que ésta lleva incorporadas sobre los extremos aplanados de las barras. (Fotos 28 y 29).

La máquina universal de ensayos Hounsfield H5000M consta de dos brazos verticales de soporte, uno móvil (inferior) y otro fijo (superior), a los que se acoplan las mordazas con las que se fijan los dispositivos que sujetan los materiales de ensayo, interpuestos entre los dos brazos. El movimiento del brazo inferior es controlado por un dispositivo electrónico que se acciona mediante un panel situado en la parte inferior de la máquina, y que lleva incorporado un sistema de medición de fuerzas y un sistema de medición del desplazamiento. El panel de control consta de varios módulos: En uno de ellos se selecciona el tipo de fuerzas que se van a registrar: “tracción”, para lo cual el brazo inferior se mueve hacia abajo separándose del superior, o “compresión”, para lo que el

brazo inferior se aproxima al superior; Otro módulo controla la velocidad de desplazamiento del brazo móvil; En un visor de este panel se presenta la fuerza que es preciso aplicar al brazo inferior para mantener constante el movimiento programado; Otro visor presenta la longitud del desplazamiento del brazo móvil durante el ensayo. La máquina lleva conectado un ordenador con un software específico que procesa los datos registrados y permite, entre otras funciones, determinar los valores máximos de las fuerzas registradas y construir gráficas con esos registros para cada ensayo.

Para este trabajo, la máquina se programa en modo “compresión”, y se ajusta la velocidad, de manera que la barra inferior se desplace con movimiento constante de 1mm/min. acercándose a la barra superior, de modo que las dos piezas que llevan roscadas se aproximen, enfrentándose así el vástago de la pieza 6 y la perforación central de la tapa del porta-muestras [pieza 5]. El vástago penetra a través de la perforación de la pieza 5, para llegar a tocar el espécimen justo sobre la obturación de MTA. El vástago presiona sobre el MTA, hasta desobturar la perforación de la sección de raíz. Una vez desprendido, el material cae y queda recogido dentro del pocillo del fondo de la cavidad del porta-muestras.

La máquina registra los valores de fuerza ejercida durante el ensayo y los transmite al ordenador, que construye una gráfica con los datos de cada ensayo y proporciona, además, el valor máximo de fuerza ejercida ( $F_{max}$ ), fuerza necesaria para desprender la obturación de MTA.

Para definir la resistencia al desplazamiento, la fuerza máxima detectada se relaciona con la superficie de contacto entre material y diente, que corresponde a la superficie externa del cilindro de MTA que rellena la perforación (S).

$$S = 2 \times r \times \pi \times h \rightarrow S = 1,4 \times 3,14 \times 2 \text{ mm}^2 = 8,792 \text{ mm}^2 = 8,792 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

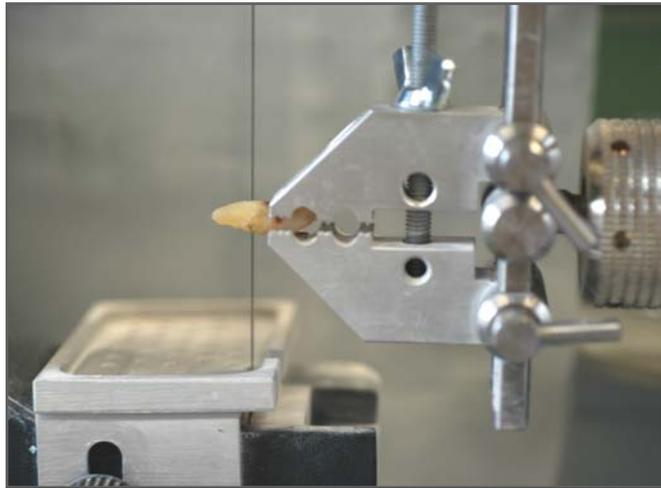
$$\text{Resistencia al desplazamiento} = F_{max} \text{ (N)} / S \text{ (m}^2\text{)} \text{ Pa} = 10^{-6} \text{ MPa.}$$

Como la fuerza detectada en la máquina de ensayos se registra en kg en el programa informático, para expresar los valores de resistencia al desplazamiento en unidades de fuerza por unidad de superficie se deben transforman a MPa, según la siguiente fórmula:

$$\text{Resistencia} = \frac{F \max(\text{kg}) \times 9,807 \text{ N}}{S(\text{mm}^2) \times 10^{-6} \text{ m}^2} \text{ Pa} \times 10^{-6} \text{ MPa}$$

Se hallan las medias de los valores de resistencia obtenidos en cada grupo. Se comparan las medias resultantes de los diferentes grupos para comprobar, en primer lugar, si tiene relevancia la presencia o ausencia de humedad durante el fraguado del material en su resistencia al desplazamiento y si el tiempo de fraguado afecta a dicho parámetro. En un segundo análisis, se comprueba si existe alguna diferencia entre las dos presentaciones del material. Para efectuar estos análisis se aplican las pruebas estadísticas correspondientes para la comparación de las medias con ayuda del programa informático SPSS para Windows.

A continuación se presentan una serie de fotografías que ilustran ordenadamente los procedimientos y materiales empleados en la metodología descrita.



*Foto 1: Seccionado de la raíz*



*Foto 2: Sección de raíz*



*Foto 3: Pie de fijación para fresa y sección de raíz.*



*Foto 4: Perforación de la sección de raíz*



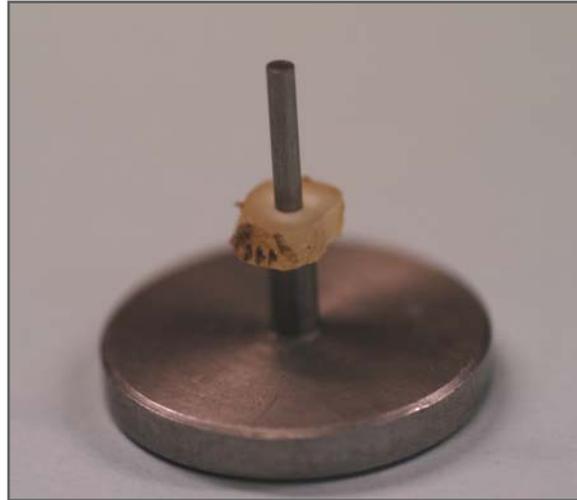
*Foto 5: Sección de raíz perforada*



*Foto 6: Molde desmontado [Piezas 1 y 2]*



*Foto 7: Molde*



*Foto 8: Sección de raíz en el vástago del molde*



*Foto 9: Sección de raíz en el molde*



*Foto 10: Molde con resina*



*Foto 11: Espécimen retirado del molde.*



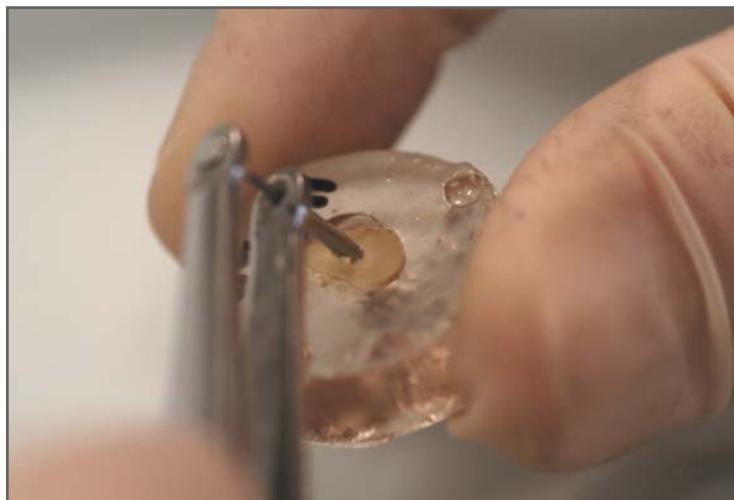
*Foto 12: Cilindro*



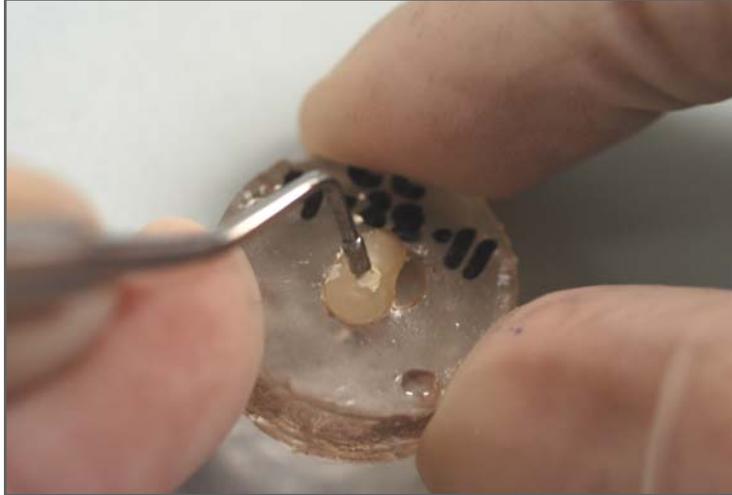
*Foto 13: Espécimen con cilindro*



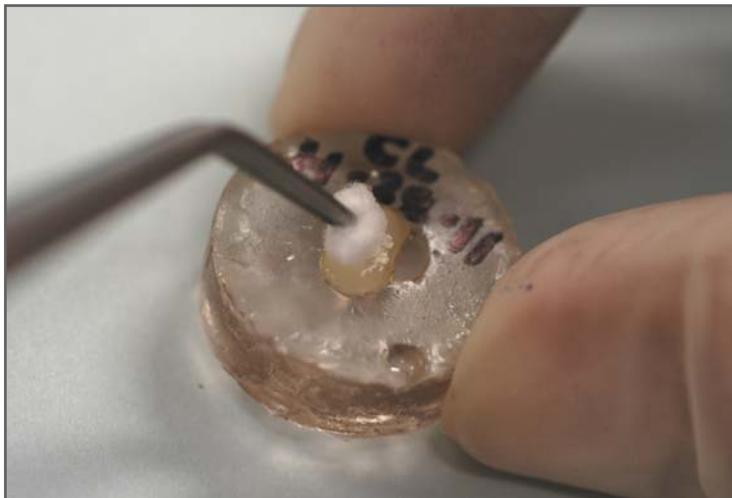
*Foto 14: Mezclado de MTA*



*Foto 15: Aplicación de MTA con porta-amalgama*



*Foto 16: Aplicación de MTA con condensador fino*



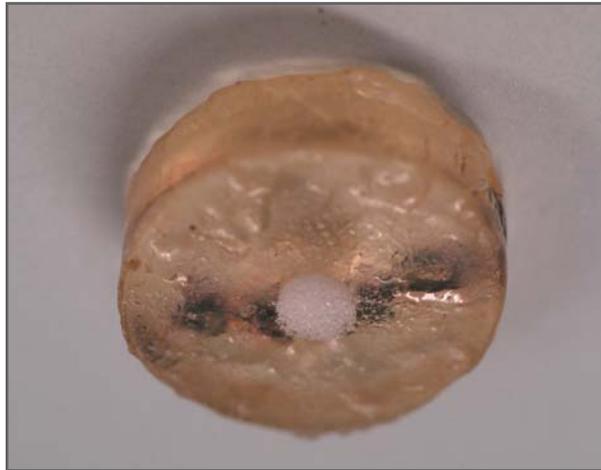
*Foto 17: Retirada de excesos de MTA con algodón húmedo*



*Foto 18: Espécimen con obturación de MTA de color oscuro*



*Foto 19: Espécimen con obturación de MTA de color claro*



*Foto 20: Espécimen con esponja de poliuretano en cavidad inferior*



*Foto 21: Especímenes cubiertos con gasa húmeda*



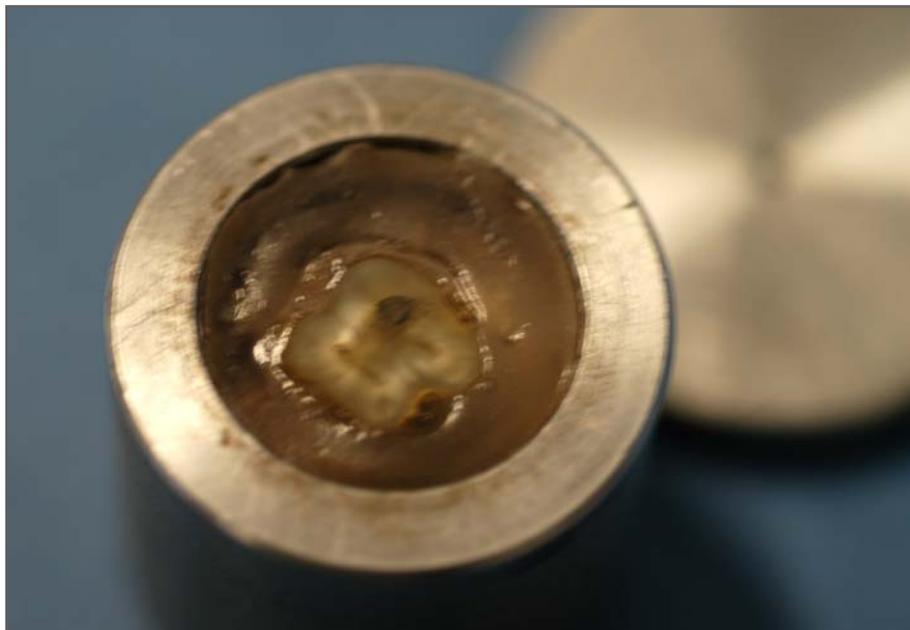
*Foto 22: Recipiente hermético*



*Foto 23: Porta-muestras*



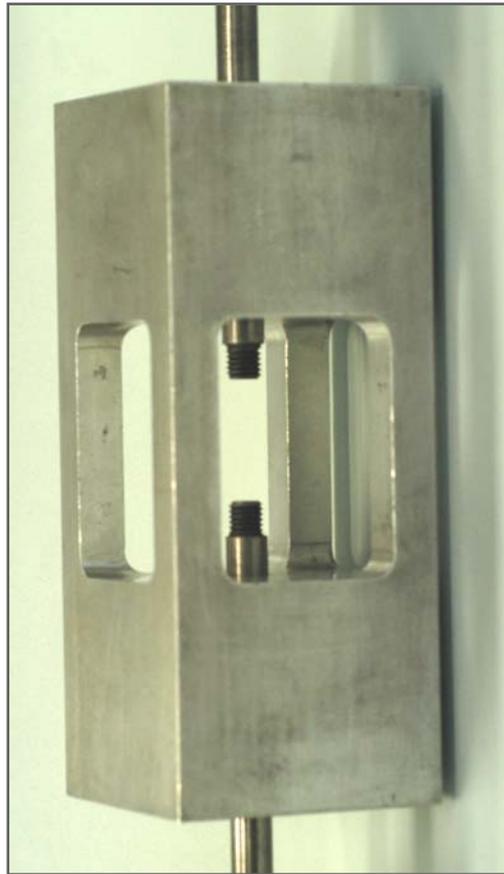
*Foto 24: Porta-muestras con tapa*



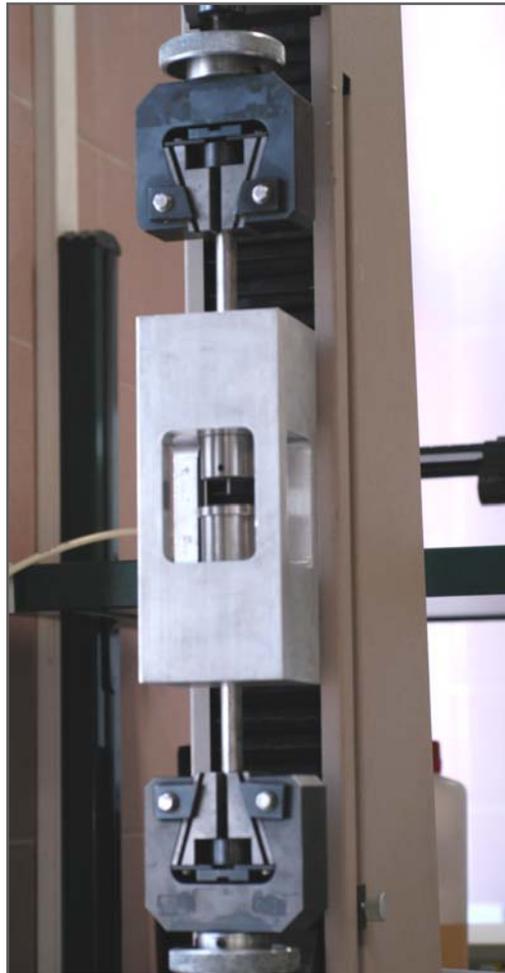
*Foto 25: Espécimen en el porta-muestras*



*Foto 26: Pieza con vástago*



*Foto 27: Dispositivo de alineamiento*



*Foto 28: Dispositivo de alineamiento con piezas roscadas y fijado con las mordazas a la máquina de ensayos.*



*Foto 29: Máquina universal de ensayos*

## RESULTADOS

Durante la manipulación, antes de medir la resistencia al desplazamiento de las obturaciones, se perdieron 5 especímenes, por fracturas de las muestras de diente no detectados en el momento de la preparación o debidos a errores en la ubicación dentro del porta-muestras, provocados por rebabas de resina, que impidieron un correcto centrado del vástago al desobturar. Los especímenes invalidados fueron:

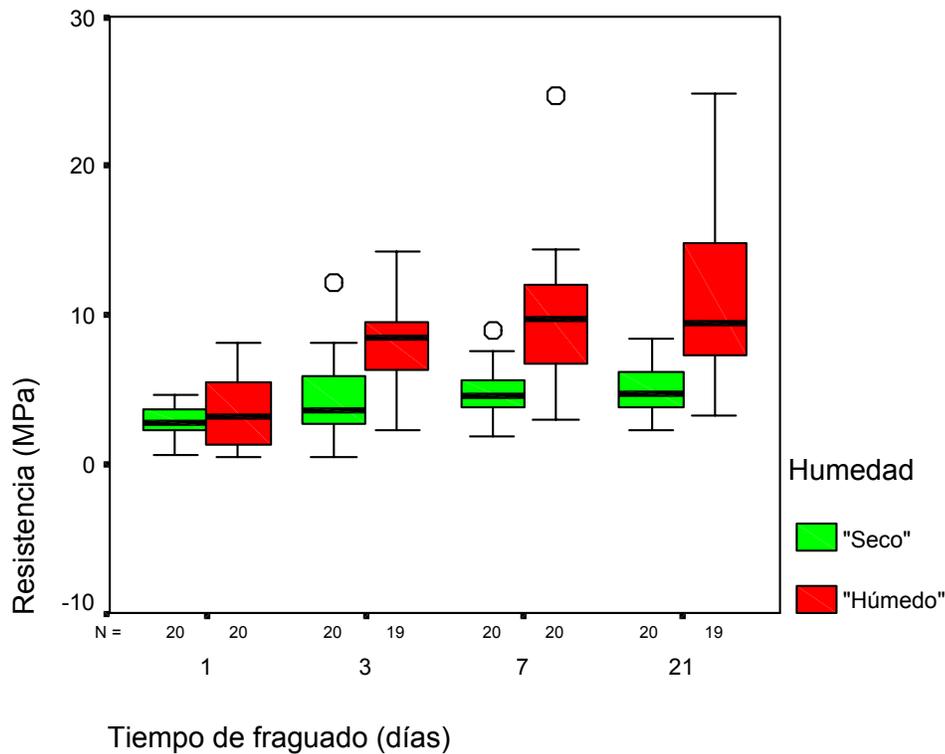
- Uno del grupo OH3.
- Uno del grupo OH21.
- Dos del grupo CH3.
- Uno del grupo CH21.

En una primera fase, los grupos de muestras que se estudian son los siguientes: OS1, OS3, OS7, OS21, OH1, OH3, OH7 y OH21.

Las medias de los valores de resistencia obtenidos, así como los máximos y mínimos de cada grupo y su desviación típica, se presentan en la siguiente tabla.

Humedad	Grupo	Nº Especímenes	Media (MPa)	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>"Seco"</i>	<i>S1</i>	20	2,8685	,9997	,55	4,62
	<i>S3</i>	20	4,4489	2,7272	,46	12,23
	<i>S7</i>	20	4,7484	1,7121	1,81	8,91
	<i>S21</i>	20	4,9788	1,6825	2,23	8,42
<i>"Húmedo"</i>	<i>OH1</i>	20	3,6405	2,4154	,41	8,16
	<i>OH3</i>	19	8,3783	2,9210	2,28	14,27
	<i>OH7</i>	20	9,9057	4,8646	2,96	24,68
	<i>OH21</i>	19	11,3825	5,9004	3,20	24,88

Con los datos de estos 8 grupos se construyeron los diagramas de cajas que se muestran a continuación, que dan una idea de la distribución y asimetría de los datos en cada grupo.



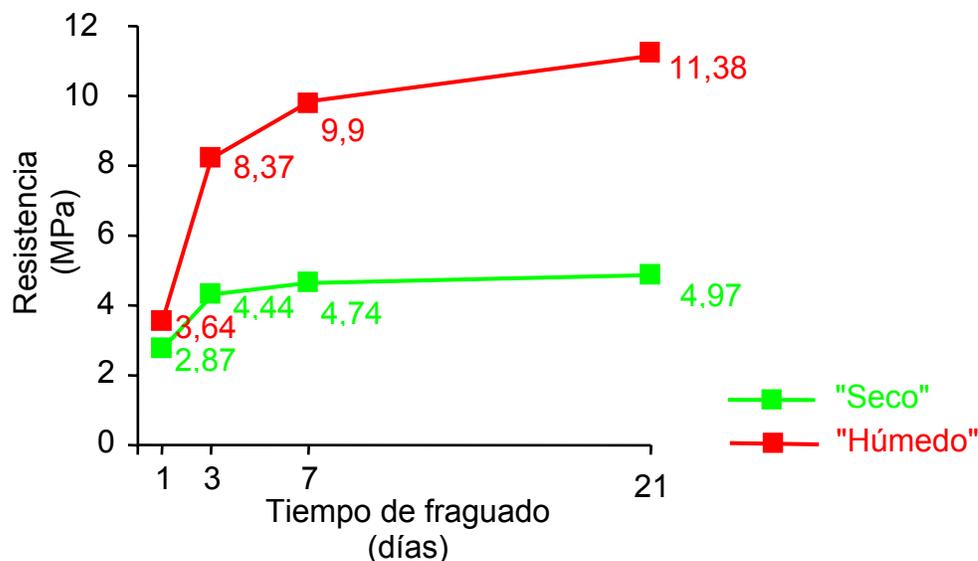
En general, se observa una distribución relativamente regular en todos los grupos, si bien es cierto que en algunos se detecta cierta dispersión y asimetría (especialmente en los grupos OH7 y OH21), así como la presencia de algunos valores extremos (grupos OS3, OS7, OH7 y OH21). Aun así, es bastante evidente la tendencia de los grupos H a aumentar los valores de resistencia con el tiempo, mientras que los grupos S se mantienen en unos valores prácticamente constantes.

Se aplican las pruebas de normalidad, para determinar si los valores observados se ajustan a una distribución normal, con la intención de comprobar si es posible aplicar pruebas paramétricas para comparar las medias de los diferentes grupos. En todos ellos se acepta el supuesto de normalidad, aunque en uno de los grupos, concretamente el S3, la

significación obtenida en las pruebas ( $p=0,01$ ) queda en el límite de significación comúnmente aceptado ( $p>0,01$ ). Se decide aceptar el supuesto de normalidad, para a continuación aplicar pruebas paramétricas, dado que éstas son más fiables a la hora de detectar diferencias entre grupos.

Se comparan las medias aplicando el test ANOVA con dos factores y se comprueba que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, tanto por efecto del factor humedad ( $p<0,001$ ) como por el tiempo ( $p<0,001$ ).

Además, se observa que la interacción de las dos variables también altera de manera estadísticamente significativamente los resultados de resistencia ( $p=0,001$ ), lo que significa que agrupando los datos en función de la humedad, la variable tiempo afecta de forma diferente los valores de resistencia obtenidos en los grupos S y los grupos H, como se puede apreciar en la gráfica construida con las medias.



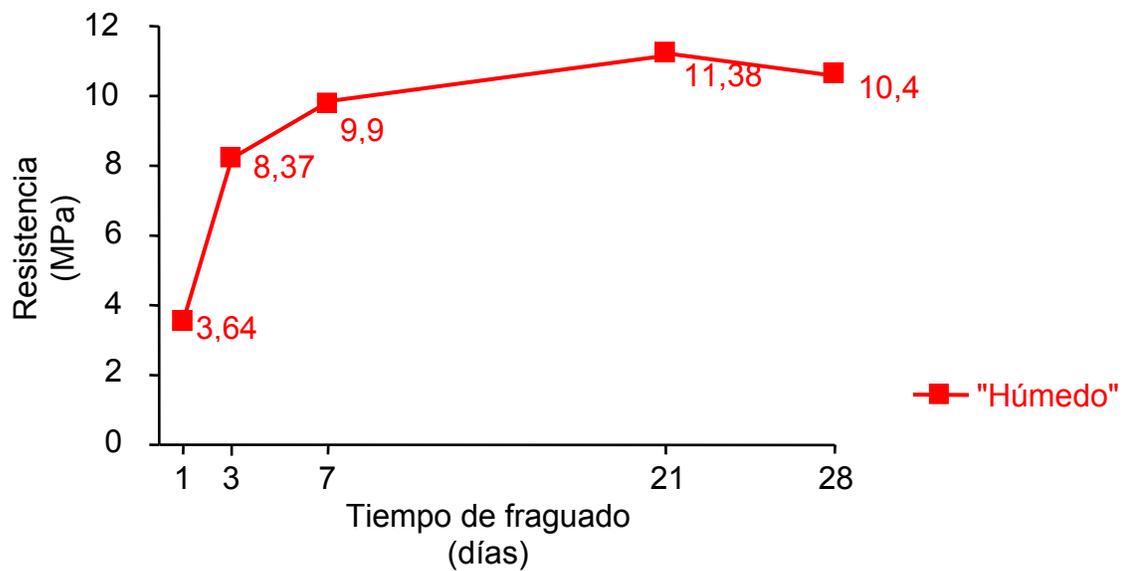
A la vista de esto, se comparan las medias en función del tiempo para cada grupo (S y H) por separado.

---

Así, en el grupo S, al aplicar ANOVA de un factor, se determina que existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ( $p=0,003$ ). Después de aplicar el test *post hoc* de Duncan se determina que no existen diferencias estadísticamente significativas (para  $\alpha=0,05$ ) entre los grupos OS3, OS7 y OS21, lo que significa que la diferencia detectada corresponde a la que existe entre el grupo OS1 y el resto. Esto muestra que, en ausencia de agua, la resistencia no aumenta significativamente con el tiempo, salvo en el primer intervalo, de 1 a 3 días (OS1=2,86MPa; OS3=4,44MPa). Entre los siguientes intervalos de tiempo de fraguado, 3 días, 7 días y 21 días (OS3=4,44MPa; OS7=4,74MPa; OS21=4,97MPa) no se aprecia un aumento significativo en los valores de resistencia.

En el grupo H, con el test ANOVA de un factor también se detectan diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $p<0,001$ ). El test *post hoc* de Duncan establece tres subconjuntos entre los que se detectan diferencias estadísticamente significativas (para  $\alpha=0,05$ ): En uno queda el grupo OH1; En otro, los grupos OH3 y OH7; En el tercero, los grupos OH7 y OH21. Entre 3 y 21 días (OH3=8,37; OH21=11,38MPa) la diferencia es estadísticamente significativa. No así entre 3 y 7 días (OH3=8,37; OH7=9,90MPa) ni entre 7 y 21 días (OH7=9,90; OH21=11,11MPa). Esto indica que, cuando el MTA fragua en presencia de humedad, la resistencia al desplazamiento aumenta a medida que aumenta el tiempo de fraguado, especialmente de 1 a 3 días (OH1=3,64MPa; OH3=8,37MPa). A partir de 3 días, los valores de resistencia siguen subiendo, aunque de forma más moderada.

La siguiente cuestión que se plantea es si después de más de 21 días de fraguado en presencia de humedad, el valor medio de resistencia sigue aumentando. Se añade un nuevo grupo de muestras obturadas con el mismo tipo de material que las anteriores (*oscuro*) y con tiempo de fraguado en húmedo de 28 días (OH28). Se observa una ligera disminución de la media de resistencia entre 21 y 28 días (OH28=10,40MPa) como se puede observar en la gráfica de resistencia respecto al tiempo que se muestra a continuación.



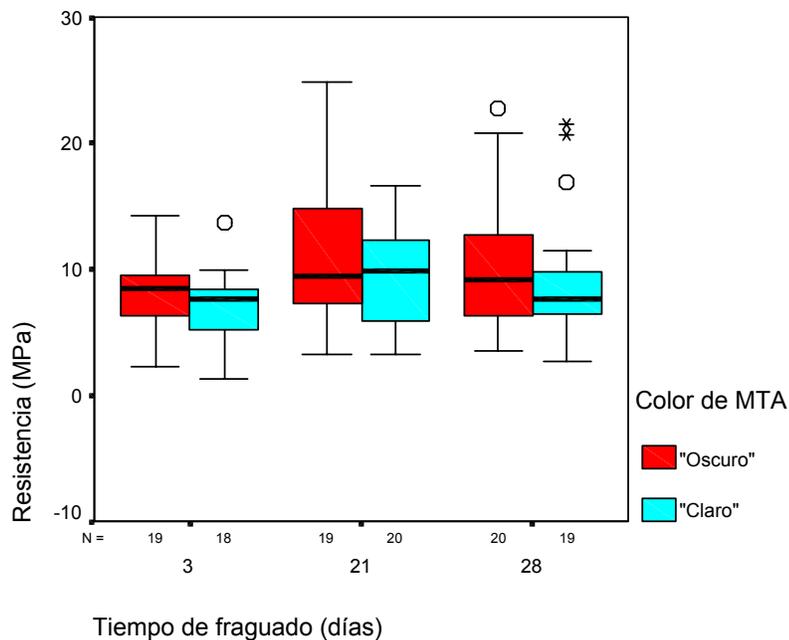
Al aplicar de nuevo la prueba ANOVA en este grupo, se detectan diferencias estadísticamente significativas entre grupos ( $p < 0,001$ ). Se aplican pruebas *post hoc* y vuelve a encontrarse diferencia significativa entre el grupo OH1 y el resto. Entre los grupos OH21 y OH28 no se detectan diferencias, lo que indica que la variación del valor medio de resistencia entre 21 y 28 días (de 11,38 a 10,4 MPa) no es estadísticamente significativa. Por lo tanto, a la vista de estos resultados, parece posible deducir que la resistencia al desplazamiento no sigue aumentando a los 28 días.

Con la nueva presentación del material, de color *claro*, se preparan otros grupos de muestras (C) en las condiciones de fraguado que coinciden con los grupos de muestras ya estudiados (del grupo O) que presentan diferencias estadísticamente significativas entre las medias: en *húmedo* y durante *3 días* (CH3) y *21 días* (CH21); se añade también el grupo *28 días* (CH28). Se comparan los datos de los seis grupos (OH3, OH21, OH28, CH3, CH21 y CH28).

Las medias de los valores de resistencia, así como los máximos y mínimos de cada grupo y su desviación típica se presentan en la siguiente tabla.

Color de MTA	Grupo	Nº especímenes	Media (MPa)	Desviación típica	Mínimo	Máximo
"Oscuro"	<i>OH3</i>	19	8,3783	2,9210	2,28	14,27
	<i>OH21</i>	19	11,3825	5,9004	3,20	24,88
	<i>OH28</i>	20	10,4067	5,4671	3,47	22,77
"Claro"	<i>CH3</i>	18	7,0270	2,89412	1,26	13,65
	<i>CH21</i>	20	9,7155	4,25620	3,26	16,66
	<i>CH28</i>	19	9,1628	5,13219	2,64	21,50
Total	<i>3días</i>	37	7,7209	2,9479	1,26	14,27
	<i>21días</i>	39	10,5276	5,1246	3,20	24,88
	<i>28días</i>	39	9,8007	5,2743	2,64	22,77
	Total	115	9,3781	4,7091	1,26	24,88

Con todos los datos de estos grupos se construyen los diagramas de cajas que se muestran en la siguiente gráfica.



Como se aprecia en la gráfica, los grupos O y C se distribuyen de manera similar respecto al tiempo, creciendo en ambos los valores de resistencia de 3 a 21 días para luego estabilizarse o disminuir ligeramente de 21 a 28 días. En todos estos grupos se observa una importante dispersión de los datos y bastante asimetría en su distribución dentro de cada grupo. Aun así, las pruebas de normalidad indican que sólo uno de los grupos, concretamente el CH28, queda en el límite de significación para cumplir el supuesto de normalidad ( $p=0,01$ ).

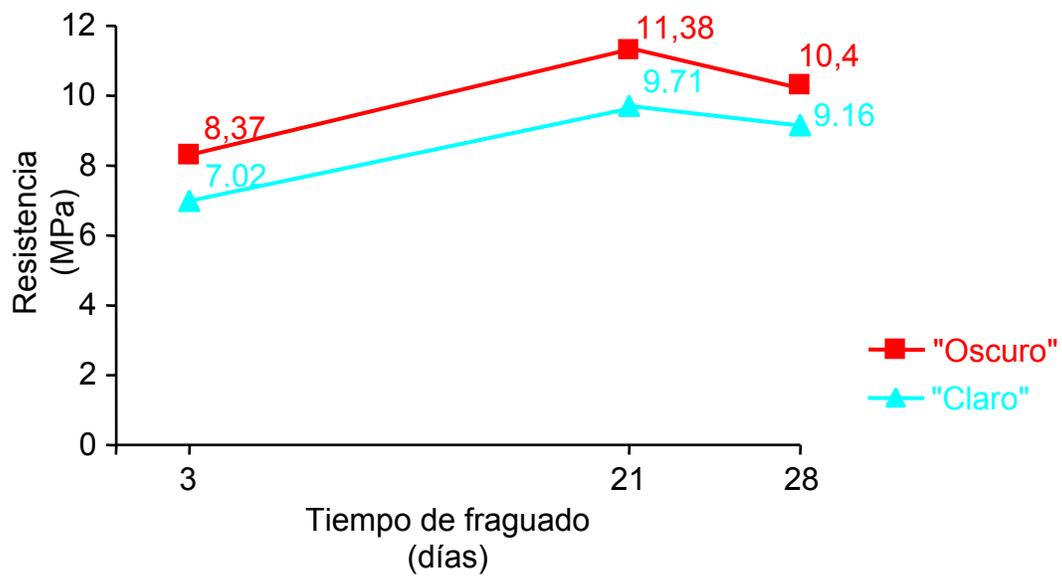
Una vez aceptado el supuesto de normalidad, de nuevo se aplica la prueba ANOVA con dos factores. Se detectan diferencias estadísticamente significativas por efecto del tiempo ( $p=0,031$ ). No así por efecto del tipo de MTA empleado ( $p=0,123$ ).

El test *post hoc* de Duncan determina que existen diferencias estadísticamente significativas (para  $\alpha=0,05$ ) entre el grupo “3días” y los grupos “28días” y “21días”. Esto indica que la diferencia estadísticamente significativa que se detecta entre los grupos corresponde a la que existe entre la media de los grupos de 3 días de fraguado (7,72MPa) y las de los grupos de 21 y 28 días de fraguado (10,52 y 9,80MPa, respectivamente). Entre 21 y 28 días no se observa diferencia estadísticamente significativa.

A pesar de no detectarse diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de MTA, cabe destacar que en los tres grupos de tiempo, el MTA de color *claro* obtiene unos valores medios de resistencia más bajos que el de color *oscuro*.

Otro dato reseñable es el hecho de que tanto con el MTA *claro* como con el *oscuro* la media de resistencia al desplazamiento es inferior a los 28días que a los 21días, aunque la diferencia no es estadísticamente significativa.

Estas últimas observaciones se reflejan muy claramente en la siguiente gráfica construida con las medias de los seis grupos.



---

## **DISCUSIÓN**

A la hora de discutir este trabajo, se hará primero referencia a los materiales y metodología empleados para posteriormente pasar a analizar los resultados obtenidos.

### **1. EL MATERIAL Y EL MÉTODO**

#### **Medio de conservación de los dientes**

En este trabajo se utilizan, como muestras de tejido dentario, raíces de dientes humanos extraídos. El medio de conservación empleado es una disolución de formol al 10%.

El medio de conservación de los dientes para estudios in vitro es un aspecto bastante debatido en la literatura. Se han venido empleando para este fin medios muy diversos, tales como el suero salino, agua destilada con timol, disoluciones de formol, alcohol, hipoclorito sódico, glutaraldehído, entre otras sustancias. También se ha utilizado la congelación de los dientes. Algunos trabajos han evaluado la influencia del medio en que se han conservado las muestras sobre distintas características físicas y químicas de materiales y dientes (Goodis. 1993; Jameson. 1994; Strawn. 1996; Titley. 1998). Los resultados difieren algo de unos estudios a otros, pero de la literatura revisada en general se desprende que el medio de conservación empleado en este trabajo altera sólo muy levemente las propiedades de la dentina. Para Jameson (1994) es el medio preferible para almacenar dientes antes de realizar estudios in vitro con ellos. También Strawn (1996) lo considera adecuado, en aquellos estudios en los que se prefiere fijar el tejido dentinario. En otro trabajo, concretamente el realizado por Titley (1998), el formol resulta el medio que menos difiere del que considera el sistema ideal de conservación, que según sus datos es la congelación de los dientes. Goodis (1993) observa que está entre las soluciones que menos variaciones provoca en los parámetros analizados en su estudio.

---

### **Obtención de las muestras de dentina**

Las raíces se seccionan transversalmente, con planos de corte perpendiculares al eje mayor de la raíz y paralelos entre sí. El propósito de esto es conseguir, con un método sencillo, un grosor uniforme de dentina en todos los especímenes. Este método de obtención de secciones de diente es el mismo que emplean otros trabajos para aplicar el test de extrusión (*Patierno. 1996; Frankenberger. 2000(a,b)*).

Loxley (2003), para un estudio similar, emplea muestras de dentina obtenidas a partir de cortes longitudinales de raíces de dientes. Toma dientes extraídos y, en primer lugar, retira la corona y el tercio apical, a continuación corta longitudinalmente la raíz a través del conducto en dos mitades, y luego éstas transversalmente en otras dos mitades, para después recortar las caras externa e interna de cada fragmento, eliminando la capa de cemento (en la cara externa) y la zona de la pared del conducto (en la cara interna) hasta obtener bloques planos de 2mm de grosor. También consigue un grosor uniforme de dentina en todos los especímenes, pero con un método aparentemente más complejo, puesto que precisa realizar cortes en todas las direcciones para obtener muestras uniformes. La ventaja sobre nuestro sistema es que en sus muestras no está condicionada la utilidad de las secciones al tamaño y forma del conducto, ya que emplean la porción interna de la pared radicular. En nuestro procedimiento, en ocasiones la luz del conducto tenía, al menos en alguna dirección, una anchura superior al diámetro de la perforación que pretendíamos realizar, por lo que era preciso desechar la sección de diente.

En el trabajo de Sluyk (1998) se emplean molares seccionados a la altura de la furca. Esta localización para la perforación dificulta enormemente la estandarización del tamaño de las muestras de dentina, ya que el grosor de la furca es diferente para cada diente, y al realizar la obturación en la furca, el material queda unido a dentina y a cemento, con espesores variables de estos dos tejidos, diferentes de unos dientes a otros. El empleo de secciones de raíces perforadas por la zona central permite medir la resistencia de la unión del material en una superficie de dentina conocida. Bien es cierto que en las situaciones clínicas para las que se indica el uso del material, en muchos casos implica la

---

unión a cemento, y no sólo a dentina como ocurre en nuestras preparaciones, pero, puesto que lo que se pretende medir está tan relacionado con las dimensiones de la superficie de contacto, consideramos prioritario aislar esta variable.

### **Tamaño y forma de los especímenes**

El grosor de las secciones se establece en 2 mm y el diámetro de las perforaciones en 1,4 mm por dos motivos: En primer lugar, para obtener una superficie total de contacto entre diente y material que se sitúe dentro del rango empleado habitualmente en los estudios que miden la unión entre materiales y diente. Por otro lado, el tamaño de la cavidad a obturar de alguna manera se aproxima al de posibles situaciones clínicas (por ejemplo, perforaciones radiculares con fresas, o perforaciones de furca).

En un trabajo de Watanabe (1999), en el que se analizan las variables que influyen al realizar pruebas de resistencia al cizallamiento en la unión a dentina, se menciona la influencia de la superficie en los resultados de adhesión obtenidos. Consideran que la superficie empleada en los tests de adhesión debería estar estandarizada. La forma de esta superficie de adhesión debería ser circular, con un diámetro de entre 2 y 5 mm, y ubicada en un solo plano. Las dimensiones de esa superficie de contacto en un solo plano estarían por tanto entre los 6,28 y 15,7 mm<sup>2</sup>. En este trabajo, siendo el cilindro de 1,4 mm de diámetro y 2 mm de altura, la superficie total de contacto que resulta es de 8,79 mm<sup>2</sup>, que está dentro del rango propuesto para estudios de adhesión. En lo que se refiere a la forma de la superficie de unión, para este trabajo se descarta la idea de comprobar la unión en un solo plano porque no se parte del concepto de adhesión pura entre MTA y dentina, sino que se asume que en la unión entre este material y el diente interviene también un componente mecánico, por lo que es preciso preparar una cavidad en el diente para contener el MTA. Es por ello que se elige otro tipo de ensayo para evaluar esta unión.

Se elige realizar el test de extrusión empleando la forma cilíndrica de la cavidad por la facilidad de su preparación, ya que precisa solamente de la aplicación de una fresa con la

forma y dimensiones adecuadas sobre una porción de dentina y por ser ésta una forma de cavidad suficientemente retentiva y fácilmente reproducible. Esta forma de cavidad ha sido empleada también en otros estudios que utilizan el test de extrusión (*Frankenberger. 2000(a,b); Haller. 1991; Mason. 1998; Sluyk. 1998; Loxley. 2003*). Otros autores aplican el test con la preparación de una cavidad de paredes divergentes (*Patierno. 1996; Hachmeister. 2002*), debido a que ésta se aproxima más a la simulación de la forma que adquieren los conductos radiculares una vez instrumentados (*Patierno. 1996*). Este hecho no lo consideramos relevante, ya que no todas las aplicaciones clínicas de las que se parte al plantear el presente trabajo implican la colocación del material en el interior de conductos radiculares, por lo que no hay por qué asumir que siempre las cavidades que van a recibir el MTA van a tener paredes divergentes.

Las dimensiones de la perforación realizada son similares a las de aquellas que se preparan en otros trabajos que emplean el test de extrusión, siendo las secciones de 2mm de grosor, como en el presente estudio, en la mayoría de ellos (*Frankenberger. 2000(a,b); Haller. 1991; Loxley. 2003*); Sluyk (*1998*), por su parte, estandariza el grosor de las secciones en 1,6 mm, aunque, como ya se ha analizado, no se trata de una superficie uniforme de dentina. El diámetro de la perforación en nuestro trabajo es de 1,4 mm, igual que en el de Sluyk, y algo menor que en el de Hachmeister (*2002*), en el cual la sección es tronco-cónica, con 1,14 mm de diámetro mayor y 0,90 mm, en unas muestras, y 1,04 mm, en otras, de diámetro menor.

### **El diseño del modelo para el test de extrusión**

El diseño de este sistema para medir la retención trata de conseguir, mediante sucesivos métodos de centrado y alineamiento de todas las piezas, minimizar los errores para conseguir que el vástago haga contacto únicamente con el material, de manera que sólo llegue a ejercer presión sobre éste, y no sobre la superficie del diente. El dispositivo de alineamiento con las barras pasantes que atornillan las piezas 4 y 6 asegura que el vástago de la pieza 6 quede enfrentado con la obturación de MTA en el espécimen. La tapa del

---

porta-muestras perforada en el centro constituye un segundo sistema de centrado accesorio, para asegurar que el vástago llega a presionar sobre el material. Además, para que no se registre fuerza añadida por posible contacto entre el vástago y la pared de dentina, éste tiene un diámetro menor que el de la perforación. De esta manera, el vástago sólo toca MTA.

El preparar los especímenes con los moldes permite asegurar, por un lado, que la perforación del diente siempre va a quedar en una dirección perpendicular a la superficie superior del cilindro de resina, para así garantizar que posteriormente el vástago que va a presionar sobre el material penetra exactamente en la dirección del eje mayor de la perforación. De esta manera, la fuerza ejercida es en todo momento paralela a la superficie de unión entre material y diente. Por otro lado, al colocar la sección de diente a través de la perforación en el vástago central del molde, se asegura que la perforación queda perfectamente centrada dentro del espécimen, para que posteriormente el vástago no roce con las paredes de la misma.

Un inconveniente de preparar las muestras con resina es la complicación añadida que supone el manejo de este material. Para facilitar el proceso de preparación y obtención de los cilindros de resina, se diseñan los moldes en dos piezas desmontables, para permitir extraer de éstos los especímenes con mayor sencillez, una vez endurecida la resina. Para evitar la adhesión de la resina a los moldes se cubren éstos previamente con vaselina. Esto a su vez dificulta ligeramente el procedimiento, ya que es preciso poner especial cuidado en que la vaselina no quede en contacto con la sección de diente, puesto que de ocurrir este contacto, la sección de diente no quedaría convenientemente fijada en la cara superior del bloque de resina, y posteriormente podría desprenderse, perdiéndose así la alineación de la perforación. Por otra parte, si no se asegura que la vaselina cubre convenientemente todos los bordes de las dos piezas del molde, puede quedar adherida algo de resina entre ambos, dificultando por un lado la retirada de los moldes, y, lo que es más grave, quedando luego pequeñas rebabas de resina en los bordes del cilindro de resina, que dificultan su ajuste dentro de la cavidad del porta-muestras. Este es el motivo por el cual se perdieron dos de los especímenes del trabajo.

Gracias a la precisión del aparato, se pudo detectar ese error en el procesado: Al realizar el ensayo con esos especímenes, la máquina mostró un registro de fuerza excesivamente alto, y por el mecanismo de seguridad de la máquina, se paró automáticamente el movimiento de las piezas. Esta fuerza tan elevada se correspondía con la presión del vástago sobre la tapa del porta-muestras, ambos de acero. La incorrecta ubicación de los especímenes provocó una ligera desviación de la tapa, no percibida por el operador, que impidió que el vástago penetrara a través de la perforación de la misma. El mecanismo de centrado obtenido al colocar la tapa perforada aporta una mayor precisión al sistema, ya que, aunque la desviación tanto del espécimen como de la tapa no sea detectada por el operador, al no estar colocados éstos en posición perpendicular al vástago, éste no puede aproximarse en dirección incorrecta a la obturación de MTA. Esto contribuye a minimizar los errores en las fuerzas registradas por posible contacto del vástago con el diente.

La función del espacio vacío de mayor tamaño que la perforación de la raíz que queda por debajo de la misma, es asegurar que la máquina no registra ninguna otra resistencia añadida por fricción entre MTA y resina una vez desprendido éste de su alojamiento inicial en la perforación.

Además, este espacio resulta muy apropiado para fijar la esponja de poliuretano inmediatamente por debajo del MTA en las muestras que se pretenden mantener en presencia de agua. Esta esponja permite asegurar que el agua queda en contacto directo con el material por el lado inferior del espécimen. La gasa mojada que se coloca en la parte superior consigue el mismo efecto por el lado contrario, de manera que el MTA permanece en contacto con abundante cantidad de agua durante todo el tiempo que se mantiene dentro del recipiente, lo cual garantiza que el material tiene la posibilidad de hidratarse convenientemente durante el fraguado.

---

### **Validación del método**

Una vez diseñado el protocolo de preparación de los especímenes y el sistema de aplicación de fuerza, se realizó un estudio piloto con la intención de comprobar la eficacia de este método para medir el parámetro objeto de este trabajo.

Se prepararon para ello diez especímenes y se sometieron a ensayo tal y como se ha expuesto, aunque después de unas condiciones de humedad y tiempo fraguado algo diferentes a las de los grupos establecidos en el presente estudio.

Después de someter cada espécimen a ensayo, tras retirarlo del porta-muestras, se revisó, a través de una lupa estereoscópica, el aspecto del material desprendido, así como el interior de la perforación para determinar la forma en que se desprendía el material y comprobar si quedaba algún resto unido a la superficie dentaria.

Al observar las muestras con la lupa estereoscópica, se veía que el material que ocupaba la perforación se desprendía en bloque, sin fragmentarse, conservando su forma cilíndrica al caer en el pocillo del fondo del porta-muestras. Lo que esto viene a indicar es que la fuerza de unión entre el material y la dentina es muy inferior a la resistencia del material a la compresión, por lo que no existe fractura del material, sino rotura de la unión. Este hecho constituye la condición necesaria para comprobar que el método es útil para medir la resistencia al desplazamiento de las obturaciones, y no la resistencia a la fractura del material.

Ya trabajando con las muestras pertenecientes a este estudio, también se comprobó en cada una de las muestras que el material se desplazaba de la perforación sin romperse, inspeccionando los especímenes visualmente. Además, esta comprobación la corrobora la magnitud de la fuerza registrada, ya que en todos los casos la resistencia al desplazamiento obtenida es inferior al valor de resistencia compresiva reportado por Torabinejad (1995c) tanto a las 24 horas (40 MPa) como a los 21 días (67 MPa).

### **Definición de los grupos**

La primera diferencia que se establece entre los grupos es la ausencia o presencia de agua durante el fraguado, a pesar de que en condiciones clínicas reales, la situación de ausencia de humedad no es posible que ocurra puesto que, dadas las aplicaciones para las que se ha sugerido su empleo, el MTA siempre va a estar en contacto con algún tejido interno (bien la pulpa, o bien el periodonto) que pueda aportar cierto grado de hidratación, por mínima que sea. Pero, como lo que se trata de determinar es si esa presencia de humedad ambiental durante el fraguado tiene efectivamente algún efecto sobre las propiedades que adquiere el MTA, lo primero que hay que establecer es si existe alguna diferencia entre las dos situaciones opuestas. Por lo tanto, el punto de partida es comprobar si esa presencia de humedad es realmente un aspecto relevante en las características de fraguado, antes de tratar de conocer cuál es la cantidad de agua necesaria que se ha de añadir hasta conseguir variar las propiedades del material. Este dato podría ser investigado en futuros trabajos, aunque la viabilidad de su posterior aplicación práctica en clínica sería difícil de establecer, puesto que es muy poco probable que en clínica se pueda medir de alguna manera la masa o el volumen de MTA que se coloca en el paciente para luego calcular cuánta agua se debe colocar en la cavidad del diente. Desde un punto de vista práctico, lo que realmente resulta más útil es conocer si el añadir o no añadir agua supone alguna ventaja para mejorar alguna propiedad del material.

Los diferentes periodos de tiempo de cada grupo (1, 3, 7, 21 y 28 días) se asignan partiendo de algunos datos de referencia obtenidos de la literatura revisada, de manera que ello permite establecer alguna comparación o relación entre los datos obtenidos en este trabajo y los de otros (*Torabinejad.1995(c); Bates. 1996; Sluyk. 1998; Wu. 1998; Yatsushiro. 1998; Hachmeister. 2002; Loxley. 2003; Hardy. 2004*).

Muchos de los trabajos que estudian las características del MTA una vez fraguado toman como primera referencia el dato obtenido después de 24 horas (*Bates. 1996; Sluyk.1998; Wu. 1998; Hardy. 2004*). Por ello se decide asignar este periodo de tiempo al primer grupo. Lo cierto es que el tiempo de fraguado del material se establece en 2 horas y

---

45 minutos (*Torabinejad. 1995(c)*) y algunos autores consideran fraguado el material a las 4 horas de su colocación (*Torabinejad y Chivian. 1999; Weldon. 2002; Mendoza. 2002*), por lo que podría haber sido acertado también determinar la resistencia al desplazamiento después de sólo esas pocas horas de fraguado, pero, puesto que la intención era comparar esa primera medida con la de periodos mucho más largos, no se consideró trascendente la diferencia entre 4 y 24 horas.

El segundo intervalo se establece en 3 días, también con la intención de comparar los datos obtenidos con los de otros trabajos, especialmente los aportados por Sluyk (*1998*), ya que analiza las mismas variables.

Los 7 días es otra referencia temporal reflejada en muchos trabajos, tanto en estudios in vitro (*Loxley. 2003; Hachmeister. 2002; Yatsushiro. 1998; Weldon. 2002*), como en algunos de los casos clínicos publicados (*Schmitt. 2001; Rocamora. 2001; Giuliani. 2002*) y además es el periodo que muy frecuentemente se emplea en clínica para revisar muchas situaciones y tratamientos, por ejemplo cuando se realizan cirugías, se suelen revisar en una semana, o al tratar dientes necróticos con ápice abierto, se coloca el hidróxido de calcio en el conducto y se mantiene durante una semana.

El periodo de 21 días es el máximo tiempo de referencia, en lo que se refiere al estudio de las características físicas del material, que se ha aportado en la literatura. Concretamente corresponde al tiempo que espera *Torabinejad (1995(c))* para medir la resistencia compresiva del material y compararla con la que alcanza a las 24 horas.

Ningún otro trabajo que estudia las características físicas del MTA observa lo que ocurre a los 28 días, sin embargo, en lo revisado sobre cemento Pórtland se menciona como tiempo de fraguado completo de este cemento los 28 días (*Gomá.1979; Alvarado Rodríguez. 2004*). Por ello, al comprobar en nuestros resultados que hasta los 21 días aumenta la resistencia al desplazamiento del MTA cuando éste fragua en presencia de humedad, se decide ampliar el periodo de observación una semana más, para comprobar si esa tendencia ascendente continúa hasta el mismo momento que el cemento Pórtland, o comprobar si deja de aumentar la resistencia.

---

## **2. LOS RESULTADOS**

### **Variable “humedad”**

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la relevancia de las condiciones de humedad durante el fraguado del material en relación con la resistencia al desplazamiento que puede llegar a adquirir.

El hecho de observar una diferencia estadísticamente significativa entre los datos de los grupos S (“Seco”) y H (“Húmedo”), siendo las medias de todos los grupos S inferiores a las de los grupos H, indica la necesidad de mantener el material en presencia de humedad para llegar a obtener unas propiedades adecuadas del mismo una vez fraguado. Esta diferencia se amplía a medida que aumenta el tiempo de fraguado, es decir, que cuando el material fragua en presencia de humedad la resistencia al desplazamiento aumenta con el tiempo, pero en ausencia de humedad la resistencia al desplazamiento prácticamente no mejora a pesar de ampliar el tiempo de fraguado. Esto muestra la importancia que tiene esta variable (humedad ambiental) en las características de fraguado del MTA.

Este dato viene a confirmar lo afirmado por algunos de los autores revisados, quienes mencionan que las propiedades del MTA dependen, entre otros aspectos, de la presencia de agua durante el fraguado (*Lee. 1993; Torabinejad. 1993*), y que la humedad es beneficiosa para que este proceso se desarrolle correctamente (*Torabinejad y Chivian.1999*).

A diferencia de los resultados obtenidos en el presente trabajo, en el estudio de Sluyk (*1998*) no comprueban que exista una diferencia significativa en la resistencia al desplazamiento entre las muestras conservadas con un algodón húmedo y las conservadas con el algodón seco. Es más, las medias de fuerza que obtienen, tanto en 1 día de fraguado como en 3 días, son algo inferiores con el algodón húmedo (2,2lb en 1 día y 6,3lb en 3 días) que con él seco (2,6lb en 1 día y 9,7lb en 3). Conociendo las medidas de la perforación

---

empleada en su estudio, podemos calcular la superficie de contacto, y a continuación traducir sus datos a las mismas unidades que manejamos en nuestro estudio (de lb a MPa):

En 1 día:

Con algodón seco: 2,6lb  $\cong$  1,63MPa.

Con algodón húmedo: 2,2lb  $\cong$  1,37MPa.

En 3 días:

Con algodón seco: 9,7lb  $\cong$  6,10MPa.

Con algodón húmedo: 6,3lb  $\cong$  3,96MPa.

En nuestros ensayos, sin embargo la diferencia de seco a húmedo es mayor, siendo estadísticamente significativa, y en sentido contrario al trabajo de Sluyk, es decir, de seco a húmedo la resistencia aumenta. Además, los valores de resistencia obtenidos en este trabajo son, en general, mayores a los aportados por Sluyk:

En 1 día:

En seco: 2,86 MPa.

En húmedo: 3,64MPa.

En 3 días:

En seco: 4,44MPa.

En húmedo: 8,37MPa.

Aunque todos estos datos no pueden ser tomados como referencia para hacer comparaciones concluyentes, dado que existen bastantes diferencias entre los dos métodos de trabajo, cabe mencionar la discrepancia que existe sobre todo entre los grupos de muestras conservadas con humedad en uno y otro estudio. Las medias de los datos obtenidos por Sluyk con las muestras conservadas con la bolita de algodón húmeda sobre el MTA son inferiores a los resultados obtenidos con nuestras muestras conservados en presencia de una cantidad de agua mayor (200 veces el volumen de MTA). Los primeros colocan en todas las muestras (tanto del grupo húmedo como del grupo seco) inmediatamente por debajo de la perforación una matriz consistente en una esponja

humedecida que sirve como base para no extruir el MTA, la cual no retiran una vez obturadas las muestras, y después de colocar el algodón en el grupo húmedo, las envuelven en plástico para evitar que se seque el algodón, pero posiblemente ese algodón no aportó el agua necesaria para hidratar convenientemente el material, y obtener las propiedades óptimas de fraguado. Tal vez la cantidad total de humedad presente durante el fraguado no fue suficiente como para mejorar significativamente la resistencia de estas muestras respecto a las conservadas con algodón seco, y por ello en todos los grupos obtienen resultados inferiores a los nuestros, siendo esta diferencia cada vez mayor, llegando a duplicarse cuando el tiempo de fraguado es mayor (a los 3 días, la diferencia entre uno y otro trabajo va desde de los  $\cong 3,96$  MPa a los 8,37 MPa), siendo esta variación similar a la que ocurre entre los grupos S y H dentro de nuestro propio estudio (a los 3 días, nuestras medias son de 4,44 MPa en seco y 8,37 MPa). Sin embargo, Sluyk afirma que, a pesar de sus resultados, la presencia de humedad es importante para mejorar las propiedades del material durante su fraguado, y especula que posiblemente la matriz colocada por debajo de la furca fue la que aportó el agua necesaria para hidratar el material en todos los grupos, y que por eso no se detectaron diferencias. Otra posible explicación para los valores de fuerza más bajos del estudio de Sluyk es que el dato que toman en cuenta no es, como en nuestro caso, la fuerza máxima detectada, sino aquella que se registra cuando el vástago se ha desplazado 2 mm, la cual no tiene por qué corresponder a la fuerza máxima que opone el material a ser desalojado de la perforación.

Loxley (2003) comprueba el efecto de distintas disoluciones sobre la resistencia al desplazamiento que adquieren obturaciones de MTA, IRM y cemento Super-EBA. Lo primero que llama la atención del método empleado en ese trabajo es el hecho de que toman como referencia de resistencia inicial la que miden después de mantener las muestras completamente secas durante 7 días después de la obturación. Así, las muestras recién obturadas se mantienen primero en seco por 7 días y a continuación se someten a la presencia de suero salino y distintas soluciones empleadas para el blanqueamiento interno de dientes endodonciados durante los siguientes 7 días. Aunque en la publicación no se mencionan las cifras, destaca el hecho de que las obturaciones de MTA alcanzan una resistencia inferior en los primeros 7 días en seco respecto a los otros dos materiales. Esta

diferencia es estadísticamente significativa. Sin embargo, cuando las muestras se mantienen otros 7 días en presencia de suero salino, la resistencia de las obturaciones de MTA aumenta, mientras que no ocurre lo mismo con los otros dos materiales. Este hecho vuelve a indicar que el material es capaz de seguir reaccionando y mejorando así su resistencia, siempre que tenga un aporte adicional de agua, como se observa en nuestro trabajo. Loxley explica esto especulando que, después de ese primer fraguado en seco, pueden haber quedado óxidos minerales sin reaccionar que, al recibir de nuevo hidratación, solidifican y así aumenta la resistencia del material. Este dato lo encuentra de acuerdo con el estudio de Torabinejad (1995(c)), quien afirma que la resistencia compresiva aumenta con el tiempo cuando se mantiene el material sumergido en agua, y considera que es un argumento favorable a la idea de emplear una bolita de algodón húmeda durante algún tiempo sobre el MTA recién colocado para que alcance máxima resistencia.

El tercer estudio en el que se emplea el mismo parámetro que en este trabajo es el de Hachmeister (2002). En él se realizan los ensayos de extrusión de la barrera apical de MTA colocada por vía ortógrada, desde el interior del conducto tras haber llevado el MTA a su ubicación en el ápice del diente estando éste fijado sobre una esponja húmeda por la porción apical y, una vez colocado el material, las muestras se mantienen en ambiente de 100% humedad durante 7 días con una punta de papel mojada colocada en contacto con el MTA y además una bolita de algodón húmeda en la cavidad de acceso. En este trabajo no evalúan la influencia de la presencia de humedad en los resultados de resistencia al desplazamiento, sino el grosor de la obturación de MTA y la aplicación previa de hidróxido de calcio en el interior del conducto, pero para evaluar estos aspectos tratan de asegurar el fraguado del material en condiciones favorables, para que alcance unas propiedades adecuadas con los dos grosores de MTA estudiados, y para ello mantienen las muestras en presencia de una cantidad abundante de agua tanto por la parte externa de la obturación como por el lado interno. Los valores medios de resistencia al desplazamiento observados a los 7 días son de 2,80lb y 2,82lb con obturaciones de 1mm de grosor, con y sin medicación previa de los conductos con hidróxido de calcio respectivamente, y de 17,86 y 14,93lb para obturaciones de 4mm, con y sin hidróxido de calcio. De nuevo, conociendo el tamaño de

---

las preparaciones, calculamos, de manera aproximada, las correspondientes cifras de estos datos expresados en MPa:

Para 1mm:

$\cong 3,54$  y  $\cong 3,57$  MPa (con y sin hidróxido de calcio).

Para 4mm:

$\cong 6,15$  y  $\cong 5,15$ MPa (con y sin hidróxido de calcio).

En nuestros ensayos:

7 días en presencia de humedad: 9,90MPa.

Dadas las diferencias en la metodología de los dos trabajos, no se pueden, como en los casos anteriores, comparar los resultados (aunque se puede decir que se aproximan bastante los valores, a pesar de que en nuestro trabajo la media es algo superior a cualquiera de las de los cuatro grupos del trabajo de Hachmeister), pero lo interesante es que estos autores parten de la idea de que la presencia de humedad influye positivamente en la resistencia que adquiere el MTA, por lo que emplean sistemas que aseguren la hidratación del material durante el fraguado aportando abundante cantidad de agua. Es posible que la menor resistencia obtenida en el trabajo de Hachmeister se deba en parte a la forma menos retentiva de la cavidad que contiene el MTA, puesto que no es un cilindro, como en el caso de nuestras perforaciones, sino que tiene una forma de tronco de cono, expulsivo en el extremo hacia el que se desobtura la muestra. Este hecho puede que contribuya a la menor retención del material, dando así un argumento a favor de la idea de retención mecánica como responsable de la unión entre MTA y diente.

En el trabajo de Vizgirda (2004) se compara la capacidad de sellado del MTA empleado como material de obturación, colocado a lo largo de todo el conducto radicular, con la de los materiales convencionales (gutapercha y sellador). Es el único estudio de filtración de tintes en el que el MTA obtiene peores resultados que los materiales con que se compara, y se relacionan los resultados desfavorables obtenidos con el MTA con una hidratación defectuosa del mismo durante su fraguado. El autor atribuye el peor sellado que

consigue el MTA a la falta de acceso de todo el espesor del material a la exposición a la humedad, aspecto éste, dice, necesario para su correcto fraguado. Esa falta de acceso a una correcta hidratación de todo el material es lo que podría haber provocado un fraguado defectuoso y a eso se debería la peor capacidad de sellado observada. Sin embargo, Andelin (2002) obtiene resultados completamente opuestos a los revelados por Vizgirda con respecto a la filtración observada cuando se introduce MTA a lo largo de todo el conducto radicular. Este autor afirma no haber detectado filtración alguna en ninguna de las muestras (Andelin. 2002).

En el trabajo de Fridland (2003), donde analizan la repercusión que tiene la cantidad de agua que se mezcla con el polvo de MTA sobre la solubilidad y porosidad, de nuevo se subraya la importancia y conveniencia de hidratar adecuadamente el material, aunque por otros aspectos completamente distintos. Observan que tanto la solubilidad como la porosidad aumentan a medida que aumenta la proporción agua-polvo en el momento de la mezcla. Al sumergir en agua el MTA fraguado, éste libera una cierta cantidad de sustancia, mayor cuanto mayor fue la cantidad de agua empleada en la preparación. Analizan la composición del material que se desprende y básicamente consiste en hidróxido de calcio. Dado que la presencia de hidróxido de calcio en contacto con los tejidos pulpares y periodontales se ha demostrado beneficiosa, concluyen que ha de resultar más ventajoso el mezclar el polvo de MTA con una proporción agua-polvo de 0,33 que con menos agua. Sí admiten que en ciertas situaciones la consistencia que adquiere el material al ser mezclado con esta proporción dificulta su manejo, pero proponen esperar a que adquiriera una consistencia más adecuada en lugar de usar menos agua para mezclar. También advierten que este experimento no reproduce exactamente las condiciones clínicas del empleo de MTA, ya que en él se cuantifica la solubilidad del material y la cantidad de hidróxido de calcio liberado al ser mantenidas las muestras completamente sumergidas en agua destilada, mientras que en cualquier situación clínica real sólo una parte del MTA está en contacto directo con el ambiente acuoso, y además el efecto osmótico ha de ser diferente, puesto que en lugar de agua destilada este ambiente corresponde al medio interno (generalmente, tejidos perirradiculares). Pero sí entienden que los resultados se pueden admitir como válidos, al menos cualitativamente. Según los autores, el MTA puede ser considerado como

una fuente liberadora de hidróxido de calcio al entrar éste en contacto con un ambiente húmedo.

Estos datos de Fridland, relativos a la relación entre porosidad y proporción agua-polvo del material, se corresponden con lo que ocurre con el cemento Pórtland, ya que se sabe que la porosidad del cemento aumenta cuando lo hace la proporción agua-cemento. Esta porosidad está a su vez relacionada con la permeabilidad del cemento, aumentando ésta de forma exponencial cuando aumenta la porosidad, de modo que cuando la proporción agua-cemento es de 0,4 la pasta es prácticamente impermeable, pero cuando la proporción aumenta por encima de 0,7 el cemento se vuelve muy permeable (*Gomá. 1979; Alvarado Rodríguez. 2004*). Es por este motivo que no conviene tampoco aumentar la cantidad de agua para mezclar con el polvo por encima de las indicaciones del fabricante. Además, la relación agua-polvo influye también en la resistencia que alcanza el cemento, siendo ésta menor cuanto mayor es la cantidad de agua de mezcla. La explicación de esto radica en que cuanto más agua existe en la pasta, más alejadas permanecen las partículas que se hidratan, y por tanto la densidad de microcristales y de geles obtenidos es más baja, dando lugar a una “urdimbre” con menos puntos de contacto y el espacio de contacto a contacto mucho mayor (*Gomá.1979*).

Otra condición necesaria para que el cemento Pórtland desarrolle las máximas resistencias es que el agua, en cantidad suficiente, esté presente durante todo el proceso de fraguado, con objeto de que las reacciones de hidrólisis no se detengan (*Gomá. 1979; Alvarado Rodríguez. 2004*). Esto está en clara consonancia con los datos recogidos en el presente trabajo con MTA.

---

### **Variable “tiempo”**

A la vista de los resultados obtenidos en los grupos con diferentes tiempos de fraguado, queda claro que el mayor incremento en la resistencia al desplazamiento de las obturaciones de MTA ocurre entre 1 y 3 días después de la obturación.

Cuando el material fragua con agua, la media de resistencia al desplazamiento en las muestras estudiadas aumenta de 3,64 a 8,37MPa entre 1 y 3 días. En ausencia de humedad los valores son más bajos, pero el aumento en este intervalo de tiempo también es muy notorio: de 2,86 a 4,44MPa. Lo que significa que en sólo dos días la resistencia que adquiere el material aumenta prácticamente al doble, sean cuales sean sus condiciones ambientales de fraguado.

Una vez pasado este tiempo, como ya se ha comentado, la presencia de humedad es decisiva en cuanto a la evolución de las características del material a medida que sigue aumentando el tiempo de fraguado. La presencia de agua junto al material en los siguientes días determina, según los resultados de este trabajo, un aumento continuado de la resistencia al desplazamiento, aunque mucho más moderado que el que ocurre en los primeros 3 días. En cuatro días más, la resistencia es algo mayor, aunque estadísticamente no se encuentran diferencias, pero la tendencia sigue siendo ascendente, ya que en el siguiente intervalo de tiempo observado, a los 21 días, vuelve a detectarse un incremento (de 8,37MPa a los 3 días sube a 9,90 a los 7 días y a 11,38 a los 21 días). La diferencia es de nuevo estadísticamente significativa al variar de 3 a 21 días, pero no entre 3 y 7, ni entre 7 y 21, puesto que el gradiente de crecimiento es muy suave, pero lo que ciertamente se puede asegurar es que con más de 3 días de fraguado la resistencia al desplazamiento de las obturaciones de MTA sigue aumentando cuando éste ocurre en presencia de humedad.

Otra cuestión es la relevancia clínica de este aumento de resistencia a lo largo del tiempo. Si de lo que se trata es de esperar a conseguir una resistencia adecuada del material antes de proceder a realizar una obturación definitiva sobre el mismo, o antes de permitir recuperar la función masticatoria normal del diente tratado con este material, hay que

considerar las posibles ventajas y desventajas de esta espera desde el punto de vista práctico. La mejoría que se obtiene esperando hasta los 21 días después de colocado el material puede no ser suficientemente relevante respecto a un periodo de tiempo inferior, dados los inconvenientes que supone mantener el diente en reposo y con una obturación provisional: La obturación provisional puede desprenderse, fracturarse o, dada la peor calidad de adaptación marginal que suelen tener los materiales empleados para estas aplicaciones, podría permitir algún grado de filtración, lo que ensombrecería el pronóstico del tratamiento. Además, estas situaciones de restauración provisional no siempre son bien aceptadas o entendidas por los pacientes, que pueden llegar a retrasar u olvidar las citas de restauración definitiva. Por otro lado, ante situaciones de reparación de fisuras o fracturas radiculares, resulta difícil de controlar la situación real de reposo en que se mantiene el diente tratado. En los primeros días, después de colocar el material mediante un acceso quirúrgico, es fácil conseguir que el paciente recuerde la necesidad de evitar cualquier tipo de carga sobre el diente, ya que las propias molestias postoperatorias harán que el paciente evite la presión sobre toda la zona quirúrgica. Cuando el área quirúrgica se restablece, y el paciente vuelve a encontrarse en condiciones de volver a masticar normalmente, en ausencia de inflamación y dolor, a pesar de mantener el diente tratado por debajo del plano de oclusión, no es fácil seguir impidiendo que éste llegue a recibir alguna fuerza no deseada.

Tal vez permitir un tiempo de fraguado de 7 días puede ser un período de espera razonable, ya que, como hemos observado, la resistencia al desplazamiento será algo mayor sólo con 4 días más que en el momento en que se detecta el máximo crecimiento (3 días), y a partir de esa fase el incremento es tan lento que para alcanzar una diferencia parecida hay que esperar hasta 14 días más, según nuestros datos. Es posible que esta pequeña mejoría en la resistencia no tenga gran repercusión respecto a las fuerzas compresivas que puede llegar a recibir el material ya sea por la aplicación de materiales de obturación definitivos o por los movimientos masticatorios.

El único trabajo que contempla el efecto que las fuerzas oclusales pueden tener sobre las propiedades de las obturaciones de MTA es el de Peters (2002), pero no analiza la

influencia que puede tener el tiempo de fraguado del material sobre dicho efecto. En él se compara la adaptación marginal de obturaciones apicales de MTA bajo microscopio electrónico de barrido antes y después de someter los dientes tratados in vitro a fuerzas masticatorias simuladas con la observada en iguales circunstancias en obturaciones de Super-EBA. La adaptación previa a la aplicación de fuerzas se comprueba sólo después de 24 horas de fraguado de los materiales, y con ambos cementos obtiene resultados aceptables de adaptación, tanto antes como después de las cargas oclusales. Es más, con Super-EBA se observa un deterioro de la adaptación después de la masticación que no se detecta con MTA. Ante este dato cabe pensar que un tiempo de reposo de sólo 24 horas podría considerarse aceptable antes de aplicar cualquier fuerza sobre una obturación de MTA. Ahora bien, hay que tener en cuenta que la situación clínica simulada en el experimento de Peters, que se corresponde con una cirugía periapical con obturación a retro, no es equiparable a otras aplicaciones propuestas para el MTA en las que la acción desestabilizadora que supone el ejercer presión directamente sobre la obturación puede ser mucho más importante. En una obturación apical convencional, una vez colocado el material en la preparación y después de reponer el colgajo, no va a existir ninguna fuerza que actúe directamente sobre el material que pueda desplazarlo. Sin embargo, si se trata, por ejemplo, de obturaciones para reparar perforaciones radiculares o de furca o bien de colocar una barrera apical de MTA para permitir la obturación de conductos radiculares de dientes con ápice inmaduro, la posterior manipulación con intención de finalizar el tratamiento del diente puede ocasionar la aplicación directa de presión sobre la masa del material. Esta diferencia invita a sugerir que en tales situaciones el tiempo de reposo antes de terminar definitivamente el tratamiento del diente sea algo más largo, para permitir un fraguado más completo y con ello que el material adquiriera mayor resistencia al desplazamiento.

Torabinejad (1995(c)) estima en 2 h. 45 min. el tiempo de fraguado del MTA, por lo que él y Chivian (1999) sugieren mantener una bolita de algodón húmeda sobre el material recién colocado durante 3 o 4 horas. Pero constata también que la resistencia compresiva del material es mayor cuando se mide a los 21 días que la medida a las 24 horas (Torabinejad. 1995(c)) y a la vista de este último dato, es razonable pensar que las

propiedades físicas no alcanzan su grado máximo en las primeras 4 horas. Como se comprueba en el presente estudio, la resistencia al desplazamiento del MTA aumenta también hasta los 21 días si el material se mantiene en presencia de agua, por lo que permitir el fraguado del material en contacto con una bolita húmeda sólo durante las primeras 4 horas probablemente no asegura que éste consiga alcanzar la mayor resistencia al desplazamiento posible.

Lo que también se puede afirmar a la vista de los resultados obtenidos, es que el material no sigue mejorando sus propiedades físicas a lo largo del tiempo indefinidamente, ya que, como sugieren nuestros datos, después de 28 días no continúa la tendencia creciente de la resistencia al desplazamiento.

Dado que el MTA es, por su composición, un material prácticamente equivalente al cemento tipo Pórtland, es de esperar que sus características de fraguado sean por ello similares. A este cemento se le atribuye un proceso de fraguado que dura 28 días, por lo que se podría establecer también para el MTA el mismo tiempo de fraguado final (*Gomá. 1979; Alvarado Rodríguez. 2004*). A la vista de los resultados obtenidos en este trabajo, no queda del todo claro el momento final del proceso de fraguado, ya que el punto final de la tendencia creciente en nuestros datos lo encontramos a los 21 días, y no a los 28.

Sluyk (*1998*) también comprueba que la resistencia de la unión entre diente y MTA aumenta con el tiempo, observando diferencias significativas entre 24 y 72 horas: En las muestras mantenidas en humedad, la media de fuerza observada a las 24 horas es de 2,2 libras, y de 6,3 a las 72 horas. En nuestros ensayos, con las muestras conservadas en presencia de humedad y desobturadas 1 y 3 días después de la obturación, obtenemos unas medias algo superiores a las de Sluyk, como ya se ha comentado previamente, pero ambos trabajos coinciden en encontrar este incremento por efecto del tiempo estadísticamente significativo. Además, en el trabajo de Sluyk comprueban, con las mismas muestras, lo que ocurre si después del primer ensayo (a las 24 y 72 horas), se mantienen las muestras de nuevo en las condiciones iniciales durante 14 días más y a continuación se repite el ensayo de aplicación de fuerza. Observan que cuando el primer desplazamiento del material ocurre

a las 24 horas, 14 días después el material es capaz de recuperar la resistencia al desplazamiento (en el grupo de la bolita seca, por ejemplo, a las 24 horas la media de resistencia es de 2,6lb y 14 días después, a pesar de ese desplazamiento inicial, la media obtenida es de 6,7lb). Esto indica que después de 24 horas el material sigue fraguando y es capaz de recuperar e incluso mejorar la retención adquirida en ese tiempo. Sin embargo, cuando el desplazamiento inicial ocurre a las 72 horas de fraguado, el permitir otros 14 días más a penas contribuye a que el material consiga recuperar las propiedades de resistencia alcanzadas en las primeras 72 horas, pero sí alcanza valores de resistencia superiores a las medidas después de 24 horas de fraguado. Esto muestra de nuevo que pasadas las primeras 72 horas el fraguado continua, aunque más lentamente, pero sí es suficientemente notorio como para que en 17 días se lleguen a obtener valores de resistencia mejores que sólo con 1 día (con bolita húmeda: a las 24 horas la media es de 2,2lb; 14 días después de la desobturación a 72 horas la media es de 4,3lb). Ha de existir reacción del material, puesto que si ésta hubiera terminado a las 72 horas, no se explicaría que después de un primer desplazamiento de las obturaciones, éstas vuelvan a oponer resistencia a la fuerza que las desplaza dos semanas después. Estas observaciones están de acuerdo con los resultados de nuestro trabajo, en el que encontramos un crecimiento moderado a partir de los 3 días.

En el trabajo de Loxley (2003), como ya se ha mencionado, las obturaciones de MTA alcanzan una resistencia baja después de los primeros 7 días en seco y a continuación ésta aumenta después de los 7 días siguientes en presencia de humedad. Este dato de nuevo indica que el tiempo de fraguado del material es superior a esos 7 días iniciales, lo cual está en consonancia con los datos de nuestro estudio.

En relación con esto, algunos estudios de filtración arrojan datos algo dispares al analizar la variable tiempo. Algunos de ellos sí encuentran una mayor capacidad de sellado cuando es más largo el tiempo que pasa entre la preparación del material y el momento en que se mide la filtración: Wu observa diferencias en la capacidad de sellado del MTA con el paso del tiempo al probarlo a las 24 horas de la mezcla y después de 3, 6 y 12 meses, ya que después de 24h, el MTA es el material que más filtra, comparado con amalgama y cementos ionómeros y sin embargo al final del experimento el MTA filtra menos que los

---

demás materiales. También Hardy (2004) comprueba que el sellado obtenido al reparar perforaciones de furca colocando sólo MTA en el defecto, en lugar de añadirle por encima una capa de 2mm resina autograbante One-Up Bond o de colocar sólo esta resina, es peor en las primeras 24 horas, pero después de un mes no encuentra diferencias estadísticamente significativas entre la capacidad de sellado del MTA solo y la de la resina tanto sola como combinada con MTA. Sin embargo, otros autores obtienen resultados menos esclarecedores acerca de la evolución de la capacidad de sellado del MTA a lo largo del tiempo: Weldon (2002) no encuentra diferencias estadísticamente significativas al comparar la filtración de MTA con la de Super-EBA medidas el mismo día de la obturación (30 minutos después de la obturación en el caso de Super-EBA y a las 4 horas en el caso de MTA), 1 semana después y un mes después, aunque sí detecta filtración significativamente mayor con MTA a las 24 horas, datos que no tienen ninguna evolución lógica respecto al tiempo; Bates (1996) estudia la filtración de MTA, Super-EBA y amalgama en distintos intervalos de tiempo después de la obturación (desde las primeras 24 horas a las 12 semanas) resultando ser el MTA el material que consigue la menor filtración en la mayoría de las mediciones, pero la evolución a lo largo del tiempo es al contrario que en los otros estudios ya que a las 24 horas, 72 horas y 2 semanas el MTA y Super-EBA consiguen un sellado significativamente mejor que el de la amalgama y después de 4, 8 y 12 semanas no detecta diferencias estadísticamente significativas entre los tres materiales, aunque la amalgama continúa teniendo los mayores niveles de filtración, datos que no indican mejoría en el sellado del MTA con el tiempo; Yatsushiro (1998) también comprueba relativamente poca variabilidad en los resultados de MTA a lo largo del tiempo de su estudio (entre 1 y 24 semanas). Estos últimos estudios de filtración obtienen datos que no se corresponden con los encontrados en el presente trabajo, puesto que no establecen una relación directa entre tiempo de fraguado y mejora de la capacidad de sellado. Tampoco se corresponden con lo que se sabe sobre la permeabilidad del cemento Pórtland, ya que se dice que un cemento de baja permeabilidad requiere, además de una relación agua-cemento baja, un periodo de curado húmedo adecuado (Alvarado Rodríguez. 2004).

---

### Variable “color”

Al comparar los resultados obtenidos de los grupos de muestras preparados con la nueva presentación de MTA con los de las preparadas con MTA oscuro en las mismas condiciones de fraguado, no se detectan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos por efecto del color ( $p=0,123$ ).

La variable tiempo tiene los mismos efectos ya comentados anteriormente: hay un incremento significativo en la resistencia al desplazamiento entre los 3 y los 21 días de fraguado y no se detectan diferencias significativas entre 21 y 28 días.

A la vista de estos resultados la única conclusión posible que puede desprenderse es que la ligera modificación de composición que ha supuesto este cambio de aspecto para el material no ha alterado significativamente sus características de fraguado, puesto que se comportan de igual modo al menos en lo que respecta a la resistencia al desplazamiento.

En la literatura revisada hasta el momento pocos trabajos comparan las dos presentaciones de MTA (*Pérez. 2002, 2003; Ferris. 2004; Camilleri. 2004*). En uno de ellos (*Ferris. 2004*) se compara la filtración detectada a través de perforaciones de furca reparadas con MTA de los dos tipos, y no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de filtración de los dos grupos. Este dato está en consonancia con los resultados del presente trabajo.

Según Ferris (2004), el cambio de composición que da lugar al aspecto más claro del MTA consiste en la ausencia en su composición de ferrito-aluminato tetracálcico. Pero, a la vista de su aspecto, más que eliminar completamente un componente, es muy probable que sólo se haya disminuido la cantidad de óxido de hierro  $Fe_2O_3$  en su composición, ya que la percepción subjetiva al manejar el material sugiere que no desaparece completamente el tono grisáceo del material una vez fraguado. Sabemos que en los cementos Pórtland de color blanco lo que ocurre es efectivamente una reducción en el contenido de  $Fe_2O_3$  (*Gomá.1979*), por lo que presumiblemente es ése el cambio realizado

en la nueva formulación del MTA. Sería necesario hacer un análisis más exhaustivo de la nueva composición para determinar cuál es la causa de ese cambio de aspecto.

Lo que parece claro es que el cambio de composición que se le ha dado al producto no ha contribuido a mejorar sus propiedades. De hecho, en el caso de los cementos Pórtland, esa disminución en el contenido de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se relaciona con una disminución de su resistencia (se dice que cuanto mayor sea la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  en su composición, más resistente es el cemento). Es más, aunque no sea un dato validado por el análisis estadístico, sí puede estar relacionado con este dato el hecho de que en los tres grupos de tiempo los resultados de resistencia del MTA de color claro hayan quedado por debajo de los obtenidos con el de color oscuro. Probablemente el cambio en la composición no ha sido tan importante como para alterar significativamente las propiedades.

A la vista de los datos recogidos tanto en este trabajo como en los mencionados, no queda completamente probado si el cambio tiene alguna repercusión desde el punto de vista clínico, ya que tanto en el presente trabajo como en el de Ferris (2004) no se muestran diferencias entre una y otra presentación en lo que se refiere a características físicas, mientras que Pérez (2002, 2003) sí encuentra ligeras diferencias en la biocompatibilidad, reportando menor proliferación de osteoblastos sobre la superficie de MTA blanco que sobre MTA gris.

**CONCLUSIONES**

1) La humedad durante el fraguado afecta de forma estadísticamente significativa a los resultados de resistencia al desplazamiento que adquieren las obturaciones de MTA.

2) La resistencia al desplazamiento se modifica a lo largo del tiempo de fraguado. Esta modificación durante el fraguado es diferente según se produzca éste en ausencia o en presencia de humedad:

2-1) Cuando el MTA fragua en ausencia de humedad, la resistencia al desplazamiento aumenta significativamente con el tiempo hasta los primeros tres días. Pasado este tiempo, no se observa una tendencia creciente estadísticamente significativa.

2-2) Cuando el MTA fragua en presencia de humedad, la resistencia al desplazamiento aumenta significativamente con el tiempo en los primeros tres días. Posteriormente, se observa un nuevo aumento estadísticamente significativo entre los 3 y los 21 días, aunque este incremento es menos acusado que el de la primera etapa.

3) El momento en que deja de observarse modificación en la resistencia al desplazamiento de las obturaciones de MTA depende de la humedad durante el fraguado:

3-1) En ausencia de humedad, la resistencia al desplazamiento adquirida por las obturaciones de MTA no se modifica durante más de 3 días.

3-2) En presencia de humedad, no se observa un incremento de la resistencia al desplazamiento adquirida por las obturaciones de MTA durante más de 21 días de fraguado.

- 4) No se observan diferencias estadísticamente significativas entre los valores de resistencia al desplazamiento que adquieren las obturaciones de MTA preparadas con las dos presentaciones (de color oscuro y de color claro).

---

**BIBLIOGRAFÍA**

Abedi HR; Torabinejad M; Pitt Ford TR; Bakland LK. The use of mineral tri-oxide aggregate cement (MTA) as a direct pulp capping agent. J Endod. 1996;22(4):199(44) (Abstract).

Adamo HL; Buruiana R; Schertzer L; Boylan RJ. A comparison of MTA, super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. Int End J. 1999;32(3):197-203.

Aeinehchi M; Eslami B; Ghanbariha M; Saffar AS. Mineral trioxide aggregate (MTA) and calcium hydroxide as pulp-capping agents in human teeth: a preliminary report. Int Endod J. 2003;36(3):225-31.

Al-Nazhan S; Al-Judai A. Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. J Endod. 2003;29(12):826-7.

Alvarado Rodríguez JN. Características del concreto. [www.construaprende.com](http://www.construaprende.com). 2004

Aminoshariae A; Hartwell GR; Moon PC. Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. J Endod. 2003;29(10):679-82

Andelin WE; Browning DF; Hsu GH; Roland DD; Torabinejad M. Microleakage of resected MTA. J Endod. 2002;28(8):573-4.

Andelin WE; Shabahang S; Wright K; Torabinejad M. Identification of hard tissue after experimental pulp capping using dentin sialoprotein (DSP) as a marker. J Endod. 2003;29(10):646-50.

Apaydin ES; Shabahang S; Torabinejad M. Hard-tissue healing after application of fresh or set MTA as root-end filling material. J Endod. 2004;30(1):21-4.

Aqrabawi J. Sealing ability of amalgam, super EBA cement and MTA when used as retrograde filling materials. Br Dent J. 2000;188(5):266-8.

Aranguren Cangas J; Fabra Campos H. Materiales para la obturación a retro: de la amalgama al agregado de mineral trióxido (MTA). Gaceta Dental. 2003;140:110-22.

Arens DE; Torabinejad M. Repair of furcation perforations with mineral trioxide aggregate. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 1996;82:84-8

Asrari M; Lobner D. In vitro neurotoxic evaluation of root-end-filling materials. J Endod. 2003;29(11):743-6.

Balto HA. Attachment and morphological behaviour of human periodontal ligament fibroblasts to mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscope study. J Endod. 2004;30(1):25-9.

Bates CF; Carnes DL; del Rio CE. Longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. J Endod. 1996;22(11):575-8.

Bodem O; Blumenshine S; Zeh D; Koch MJ. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate in a primary molar: a case report. Int J Paediatr Dent. 2004;14(5):376-9

Bonson S; Jeansonne BG; Lallier TE. Root-end filling materials alter fibroblast differentiation. J Dent Res. 2004;83(5):408-13.

Borao E; Bravo D; Moreno J; Arias JR; García Barbero E. Apicoformación: MTA *versus* hidróxido de calcio. Endodoncia. 2003;21(4):246-55.

Bruder M; Cachovan G; Ahlers MO; Platzer U. Tratamiento conservador de perforaciones radiculares tras preparaciones para pernos. Tres casos clínicos. Quintessence (ed. esp.) 2004;17(3):161-8.

Camilleri J; Montesin FE; Papaioannou S; McDonald F; Pitt Ford TR. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2004;37(10):699-704.

Chong BS; Pitt Ford TR; Hudson MB. A prospective clinical study of Mineral Trioxide Aggregate and IRM when used as root-end filling materials in endodontic surgery. *Int Endod J.* 2003;36(8):520-6.

Cummings GR; Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate (MTA) as an isolating barrier for internal bleaching. *J Endod.* 1995;21:228 (Abstract).

Davis JL; Jeansonne BG; Davenport WD; Gardiner D. The effect of irrigation with doxycycline or citric acid on leakage and osseous wound healing. *J Endod.* 2003;29(6):31-5.

Duarte MA; Demarchi AC; Yamashita JC; Kuga MC; Fraga Sde C. pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(3):345-7.

Eidelman E; Holan G; Fuks AB. Mineral trioxide aggregate vs. formocresol in pulpomotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatr Dent.* 2001;23(1):15-8.

Estrela C; Bamman LL; Estrela CR; Silva RS; Pécora JD. Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J.* 2000;11(1):3-9.

Fabra Campos H; Aranguren Cangas J. El agregado de mineral trióxido (MTA) como posible tratamiento en los fracasos de origen endo-periodontal. *Endodoncia.* 2001;19(1):40-50.

Faraco IM Jr; Holland R. Response to the pulp of dogs to capping with mineral trioxide aggregate or a calcium hydroxide cement. *Dent Traumatol.* 2001;17(4):163-6.

Ferris DM; Baumgartner JC. Perforation repair comparing two types of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2004;30(6):423-5.

Fischer EJ; Arens DE; Miller CH. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material and super-EBA as a root-end filling material. *J Endod.* 1998;24(3):176-9.

Flores Legasa L. Uso del mineral trióxido agregado (MTA) en cirugía periapical. *RCOE.* 2002;7(3):291-7.

Flores Legasa L. Estado actual de las perforaciones subcrestales. A propósito de tres casos clínicos. *Científica Dental.* 2004;1(1):19-25.

Fogel HM; Peikoff MD. Microleakage of root-end filling materials. *J Endod.* 2001;27(7):456-8.

Frankenberger R; Krämer N; Oberschachtsiek H; Petschelt A. Dentin bond strength and marginal adaptation after NaCl Pre-Treatment. *Operative Dent.* 2000;25(1):40-5. (a).

Frankenberger R; Krämer N; Petschelt A. Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Operative Dent.* 2000;25(4):324-30. (b).

Fridland M; Rosado R. Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod.* 2003;29(12):814-7.

Funteas UR; Wallace JA; Fochtman FW. A comparative analysis of MTA and Portland cement. *J Endod.* 2002;28(3):259. (Abstract).

García Barbero E; Vera González J; Velázquez Cano J; Baldonado Rodríguez JL; Rodríguez Muñoz A; González Losada C. Nuevas posibilidades terapéuticas en endodoncia. *Revista Europea de Odonto-Estomatología*. 2000;XII(6):325-30.

García Barbero E; González Losada C; Gancedo Caravia L; Vera González V. Influencia de la manipulación del agregado trióxido mineral sobre su capacidad de adaptación al diente. *Profesión Dental*. 2003;6(6):405-12.

Giuliani V; Baccetti T; Pace R; Pagavino G. The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dent Traumatol*. 2002;18(4):217-21.

Gomá F. El cemento Pórtland y otros aglomerantes. Editores técnicos asociados, S.A. 1979.

Gondim E; Zaia AA; Gomes BP; Ferraz CC; Teixeira FB; Souza-Filho FJ. Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. *Int Endod J*. 2003;36(7):491-9.

Goodis HE; Marshall GW Jr; White JM; Gee L; Hornberger B; Marshall SJ. Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. *Dent Mater*. 1993;9:79-84.

Hachmeister DR; WG Schindler; WA Walker; DD Thomas. The sealing ability and retention characteristics of MTA in a model of apexification. *J Endod*. 2002;28(5):386-90.

Haglund R; He J; Jarvis J; Safavi KE; Spangberg LS; Zhu Q. Effects of root-end filling materials on fibroblasts and macrophages in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;95(6):739-45.

Haller B; Thull R; Klaiber B; Teuber M. An extrusion test for determination of bond strength to dentin. *J Dent Res*. 1991;70:525 (Abstract).

---

Hardy I; Liewehr FR; Joyce AP; Agee K; Pashley DH. Sealing ability of One-Up Bond and MTA with and without a secondary seal as furcation perforation repair materials. *J Endod.* 2004;30(9):658-61.

Hayashi M; Shimizu A; Ebisu S. MTA for obturation of mandibular central incisors with open apices: case report. *J Endod.* 2004;30(2):120-2.

Holland R; Souza V; Nery JM; Otoboni JA Filho; Bernabé PFE; Dezan E Jr. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod.* 1999;25(3):161-8. (a).

Holland R; Souza V; Juvenal Nery M; Otoboni JA; Estrada Bernabé PF; Dezan E Jr. Reaction of dogs' teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endod.* 1999;25(11):728-30. (b).

Holland R; Otoboni JA; Souza V; Juvenal Nery M; Estrada Bernabé PF; Dezan E Jr. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *J Endod.* 2001;27(4):281-4. (*Endodoncia.* 2001;19(3):229-34). (a).

Holland R; Souza V; Nery MJ; Faraco IM Jr; Bernabé PFE; Otoboni JA; Dezan E Jr. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tube filled with mineral trioxide aggregate, Portland cement or calcium hydroxide. *Braz Dent J.* 2001;12(1):3-8. (b).

Holland R; Souza V; Murata SS; Nery MJ; Bernabé PFE; Otoboni JA; Dezan E Jr. Healing process of dog dental pulp after pulpotomy and pulp covering with mineral trioxide aggregate or Portland cement. *Braz Dent J.* 2001;12(2):109-13. (c).

Holland R; Souza V; Nery MJ; Bernabé PFE; Otoboni JA; Dezan E Jr. Agregado trióxido mineral y cemento Pórtland en la obturación de conductos radiculares de perro. *Endodoncia.* 2001; 19(4): 275-80. (d).

Holland R; Souza V; Juvenal M; Estrada PF; Otoboni JA; Dezan E; Satomi S. Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide-containing sealers. *J Endod.* 2002;28(3):173-6.

Jameson MW; Tidmarsh BG; Hood JAA. Effect of storage media on subsequent water loss and regain by human and bovine dentine and on mechanical properties of human dentine *in vitro*. *Arch Oral Biol.* 1994;39(9):759-67.

Johnson BR. Considerations in the selection of a root-end filling material. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999;87(4):398-404.

Kettering JD; Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(11):537-9.

Keiser K; Johnson CC; Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *J Endod.* 2000;26(5):288-91. (Endodoncia. 2000;18(4):215-20).

Koh ET; McDonald F; Pitt Ford TR; Torabinejad M. Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1998;24(8):543-7.

Koh ET; Pitt Ford SP; Kariyawasam NH; Chen; Torabinejad M. Prophylactic treatment of dens evaginatus using mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2001;27(8):540-2.

Kratchman SI. Perforation repair and one-step apexification procedures. *Dent Clin N Am.* 2004;48(1):291-307.

Kwak KI; Park DS. The effect of obturation timing and thickness of mineral trioxide aggregate matrix on sealing ability. *J Endod.* 2000;26(9):557. (Abstract).

Lamb EL; Loushine RJ; Weller RN; Kimbrough WF; Pashley DH. Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(6):732-5.

Lawley GR; Schindler WG; Walker WA; Kolodrubetz D. Evaluation of ultrasonically placed MTA and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod.* 2004;30(3):167-72.

Lee SJ; Monsef M; Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19(11):541-4.

Lee ES. A new mineral trioxide aggregate root-end filling technique. *J Endod.* 2000;26(12):764-5.

Loxley EC; Liewehr FR; Buxton TB; McPherson JC 3rd. The effect of various intracanal oxidizing agents on the push-out strength of various perforation repair materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(4):490-4.

Mah T; Basrani B; Santos JM; Pascon EA; Tjaderhane L; Yared G; Lawrence HP; Friedman S. Periapical inflammation affecting coronally-inoculated dog teeth with root fillings augmented by white MTA orifice plugs. *J Endod.* 2003;29(7):442-6.

Main C; Mirzayan N; Shabahang S; Torabinejad M. Repair of root perforations using mineral trioxide aggregate: A long-term study. *J Endod.* 2004;30(2):80-3.

Maroto Edo M; Barberia Leache E; Planells del Pozo P. Estudio clínico del agregado trióxido mineral en pulpotomías de molares temporales: estudi piloto a 15 meses. *RCOE.* 2004;9(1):23-30.

Mason PN; Calabrese M; Graif L. Modified extrusion shear bond strength of the new 3M adhesive. *J Dent Res.* 1998;77(5):1239. (Abstract).

Mendoza Mendoza A; Solano Reina E; de Luque F. Cierre apical mediante agregado trióxido mineral (MTA). *Endodoncia*. 2002;20(1):28-38.

Miñana Gómez M. Utilización del agregado de trióxido mineral (MTA) como barrera apical en dientes con el ápice abierto. *Endodoncia*. 2000;18(3):131-9.

Miñana Gómez M. El agregado de trióxido mineral (MTA) en endodoncia. *RCOE*. 2002; 7(3):283-9.

Monteiro Bramante C; Antunes Bortoluzzi E; Juárez Broon MN. Agregado trióxido mineral (MTA) como plug para la obturación de conductos radiculares: descripción de la técnica y caso clínico. *Endodoncia*. 2004;22(3):155-61.

Myers K; Kaminski E; Lautenschlager E; Miller D. The effects of mineral trioxide aggregate on the dog pulp. *J Endod*. 1996;22:198. (Abstract).

Nakata TT; Bae KS; Baumgartner JC. Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod*. 1998;24(3):184-6.

Osorio RM; Hefti A; Vertucci FJ; Shawley AL. Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod*. 1998;24(2): 91-6.

O'Sullivan SM; Hartwell GR. Obturation of a retained primary mandibular second molar using mineral trioxide aggregate: A case report. *J Endod*. 2001;27(11):703-5.

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;12:227-36.

Peters CI; Peters OA. Occlusal loading of EBA and MTA root-end fillings in a computer-controlled masticator: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*. 2002;35(1):22-9.

---

Perez AL; Al-Awadhi S. A comparative assessment of primary osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells when in contact with ProRoot MTA vs. white MTA: an SEM study. *J Endod.* 2002;28(3):257. (Abstract).

Perez AL; Spears R; Gutmann JL; Opperman LA. Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently when in contact with ProRoot MTA and white MTA. *Int Endod J.* 2003;36:564-70.

Pitt Ford TR; Torabinejad M; Hong CU; Kariyawasam SP. Assessment of mineral trioxide aggregate as a retrograde root filling. *J Dent Res.* 1994;73(4):804. (Abstract).

Pitt Ford TR; Torabinejad M; McKendry DJ; Hong CU; Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995;79(6):756-62.

Pitt Ford TR; Torabinejad M; Abedi HR; Bakland LK; Kariyawasam SP. Using mineral trioxide aggregate as a pulp capping material. *J Am Dent Assoc.* 1996;127:1491-4.

Pistorius A; Willershausen B; Briseno Marroquin B. Effect of apical root-end filling materials on gingival fibroblasts. *Int Endod J.* 2003;36(9):610-5.

Reeh ES; Combe EC. New core and sealer materials for root canal obturation and retrofilling. *J Endod.* 2002;28(7):520-3.

Regan JD; Gutmann JL; Witherspoon DE. Comparison of Diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of the periradicular tissues. *Int Endod J.* 2002;35(10):840-7.

Rocamora M; Teixidó M; Roig M. Obturación apical por vía ortógrada con MTA en un diente con ápice abierto. *Endodoncia.* 2001;19(1):17-20.

---

Roy CO; Jeansonne BG; Gerrets TF. Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endod.* 2001;27(1):7-8.

Saidon J; He J; Safavi K; Spangberg LS. Tissue reaction to implanted mineral trioxide aggregate or Portland Cement. *J Endod.* 2002;28(3):247. (Abstract).

Saidon J; He J; Zhu Q; Safavi K; Spangberg LS. Cell and tissue reactions to mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;95(4):483-9.

Salako N; Joseph B; Ritwik P; Salonen J; John P; Junaid TA. Comparison of bioactive glass, mineral trioxide aggregate, ferric sulfate, and formocresol as pulpotomy agents in rat molar. *Dent Traumatol.* 2003;19:314-20.

Scheerer SQ; Steiman HR; Cohen J. A comparative evaluation of three root-end filling materials: An in vitro leakage study using *Prevotella nigrescens*. *J Endod.* 2001;27(1):40-2.

Schmitt D; Lee J; Bogen G. Multifaceted use of ProRoot™ MTA root canal repair material. *Pediatr Dent.* 2001;23(4):326-30.

Schwartz RS; Mauger M; Clement DJ; Walker WA III. Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Assoc.* 1999;130:967-75.

Shabahang S; Torabinejad M; Boyne PP; Abedi H; McMillan P. A comparative study of root-end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod.* 1999;25(1):1-5.

Shipper G; Grossman ES; Botha AJ; Cleaton-Jones PE. Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J.* 2004;37:325-36.

Sluyk SR; Moon PC; Hartwell GR. Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod.* 1998;24(3):768-71.

Strawn SE; White JM; Marshall GW; Gee L; Goodis HE; Marshall SJ. Spectroscopic changes in human dentine exposed to various storage solutions – short term. *J Dent.* 1996;24(6):417-23.

Tang HM; Torabinejad M; Kettering JD. Leakage evaluation of root end filling materials using endotoxin. *J Endod.* 2002;28(1):5-7.

Thomson TS; Berry JE; Somerman MJ; Kirkwood KL. Cementoblasts maintain expression of osteocalcin in the presence of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2003;29(6):407-12.

Titley KC; Chernecky R; Rossouw PE; Kulkarni GV. The effect of various storage methods and media on shear-bond strengths of dental composite resin to bovine dentine. *Arch Oral Biol.* 1998;43:305-11.

Torabinejad M; Watson TF; Pitt Ford TR. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root end filling material. *J Endod.* 1993; 19(12): 591-6.

Torabinejad M; Higa RK; McKendry DJ; Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end filling materials: effects of blood contamination. *J Endod.* 1994;20(4):159-63.

Torabinejad M; Rastegar AF; Kettering JD; Pitt Ford TR. Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(3):109-12. (a).

Torabinejad M; Wilder Smith P; Kettering JD; Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *J Endod.* 1995;21(6):295-9. (b).

---

Torabinejad M; Hong CU; McDonald F; Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(7):349-53. (c).

Torabinejad M; Hong CU; Pitt Ford TR; Kettering JD. Antibacterial effects of some root end filling materials. *J Endod.* 1995;21(8):403-6. (d).

Torabinejad M; Hong CU; Pitt Ford TR; Kettering JD. Cytotoxicity of four root end filling materials. *J Endod.* 1995;21(10):489-92. (e).

Torabinejad M; Hong Cu; Pitt Ford TR; Kariyawasam SP. Tissue reaction to implanted super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod.* 1995;21(11):569-71. (f).

Torabinejad M; Hong CU; Lee SJ; Monsef M; Pitt Ford TR. Investigation of Mineral trioxide aggregate for root-end filling in dogs. *J Endod.* 1995;21(12):603-8. (g).

Torabinejad M; Pitt Ford TR. Root end filling materials: a review. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12:161-78.

Torabinejad M; Pitt Ford TR; McKendry DJ; Abedi HR; Miller DA; Kariyawasam SP. Histologic assessment of mineral trioxide aggregate as a root-end filling in monkeys. *J Endod.* 1997;23(4):225-8.

Torabinejad M; Pitt Ford TR; Abedi HR; Kariyawasam SP; Tang HM. Tissue reaction to implanted root-end filling materials in the tibia and mandible of guinea pigs. *J Endod.* 1998;24(7):468-71.

Torabinejad M; Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25(3):197-205. (*Endodoncia.* 1999;17(3):159-71).

---

Tziafas D; Pantelidou O; Alvanou A; Belibasakis G; Papadimitriou. The dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short-term capping experiments. *Int Endod J*. 2002;35(3): 245-54.

Valois CR; Costa ED. Influence of the thickness of mineral trioxide aggregate on sealing ability of root-end fillings in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004;97(1):108-11.

Vizgirda PJ; Liewehr FR; Patton WR; McPherson JC; Buxton TB. A comparison of laterally condensed gutta-percha, thermoplasticized gutta-percha, and mineral trioxide aggregate as root canal filling materials. *J Endod*. 2004;30(2):103-6.

Watanabe LG; Marshall GW; Marshall SJ. Variables Influence on Shear Bond Strength Testing to Dentin. *Advanced adhesive dentistry. 3<sup>rd</sup> International Kuraray Symposium*. J.Tagamani, M. Toledano, C. Prati.Granada. 3-4 Dec. 1999.

Weldon JK Jr, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Sealing ability of mineral trioxide aggregate and super-EBA when used as furcation repair materials: a longitudinal study. *J Endod*. 2002;28(6):467-70.

White C Jr; Bryant N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guided tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *J Periodontol*. 2002;73(12):1517-21.

Wu MK; Kontakiotis EG; Wesselink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod*. 1998;24(8):557-60.

Wucherpfenning AL; Green DB. Mineral trioxide vs Portland cement: two biocompatible filling materials. *J Endod*. 1999;25:308 (Abstract).

Yaltirik M; Ozbas H; Bilgic B; Issever H. Reaction of connective tissue to mineral trioxide aggregate and amalgam. *J Endod.* 2004;30(2):95-9.

Yatsushiro JD; Baumgartner JC; Tinkle JS. Longitudinal study of the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. *J Endod.* 1998;24(11):716-9.

Zhu Q; Haglund R; Safavi K E; Spangberg LSW. Adhesion of human osteoblasts on root-end filling materials. *J Endod.* 2000;26(7):404-6.