



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESPECIALIDAD DE ENDODONCIA

Método electroquímico para disolver limas de Ni-Ti
fracturadas dentro del conducto radicular

TESIS QUE PRESENTA:

C.D. MIRIAM YARELI SAMANIEGO SÁNCHEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN ENDODONCIA

DIRECTOR DE TESIS

Dr. José Geovanni Romero Quintana

Dra. Erika Silva

ASESOR EXTERNO

Dra. Norma Verónica Zavala Alonso

Culiacán de Rosales, Sinaloa, México, a 2 de diciembre del 2017

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mi madre Lupita Sánchez quien ha sido mi más grande apoyo para poder lograr mis sueños y metas hasta el día de hoy, por ser la persona más importante en mi vida y mi ejemplo a seguir, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, comprensión y paciencia, por creer en mí, gracias mami, te amo.

También a mis hermanas Xóchitl y Nallely Samaniego, de quienes he aprendido el valor que tiene la familia, pues nunca me han soltado de la mano dándome siempre su apoyo incondicional y sus consejos, gracias por la confianza y por siempre creer en mí, porque ese voto que tuvieron conmigo me ha permitido cumplir mis metas. Me han impulsado a conseguir más de lo que yo podría creer, gracias hermanas por todo, de corazón se los digo las amo.

AGRADECIMIENTOS

Mi mayor agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el que en todo momento está conmigo ayudándome a aprender de mis errores y a no cometerlos otra vez. Eres quien guía el destino de mi vida, te lo agradezco señor.

Muy agradecimiento con el Dr. Ángel Basurto, Dr. Rosalio Ramos, Dr. Alfredo Ayala, Dr. Fernando Beltrán, Dra. Maribel Aguilar, Dra. Marina Urías, Dra. Itzel Castro, Dra. Ilsa Inzunza, Dr. Gómez Ruelas, Dr. Omar Cázares, Dra. Margarita Castro, Dr. Hash por su apoyo durante mi preparación, para poder lograr desarrollarme como especialista en endodoncia, además de reconocerles el ser excelentes personas y profesionistas.

Gracias también al Dr. Geovanni Romero, al Dr. Eduardo Soto y a la Dra. Erika Silva, por sus enseñanzas, paciencia y apoyo en todo momento durante la elaboración de mi tesis.

Especialmente agradezco a la Dra. Gloria Yolanda Castro Salazar coordinadora de la Especialidad en Endodoncia, por darme la oportunidad de realizar mi especialidad en esta universidad, por compartirme sus conocimientos, darme su apoyo y acompañarme con su experiencia durante toda la carrera. De corazón Dra. se lo digo, tiene una amiga incondicional en mí.

INDICE

INDICE DE GRAFICAS ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INDICE DE TABLAS..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

INDICE DE FIGURAS VII

1 RESUMEN 1

ABSTRACT..... 2

2 INTRODUCCION 3

3 MARCO TEORICO 5

3.1 ANTECEDENTES..... 5

3.2 INSTRUMENTOS ENDODONTICOS 6

3.2.1 Fabricación de instrumentos 7

3.2.2 Corrosión..... 9

3.2.3 Resistencia de metales a la corrosión 10

3.2.4 Corrosión electroquímico de metales 11

3.3 MÉTODOS PARA REMOCIÓN DE INSTRUMENTOS FRACTURADOS 12

3.3.1 Disolución electroquímica 13

3.3.2 Químicos utilizados en disolución de metales..... 15

3.4 DENTINA 17

3.4.1 Efectos de la dentina después del trabajo biomecánico..... 18

4 JUSTIFICACION..... 20

5	OBJETIVOS.....	21
5.1	OBJETIVO GENERAL.....	21
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
6	MATERIALES Y METODOS	22
6.1	LUGAR DE OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS	22
6.2	TIPO DE ESTUDIO	22
6.3	MUESTRA	22
6.3.1	Tamaño de muestreo	23
6.3.2	Criterios de inclusión	24
6.3.3	Criterio de exclusión.....	24
6.3.4	Criterios de eliminación	24
6.4	METODOLOGÍA	25
6.4.1	Piloto	25
6.4.2	Experimento exvivo	27
6.5	LUGAR DE REALIZACIÓN	35
6.6	FINANCIAMIENTO	36
7	RESULTADOS	36
8	DISCUSIÓN	40
9	CONCLUSIONES	42
10	PROPUESTAS	43
11	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: IMSS	22
Figura 2: Prueba piloto	23
Figura 3: Experimento exvivo	23
Figura 4: Báscula analítica calibrada.....	26
Figura 5: pH-metro	26
Figura 6: Observación macroscópicamente	27
Figura 7: : Observacion microscópicamente en el microscopio confocal	27
Figura 8: Permeabilidad y longitud	28
Figura 9: Preparación de la muestra	29
Figura 10: Apertura del conducto con Gates Glidden #1, 2, y 3,	29
Figura 11: Montaje de diente.....	30
Figura 12: Contacto directo con la lima fracturada	30
Figura 13: Cátodo y ánodo conectados a la fuente de poder	31
Figura 14: OD sumergido en solución	31
Figura 15: Radiografías digitales.....	32
Figura 16: Sección del OD	33
Figura 17: Deshidratación del OD	33
Figura 18: Baño de oro.....	34
Figura 19: Microscopio Electronico de Barrido (MEB).....	35
Figura 20: Piloto observado en MEB.....	36
Figura 21: MEB de la lima.	37
Figura 22: Dentina en MEB.	39
Figura 23: Liberación de la lima	39

1 RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la capacidad del método electroquímico en la disolución y liberación de limas de NiTi fracturadas en el interior de conductos radiculares. Se utilizaron 9 limas F1 PTU para la prueba piloto y 12 conductos radiculares de incisivos inferiores permanentes con una lima fracturada dentro del conducto para el experimento ex vivo. Ambos experimentos se expusieron a una corriente de 120 V y 250 mA por 30 minutos, y a 3 soluciones diferentes: a) NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L con pH 5, b) NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L con pH 5 y c) Solución salina. Se tomaron imágenes radiográficas digitales y lecturas de voltaje cada minuto durante el procedimiento para registrar la disolución de los fragmentos. Los datos de voltaje fueron analizados con la prueba ANOVA. Se obtuvo un promedio de voltaje de corriente para la solución de agua inyectable (solución 1) de 64 V + 4, contra 24 V + 4 con la solución NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L (solución 2), y 18 V + 2 de la solución NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L (solución 3). Y una resistencia para la solución 1 de 171 + 49 mA, contra 250 + 0 mA de la solución 1 y 250 + 0 mA de la solución 2. Finalmente radiográficamente y microscópicamente se pudo observar el daño que este método provoca al tejido dentinario y la poca capacidad que tiene para disolver la lima dentro del conducto radicular, por lo que lo consideramos inaceptable para la integridad del órgano dental.

Palabras clave: disolución electroquímica, limas fracturadas, daño al tejido dentinario

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate the capacity of the electrochemical method in the dissolution and release of fractured NiTi files inside root canals. We used 9 F1 PTU files for the pilot test and 12 root canals of permanent lower incisors with a fractured file inside the canal for the ex vivo experiment. Both experiments were exposed to a current of 120 V and 250 mA for 30 minutes, and to 3 different solutions: a) NaF 12 g / L + NaCl 180 g / L, pH 5, b) NaF 12 g / L + NaCl 250 g / L, pH 5 and c) saline solution. Digital radiographic images and voltage readings were taken every minute during the procedure to record the dissolution of the fragments. The voltage data were analyzed with the ANOVA test. An average current voltage was obtained for the solution of injectable water (solution 1) of 64 ± 4 V, against 24 ± 4 V with the solution NaF 12 g / L + NaCl 180 g / L (solution 2), and 18 ± 2 V of the solution NaF 12 g / L + NaCl 250 g / L (solution 3). And a resistance for solution 1 of 171 ± 49 mA, against 250 ± 0 mA of solution 1 and 250 ± 0 mA of solution 2. Finally, radiographically and microscopically it was possible to observe the damage that this method causes to the dentin tissue and the little capacity to dissolve the file inside the root canal, which is why we consider it unacceptable for the integrity of the dental organ.

Keywords: electrochemical dissolution, fractured files, damage to dentin tissue.

2 INTRODUCCION

Ante la frecuente situación de la fractura de una lima en el interior del sistema de conductos durante la preparación biomecánica, cabe plantear la pregunta ¿por qué se fracturó el instrumento?. Una de las mayores preocupaciones en la práctica de la endodoncia usando instrumentos NiTi es la posibilidad de fracturas del instrumento. Las razones por las que se fracturan las limas incluyen la capacidad del operador, las técnicas de preparación, uso inadecuado o excesivo del instrumento, microfisuras existentes en un instrumento nuevo, así como la anatomía del conducto radicular (1). Además Se debe tener en cuenta que las propiedades físicas de una lima o ensanchador, se van deteriorando, tanto con el uso, como con las diferentes curvaturas a las que se ven sometidas y a los continuos y bruscos cambios de temperatura al esterilizarlos (2-4).

La presencia de un instrumento fracturado en el conducto radicular representa un obstáculo para el tratamiento de conductos. Estudios clínicos recientes documentan que el pronóstico para los tratamientos de conductos, no se ve afectada significativamente por la fractura de un instrumento. Por otro lado, diversos estudios muestran que el pronóstico es más bajo cuando un instrumento fracturado compromete la desinfección eficaz de un tratamiento de conducto asociado con una patología periapical (5).

Por lo que, muchos estudios se han enfocado en reproducir técnicas con diferentes dispositivos y métodos para lograr la recuperación o remoción de instrumentos fracturados de conductos radiculares. Pues de no lograr dicha remoción, el manejo de un caso con un instrumento fracturado podría implicar un abordaje quirúrgico (6). Estos métodos mecánicos utilizados para dicha remoción, presentan algunas limitaciones relacionadas con la morfología del conducto, la reducción de la fuerza de la raíz, y la capacidad del operador. Según Alomairy, los conductos menos curvos y con un radio más largo de curvatura son factores favorables para la eliminación de instrumentos de níquel-titanio (NiTi) fracturados. En muchos casos no se obtiene un acceso en línea recta al instrumento fracturado, haciendo prácticamente imposible la visualización de dicho

instrumento y de la dentina adyacente (7). En consecuencia, no se recomienda tratar de eliminar un fragmento situado más allá de la curva del conducto. Tales intentos podrían conducir a la formación de perforaciones y/o promover una reducción de la fuerza de la raíz (8, 9).

Se ha observado que la eliminación de instrumentos fracturados situados en lo más profundo del conducto radicular, da como resultado una pérdida significativa de la estructura del diente. Sin embargo, eliminación excesiva de tejido dentinario y pérdida significativa de la resistencia mecánica de la raíz se observan incluso en los casos de instrumentos fracturados situados en conductos “rectos” o en el tercio medio de conductos curvos. Otro punto a tener en cuenta es que para que los métodos mecánicos sean efectivos eliminando instrumentos fracturados se necesita capacidad y habilidad del profesional, y la mayoría de las veces es necesario el uso de un operativo como el microscopio (10).

Por lo que, resulta indispensable estudiar métodos de recuperación o remoción de instrumentos que causen mínimo daño a las estructuras dentales. Un estudio reciente ha propuesto la disolución electroquímica-inducida del instrumento fracturado como un medio para recuperar el camino original del conducto, sin dañar las estructuras radiculares (11). Sin embargo, este proceso por si sólo podría ser demasiado lento para utilizarlo durante el tratamiento de endodoncia.

Por lo tanto, el propósito de este estudio es evaluar la capacidad del proceso electroquímico para la disolución de instrumentos endodónticos de NiTi fracturados dentro de conductos radiculares sin dañar las estructuras dentales adyacentes en un tiempo de trabajo clínico aceptable.

3 MARCO TEORICO

3.1 ANTECEDENTES

Ormiga y cols. (2010), introdujeron una nueva técnica para disolver limas rotatorias de NiTiK3 25.04 por medio de un método electroquímico. Las limas se aislaron en modelos in vitro de acrílico y se dividieron en 4 grupos, cada uno con 5 limas por 8, 17, y 25 minutos hasta que se observó la disolución de la fracción de la lima. Solamente se sumergieron 6 mm de cada lima en NaF 5 g/L y NaCl 1 g/L, con pH 5, demostrando la disolución completa de los 6 mm con una corriente de 9 V. (11)

Otro estudio realizado por Ormiga y cols. (2011), observaron la disolución de una lima rotatoria NiTi K3 30.06, embebida en NaF 5 g/L y NaCl 1 g/L, como resultado de una polarización de 0.7 V durante un periodo de 6 horas. Sin embargo, los autores concluyeron que este tiempo no es viable clínicamente, por lo tanto sugirieron que las condiciones de la disolución deben ser mejoradas. (12)

Alcantara y cols. (2013), realizaron un experimento en bloques de resina con un conducto simulado con fragmentos de limas fracturadas de 5 mm, con el propósito de disolver las limas por medio de electrolisis y ultrasonido; concluyendo que la acción electroquímica con la solución NaF 8 g/L+ NaCl 0.5 g/L permite que exista pérdida de masa del fragmento fracturado, sin embargo, no fue suficiente y su sola utilización no es concluyente para retirar los fragmentos, siendo necesaria la aplicación de ultrasonido.(13)

Ormiga y cols. (2014), propusieron modificar el proceso de disolución de las limas rotatorias K3 de NiTi para que tenga un periodo de tiempo clínicamente aceptable. Utilizando 4 soluciones de NaF y NaCl a diferentes concentraciones y pH. Los resultados obtenidos en su estudio demuestran que el aumento de la concentración de fluoruro puede lograr durante 60 minutos una disolución de las limas NiTi, presentando la mejor disolución con la solución de NaF 12 g/L, NaCl 1 g/L, pH 5.0. (14)

A. Kowalczyk y cols. (2016), evaluaron el efecto del cloruro de sodio a diferentes concentraciones en soluciones fluoradas durante la electrodisolución química de instrumentos endodónticos rotarios fracturados dentro de un conducto radicular. Evaluaron dos soluciones (solución 1: NaF 12 g/L + NaCl 1 g/L, pH=5,0; y solución 2: NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L, pH= 5,0) realizando dos pruebas: la prueba de polarización del instrumento F1 de ProTaper Universal (PTU) fuera del conducto radicular y la prueba de polarización del instrumento F1 de PTU de los fragmentos fracturados dentro del conducto radicular. Para la primera prueba, se hicieron dos grupos de 5 instrumentos, los cuales se sumergieron parcialmente en cada solución y se expusieron a la corriente eléctrica por 30 minutos. En la segunda prueba, se fracturaron 45 instrumentos F1 de PTU dentro de los conductos radiculares de incisivos inferiores y se sometieron a la polarización potenciodinámica por 30 min. La solución 2 se asoció con una mayor corrosión en los efectos nocivos de ambas pruebas. En la primera prueba, los instrumentos sumergidos en la solución 2 tenían una mayor corriente eléctrica ($P < 0,001$) y tenía un tiempo de disolución de aproximadamente 540 s. En la segunda prueba, se observó una mayor diferencia entre la longitud inicial y la longitud final de los fragmentos en solución 2 ($P = 0,011$). La saturación de la solución fluorada con cloruro de sodio dio lugar a un aumento de la electricidad y la reducción de la longitud de los fragmentos de instrumentos fracturados sometidos a la electrodisolución química (15).

3.2 INSTRUMENTOS ENDODONTICOS

En un tratamiento de conductos se utilizan distintos tipos de instrumentos como limas manuales de acero inoxidable, de NiTi e instrumentos rotatorios, con el fin de preparar y conformar el conducto radicular para su posterior obturación (16).

Hoy en día los endodoncistas y tienen a su disposición una gama enorme de opciones con relación a las diferentes limas confeccionadas en níquel-titanio.

Estos instrumentos, son fabricados de aleaciones metálicas como el Nitinol (Nickel – Titanium, Naval Ordnance Laboratory), que es una aleación de Níquel y Titanio diseñada por William J. Buchler en 1963, compuesta por un 55% de Níquel y 45% de Titanio, tiene la propiedad de tener memoria de forma o SMA (“Shape Memory Alloy”); además de tener una alta elasticidad y resistencia a la corrosión. En algunas aleaciones, un pequeño porcentaje de níquel (<2%) puede ser sustituido por cobalto (17, 18)

Estas aleaciones poseen dos formas cristalográficas: austenita y martensita. La transformación desde la fase austenita a la martensita se produce cuando se aplica un estrés al instrumento (presión, calor). Al iniciarse esta transformación, el instrumento se vuelve frágil y se puede romper con facilidad (17).

Además de su morfología, los instrumentos utilizados en la preparación quimiomecánica poseen dos características que son el *tip* y el *taper*. El *tip* representa el diámetro en la punta del instrumento y es representado por un número (número ISO) que es estandarizado para todos los instrumentos. La conicidad o *taper* representa la medida de aumento de diámetro de la parte activa de la lima (19).

3.2.1 Fabricación de instrumentos

En teoría todos los componentes fabricados con NiTi siguen los mismos pasos de fabricación. Primero se fusionan en vacío, se trabajan en caliente, se trabajan en frío y se tratan en caliente para conseguir las propiedades finales. Los procesos subsiguientes necesarios para cortar, soldar y tratamientos superficiales, se aplican para obtener el elemento final.

El método de aleado debe ser muy cuidadoso, es de suma importancia conocer que las temperaturas de transición (rango de temperatura en el que se produce la transformación de Austenita a Martensita) son altamente sensibles a la composición de la aleación: una variación de un 1% en la cantidad de cualquiera

de los dos (Ni o Ti) puede cambiar en 100 °C la temperatura de transformación. Por este motivo, cualquier contaminante significaría cambiar la aleación y probablemente desecharla. Dependiendo de la forma final el tratamiento puede ser distinto: extrusión, laminado en barra o lámina, forjado. Las temperaturas suelen ser entre 600 y 800 °C (20, 21).

La aleación de níquel-titanio usada en la fabricación de instrumentos de preparación del conducto radicular contiene aproximadamente un 56% de níquel y un 44% de titanio. En algunas aleaciones, un pequeño porcentaje de níquel (< 2%) puede ser sustituido por cobalto (18). Triturado Esencialmente, la pieza colada se forja en una prensa en una forma cilíndrica antes de la estampación rotatoria a presión, para crear un alambre estirado. El cable se enrolla a continuación para producir una forma cónica con una presión uniforme a partir de una serie de rodillos aplicada al alambre. Durante la fase de construcción, otros procesos se llevan a cabo en la varilla enrollada de alambre, incluyendo el trefilado del alambre sobre un cono, el recocido del alambre en su estado enrollado, descalcificación y trefilado fino del alambre seguido por repetidos calentamientos con el cable en una configuración recta. Esta etapa es seguida por la elaboración del perfil real o la forma de la sección transversal del alambre, por ejemplo, impartir ya sea una forma redonda, cuadrada u oblonga antes del proceso de limpieza y acondicionamiento de superficie. El cable terminado se almacena en los carretes antes de la transformación (18). El electropulido mitiga los efectos del triturado y reduce los defectos superficiales, como las microgrietas, canales y las transferencias de metal, mientras que desafilas los bordes de corte al mismo tiempo. Estudios recientes han encontrado que el electropulido mejora la resistencia a la fatiga cíclica y las cargas de torsión, lo que incrementa la resistencia a la fractura. Las limas de gran diámetro resisten mejor la torsión que las pequeñas, y las segundas resisten la fatiga cíclica mejor que las de mayor diámetro.

Fabricar limas de níquel titanio por acordonamiento (torcido) resulta en una lima formada de una sola pieza de níquel titanio; es decir, el mango de la lima no es una segunda pieza de metal unida al eje de la lima de níquel titanio. Las ranuras de corte de las limas acordonadas (TF) no se crean por trituración, y la estructura granular del níquel titanio nunca se corta transversalmente, lo que mantiene su integridad. Las limas acordonadas de níquel titanio se crean tomando el alambre de níquel titanio en bruto en la estructura ausentita cristalina y transformarlo en una estructura cristalina diferente (Fase R) por medio de un proceso de calentamiento y enfriado (Gambarini y col. 2008). En la Fase R, el níquel titanio puede torcerse. Una vez torcido, la lima se calienta y enfría de nuevo para conservar su nueva forma y convertirla de nuevo a la estructura ausentita cristalina, la cual es superelástica una vez tensionada (y puede usarse en función de endodoncia). La lima recibe entonces un tratamiento químico superficial final de desoxidación que conserva la dureza de la superficie del metal sin reducir el filo de las ranuras de corte o la dureza del metal (18).

3.2.2 Corrosión

La corrosión de los metales es un proceso químico o electroquímico en el que el metal se transforma en un óxido o cualquier otro compuesto. En general, es un ataque gradual, provocado por una amplia variedad de gases, ácidos, sales, agentes atmosféricos, sustancias de naturaleza orgánica.

El ataque químico directo es producido fundamentalmente por sustancias gaseosas corrosivas, en las que no hay paso apreciable de corriente eléctrica a través del metal.

El ataque electroquímico es provocado por el contacto con un electrolito, es decir, una disolución iónica, en el que se establece una separación entre ánodo y cátodo, por el que circula una corriente eléctrica (22, 23).

3.2.3 Resistencia de metales a la corrosión

Cuando un material es utilizado como biomaterial, es importante su resistencia a la corrosión, ya que de no ser así podría generar grandes daños dentro del cuerpo humano (22, 23).

Las aleaciones de titanio son nuevos materiales que poseen una extraordinaria combinación de propiedades. El metal puro presenta relativamente baja densidad, 4.5 g/cc, alta temperatura de fusión 1668 °C, y un alto módulo elástico 107 GPa. Sus aleaciones son muy resistentes, y a la vez dúctiles y fácilmente forjables y mecanizables. La principal limitación del titanio es su reactividad química a elevada temperatura con otros materiales. La resistencia a la corrosión a temperatura ambiente es extraordinariamente elevada, suelen ser inalterables a la atmósfera, al ambiente marino y a la mayoría de los industriales. Se utilizan en estructura de aviones, vehículos espaciales, y en la industria petroquímica (24).

El níquel es uno de los metales más importantes en la actualidad. Se utiliza extensamente en los aceros y las mejoras en las propiedades que les confiere. El metal puro presenta una resistencia excelente a la corrosión en medio básico y frente a la mayoría de los ácidos por lo que es muy utilizado en plantas de ingeniería química y en la industria alimentaria. Para abaratar los costes se suele depositar una capa de níquel (generalmente una electrodeposición) para evitar la corrosión (24).

Por lo que, las aleaciones NiTi, utilizadas en instrumentos endodónticos presentan alta resistencia a la corrosión en la mayoría de los entornos. Esta resistencia es una consecuencia de la formación de una capa de óxido en la interfaz entre el metal y la solución, que protege el material sumergido. Sin embargo, la formación de esta capa protectora de óxido no se produce en la superficie de NiTi en algunos entornos tales como soluciones que contienen fluoruro, dando como resultado la disolución de la aleación (22, 23).

3.2.4 Corrosión electroquímico de metales

La electroquímica es la corriente eléctrica que es producida por la energía de una reacción de óxido-reducción, y estudia el intercambio de la energía química y eléctrica. Se denomina corrosión electrolítica o electrólisis a un deterioro que el surgimiento de una corriente eléctrica provoca en los metales sumergidos, que se agrupan según su potencial: los cátodos son los que mayor potencial tienen, mientras que del otro lado se encuentran los ánodos, los cuales se descomponen en lugar de los primeros. (25).

La corrosión electroquímica es un fenómeno asociado con el flujo de corriente eléctrica directa y puede presentarse en ocasiones actuando junto con los tipos de corrosión química (26).

Para que la corrosión electroquímica se lleve a cabo, deberán existir los elementos que a continuación se mencionan. La eliminación de cualquiera de ellos es el fundamento básico de la corrección anticorrosiva:

El metal o área que se corroe, llamado ánodo o área anódica.

El metal o área que no se corroe, llamado cátodo o área catódica.

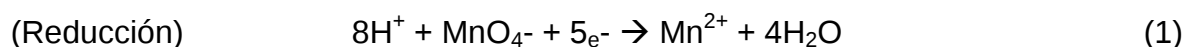
La conexión exterior y el electrolito para cerrar el circuito.

Todos estos forman la llamada celda de corrosión (26).

En la electroquímica hay dos tipos de procesos:

- a) La producción de una corriente eléctrica a partir de una reacción química (óxido-reducción).
- b) El uso de la corriente eléctrica para producir algún cambio químico.

Para comprender de qué manera se emplean las reacciones redox para generar corriente, es necesario conocer las reacciones acuosas de los químicos que se pueden descomponer. Estos son ejemplos de semirreacciones:



Cuando se produce en solución la reacción entre MnO_4^- y Fe^{2+} , se transfieren electrones de manera directa mediante choque de los reactivos. No se obtiene trabajo útil de la energía química que participa en la reacción. Esto se logra separando al agente oxidante (aceptador de electrones) del agente reductor (donador de electrones) para que la transferencia de electrones se produzca a través de un alambre. Es decir, para pasar de la sustancia reductora a la oxidante los electrones deben atravesar el alambre. La corriente que se produce en éste por el flujo de electrones se hace pasar a través de un dispositivo que puede ser un motor eléctrico para efectuar trabajo útil (27).

3.3 MÉTODOS PARA REMOCIÓN DE INSTRUMENTOS FRACTURADOS

Hoy en día existen diversas técnica o métodos que ayudan a la remoción de instrumentos fracturados dentro del conducto radicular, como lo son: el ultrasonido, que por medio de movimientos ultrasónicos crea una “plataforma” alrededor del instrumento fracturado para posteriormente, por medio de la agitación, lograr desestancarlo y liberarlo (28-31) ; La eliminación por medio de microtubos, que generalmente implica posicionar el extremo de un tubo metálico estrecho sobre la punta coronal expuesta del instrumento fracturado, sujetarlo y extraer el fragmento, con la ayuda de un adhesivo de cianoacrilato, previamente

se crea un espacio alrededor de la lima fracturada coronalmente con la ayuda del ultrasonido, para liberar ese espacio (29, 32-36); Alicates y fórceps (Pinzas de Stieglitz), estas son unas pinzas especializadas que sujetan la cabeza del instrumento fracturado, y sólo es efectivo si el instrumento fracturado está en el tercio coronal del conducto (36).

En la mayoría de los casos es difícil y con frecuencia ineficiente la remoción de instrumentos dentro del conducto radicular. La posibilidad de obtener el éxito depende de la ubicación del instrumento dentro del conducto, así como la anatomía propia de la raíz y de las habilidades del operador (37, 38).

Los diferentes métodos para remover los instrumentos no han dado la certeza de un 100% de éxito; por lo contrario, la técnica más común, con vibraciones al instrumento fracturado con ultrasonido, puede debilitar las paredes dentinales del conducto radicular debido al desgaste que se realiza para tener contacto con el instrumento, pudiendo presentar perforaciones radiculares (7, 8).

En este contexto, es necesario un método de recuperación y/o remoción de instrumentos fracturados dentro del conducto radicular, menos complejo que cause daño mínimo a la estructura dental. Por lo tanto, se requiere realizar un método con una mayor eficacia sin tener las consecuencias negativas anteriormente mencionadas.

3.3.1 Disolución electroquímica

La disolución de un instrumento fracturado puede permitir la recuperación de la trayectoria original del conducto sin dañar la estructura de la raíz. El método de la disolución inducida electroquímicamente requiere de 2 electrodos sumergidos en la solución, uno que actúa como un cátodo y el otro como un ánodo. Es necesario el contacto entre la lima fracturada y el electrodo utilizado como ánodo, ya que la disolución de la lima fracturada es el objetivo del proceso. Se impone una diferencia de potencial electroquímica adecuada entre los 2 electrodos, dando como resultado la migración de los electrones desde el ánodo al cátodo y, por consiguiente, la liberación de iones metálicos a la solución. Este proceso

corresponde a la disolución progresiva del fragmento dentro del conducto radicular. Por cierto, las aleaciones NiTi presentan una alta resistencia a la corrosión en la mayoría de los ambientes. Esta resistencia es una consecuencia de la formación de una capa de óxido en la interfase entre el metal y la solución, que protege el material sumergido. Sin embargo, la formación de esta capa protectora de óxido no se produce en la superficie de NiTi en algunos ambientes tales como soluciones que contienen fluoruro, dando como resultado la disolución de la aleación (22, 39-44). Esta disolución podría dar como resultado una base consistente para el desarrollo de un método para eliminar los instrumentos fracturados de los conductos radiculares sin dañar las estructuras dentales adyacentes.

Ormiga y cols., presentaron en un estudio reciente la propuesta de disolución electroquímica-inducida del instrumento fracturado como un medio para recuperar el camino original del conducto, sin dañar las estructuras radiculares. El concepto de este método se basa en dos electrodos compuestos por un material inerte que deben ser sumergidos en un electrolito, un electrodo actúa como un cátodo (polo negativo) y el otro como un ánodo (polo positivo). Este último, es necesario que haga contacto con el instrumento fracturado para lograr la disolución de dicho instrumento. El electrolito podría tener una composición variable, de acuerdo con el metal a ser disuelto; es esencial que el metal tenga la susceptibilidad para la disolución en este electrolito. Además, se deben aplicar diferentes potencias eléctricas para acelerar la transferencia de electrones y la liberación de iones metálicos a la solución (11, 12). Este proceso corresponde a la disolución progresiva (corrosión) del fragmento en el interior del conducto radicular (11, 12).

En nuestro caso utilizamos NaF y NaCl. El NaCl lo utilizamos para proporcionar, aumentar, e inducir la corriente eléctrica, entre más sal contenga, más corriente lleva. El NaF es el que se encarga de la degradación

de la lima, pero disminuye la corriente eléctrica por lo que ocupamos el NaCl para inducir la electricidad.

3.3.2 Químicos utilizados en disolución de metales

El término fluoruro hace referencia a los compuestos que contienen el ión flúor (F^-) como sal del ácido fluorhídrico. El fluoruro sódico (NaF), es un compuesto químico inorgánico, sólido, soluble en agua, que generalmente se presenta como un polvo cristalino, blancuzco descolorido y es la principal fuente del ion fluoruro. Con un peso molecular de 42g/mol. Se utiliza como auxiliar de soldaduras, metalurgia, raticidas, industria del vidrio; pero el uso más común es en aplicaciones dentales (como agente anticaries) y en fluoración del agua (45, 46).

El mecanismo de acción del fluoruro sódico (NaF) sobre las estructuras dentales u orales es depositarse preferentemente en el hueso y el esmalte. La incorporación adecuada del fluoruro en los dientes endurece las capas externas del esmalte y mejora la resistencia a la desmineralización. El depósito de fluoruro al parecer consiste en el intercambio de los aniones hidroxilo o citrato en la superficie de cristal de apatita del esmalte. No se conoce en detalle el mecanismo por el cual los fluoruros impiden la caries. No se han obtenido pruebas convincentes de que disminuye la aparición de caries después de que se han formado del todo los dientes permanentes (a los 14 años en promedio). En el hueso tiene la capacidad de estimular su formación si hay una concentración adecuada de calcio, fosfato y vitamina D; por ello se ha propuesto su utilización para el tratamiento de la osteoporosis, aunque se tienen dudas respecto a su eficacia, pues si bien aumenta la masa ósea, este aumento no se acompaña de clara mejoría en las condiciones mecánicas del hueso. En el esmalte se fija a la capa más externa, la endurece y la hace más resistente a la desmineralización (45).

El fluoruro sódico está presente en diversas preparaciones para uso bucal tópico que incluye comprimidos, gotas, enjuagues y geles. El colutorio (enjuague) contiene fluoruro sódico al 0.05% (uso diario) o al 0.2 % (uso semanal) y debe ser

retenido en la boca durante 1 minuto. El dentífrico se aplica a los dientes cepillando normalmente de 2 a 3 veces diarias. Las pastas dentífricas pueden contener, según la marca, de 350a 1450 ppm. La mayoría de las cremas dentales contienen entre 0.243% de fluoruro sódico (45, 47).

Sin embargo, como toda sustancia química el NaF puede presentar efectos tóxicos o acciones perjudiciales, ya que inhibe enzimas, suprime los procesos respiratorios tisulares e interfiere en la coagulación. Las reacciones adversas son frecuentes (30 – 50% de pacientes), presentándose como molestias reumáticas (sinovitis de las grandes articulaciones en las extremidades inferiores) y gastrointestinales (dolor epigástrico, náuseas, vómitos y hemorragia). La intoxicación aguda produce un cuadro tóxico gastrointestinal y nervioso, con hipocalcemia e hipoglucemia, cuyo tratamiento es sintomático y de apoyo general. La intoxicación crónica que provoca la fluorosis, se caracteriza por la instauración de una osteosclerosis, aparecen exostosis, calcificación de ligamentos, tendones e inserciones musculare, se origina también la fluorosis esquelética y dental (que resulta en dientes y huesos quebradizos). Todo esto, sólo si se aplica en dosis muy elevadas (48).

Otro compuesto químico que puede contribuir en la corrosión de metales es el cloruro de sodio, más conocido como sal de mesa, o en su forma mineral halita, con la fórmula química NaCl y un peso molecular de 58,4 g/mol. Es una de las sales responsables de la salinidad del océano y del fluido extracelular de muchos organismos. También es el mayor componente de la sal comestible, es comúnmente usada como condimento y conservante de comida. Es un compuesto iónico formado por un catión sodio (Na^+) y un anión cloruro(Cl^-), y, como tal, puede reaccionar para tener cualquiera de estos dos iones. Como cualquier otro cloruro iónico soluble, precipita cloruros insolubles cuando es agregado a una solución de una sal metálica apropiada (49).

También, se puede llevar a cabo la corrosión de los metales por medio de un método para separar componentes químicos llamado electrólisis. Si se aplica electrólisis con un elevado potencial a una salmuera alcalina, el producto anódico es gascloro (Cl_2) y el catódico es hidróxido de sodio (NaOH) e hidrógeno(H_2). El cloruro de sodio como la mayoría de las sales iónicas confiere propiedades coligativas a sus disoluciones, es decir, es capaz de variar la presión de vapor de la disolución, elevar el punto de ebullición y descender el punto de congelación según su concentración molar (50).

El ión Na es causante de la regulación osmótica celular regulando el potencial de membrana expulsando el ión K , facilita en gran manera el impulso nervioso y es aportado al organismo en gran medida como sal de mesa.

3.4 DENTINA

La dentina es el tejido que ocupa la mayor parte del diente y la cual está conformada por 50% de material mineral (HA), 35% de material orgánico (Colágeno tipo I) y 15% de agua (51).

Las propiedades de la dentina, tales como su espesor, composición química y microestructura, pueden variar dependiendo del tipo de diente y de la edad del paciente. En el caso del espesor de la dentina de pacientes jóvenes, esta puede variar desde 2.00 mm para los incisivos inferiores hasta 3.00 mm para los caninos y molares; sin embargo, con el envejecimiento el espesor de la dentina tiende a incrementarse debido al crecimiento aposicional (52). La microestructura de la dentina está conformada en su mayoría por túbulos dentinarios, los cuales son los encargados de alojar los procesos odontoblásticos y de recorrer la dentina desde la pulpa hasta la unión amelodentinaria (DEJ). La dentina que recubre estos túbulos es llamada dentina peritubular, en tanto que aquella entre los túbulos es llamada dentina intertubular (53). De acuerdo a la distancia de la dentina con el esmalte dental, esa puede ser clasificada como: Dentina superior, dentina central y dentina inferior, estas se diferencian entre sí por la cantidad y diámetro de los túbulos y por su composición química, estas características hacen de la dentina

un material anisotrópico cuyas propiedades mecánicas dependen de su ubicación en el diente (54). Varios estudios se han realizado con el fin de caracterizar la dentina y de conocer su estructura y comportamiento mecánico, en algunos estudios se han reportado valores para la densidad de túbulos entre 15.000 y 24.000 túbulos/mm² para la dentina superior; entre 35.000 y 40.000 túbulos/mm² para la dentina media; y entre 43.000 y 65.000 túbulos/mm² para la dentina inferior (55); en el caso de los túbulos dentinarios, se ha determinado un diámetro entre 0.5 y 0.9 µm para la dentina superior, 1.0 y 2.0 µm para la dentina media y entre 2.0 y 3.0 µm para la dentina inferior. Por último, en el caso de la composición química de la dentina se ha encontrado una disminución en la cantidad de contenido orgánico desde la pulpa hasta la unión con el esmalte así como una disminución en el espesor de los cristales de hidroxiapatita presentes en la dentina al acercarse a la DEJ. En estudios realizados en la dentina de pacientes de Estados Unidos y Colombia se han encontrado ciertas diferencias en cuanto al tamaño de los túbulos dentinarios de pacientes jóvenes, por lo cual se generan dudas si las diferencias encontradas en las propiedades de la dentina podrían estar relacionadas también con el origen étnico del paciente (56).

3.4.1 Efectos de la dentina después del trabajo biomecánico

Los procedimientos del tratamiento de conductos lleva a cabo una multitud de cambios en la superficie del conducto radicular, tanto mecánicos, químicos y biológicos. Los cambios pueden ser beneficioso y/o perjudicial. La presencia o ausencia de infección residual en el conducto radicular y la duración del tratamiento de conductos son los determinantes principales de éxito. El objetivo principal de la preparación del conducto radicular es obtener y mantener el acceso al tercio apical, con el propósito de la administración de agentes antimicrobianos en este sitio. Una combinación de NaOCl y EDTA sigue siendo la irrigación de elección tanto para eliminación del barrillo dentinario, como el desbridamiento bacteriano; sin embargo, su eficacia en la anatomía apical depende de un régimen de cuidado y preparación mecánica adecuada. La preparación biomecánica del conducto radicular tiene consecuencias graves en las

propiedades mecánicas de la dentina haciéndolos susceptibles a la fractura. Por lo tanto, se debe dar un equilibrio en el suministro de agentes antibacterianos con eficacia en la anatomía apical mientras se mantiene la resistencia y la integridad de los OD. Además de modificar los tratamientos de conductos con la finalidad de tener una mayor tasa de éxito, incluyendo la obturación apical. Los cambios en las propiedades mecánicas de la dentina como resultado de irrigantes y apósitos son por la composición química alterada de la dentina. El tejido orgánico de la dentina se elimina por inmersión en NaOCl, mientras que el componente mineral se deja relativamente intacto. Si la irrigación con NaOCl se alterna con EDTA, la hidroxiapatita se degrada y, conduce a una mayor tensión de la dentina y un cambio en las propiedades visco-elásticas. El efecto químico combinado de NaOCl y EDTA explica tanto los cambios en las propiedades mecánicas así como las erosiones superficiales en la dentina como resultado de la irrigación (57).

4 JUSTIFICACION

Existen diversos métodos de remoción de limas fracturadas dentro de conductos radiculares. Estos métodos, principalmente el método con ultrasonido, si no se utiliza adecuadamente podría comprometer aún más el pronóstico del tratamiento ya que causan desgaste de las paredes de los conductos radiculares y como consecuencia una posible fractura a futuro debido a la debilidad de las paredes radiculares. Además, en casos más graves, el método con ultrasonido también es causa de perforaciones radiculares.

Un nuevo método electroquímico ha sido estudiado recientemente, el cual consiste en disolver el fragmento fracturado dentro de conductos.

Autores han realizado estas investigaciones in vitro en modelos deacrílico, así como en conductos artificiales, teniendo un éxito en la disolución de las limas NiTi durante un periodo de tiempo clínicamente no aceptable de 6 horas.

Por lo tanto, es necesario realizar investigaciones con este método en el interior de conductos radiculares de órganos dentales humanos.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad del método electroquímico en la disolución de limas de NiTi fracturadas en el interior de conductos radiculares.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar si el tiempo de disolución de limas de NiTi por medio del método electroquímico en el interior de conductos radiculares es viable clínicamente.
- Debilitar la lima lo suficiente para lograr su liberación.

6 MATERIALES Y METODOS

6.1 LUGAR DE OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS

Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) de Mazatlán Sinaloa (fig.1) y El Centro de Especialidades Odontológicas de la misma Ciudad.



Figura 1: IMSS

6.2 TIPO DE ESTUDIO

Experimental invitro, comparativo, prospectivo, longitudinal (piloto)

Experimental exvivo, comparativo, prospectivo, longitudinal (exvivo)

6.3 MUESTRA

Este estudio consistió en dos experimentos: el 1ero (piloto) fue realizado invitro, sumergiendo una lima F1 de ProTaper Universal (F1 PTU) en 3 soluciones diferentes, 2 a base de NaF g/L y NaCl g/L con un Ph 5.0, y la otra con solución fisiológica, colocadas en un vaso de precipitado (fig 2), por 30 minutos, para observar si la lima efectivamente se disolvía, y el 2do se realizó exvivo en dientes extraídos de humano, fracturando una lima F1 PTU dentro del conducto radicular, embebiéndolo con las 3 mismas soluciones (fig. 3), por el mismo tiempo, y con la misma finalidad.



Figura 2: Prueba piloto



Figura 3: Experimento exvivo

6.3.1 Tamaño de muestreo

Se formaron diferentes grupos en cada experimento:

Piloto: 9 limas F1 PTU (3 por grupo) sumergidas en los electrolitos de NaF g/L y NaCl g/L con un Ph 5.0, y la solución salina, por 30 minutos.

Grupo 1: NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L con pH 5

Grupo 2: NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L con pH 5

Grupo 3: Solución salina

Experimento Exvivo: 12 conductos radiculares de incisivos inferiores permanentes (4 por grupo), con un fragmento de una lima F1 PTU fracturado dentro del conducto, el cual fue embebidos con 3 diferentes electrolitos por 30 minutos.

Grupo 1: NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L con pH 5

Grupo 2: NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L con pH 5

Grupo 3: Solución salina

6.3.2 Criterios de inclusión

Piloto:

Limas F1 PTU nueva

Experimento exvivo:

Incisivos inferiores permanentes

Permeables

Formación radicular completa.

6.3.3 Criterio de exclusión

Piloto:

Otro tipo de lima

Lima previamente usada

Experimento exvivo:

Conductos calcificados

Formación radicular incompleta

Fractura radicular

Previamente tratado endodónticamente.

6.3.4 Criterios de eliminación

Piloto:

Lima fracturada

Lima en mal estado

Experimento exvivo:

Incisivos cuyos fragmentos de limas fracturadas quedaron parcialmente fuera del conducto.

Incisivos donde la lima se fracturó muy apicalmente y el platino no logre hacer contacto con la lima.

6.4 METODOLOGÍA

6.4.1 Piloto

Este piloto se realizó con la finalidad de confirmar que la lima sumergida en NaF y NaCl podía ser diluida, y así poder llevar a cabo el segundo paso.

6.4.1.1 Preparación del dispositivo

Se construyo un dispositivo para realizar la disolución electroquímica, en base a dos alambres delgados de platino (ánodo y cátodo) con un diámetro de 1 mm. Estos fueron soldados, con soldadura en hilo, a un cable rojo (carga (+)) y negro (carga (-)) respectivamente, a un extremo. En el otro extremo se colocaron unas terminales eléctricas hembra (+) y un macho (-), las cuales fueron conectadas a un voltímetro Enduro 300V, programado a 120 V y 100 mA.

6.4.1.2 Preparación de la solución

Se prepararon 1000 ml de NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L con pH 5, NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L con pH 5 y la solución salina. Pesando las sales de NaF y NaCl en una báscula analítica calibrada HR-60 modelo N92 (fig. 4). Posteriormente se mezclaron en 150 ml de solución inyectable. Una vez mezclados, utilizamos un pH-metro para medir y saber el pH que nuestra solución tenía. El pH-metro marcó 5.8, por lo que fue necesario aplicar, con la ayuda de una micropipeta, ácido clorhídrico al 50% e hidróxido de sodio para poder bajarlo a un pH 5 (fig. 5).



Figura 4: Báscula analítica calibrada



Figura 5: pH-metro

6.4.1.3 Pruebas electroquímicas

Una vez realizado y conectado el dispositivo, programado a 120V y 100mA, y haber preparado el electrolito que necesitábamos para realizar la prueba piloto, procedimos a colocar estas soluciones en un tubo de ensayo (respectivamente) y sumergir las limas F1 PTU, sujetadas por un caimán, al mismo tiempo que se sumergían el ánodo (+), el cual tenía contacto solo con la solución (conductor eléctrico), y cátodo (-), el cual tenía contacto con la solución y la lima, por 30 minutos respectivamente.

Una vez transcurrido ese tiempo y haber completado los 3 grupos piloto, procedimos a comparar las limas macroscópicamente (fig. 6), donde observamos un cambio en el brillo de las limas b y c, así como una pequeña disminución en la longitud de la lima b. Microscópicamente (fig. 7), con ayuda del microscopio

confocal LEICA TCS SP8, observamos que había un pequeño cambio en el filo del espiral en las limas b y c, en comparación con la lima a.



Figura 6: Observación macroscópicamente

- a) Lima control
- b) Lima con solución NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L
- c) Lima con solución NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L

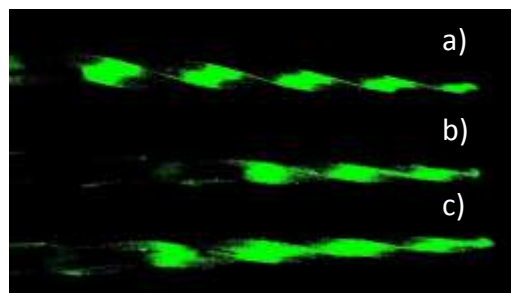


Figura 7: : Observacion microscópicamente en el microscopio confocal

- a) Lima control
- b) Lima con solución NaF 12 g/L + NaCl 180 g/L
- c) Lima con solución NaF 12 g/L + NaCl 250 g/L

6.4.2 Experimento exvivo

Este experimento se realizó, también para corroborar la disolución de la lima, dentro del conducto radicular y observar si la lima podría ser recuperada, sin dañar excesivamente la dentina radicular.

6.4.2.1 Preparación de la Muestra

Los incisivos inferiores extraídos se mantuvieron en solución fisiológica durante 7 días, posteriormente fueron desinfectados con hipoclorito de sodio comercial (50%), después se lavaron con un cepillo y detergente para eliminar los restos de

tejido orgánico, se enjuagaron y secaron, por último, se conservaron de nuevo en solución fisiológica hasta el momento de ser utilizados.

Realicé el acceso radicular utilizando fresa de carburo bola #4 de alta velocidad con abundante irrigación. Se corroboró la permeabilidad de los conductos con una lima #10 K (Dentsply Maillefer) y se determinó la longitud de trabajo introduciendo la lima hasta llegar al foramen apical (fig. 8), a esta longitud se restó 1 mm. La instrumentación de los conductos radiculares se realizó con limas K de acero inoxidable # 15, #20, #25, y con la técnica de fuerzas balanceadas, realizando el protocolo de irrigación con NaOCl y EDTA activados con ultrasonido por 20 seg, con la finalidad de eliminar tejido orgánico e inorgánico del conducto.

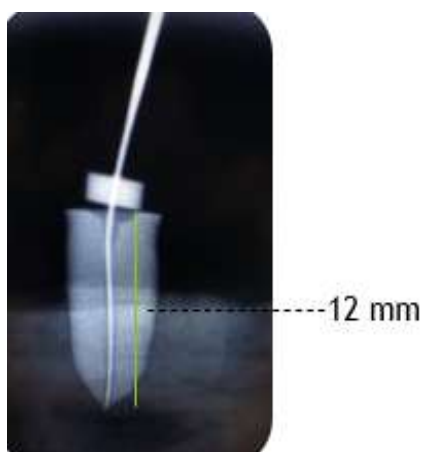


Figura 8: Permeabilidad y longitud

Para obtener el segmento de instrumento fracturado se utilizaron limas de NiTi F1 de PTU con conicidad 20 (Dentsply). Se seleccionaron las posiciones de corte de tal manera que corresponda a 4 mm de la punta de la lima. Se les realizó una muesca con fresa de diamante #TR13 (Mani) para facilitar la fractura, se activaron con el motor XsmartPlus a 250 rpm en el interior del conducto hasta que se fracturara la lima, ejerciendo ligera presión hacia el extremo apical. La fractura y su localización se verificó mediante una radiografía periapical (fig 9).

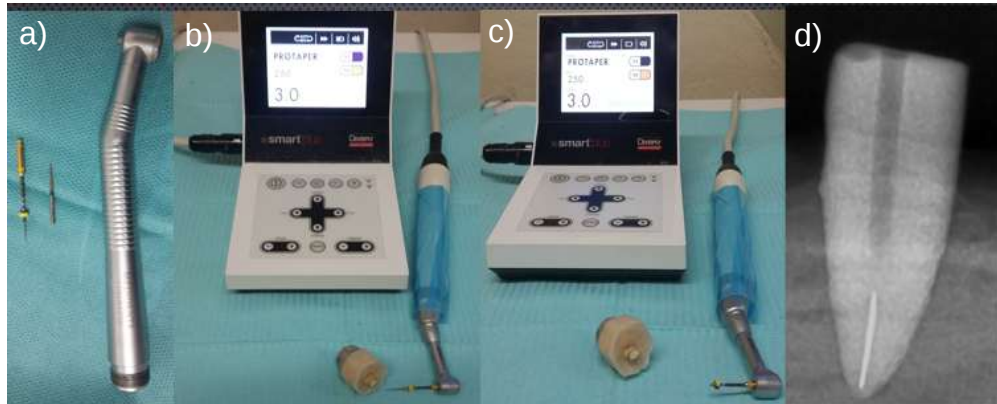


Figura 9: Preparación de la muestra

- a) Muesca de la lima
- b) Lima FI PTU antes de fracturar
- c) Lima F1 PTU ya fracturada con ayuda del motor XsmartPlus
- d) Radiografía de lima fracturada dentro del conducto.

Se realizó una preparación de la cavidad de acceso radicular que permita la entrada en línea recta hacia el instrumento fracturado con una fresa Gates Glidden (Dentsply, Maillefer) #1, 2 y 3 (fig. 10), proporcionando el espacio suficiente para observar el instrumento y poder tener contacto directo con el platino, sin desgastar demasiada dentina.



Figura 10: Apertura del conducto con Gates Glidden #1, 2, y 3, a 8 mm de la entrada del conducto, con el motor Xsmart plus de Dentsply

Posteriormente, se colocaron los dientes en acrílico dentro de un molde para ser montados en una mufla, así como la colocación de una tuerca de acero, en el fondo del acrílico, con la finalidad de evitar que floten o giren los modelos al estar

sumergidos en la solución (fig. 11). Estos moldes de acrílico se señalaron colocando una marca con plumón para orientarnos y poder tomar radiografías en la misma posición y dirección.



Figura 11: Montaje de diente

6.4.2.2 Pruebas electro-químicas

Se utilizaron dos alambres de platino de 0.1 mm diámetro como electrodos. Un electrodo negativo (cátodo) para hacer contacto con el instrumento fracturado dentro del conducto radicular y el otro como electrodo positivo (ánodo) en contacto con la solución de trabajo (fig. 12). Dichos electrodos eran controlados por medio de una fuente de poder de corriente directa diseñada para su efecto, programada para trabajar a límites de 250 miliamperes (mA) y 120 volts (fig 13).

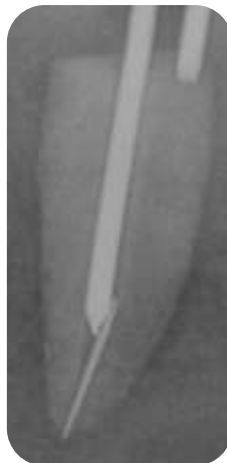


Figura 12: Contacto directo con la lima fracturada



Figura 13: Cátodo y ánodo conectados a la fuente de poder

Las 3 soluciones de trabajo (electrolito) fueron de NaF (12 g/L) y NaCl (180 o 250g/L) con pH de 5 y la tercera de solución fisiológica. El OD se colocó en un vaso de precipitado y se sumergió en 15 ml del electrolito (fig. 14), irrigando el conducto con una jeringa desechable de 10 ml y aguja EndoEze calibre 27, con salida lateral (Ultradent), y activando con el ultrasonido NSK Varios 370, para lograr que la solución llegue al tercio apical, logrando embeber toda la fracción de la lima fracturada, pues uno de los puntos importantes para llevar a cabo la disolución de la lima, en este estudio, es que la lima este en contacto directo con la solución.



Figura 14: OD sumergido en solución

Posteriormente se colocaron los electrodos en posición de trabajo y se activó la corriente eléctrica por 30 min. La solución se recambió cada 10 minutos para evitar la saturación del medio y propiciar la rápida disolución de la lima fracturada. Se tomaron radiografías digitales antes, durante y después de introducir los OD a la

solución y exponerlos a la corriente eléctrica, para tener un registro radiográfico (fig 15).

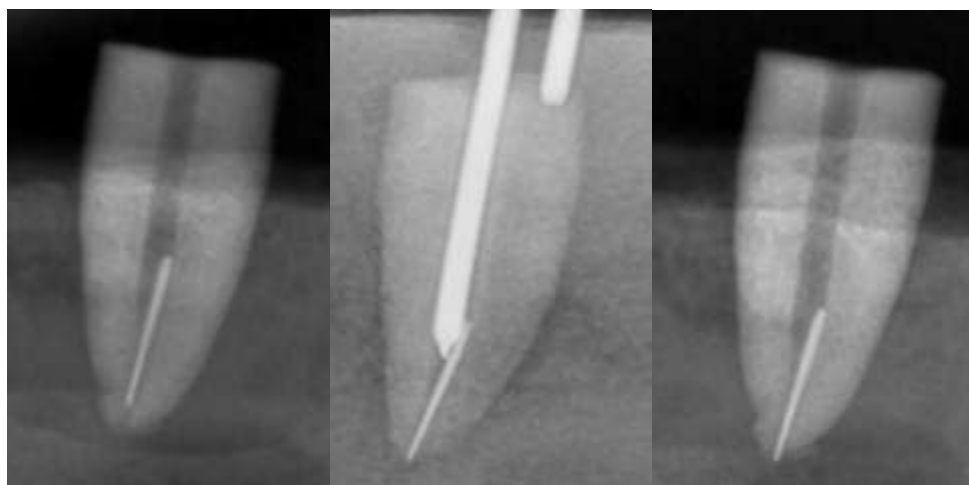


Figura 15: Radiografías digitales.

a) Antes, b) durante, y c) después de introducir los OD a la solución y exponerlos a la corriente eléctrica.

6.4.2.3 Recuperación del fragmento de la lima fracturado

Para llevar a cabo el objetivo de debilitar la lima y lograr su liberación, después de los 30 minutos transcurrido en la solución, se procedió a intentar recuperar el fragmento de la lima fracturada, antes de seccionar el OD y ser observado en el MEB. Esto lo realizamos con la ayuda del ultrasonido NSK Varios 370, activando la solución de NaOCl realizando vibraciones y movimientos ultrasónicos, liberando la lima del conducto.

6.4.2.4 Observación en MEB

Una vez terminado el proceso electroquímico, se almacenaron los OD para poder observarlos y analizarlos posteriormente en el MEB (JSM 6510- Jeol). Para esto, se seccionaron los OD por la mitad con un corte longitudinal, con la ayuda de un disco de diamante, un micromotor, para realizar una muesca y posteriormente, con una pinza de cangrejo, corta por completo a la mitad el OD (fig. 16). Enseguida se deshidrataron gradualmente con alcohol al 25, 50, 75, 80,

90, 95 y 100% por 30 minutos en cada uno, y se colocaron en una incubadora *Termo Scientific-Heratherm* a 37°C por 24 hrs, para lograr la deshidratación total (fig 17).

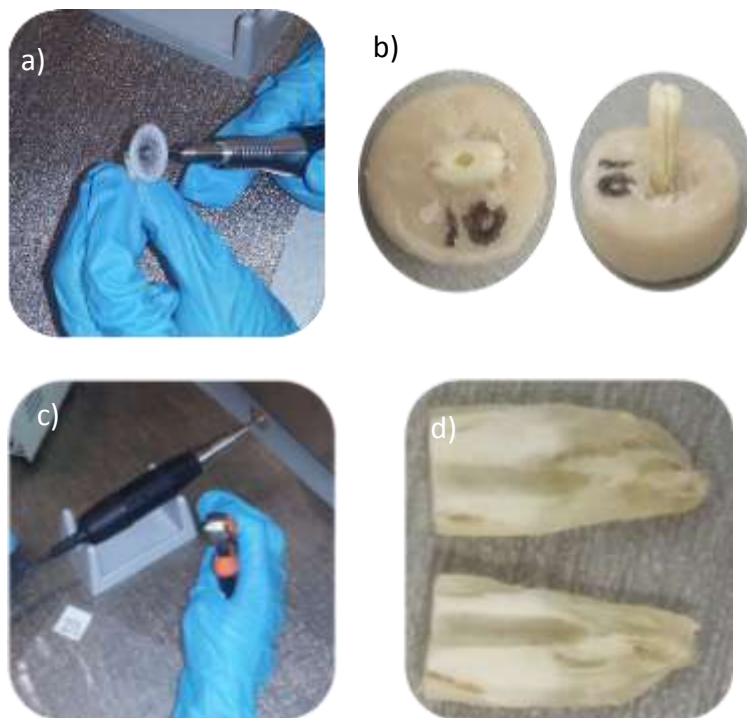


Figura 16: Sección del OD

a y b) OD seccionados por la mitad con un corte longitudinal, con la ayuda de un disco de diamante y un micromotor, para realizar una muesca;
c y d) Pinza de cangrejo para cortar por completo a la mitad el OD.

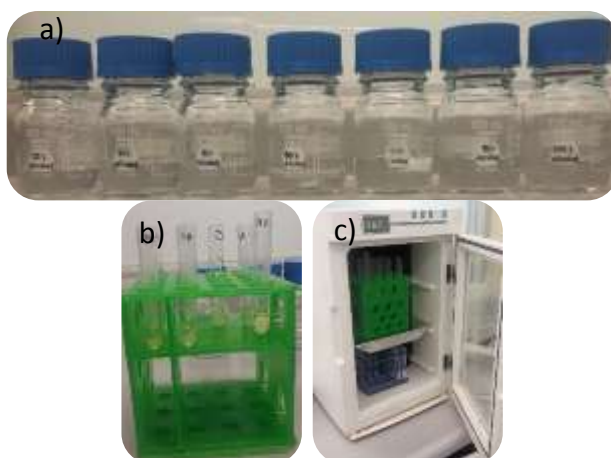


Figura 17: Deshidratación del OD

a y b) Deshidratación del OD gradualmente con alcohol al 25, 50, 75, 80, 90, 95 y 100% por 30 minutos en cada respectivamente;

c) Incubación en incubadora *Termo Scientific-Heratherm* a 37°C por 24 hrs.

Una vez transcurridas las 24 hrs se montaron las muestras en unos pines de observación del MEB, adhiriéndolos con cinta de carbono, dándoles un baño de oro con un dispositivo de pulverización iónica JFC - 1100 FINE COAT ION SPUTTER (fig 18), como la mayoría de las muestras biológicas son muestras no conductoras, es necesario recubrir las muestras con un recubrimiento metálico como oro, platino o carbono. Se realiza para minimizar o eliminar totalmente el efecto de carga en la superficie de la muestra que se observa. Este dispositivo de pulverización iónica realiza un recubrimiento de metal rápido y eficiente en una muestra microscópica. Es posible un recubrimiento uniforme ya que las partículas de revestimiento alcanzarán incluso partes duras. El objetivo de oro es principalmente metal utilizado, ya que el material es estable y se pulveriza fácilmente. Una vez obtenida este baño se colocaron los OD en la cama del MEB (fig 19) y se obtuvieron las imágenes resultantes de la dentina y los fragmentos de la lima fracturada recuperados.

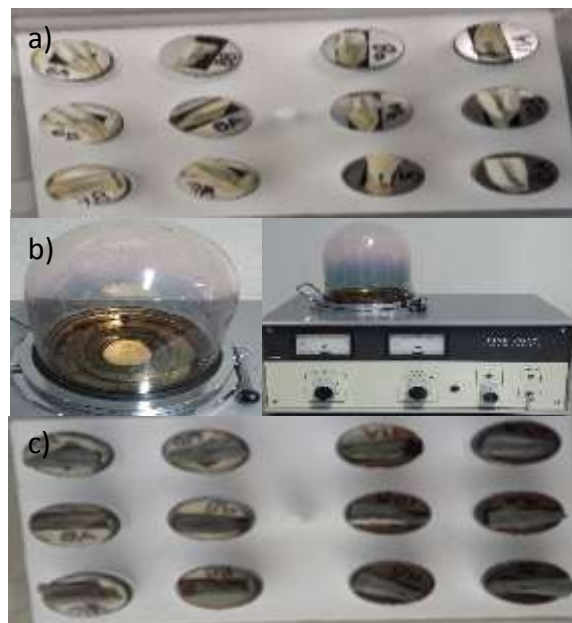


Figura 18: Baño de oro

a) Montaje de muestras en pines de observación del MEB

- b) Dispositivo de pulverización iónica JFC - 1100 FINE COAT ION SPUTTER.
- c) Muestras con baño de oro



Figura 19: Microscopio Electronico de Barrido (MEB)

6.5 LUGAR DE REALIZACIÓN

Posgrado en Endodoncia del edificio de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Sinaloa con ayuda del Doctorado en Ciencias Odontológicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



6.6 FINANCIAMIENTO

Beca CONACYT

7 RESULTADOS

7.1 PILOTO

Los resultados obtenidos en la prueba piloto, fueron observados en el MEB, en el cual se observó una pequeña diferencia entre cada una de las limas expuestas, lo cual no consideramos suficiente para poder retirarla del conducto radicular. En la figura 20a, donde la lima fue sumergida en suero fisiológico, se observa nulo cambio en la morfología de la lima. En la figura 20b, donde la lima fue sumergida en NaF 12 g/L y NaCl 180 g/L, se observa un ligero desgaste en los bordes de las helices, sin embargo tampoco se considera suficiente para liberar la lima fracturada dentro de un conducto radicular. En la figura 20c, donde la lima fue sumergida en NaF 12 g/L y NaCl 250 g/L, se observa un desgaste menor al de la figura 20b.

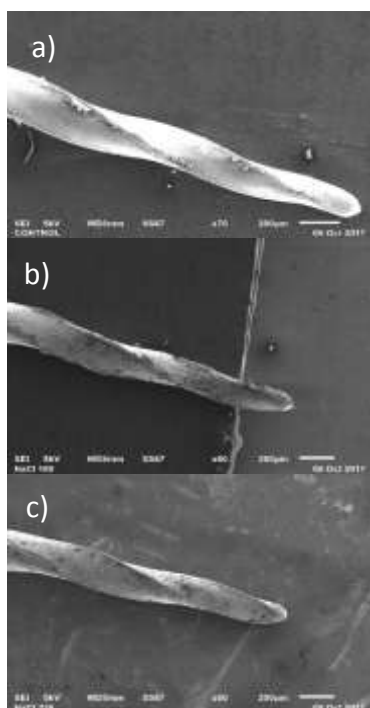


Figura 20: Piloto observado en MEB.

a) Control con aumento a 60X;

b) NaF 12 g/L y NaCl 180 g/L con aumento a 60x

c) NaF 12 g/L y NaCl 250 g/L con aumento a 60x

7.2 EXPERIMENTO EXVIVO

Como resultado obtuvimos que las soluciones a base de NaF y NaCl, así como el agua tridestilada, no fueron suficientemente capaces de disolver la lima fracturada dentro del conducto radicular durante los 30 minutos, observándose casi intacto el fragmento (fig 21).

Por otra parte se observó un daño significativo en la dentina radicular de los órganos dentales tratados con las 3 soluciones y la corriente eléctrica administrada (fig 22).

7.3 LIBERACIÓN DE LA LIMA

El fragmento de la lima fracturada dentro del conducto, fue liberado. Sin embargo se observó, radiográficamente, que el objetivo no se cumplió por el debilitamiento de la lima, si no por el daño que provocaron las soluciones a la dentina, formando un espacio entre la dentina radicular y el fragmento de la lima fracturada, lo que facilitó la liberación de las limas en el tercio apical (fig 23).

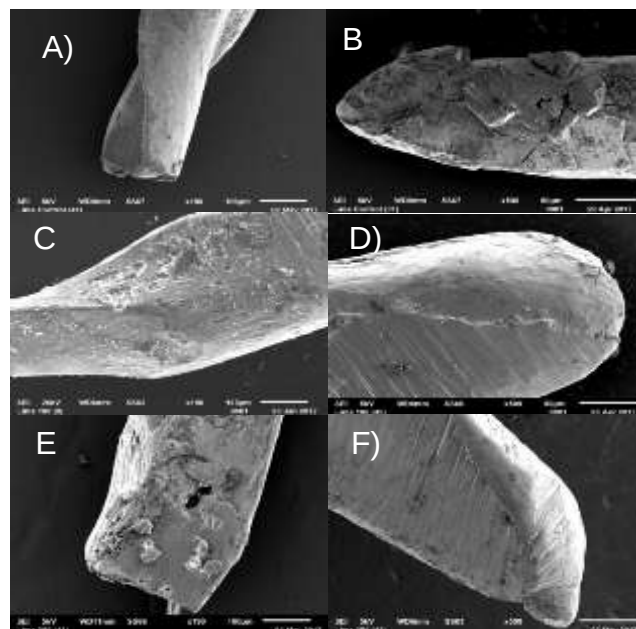


Figura 21: MEB de la lima.

A), C) y E) Punto de contacto con la punta de platino y la solución con aumento a 190 X;

B), D) y F), sección del tercio apical de la lima con aumento a 500 X.

A y B) Control con solución salina;

C y D) Con la solución NaF 12

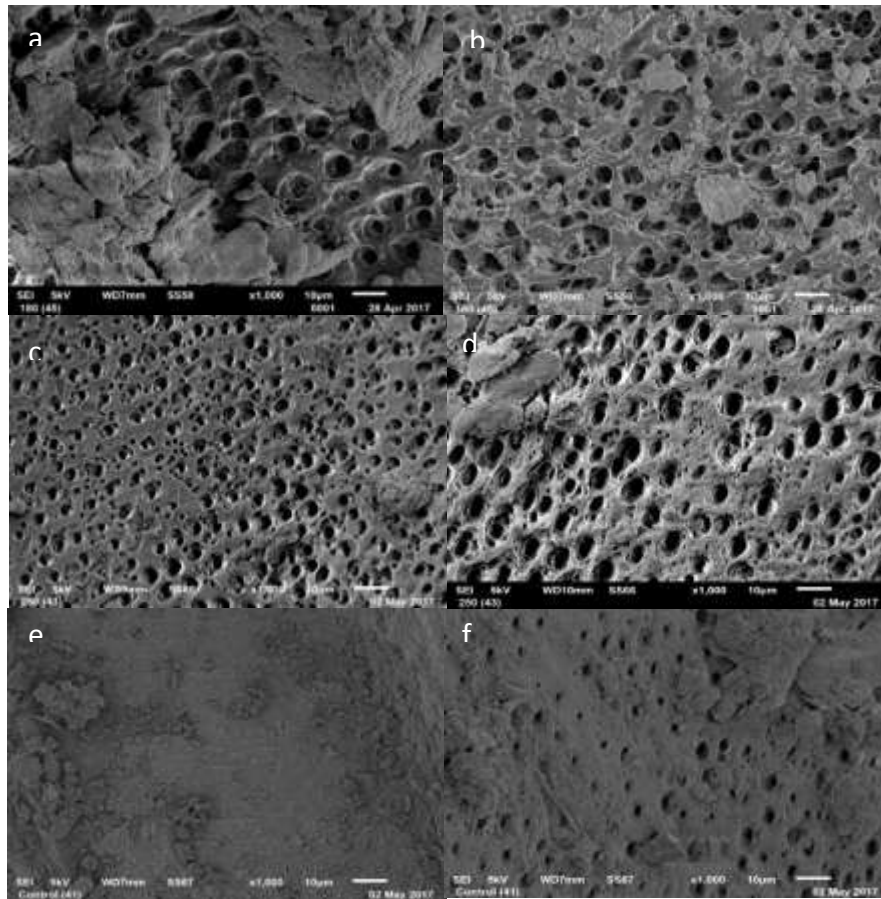


Figura 22: Dentina en MEB.

a), c) y e) Tercio medio del conducto radicular después de ser trabajado con las 3 diferentes soluciones a 1000x.
b), d) y f), tercio apical del conducto radicular trabajado con las 3 diferentes soluciones a 1000 x.

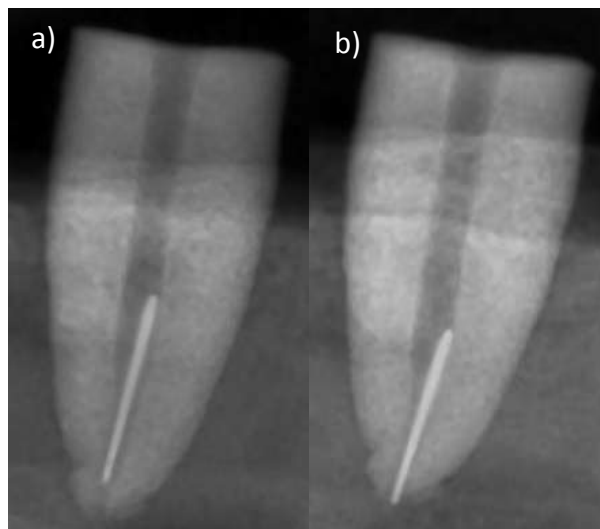


Figura 23: Liberación de la lima
a) antes del método electroquímico
b) después del método electroquímico

8 DISCUSIÓN

La disolución electroquímica de instrumentos de níquel-titanio han dado resultados prometedores en los estudios preliminares de investigación utilizando bloques de resina simulados (L. R. Aboud, Ormiga, & Gomes, 2014; Amaral, Ormiga, & Gomes, 2015; F. Ormiga, Aboud, & Gomes, 2015). Sin embargo, a pesar de que estos bloques pueden dar patrones anatómicos aparentemente idénticos justificando el contacto entre el electrodo de platino y el fragmento de instrumento fracturado, la anatomía real del sistema de conductos radicular y las características fisicoquímicas de la dentina alteran los resultados reales (F. Ormiga et al., 2015). Li et. al experimentaron, que la disolución de instrumentos fracturados dentro de los conductos radiculares es nula, y que la concentración del cloruro de sodio en soluciones de fluoruro de sodio durante la disolución electroquímica no es capaz de aumentar la corrosión de la lima fracturada dentro del conducto radicular (Li et al., 2007).

Los tejidos bucales duros (dientes) tienden a oponer resistencia a la corriente eléctrica actuando como aislante, siendo muy pequeña el paso de la corriente alterna entre los dos electrodos, lo cual nos dice que existe muy poca posibilidad de que la corriente utilizada afecte al individuo (Welk, 2003). Aun así, tenemos que tener precauciones pues en nuestros resultados se observa microscópicamente la quemadura que sufre el tejido dentinario causados por la corriente eléctrica aplicada.

Souter y Messer llegaron a la conclusión de que la eliminación de una lima situada más allá de una curvatura del conducto no se debe intentar recuperar debido al éxito limitado, el aumento de riesgo de perforación, y la reducción de la fuerza de la raíz (Souter & Messer, 2005). Por lo tanto, el clínico debe equilibrar entre las ventajas y desventajas de la recuperación de limas y/o instrumentos separados.

Las fracturas de instrumentos rotatorios no siempre provocan pronósticos desfavorables. También habrá de considerarse la posibilidad de eludir el instrumento o dejar el fragmento fracturado al interior del conducto. La decisión sobre las mejores opciones de tratamiento disponibles deberá basarse en la consideración del estado de la pulpa, la morfología del conducto radicular, así como la posición del instrumento fracturado, el tipo de instrumento y las habilidades del operador clínico. Sin embargo, existe conflicto de opiniones con respecto al significado clínico de esta complicación en el procedimiento durante el tratamiento de endodoncia (Jiménez-Ortiz, 2014).

Ormiga y cols. en el 2011, administraron 0.7 V durante un periodo de 6 horas para lograr la disolución de la lima, sin embargo, los autores concluyeron que este tiempo no es viable clínicamente, por lo tanto, sugirieron que las condiciones de la disolución deben ser mejoradas (Fabiola Ormiga et al., 2011). En este estudio se decidió administrar 120 V durante 30 minutos buscando que el tiempo fuera viable clínicamente y que la disolución fuera realizada. Sin embargo, se obtuvo un resultado desfavorable en el daño del tejido dentinario por la elevación de temperatura y la corriente eléctrica que se generó dentro del conducto.

9 CONCLUSIÓN

El tiempo de disolución por medio del método electroquímico en el interior del conducto radicular no es viable clínicamente. No se observó una corrosión de la lima significativamente importante en los 30 minutos. Se observó un gran daño a la dentina radicular, lo cual no sería bueno ni aceptable para la integridad del OD.

Obtuvimos diferencias significativas en la variación de voltaje, entre las soluciones 1 y 2 contra la 3, siendo mínimos los resultados de la disolución de la lima de NiTi, probablemente debido a la incapacidad de la solución de penetrar en el órgano dental una vez que se ha fracturado la lima de NiTi limitando la interacción de las limas con los electrodos y las soluciones.

10 PERSPECTIVAS

Seguir investigado y realizando estudios, con otro tipo de electrolitos que no dañen la integridad del OD y logren debilitar lo suficiente una lima de NiTi, para poder retirarlo del conducto, sin olvidar los beneficios y las desventajas de estos tratamientos o métodos.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. G P. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature. International endodontic journal. 2010;3:226-30.
2. A. L. Endodoncia. 4ta ed ed1993.
3. P R. Endodoncia. Fractura de lima: posibilidades terapéuticas. 1998.
4. P R. Fracturas de instrumentos en el interior de los conductos radiculares: Casos clínicos. Endodoncia 1998;16:127-31.
5. Jiménez-Ortiz JL. Rotary instrumentation: usage, separation and effect on postoperative endodontic complications. Revista Odontológica Mexicana. 2014; 18: 27-31.
6. Panitvisai. Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. J Endod 2010;36(775):80.
7. Alomairy. Evaluating two techniques on removal of fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an in vitro study. J Endod. 2009;35:559-62.
8. Souter NJ, Messer HH. Complications Associated with Fractured File Removal Using an Ultrasonic Technique. Journal of Endodontics. 2005;31(6):450-2.
9. Ward JRM Parasho S P MH. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: clinical cases. J Endod. 2003;29:764-7.
10. RAHIMI M PP. A novel technique for the removal of fractured instruments in the apical third of curved root canals. International endodontic journal. 2009;42:264-70.
11. Ormiga F, da Cunha Ponciano Gomes JA, de Araújo MCP. Dissolution of Nickel-Titanium Endodontic Files via an Electrochemical Process: A New Concept for Future Retrieval of Fractured Files in Root Canals. Journal of Endodontics. 2010;36(4):717-20.
12. Ormiga F, da Cunha Ponciano Gomes JA, de Araújo MCP, Barbosa AOG. An Initial Investigation of the Electrochemical Dissolution of Fragments of Nickel-Titanium Endodontic Files. Journal of Endodontics. 2011;37(4):526-30.

13. Muñoz*** RADCPFMA. Retrieval of Fractured Files Based on Electrochemical Dissolution. Int J Odontostomat. 2013.
14. L. R. L. Aboud¹ FO, 2 & J. A. C. P. Gomes¹. Electrochemical induced dissolution of fragments of nickel–titanium endodontic files and their removal from simulated root canals. International Endodontic Journal. 2013.
15. Kowalczyk A. Electrochemical dissolution of fractured nickel–titanium instruments in human extracted teeth. International Endodontic Journal. 2016.
16. Leonardo M. R. LRT. Sistemas Rotatorios en Endodoncia: Instrumentos de níquel – titanio. Editorial Artes Médicas ed2002.
17. Walia H. BWA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. . Journal of Endodontics. 1988;4(7):346-51.
18. Thompson. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. IntEndod J 2000;33:297-310.
19. Soares I. J. GF. Endodoncia. Técnica y Fundamentos. Ed. Med. Panamericana ed2002.
20. Flor Sdl. Aleaciones con memoria de forma 2006. Available from: www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6863/06Sfl06de14.pdf?sequence=6.
21. Miramontes. Análisis comparativo de los diferentes sistemas de endodoncia rotatoria. JADA. 2009;4:89.95.
22. Schiff. The influence of fluoride ions on the corrosion resistance of titanium and NiTi in an artificial saliva and a mouthwash. 2003:5-56.
23. Xiaoji Li JW, En-hou Han, Wei Ke. Influence of fluoride and chloride on corrosion behavior of NiTi orthodontic wires. ELSEVIER. 2007.
24. PÉREZ AR. Materiales Metálicos y Aleaciones Ciencia de Materiales. 2005;4.
25. <http://www.unalmed.edu.co/~cgpaucar/redox.pdf>. Reacciones de óxido-reducción y electroquímica 2013.

26. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/907/Capitulo2.pdf>. teoría de la corrosión de los metales 2006.
27. Reacciones de óxido-reducción y electroquímica. 2013. Available from: <http://www.unalmed.edu.co/~cgpaucar/redox.pdf>.
28. R WJ. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium instruments from root canals. J Endod 2003;29:764–7.
29. J. RC. Nonsurgical retreatment. J Endod. 2004;30:827–45.
30. Suter B. Lussi A SP. Probability of removing fractured instruments from root canals. J Endod. 2005;38:112-23.
31. M F. Removal of broken files from root canals by using ultrasonic techniques combined with a dental microscope: a retrospective analysis of treatment outcome. . J Endod 2011;37:619–22.
32. Nagai o tN, Kayaba Y, Osada T. Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. International endodontic journal. 1983;19:298-304.
33. K S. Evaluation of a new method for silver point removal. J Endod 1990;16:335–8.
34. H GB. Removal of canal obstructions with the Endo Extractor. J Endod 1991;17:608–11.
35. J. RC. Finishing the apical one-third: endodontic considerations. . Dent Today 2002;21:66–73.
36. M. H. Methods of removing metal obstructions from the root canal. Endod Dent Traumatol. 1993; 9:223–37.
37. Madarati. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intracanal fracture of endodontic instruments: part 2. IntEndod J 2008;41(1079):87.
38. Terauchi. Evaluation of the efficiency of a new file-removal system in comparison with two conventional systems. . J Endod. 2007;33(585):8.
39. N S. Influence of fluoride content and pH on the corrosion resistance of titanium and its alloys. . Biomaterials 2002;23:1995–2002.
40. N S. Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes. . Eur J Orthod. 2006;28:298–304.

41. Li X, Wang J, Han E-h, Ke W. Influence of fluoride and chloride on corrosion behavior of NiTi orthodontic wires. *Acta Biomaterialia*. 2007;3(5):807-15.
42. Kao CT, Ding SJ, He H, Chou MY, Huang TH. Cytotoxicity of orthodontic wire corroded in fluoride solution in vitro. *The Angle orthodontist*. 2007;77(2):349-54.
43. Ahn HS, Kim MJ, Seol HJ, Lee JH, Kim HI, Kwon YH. Effect of pH and temperature on orthodontic NiTi wires immersed in acidic fluoride solution. *Journal of biomedical materials research Part B, Applied biomaterials*. 2006;79(1):7-15.
44. HH. H. Variation in surface topography of different NiTi orthodontic archwires in various commercial fluoride-containing environments. *Dent Mater J*. 2007;23:24–33.
45. González. *Farmacología Humana*. 3ª edición ed1998.
46. . Available from: http://www.quiminet.com/pr9/FLUORURO%2BDE%2BSODIO.htm#t_pest_pro_f.
47. Company C-P. «Colgate Total, preguntas frecuentes» 2012.
48. Richmond. Thirty years of fluoridation: A review. *J Clin*. 1985;41:129-38.
49. Juamax. Cloruro de sodio 2013. Available from: http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_sodio?oldid=77534151.
50. Susan. Sodium chloride. Inc. Published online 2005.2005.
51. Cate T. “Oral histology: development, structure and function”.1998.
52. Ferraris Gd. “Histología, Embriología E Ingeniería Tisular Bucodental”. Editoria Medica Panamericana ed2009.
53. Giannini M. “Effect of tooth age on bond strength to dentin”. *Journal of applied oral science : revista FOB*. 2003;11:342-7.
54. J I. The importance of microstructural variations on the fracture toughness of human dentin *Biomaterials*2013.
55. Pashley DH. Dentin: a dynamic substrate-a review 1989.
56. Mesa CM. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MICROESTRUCTURA DE LA DENTINA DE PACIENTES COLOMBIANOS. *Revista Colombiana de Materiales*. 2014;5:73-8.

57. GULABIVALA K. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces Endodontic Topics. 2005;10:103–22.
58. Amaral CC, Ormiga F, Gomes JA. Electrochemical-induced dissolution of stainless steel files. International endodontic journal. 2015;48(2):137-44.
59. Aboud LR, Ormiga F, Gomes JA. Electrochemical induced dissolution of fragments of nickel-titanium endodontic files and their removal from simulated root canals. International endodontic journal. 2014;47(2):155-62.
60. Ormiga F, Aboud LR, Gomes JA. Electrochemical-induced dissolution of nickel-titanium endodontic instruments with different designs. International endodontic journal. 2015;48(4):342-50.