

**Universidad Autónoma de Sinaloa  
Facultad de Odontología  
Especialidad en Endodoncia**



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

No. de registro 2014-27

**Tesis**

Tesis que como requisito para obtener el grado de Especialista en Endodoncia

Presenta:

**C.D. DIEGO ARTURO MARTÍN PANTOJA**

Directores de tesis

C.D.E.E. Vania Serrano Uzeta

Dr. José Geovanni Romero Quintana

Asesor

D.C.M. María de Lourdes Verdugo Barraza

Culiacán de Rosales, Sinaloa, México; a del 2014

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

C.D. Diego Arturo Martín Pantoja

Tesis presentada a la Facultad de Odontología como requisito parcial  
para obtener el Grado de Especialista en Endodoncia en Culiacán,

Sinaloa; a diciembre del 2014

## **DEDICATORIA**

Les dedico esta tesis a mis padres que fueron mi motivación e inspiración para lograr mis objetivos propuestos, por ser las personas más importantes en mi vida, por ser mi ejemplo a seguir, así como por apoyarme en todo momento de mi especialidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Vania Serrano Uzeta mi mayor agradecimiento por su apoyo incondicional en mi preparación durante la especialidad, por auxiliarme en el desarrollo y conclusión de mi tesis y sobre todo por ser una excelente persona y amiga.

A la Dra Gloria Yolanda Castro Salazar coordinadora de la Especialidad en Endodoncia, mi agradecimiento por darme la oportunidad de realizar la especialidad y acompañarme con su experiencia en esta etapa de mi vida.

Al Dr. Geovanni Romero Quintana mi agradecimiento por sus enseñanzas y apoyo en la elaboración de mi tesis.

## **RESUMEN**

Este estudio tiene como propósito determinar si la Disolución Electroquímica (DE) favorece el retiro de fragmentos de limas fracturadas dentro de conductos radiculares. Se utilizaron 5 molares inferiores y 10 limas rotatorias Mtwo #25 de NiTi, que fueron fracturadas dentro del conducto. Éstos, después de realizar plataforma de trabajo, recibieron la acción de la DE por 60 min a 80 mA en una solución de NaF 12 g/L, NaCl 1 g/L, pH 5. Se tomaron imágenes radiográficas digitales y lecturas de voltaje cada 10 min durante el procedimiento para registrar la disolución de los fragmentos. Los datos de voltaje fueron analizados con la prueba t de Student. Los resultados presentaron un flujo de corriente constante durante todo el proceso de  $10 \pm 1.5$  V aunque estos momentos indicaron que no existen diferencias estadísticamente significativas en la disolución de los fragmentos, no se observó disminución de la lima en ninguna de las muestras. Se puede concluir que la acción electroquímica permite que exista pérdida de masa del fragmento fracturado, si éste es completamente rodeado de solución. Sin embargo, la dentina radicular que rodea al fragmento fracturado en el interior del conducto no permite que la solución fluya para hacer contacto con toda la masa. Por lo que, clínicamente no es posible disolver los fragmentos fracturados por medio del método electroquímico.

**PALABRAS CLAVE:** *disolución electroquímica, limas fracturadas.*

## **ABSTRACT**

This study aims to determine whether the Electrochemical Dissolution (DE) favors the removal of fragments of fractured files inside root canals. 5 molars and 10 NiTi Mtwo # 25 rotating files broken within the root canal were used. These, after performing work platform, received the action of 80 mA for 60 min in a solution of 12 g/L NaF, 1 g/L NaCl pH 5. Digital radiographic images and voltages were taken every 10 min during the procedure to register the dissolution of the fragments. Voltage data were analyzed with the Student t test. The results show an steady current of  $10 \pm 1.5$  V, although this indicate no statistically significant differences in the dissolution of the fragments, no file decrease was observed in any of the samples. It can be concluded that the electrochemical action allows mass loss exists fracture fragment, if it is completely surrounded by solution. However, root dentin surrounding the fractured fragment inside the root canal does not allow the solution to flow to contact the entire mass. Therefore, it is not possible clinically fractured fragments dissolve through the electrochemical method.

**KEY WORDS:** *electrochemical dissolution, broken files.*

## INDICE

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	MARCO TEÓRICO.....	4
2.1	Instrumentos en Endodoncia .....	4
2.2	Proceso de fabricación de los instrumentos .....	5
2.3	Corrosión de metales.....	7
2.3.1	Resistencia de metales a la corrosión.....	8
2.3.2	Proceso electroquímico en corrosión de metales.....	9
2.4	Fractura de instrumentos .....	10
2.5	Técnicas de remoción de instrumentos fracturados.....	11
2.5.1	Método de disolución electroquímica .....	12
2.5.2	Generalidades de químicos utilizados en disolución de metales.....	13
2.6	Antecedentes .....	16
III	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
IV	JUSTIFICACIÓN.....	19
V	OBJETIVOS.....	20
5.1	Objetivo General.....	20
5.2	Objetivos Específicos.....	20
VI	MATERIAL Y MÉTODO.....	21
6.1	Diseño del Experimento.....	21

6.2	Material de Estudio .....	21
6.2.1	Criterios de inclusión .....	21
6.2.2	Criterios de exclusión .....	21
6.2.3	Criterios de eliminación .....	21
6.3	Operacionalización de la Variables.....	22
6.4	Lugar de Realización .....	22
6.5	Procedimiento.....	22
6.5.1	Preparación de la Muestra .....	22
6.5.2	Las pruebas electro-químicas .....	24
6.5.3	Análisis Estadístico .....	25
VII	RESULTADOS.....	26
VIII	DISCUSIÓN .....	34
IX	CONCLUSIÓN.....	39
X	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	40

# I INTRODUCCIÓN

En Endodoncia, la fractura de instrumentos de níquel-titanio (NiTi) no es un hecho infrecuente durante el tratamiento de conductos radicular. La fatiga y el atascamiento de dichos instrumentos, se citan como las principales razones de fractura, y el modo de fallo del instrumento se relaciona con la técnica de preparación del conducto radicular.<sup>1,2</sup>

La presencia de un instrumento fracturado en el conducto radicular representa un obstáculo para el tratamiento de conductos de rutina.<sup>3</sup> Estudios clínicos recientes documentan que el pronóstico para los tratamientos de conductos, no se ve afectada significativamente por la fractura de un instrumento.<sup>3, 4</sup> 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.<sup>5</sup>

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.<sup>6-15</sup> Pues de no lograr dicha remoción, el manejo de un caso con un instrumento fracturado podría implicar un abordaje quirúrgico.<sup>15</sup>

Sin embargo, los 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, conductos menos curvos y un radio más largo de curvatura son factores favorables para la eliminación de instrumentos de níquel-titanio (NiTi) fracturados.<sup>15</sup> 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.<sup>9, 10, 14, 16-19</sup> 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.<sup>18-21</sup>

Madarati y cols., observaron 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.<sup>22, 23</sup>

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.<sup>24</sup> 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 NiTi fracturados dentro de conductos radiculares sin dañar las estructuras dentales adyacentes en un tiempo de trabajo clínico aceptable.

## II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Instrumentos en Endodoncia

Durante la terapia endodóntica se utilizan distintos tipos de instrumentos como limas manuales de acero inoxidable, limas manuales de NiTi e instrumentos rotatorios, con el fin de preparar y conformar el conducto radicular para su posterior obturación.<sup>25</sup>

Dichos instrumentos, son elaborados 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, un trabajador del Laboratorio de la Marina de los Estados Unidos, 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.<sup>26, 27</sup>

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.<sup>26</sup>

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.<sup>28</sup>

Actualmente los endodoncistas y clínicos generales que practican la endodoncia tienen a su disposición una gama enorme de opciones con relación a las diferentes limas confeccionadas en níquel-titanio.

## **2.2 Proceso de fabricación de los instrumentos**

Para asegurar la calidad y consistencia de los materiales fabricados con NiTi, es importante conocer y entender los procesos seguidos para obtener este material y los efectos que tiene en las propiedades y formas finales.

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. Después del aleado, se ha de refinar la microestructura mediante una deformación adicional. La microestructura de la

aleación recién obtenida tiene muy poca ductilidad; es por eso que se trabaja en caliente para modificar dicha microestructura. 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.<sup>29, 30</sup>

Para conseguir las propiedades mecánicas y físicas deseadas en la mayoría de las aplicaciones, es necesario realizar un trabajo en frío en varios pasos precedidos del trabajo en caliente. En muchas aplicaciones, el NiTi todavía no presenta las propiedades deseables en esta condición de trabajo en frío. Es por ello que requiere un tratamiento térmico final posterior al último trabajo en frío<sup>29, 30</sup>.

Posteriormente, se da forma al alambre según el diseño del instrumento para la fabricación de la lima. Por método triturado, la pieza colada (aleada) 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.<sup>29</sup>

Por método de 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 se crean por torsión, y la estructura granular del níquel titanio nunca se corta transversalmente, lo que mantiene su integridad.<sup>27</sup>

Así pues, con el paso del tiempo, diferentes modificaciones se han realizado sobre las limas como en sus conicidades, diseño de secciones transversales, aleaciones, electropulidos, entre otros; todo esto es para evitar estos accidentes y tener un mejor rendimiento durante la realización del procedimiento endodóntico.

A pesar de esto, la fractura de instrumentos continúa siendo una realidad en la práctica diaria.

### **2.3 Corrosión de metales**

La corrosión se puede definir como un proceso destructivo que ocasiona un deterioro en el material como resultado de un ataque químico provocado por el medio ambiente. La forma más común en la que se presenta la corrosión en los metales es por medio de un ataque electroquímico, esto se debe a que los metales cuentan con electrones libres que forman celdas electroquímicas, ocasionando que, en cualquier momento, se lleva a cabo una reacción química. Debido a esto, es importante entender los principales puntos de este fenómeno.

Reacción de Oxidación (Reacción Anódica): La reacción de oxidación consiste en producir electrones a partir de un metal que tiene electrones libres.

Reacción de Reducción (Reacción Catódica): La reacción de reducción consiste en el consumo de los electrones generados en la reacción oxidación.

Reacción Global: La reacción de oxidación que es en la cual se generan electrones y la reacción de reducción que es en la cual se consumen, deben ocurrir al mismo tiempo y al mismo nivel para que se lleve a cabo la reacción electroquímica.<sup>35-37</sup>

### **2.3.1 Resistencia de metales a la corrosión**

La resistencia a la corrosión es una de las características más importantes con las que debe contar un material. Cuando este tipo de material es utilizado como biomaterial, es aún más grande la importancia que tiene esta característica, ya que se podrían generar grandes daños si el elemento sufriera de algún tipo de corrosión dentro del cuerpo humano.<sup>35-37</sup>

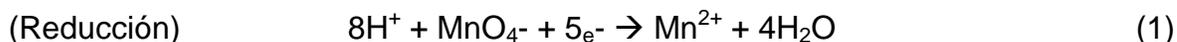
Por lo que, las aleaciones NiTi, utilizadas en instrumentos endodónticos presentan alta resistencia a la corrosión en la mayoría de los entornos. Esta resistencia es una consecuencia de la formación de una capa de óxido en la interfaz entre el metal y la solución, que protege el material sumergido. Sin 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.<sup>35-37</sup>

### 2.3.2 Proceso electroquímico en corrosión de metales

La energía de una reacción de óxido-reducción produce una corriente eléctrica, a esto se le llama electroquímica, que estudia el intercambio de la energía química y eléctrica.<sup>45</sup> 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  $\text{MnO}_4^-$  y  $\text{Fe}^{2+}$ , 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.<sup>45</sup>

## **2.4 Fractura de instrumentos**

Aun cuando se pueden presentar una variedad de accidentes y obstáculos no deseados en casi cualquier etapa del tratamiento. Uno de los accidentes más comunes durante la preparación biomecánica del sistema de conductos son los instrumentos fracturados dentro del conducto radicular.<sup>1</sup> Como consecuencia, la probabilidad del éxito puede ser dudosa si existe una periodontitis apical previa al tratamiento endodóntico.<sup>5</sup> Esto, debido a que generalmente el instrumento fracturado obstaculiza o bloquea el acceso a la terminal del conducto apical y compromete la instrumentación e irrigación (preparación biomecánica) corriendo el riesgo de dejar esa zona infectada.<sup>31</sup> Sin embargo, algunos autores mencionan que no hay significativamente una reducción en el pronóstico del tratamiento dejando un instrumento fracturado dentro del conducto.<sup>4, 5</sup>

Diversos factores contribuyen a la separación (fractura) del instrumento entre los que se hallan la inhabilidad del operador, anatomía del conducto radicular (ángulo y radio de la curvatura del conducto radicular), aleación del metal del instrumento, tamaño y forma en la sección transversal del instrumento, frecuencia del uso, esterilización, torque, velocidad de rotación, defectos de fábrica, el “pre” uso de limas manuales, irrigación, debris dentinario sobre el instrumento y tipo de pieza de mano.<sup>32</sup> Parashos menciona que el factor más importante y con mayor incidencia en provocar el defecto de los instrumentos rotatorios de Níquel-Titanio

(NiTi) es la habilidad del operador para utilizarlos o para tener conciencia de utilizarlos un número de veces sin que evidencie algún defecto, así como el diseño del instrumento, pero este en menor medida.<sup>3</sup>

## **2.5 Técnicas de remoción de instrumentos fracturados**

Las técnicas de remoción de instrumentos Ni-Ti dentro del conducto radicular, en la mayoría de los casos son difíciles y con frecuencia ineficaces. 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.<sup>1, 23</sup>

Se han desarrollado e investigado diferentes métodos para remover los instrumentos, sin embargo ninguno ha dado la certeza de un 100% de éxito; por lo contrario, la técnica más común, 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. Así como también, se pueden presentar perforaciones radiculares.<sup>15, 22</sup>

Souter y Messer llegaron a la conclusión de que la eliminación de una lima, situada más allá de una curvatura del canal, no debe ser intentada rutinariamente debido al éxito limitado de eliminación, el aumento de riesgo de perforación, y la reducción de la fuerza de la raíz.<sup>21</sup>

El clínico debe equilibrar entre las ventajas y desventajas de la recuperación de limas y/o instrumentos separados. La tasa de éxito global encontrada es de

93,3% con técnicas de ultrasonidos y el 66,6% cuando sólo se utilizaron métodos convencionales en conductos curvos.<sup>33</sup>

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 de disolución electroquímica para una mayor eficacia sin tener las consecuencias negativas anteriormente mencionadas.

### **2.5.1 Método de disolución electroquímica**

La disolución de un instrumento fracturado podría representar una posibilidad real para resolver este problema. Esta disolución permitiría la recuperación del camino original del conducto sin dañar la estructura de la raíz.<sup>24, 34</sup>

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.<sup>24, 34</sup>

Este proceso corresponde a la disolución progresiva (corrosión) del fragmento en el interior del conducto radicular.<sup>24, 34</sup>

## **2.5.2 Generalidades de químicos utilizados en disolución de metales**

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 42 g/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.<sup>38, 39</sup>

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.<sup>38, 39</sup>

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 350 a 1450 ppm. La mayoría de las cremas dentales contienen entre 0.243 % de fluoruro sódico.<sup>38-41</sup>

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 provoca la fluorosis, que se caracteriza por la instauración de una osteosclerosis, aparecen exostosis, calcificación de ligamentos, tendones e inserciones musculares, se origina también la fluorosis dental. Todo esto, sólo si se aplica en dosis muy elevadas.<sup>42</sup>

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 ( $\text{Na}^+$ ) y un anión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), 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.<sup>43</sup>

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 gas cloro ( $\text{Cl}_2$ ) y el catódico es hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ). 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.<sup>44</sup>

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.

## 2.6 Antecedentes

Por lo anteriormente descrito, resulta interesante profundizar en investigaciones iniciadas por otros autores.

En el año 2010 Ormiga y cols., introdujeron una nueva técnica para disolver limas rotatorias de NiTi K3 25.04 por medio de un método electroquímico. Las limas se aislaron en modelos in vitro de acrílico y se dividieron en 4 grupos (8, 17, 25 min y hasta que la lima se disolvió por completo) con 5 limas cada uno. Solamente 6 mm de cada lima se sumergieron en (NaF 5 g/L, NaCl 1 g/L, pH 5), demostrando la disolución completa de los 6 mm con una corriente de 9 V.<sup>24</sup>

En el 2011, otro estudio realizado por Ormiga y cols., observaron la disolución de una lima rotatoria NiTi K3 30.06 embebida en (NaF 5 g/L, 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.<sup>34</sup>

En el 2013, Alcantara y cols., 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.<sup>46</sup>

En el 2014, Ormiga y cols., 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 <sup>47</sup>

Con el propósito de poner a prueba la capacidad de disolver instrumentos endodónticos de NiTi mediante el uso del proceso electroquímico en un medio de fluoruro de sodio y cloruro de sodio. Esta disolución podría resultar en una base consistente para el desarrollo de un método para eliminar el instrumento fracturado dentro de conductos radiculares sin dañar las estructuras dentales adyacentes.

### **III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Durante el tratamiento endodóntico surgen varios accidentes, siendo el más común la fractura de limas. Esto impide la realización adecuada de la desinfección del conducto radicular debido a que la solución irrigadora no llega hasta el tercio apical, por lo tanto disminuye el pronóstico para el éxito del tratamiento. Para esto se han descrito diferentes métodos para la remoción del fragmento de lima fracturada del conducto radicular; los cuales podrían perforar o debilitar al órgano dental debido al desgaste excesivo realizado sobre las paredes dentinarias.

Recientes estudios in vitro han demostrado la disolución de limas NiTi con un nuevo método electroquímico.

Por lo que nos surge el siguiente cuestionamiento, ¿Será efectivo el método electroquímico para la disolución del fragmento de lima fracturada dentro del conducto?

## **IV JUSTIFICACIÓN**

Como ya sabemos, 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 se ha estado estudiando recientemente, el cual consiste en disolver el fragmento fracturado dentro del conducto radicular.

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

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

## **V 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 Específicos**

- Evaluar la disolución de limas de NiTi por medio del método electroquímico en el interior de conductos radiculares.
- Determinar si el tiempo de disolución de limas de NiTi por medio del método electroquímico en el interior de conductos radiculares es viable clínicamente.

## **VI MATERIAL Y MÉTODO**

### **6.1 Diseño del Experimento**

Este trabajo es un estudio de tipo experimental, *in vitro*, longitudinal

### **6.2 Material de Estudio**

La muestra consistió en 5 raíces mesiales de primeros molares inferiores humanos.

#### **6.2.1 Criterios de inclusión**

Molares permanentes con dos conductos radiculares mesiales independientes, permeables, con curvatura de raíz mesial menor a 25 grados y formación radicular completa.

#### **6.2.2 Criterios de exclusión**

Molares con conductos radiculares mesiales fusionados, calcificados, con curvatura en raíz mesial mayor a 25 grados, formación radicular incompleta, caries y/o fractura radicular y con tratamiento endodóntico previo.

#### **6.2.3 Criterios de eliminación**

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

Molares donde la lima se fracturó muy apical en donde el platino no lograra hacer contacto con la lima.

Se eliminó una muestra debido a que la fuente de poder se dañó.

### **6.3 Operacionalización de la Variables**

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo</b>	<b>Indicador</b>
Voltaje	Medida de la Corriente eléctrica de un sistema	Cualitativa	Valor de Voltaje
Longitud de las Limas	Distancia desde la fractura de la lima a la punta medida radiográficamente	Cualitativa	Distancia en centímetros

### **6.4 Lugar de Realización**

Este trabajo se realizó en el edificio de la Facultad de Odontología en la Unidad de Posgrado, Especialidad en Endodoncia en colaboración con la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, en el Laboratorio de Inmunología de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

### **6.5 Procedimiento**

#### **6.5.1 Preparación de la Muestra**

Los molares extraídos fueron mantenidos en solución fisiológica durante 7 días, posteriormente fueron desinfectados; se colocaron en un recipiente tapado

durante 30 minutos con hipoclorito de sodio comercial (50%), luego se lavaron con un cepillo y detergente para eliminar los restos de tejido adheridos, se enjuagaron y secaron con papel absorbente, por último se conservaron de nuevo en solución fisiológica hasta el momento de ser utilizados.

Se realizó el acceso cameral 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 a ras del foramen apical, se midió la distancia y se restó 1 mm. La instrumentación de los conductos radiculares se realizó con limas K de acero inoxidable # 15, #20, #25 y técnica de fuerzas balanceadas. La irrigación se realizó con hipoclorito de sodio al 5.25%, 1 ml después de cada instrumento.

Para obtener el segmento de instrumento fracturado se utilizaron limas de níquel-titanio (NiTi) Mtwo® #25 conicidad 0.04 (VDW). Se seleccionaron las posiciones de corte de tal manera que corresponda a 7 mm de la punta (D7) de la lima. Se les realizó una muesca con fresa de diamante #TR13 (Mani) para facilitar la fractura, luego fueron activadas con el motor Endo Mate (NSK) a 350 rpm en el interior del conducto, ejerciendo ligera presión hacia el extremo apical hasta que se fracturara. Mediante una radiografía se observó la ubicación del segmento fracturado en el tercio medio de los conductos.

Se realizó una preparación de la cavidad de acceso radicular que permita el acceso en línea recta hacia el instrumento fracturado (plataforma) se realizó mediante una fresa Gates Glidden (Dentsply, Maillefer) #6 cortada a la mitad de su punta activa. Esto proporcionó el espacio suficiente para observar el instrumento, sin desgastar demasiada dentina.

Posteriormente, se colocó cera rosa en apical y luego se colocaron en acrílico dentro de un molde para ser montados en una mufla de acrílico de 7 x 7 x 7 cm con una cavidad en su cara superior en forma de hexágono para evitar que girara el diente incrustado en el acrílico, en la cara anterior se pegó una capa de plastilina epóxica dejando un espacio en el centro para colocar la placa digital y facilitar la toma de radiografías durante el procedimiento.

### **6.5.2 Las pruebas electro-químicas**

Se utilizaron dos alambres de platino de 0,1 mm diámetro, como electrodos. Un electrodo positivo (ánodo) para hacer contacto con el instrumento fracturado dentro del conducto radicular y el otro como electrodo negativo (cátodo) en contacto con la solución de trabajo en cámara pulpar. Dichos electrodos eran controlados por medio de una fuente de poder (energía), corriente alterna diseñada para su efecto, programada para trabajar a 80 miliamperes (80 mA) y voltaje variable.

La solución de trabajo (electrolito) consistió de la mezcla de NaF 12 g/L y NaCl 1 g/L disueltos en agua destilada estéril con pH de 5. La solución fue colocada en el interior del conducto y cámara pulpar utilizando una jeringa desechable de 10 ml y aguja Endo Eze calibre 27, salida lateral (Ultradent). Luego se colocaban los electrodos en posición de trabajo y se activó la corriente eléctrica por 60 min ajustada a 80 mA. La solución se recambió cada minuto para evitar la saturación del medio y propiciar la rápida disolución de la lima fracturada. Se tomaron radiografía digitales cada 10 minutos con la ayuda de la mufla diseñada para su

efecto, así mismo en estos periodos de tiempo fue registrado el voltaje que pasaba por el sistema. Las imágenes fueron almacenadas para su análisis y comparación con las imágenes del instrumento fracturado obtenidas al inicio utilizando el radiovisiógrafo marca Kodak.

### **6.5.3 Análisis Estadístico**

Los datos de voltaje se expresan como medias con su desviación estándar por tiempo de disolución en las diferentes condiciones. El análisis de datos se realizó mediante la prueba t de Student, con corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples. Se utilizó el software estadístico IBM SPSS v.20 (II, USA).

## VII RESULTADOS

Se analizaron un total de 5 molares, analizando finalmente 9 conductos tanto vestibular como lingual, con limas fragmentadas a una longitud de trabajo de 7 mm, el sistema de ajuste de la corriente eléctrica fue diseñado por el alumno Miguel Ángel Ortiz Reyes de la Licenciatura en Electrónica de la Facultad en Ciencias Fisicomatemáticas, el sistema fue calibrado para trabajar bajo una resistencia constante de 80 mA (Fig. 1), con una presentación sencilla y solo con opción de encender y apagar, con una pantalla que mostraba el voltaje del sistema en tiempo real, el tiempo de disolución fue controlado con un cronometro de manera independiente. El equipo presento daño al finalizar las pruebas por lo que no se pudo llegar a las 10 pruebas de disolución, siendo 9 las analizadas.

El voltaje obtenido de la disolución electroquímica presento un promedio general de  $10 \pm 1.5$  V. Sin embargo, analizando de manera independiente las muestras encontramos una diferencia estadística de la muestra 1 con la 2, 3 y 4, así como diferencias entre la muestra 2 con la 4 y muestra 3 con la 4, con promedios de voltaje de  $8.5 \pm 0.5$  V,  $10.7 \pm 1.0$  V,  $9.9 \pm 1.2$  V,  $9.4 \pm 0.6$  V y  $11.6 \pm 1.5$  V, para las muestras 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente (Fig. 2).

Para confirmar si esta diferencia en el voltaje se debía a la disolución electroquímica y no a una diferencia en la longitud de la lima fracturada se realizó un análisis por tiempos de disolución de todas las muestras presentando un promedio a los 10 minutos de disolución de  $9.7 \pm 0.9$  V y un voltaje final a los 60 min de  $10.0 \pm 1.9$  V (cuadro 1), sin diferencias estadísticas entre los tiempo,

observándose un mantenimiento promedio del voltaje durante todo el experimento, con el simple aumento de la desviación estándar (Fig. 3).

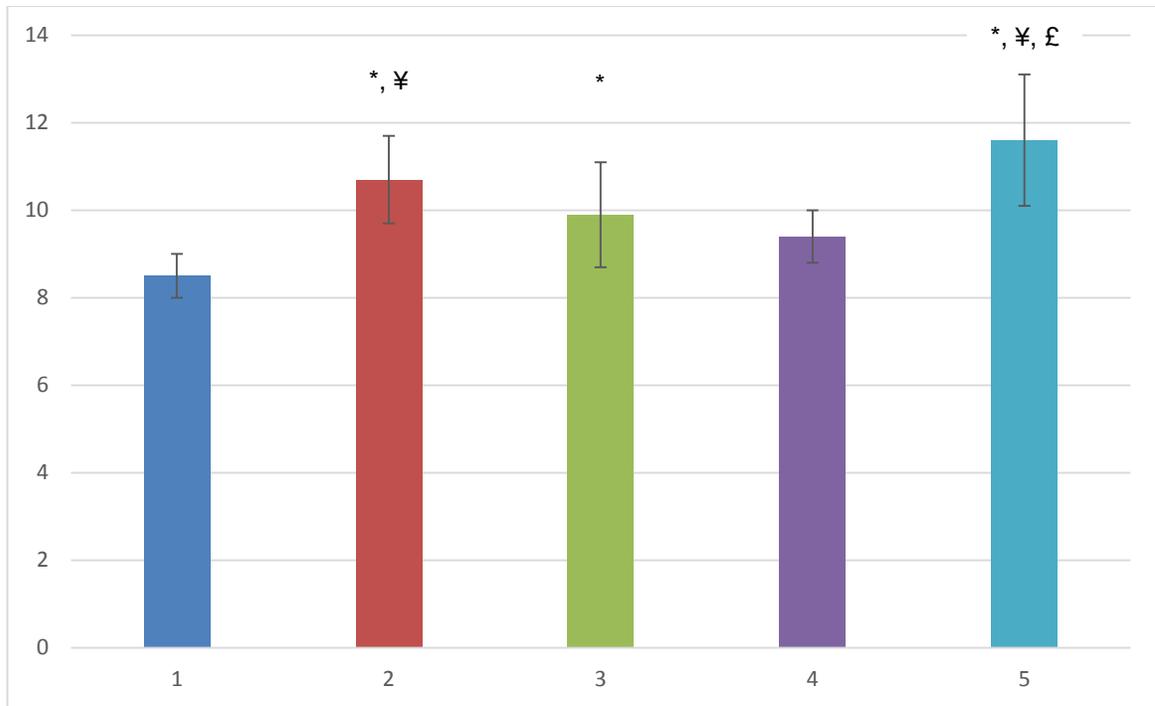
Para confirmar si la diferencia entre los voltajes a los diferentes tiempos podían estar presentes en las muestras se realizó un análisis independiente de las mismas, con resultados no estadísticamente significativos, pero se demuestra un ligero aumento del voltaje en algunas de las muestras principalmente la muestra 2 y la 5 (Fig. 4), se observa un voltaje mínimo a los 10 min de  $8.7 \pm 0.1$  V, de la muestra 1 y un valor máximo de  $10.6 \pm 0.5$  V de las muestras 2 y 3, mientras que al finalizar el experimento el valor mínimo, en la muestra 1 también, fue de  $8.2 \pm 0.2$  y el valor máximo de  $13.6 \pm 0.0$  de la muestra 5 (cuadro 2).

Esta mínima variación en los valores de voltaje pudieron ser corroborados radiográficamente (Fig. 5), donde se puede evidenciar la falta de disolución electroquímica de las limas de NiTi, esto demuestra la baja capacidad de disolución *in vivo* del sistema evaluado, 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 capacidad y la interacción con los electrodos y la solución de NaF y NaCl.



**Figura 1. Fotografía de la Fuente de Poder.**

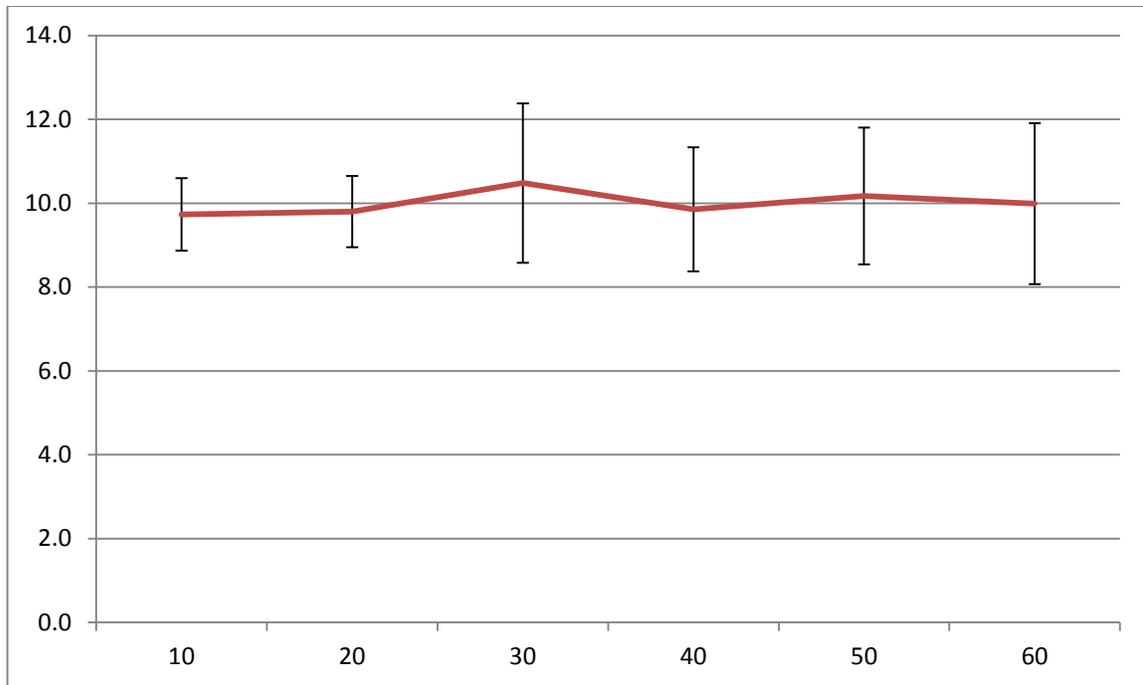
Los números de arriba marcan el voltaje. Los de abajo el mili amperaje.



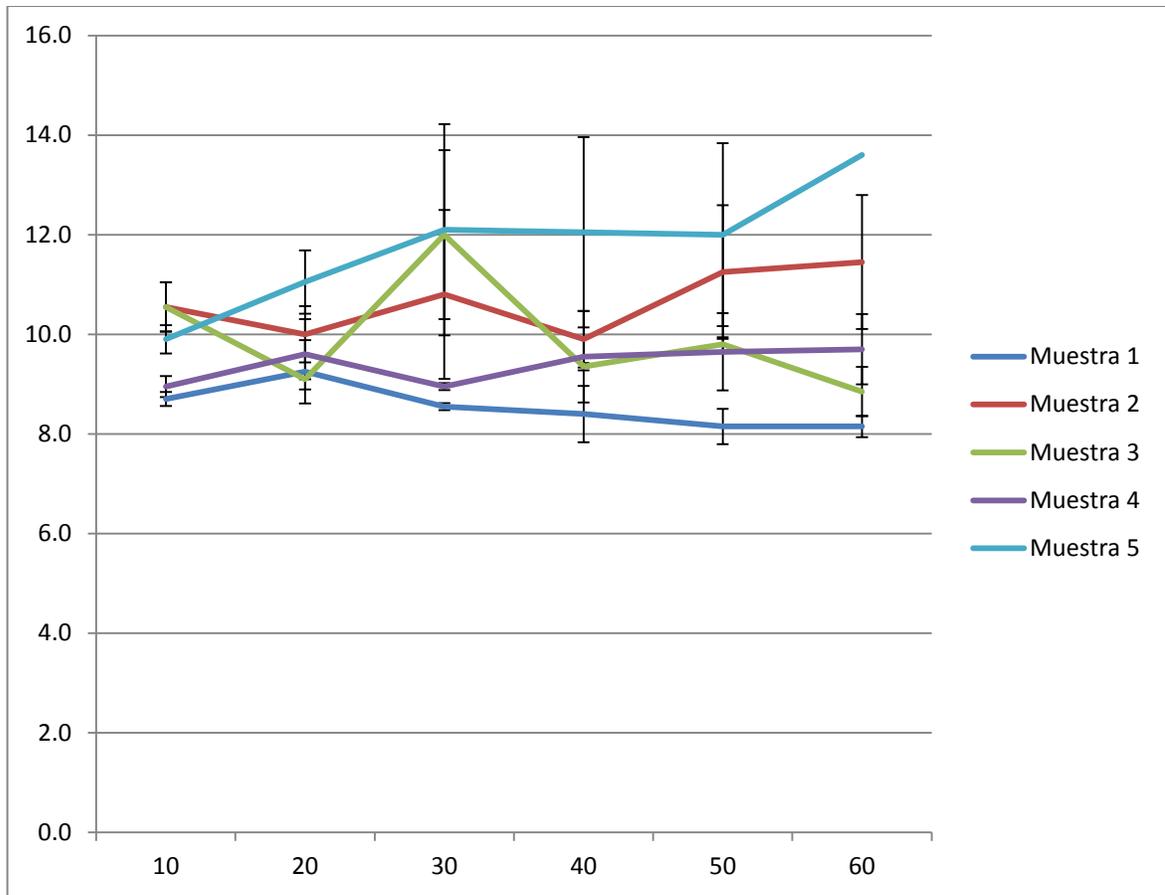
**Figura 2. Gráfica de voltajes generales de las muestras.** Valor de p menor a 0.05 corregido por Bonferroni; \*, comparación con la muestra 1; £, comparación con la muestra 3; ¥, comparación con la muestra 4.

**Cuadro 1. Voltajes de disolución electroquímica a los diferentes tiempos.**

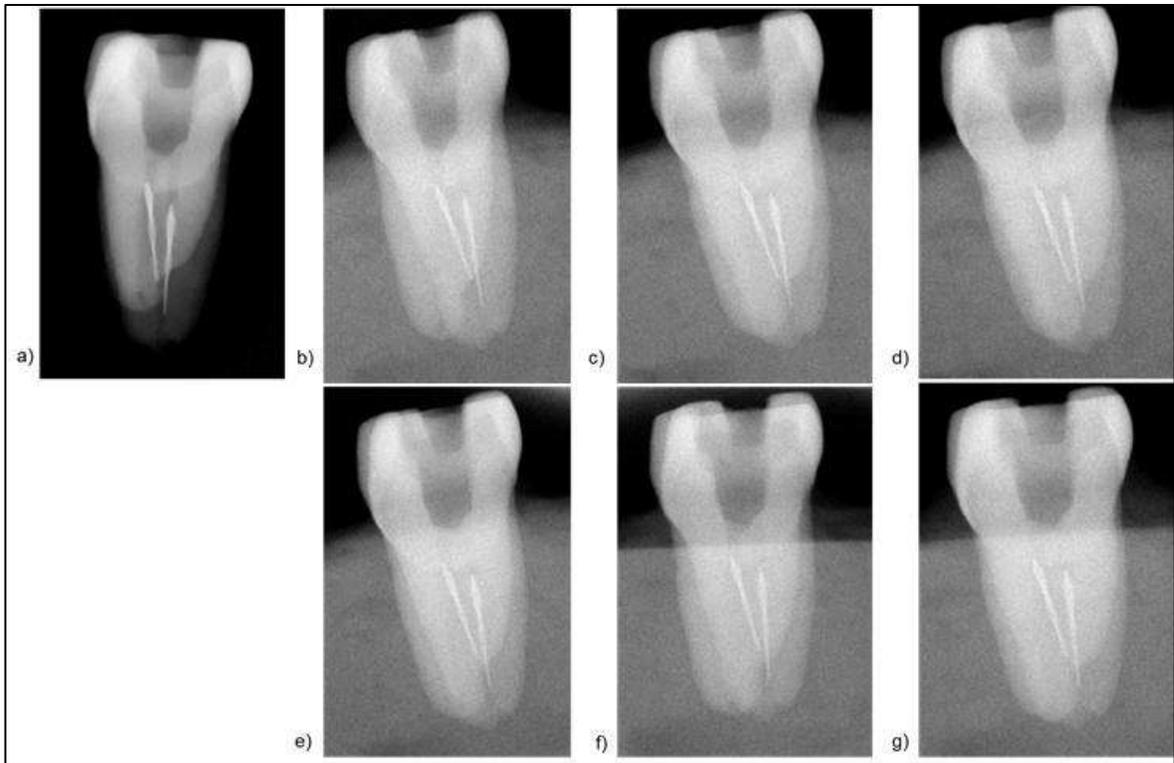
<b>Tiempo de Disolución</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
<b>10</b>	9.7	0.9
<b>20</b>	9.8	0.8
<b>30</b>	10.5	1.9
<b>40</b>	9.9	1.5
<b>50</b>	10.2	1.6
<b>60</b>	10.0	1.9



**Figura 3. Gráfico de Voltaje a los diferentes tiempos.**



**Figura 4. Gráfico de voltaje de las muestras a los diferentes tiempos.**



**Figura 5. Secuencia de imágenes radiográficas de la muestra 2 durante el procedimiento de método electroquímico. a) Reacción inicial, b) Reacción a 10 min, c) 20 min, d) 30 min, e) 40 min, f) 50 min, g) 60 min.**

## VIII DISCUSIÓN

El concepto de disolución de instrumentos fracturados por método electroquímico, se basa en la disolución de una aleación de metal en solución acuosa, y requiere la existencia de dos electrodos y un electrolito. El electrolito podría tener una composición variable de acuerdo al metal que se disuelve; es esencial que el metal tenga la susceptibilidad para la disolución en este electrolito. Una vez que el cátodo es compuesto por un metal inerte, la transferencia de electrones desde el metal, permite la disolución. Por lo que, de acuerdo con información de otros autores, igual que en sus investigaciones, en este estudio se utilizó como electrolito una solución combinada de NaF y NaCl, ambos favorecen la corrosión (disolución) de metales aleados como el Níquel y el Titanio.<sup>35-37</sup>

El uso de flúor en los procedimientos de endodoncia es posible porque se ha aplicado en gran medida en la odontología. Según Zaura-Arite y Cate, el principal modo de acción del fluoruro en odontología es la inhibición de desmineralización de la estructura dental por un mecanismo fisicoquímico. En el caso de la dentina, este mecanismo podría estar asociado a la oclusión mecánica de los túbulos.<sup>49</sup>

Saunders y McIntyre demostraron que 12.3 g/L de fluoruro puede proporcionar un alto nivel de protección contra el daño erosivo de dentina radicular causado por el reflujo gástrico. Teniendo esto en cuenta la concentración del fluoruro sódico utilizada en este estudio fue de 12 g/L.<sup>50</sup> Además, Li y cols., observaron que la dureza de la dentina no se vio afectada por 22,6 g /L de barniz de fluoruro, una mayor concentración que la utilizada en este trabajo. Por lo tanto, el uso de

soluciones de fluoruro en los procedimientos de endodoncia podrían considerarse aceptables.<sup>51</sup>

Por otra parte, este proceso podría ser demasiado lento para ser utilizado durante el tratamiento de endodoncia. En consecuencia, debe ser aplicada una potencia eléctrica alta para acelerar la transferencia de electrones y la liberación de iones metálicos a la solución. Esto podría ser peligroso si la corriente eléctrica se lleva a cabo por los tejidos humanos. Pero el sistema de conductos radiculares es rodeado por dentina y cemento que son aislantes a la corriente eléctrica. Así pues, en este estudio se aplicó una potencia de 80 mA, debido a que 100 mA es el límite de corriente que puede recibir un paciente sin provocar parálisis del músculo o dolor.<sup>48</sup>

De acuerdo con el estudio de Ormiga y cols. para garantizar su disolución, la lima fracturada debe estar completamente sumergida en la solución y en contacto con el ánodo a través de una punta inerte que conduce la corriente eléctrica. Esta punta inerte y el cátodo deben ser introducidos en el conducto radicular, que debe ser inundado con el electrolito. En el sistema de conductos, pudimos observar que esto no es posible por la dentina radicular adyacente al instrumento, ésta no permite que la solución (electrolito) fluya rodeando la totalidad del fragmento fracturado. Además, es necesario el aislamiento entre los 2 electrodos para evitar el contacto entre el ánodo y el cátodo, y así garantizar la transferencia de electrones. Lo que resulta clínicamente complicado pues sabemos que de acuerdo a su anatomía, el sistema radicular tiene dimensiones limitadas de trabajo para una configuración eficiente del método. Así mismo, en el interior del sistema de conductos, es complicado controlar el contacto del electrodo (platino) con el

instrumento fracturado de manera constante, directa y además con en el área total de lima expuesta. Concordamos con Ormiga y cols., en que cuanto más pequeño sea el electrodo, mayor es el área del fragmento expuesto a la solución y más rápido es la disolución. Este factor indica que el micro-electrodo debe tener el espesor mínimo posible. En el presente estudio, se utilizó un platino fabricado a partir de un alambre de 0.1 mm de diámetro. Este diámetro fue seleccionado teniendo en cuenta el espesor mínimo necesario para mantener la resistencia mecánica aceptable.<sup>24, 34</sup>

Dichos autores, también mencionan en sus resultados, que hubo una disminución (disolución) significativa del fragmento fracturado en las imágenes radiográficas obtenidas hasta los 360 minutos a 1.50 mA. Pero eran fragmentos con gran diámetro (masa), ellos sugieren realizar otros estudios con fragmentos de menor diámetro en la sección fracturada expuesta a la solución, por ejemplo 25.04. Es por esto, que en el presente estudio utilizamos limas Mtwo #25 conicidad 0.04 en fragmentos de 7 mm (D7).<sup>24, 34</sup>

Durante las pruebas de Ormiga y col., los picos de corriente mostraron una reducción gradual durante los primeros 120 minutos y no superaron 0.30 mA desde este momento. Esta disminución gradual puede estar relacionada con la reducción de la zona expuesta a la solución durante la prueba. Sin embargo, esta discrepancia sugiere que la disminución de corriente puede estar relacionada con otro factor, el aumento de la profundidad interfase metal-disolución en la cavidad de resina, dónde realizaron el experimento. En este caso, la misma área expuesta podría generar diferentes valores de corriente de acuerdo con la profundidad del fragmento en los conductos radiculares, donde la reducción del volumen de la

solución tiende a limitar la conducción iónica entre el ánodo y el cátodo. Los resultados presentados en nuestro estudio, al contrario muestran que aun con valor de potencia alto (80 mA) por mucho tiempo (60 min), no se obtuvo una disolución de los fragmentos fracturados.<sup>24, 34</sup>

Por otra parte, la solución (electrolito) debe ser renovada durante todo el procedimiento para eliminar los iones metálicos de la misma solución y restos de material resultante en la superficie del fragmento. Los iones de níquel generados pueden ser tóxicos para los tejidos humanos si no se elimina, y el material resultante puede actuar como una barrera entre el electrodo anódico y el fragmento. Esto, podría reducir el área expuesta a la solución y retrasar el proceso, debido a que la descarga de iones en el medio ambiente depende de su contacto con la solución. Debido a esto, en el presente estudio se realizaron recambios de la solución cada minuto.<sup>35-37</sup>

Aun así, los resultados presentados aquí son evidencia de que el concepto de disolución de un instrumento fracturado dentro de los conductos radiculares mediante un proceso electroquímico no es factible. Debido a que el diámetro de la superficie del fragmento en contacto con la solución es muy pequeño, pues la dentina radicular adyacente al fragmento no permite que dicha solución fluya. Esto, afecta los niveles de la oxidación electroquímica necesarios para promover la disolución. Contrario a lo presentado en los estudios *in vitro* de Ormiga y cols., en 2010 y 2011; y Alcántar en 2013. Clínicamente, un área más pequeña tiende a ser expuesto a la solución, lo que podría dar lugar a niveles de corriente inferiores. Esta discrepancia podría estar relacionada con la diferencia entre las zonas metálicas expuestas a la solución en ambos estudios. La inmersión total del

segmento fracturado de lima utilizado por los otros autores contribuye en los resultados de disolución. Cabe señalar que la longitud de tiempo probado probada por ellos, corresponde a 6 horas, esto tampoco es clínicamente práctico.<sup>24, 34, 46</sup>

En consecuencia, estudios futuros son necesarios para mejorar las condiciones de disolución. Algunas modificaciones en la composición de electrolito y pH así como en los valores de potencia aplicada, además de investigar la forma de que la solución sea capaz de fluir en el interior del conducto permitiendo que haga contacto con todo el fragmento fracturado, así podríamos acelerar el proceso de disolución.

## **IX CONCLUSIÓN**

Además, de analizar que clínicamente es un método complicado, ligeramente cansado por la posición, los dispositivos y el tiempo de trabajo necesarios.

Podemos concluir que no es posible obtener una disolución significativa de fragmentos de instrumento endodóntico de NiTi fracturados en el interior de los conductos radiculares utilizando el método electroquímico.

## **X REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJE. Opinions and attitudes of endodontists and general dental practitioners in the UK towards the intracanal fracture of endodontic instruments: part 2. *Int Endod J* 2008;41:1079–87.
2. Shen Y, Cheung GS, Peng B, Haapasalo M. Defects in nickel-titanium instruments after clinical use: part 2—fractographic analysis of fractured surface in a cohort study. *J Endod* 2009;35:133–6.
3. Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod* 2006;32:1031–43.
4. Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod* 2005;31:845–50.
5. Panitvisai P, Parunnit P, Sathorn C, Messer HH. Impact of a retained instrument on treatment outcome: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 2010;36:775–80.
6. Feldman G, Solomon C, Notaro P, Moskowitz E. Retrieving broken endodontic instruments. *J Am Dent Assoc* 1974;88:588–91.
7. Fors UGH, Berg JO. A method for the removal of broken endodontic instruments from root canals. *J Endod* 1983;9:156–9.
8. Roig-Greene J. The retrieval of foreign objects from root canals: a simple aid. *J Endod* 1983;9:394–7
9. Nagai O, Tani N, Kayaba Y, Osada T. Ultrasonic removal of broken instruments in root canals. *Int Endod J* 1986;19:298–304.

10. Hülsmann M. Methods for removing metal obstructions from the root canal. *Endod Dent Traumatol* 1993;9:223–37
11. Hülsmann M. Removal of fractured instruments using a combined automated/ultrasonic technique. *J Endod* 1994;20:144–6.
12. Ruddle CJ. Micro-endodontic nonsurgical retreatment. *Dent Clin North Am* 1997;41:429–54
13. Terauchi Y, O’Leary L, Suda H. Removal of separated files from root canals with a new file-removal system: case reports. *J Endod* 2006;32:789–97.
14. Rahimi M, Parashos P. A novel technique for the removal of fractured instruments in the apical third of curved root canals. *Int Endod J* 2009;42:264–70.
15. Alomairy KH. 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
16. Yoldas O, Oztunc H, Tinaz C, Alparslan N. Perforation risks associated with the use of Masserann endodontic kit drills in mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:513–7.
17. Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals. *J Endod* 2005;38:112–23.
18. Ward JR, Parashos P, Messer HM. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: an experimental study. *J Endod* 2003;29:756–63.

19. Ward JR, Parashos P, Messer HH. Evaluation of an ultrasonic technique to remove fractured rotary nickel-titanium endodontic instruments from root canals: clinical cases. *J Endod* 2003;29:764–7
20. Ruddle CJ. Nonsurgical retreatment. *J Endod* 2004;30:827–45.
21. Souter NJ, Messer HH. Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique. *J Endod* 2005;31:450–2.
22. Madarati AA, Qualtrough AJE, Watts DC. A microcomputed tomography scanning study of root canal space: changes after the ultrasonic removal of fractured files. *J Endod* 2009;35:125–8.
23. Terauchi Y, O’Leary L, Kikuchi I, et al. Evaluation of the efficiency of a new file-removal system in comparison with two conventional systems. *J Endod* 2007;33:585–8.
24. Ormiga, F.; da Cunha Ponciano Gomes, J. A.; de Araújo. Dissolution of Nickel-Titanium Endodontic Files via an Electrochemical Process: A New Concept for Future Retrieval of Fractured Files in Root Canals. *J Endod* 2010;36:717–720
25. Leonardo M. R., Leonardo R. T., *Sistemas Rotatorios en Endodoncia: Instrumentos de níquel – titanio*. Editorial Artes Médicas. 2002
26. Walia H., Brantley W. A., Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files. *J Endod* 1988; 4(7): 346-351.
27. Thompson S.A. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000; 33, 297-310.

28. Soares I. J., Goldberg F. Endodoncia. Técnica y Fundamentos. Ed. Med. Panamericana, Brasil 2002; Cáp. 7, 325 páginas.
29. Aleaciones con memoria de forma, [www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6863/06Sfl06de14.pdf?sequence=6](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6863/06Sfl06de14.pdf?sequence=6)
30. Miramontes M. J., Garrido P., Mena J., Vera C., Rodríguez N. Análisis comparativo de los diferentes sistemas de endodoncia rotatoria: Una revisión. JADA 2009; 4(2): 89-95.
31. Madarati AA, Hunter MJ, Dummer PM. Management of Intracanal Separated Instruments. J Endod 2013;39:569–581
32. Madarati AA, Watts DC, Qualtrough AJ. Factors contributing to the separation of endodontic files. Br Dent J 2008;204:241–5
33. Gencoglu, N. & Helvacioğlu, D. Comparison of the Different Techniques to Remove Fractured Endodontic Instruments. Eur. J. Dent 2009;3(3) :90-95.
34. Ormiga, F.; da Cunha Ponciano Gomes, J. A.; de Araújo, M. C. & Barbosa, A. O. An initial investigation of the electrochemical dissolution of fragments of nickel-titanium endodontic files. J. Endod 2011; 37(4):526-30.
35. Schiff N, Grosogeat B, Lissac M, Dalard F. The influence of fluoride ions on the corrosion resistance of titanium and NiTi in an artificial saliva and a mouthwash. Eur Cell Mater 2003;5:56
36. Schiff N, Boinet M, Morgon L, Lissac M, Dalard F, Grosogeat B. Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes. Eur J Orthod 2006;28:298–304.
37. Li X, Wang J, Han E, Ke W. Influence of fluoride and chloride on corrosion behavior of NiTi orthodontic wires. Acta Biomater 2007;3:807–15.

38. González Macías, J.; José Florez. Farmacología Humana. 1998. 3ª edición. España. Ed. Masson. p. 979.
39. [http://www.quiminet.com/pr9/FLUORURO%2BDE%2BSODIO.htm#t\\_pest\\_pr\\_o\\_f](http://www.quiminet.com/pr9/FLUORURO%2BDE%2BSODIO.htm#t_pest_pr_o_f)
40. Procter & Gamble. «Crest Oral-B Pro-Salud» (en español). Consultado el 30 de noviembre de 2013. «Activos: Fluoruro de sodio (350ppm de ión Flúor)».
41. Colgate-Palmolive Company (2012). «Colgate Total, preguntas frecuentes» (en español). Consultado el 30 de noviembre de 2013. «0.243% de fluoruro de sodio».
42. Richmond, V.L. Thirty years of fluoridation: A review. Am. J. Clin. Nutr. 1985; 41: pp. 129–138.
43. Cloruro de sodio. Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro\\_de\\_sodio?oldid=77534151](http://es.wikipedia.org/wiki/Cloruro_de_sodio?oldid=77534151) Consultado el 30 de noviembre 2013.
44. Susan R. Feldman. Sodium chloride. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. Published online 2005.doi 10.1002/0471238961.1915040902051820.a01.pub2
45. <http://www.unalmed.edu.co/~cgpaucar/redox.pdf>. Reacciones de óxido-reducción y electroquímica. Consultado 2 de diciembre 2013.
46. Alcántara Dufeu Raúl, Peña Farfal Carlos, Álvarez Muñoz Mónica. Retrieval of Fractured Files Based on Electrochemical Dissolution. Int. J. Odontostomat. [revista en la Internet]. 2013 Dic [citado 2014 Marzo 04]7(3): 475-481. Disponible en:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S071881X2013000300022&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071881X2013000300022&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-81X2013000300022>.

47. Aboud LR, Ormiga F, Gomes JA. Electrochemical induced dissolution of fragments of nickel-titanium endodontic files and their removal from simulated root canals. *Int Endod J* 2014 Feb;47:155-62
48. Nekoofar MH, Ghandi MM, Hayes SJ, Dummer PMH. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *Int Endod J* 2006;39:595–609.
49. Zaura-Arite E, Cate JM. Effects of fluoride and chlorhexidine-containing varnishes on plaque composition and on demineralization of dentinal grooves in situ. *Eur J Oral Sci* 2000;108:154–61.
50. Saunders JGC, McIntyre JM. The ability of 1.23% acidulated phosphate fluoride gel to inhibit simulated endogenous erosion in tooth roots. *Aust Dent J* 2005;50:263–6.
51. Li H, Watson TF, Sherriff M, Curtis R, Bartlett DW. The influence of fluoride varnish on the attrition of dentine. *Caries Res* 2007;41:219–22.