

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Consideraciones clínicas y técnicas que contribuyen a la fractura de sistemas rotatorios utilizados en terapia endodóntica. Revisión sistemática 2015-2020

Lady Paola Jaimes Osorio, Jasidh Andrés Pedroza Capacho
y Eliana Peñaloza Mora

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de especialista en
Endodoncia.

Director (a)
Martha Patricia Verjel Bonza
Especialista en Endodoncia

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga
División de Ciencias de la Salud
Facultad de Odontología
Especialización en Endodoncia
2021

Tabla de contenido

Resumen.....	7
1. Introducción	9
1.1 Planteamiento del Problema	10
1.2 Justificación	12
2. Marco teórico	13
2.1 Evento Adverso.....	13
2.1.1 Evento adverso prevenible.....	13
2.1.2 Evento adverso no prevenible.....	13
2.2 Eventos adversos en Endodoncia.....	14
2.2.1 Accidentes durante el acceso cameral.	14
2.2.2 Accidentes durante la Preparación biomecánica.	14
2.2.3. Accidentes durante la Obturación.....	15
2.3 Estandarización de los instrumentos endodónticos.	15
2.4 Níquel-titanio	16
2.4.1 Metalurgia de aleaciones de níquel-titanio.	16
2.4.2 Estructura de níquel-titanio.....	17
2.4.3 Transformación martensítica inducida por el estrés.	17
2.4.4 Fabricación de instrumentos NiTi para la preparación del conducto radicular.	18
2.4.5 Usos de aleación de níquel-titanio.....	18
2.5 Factores que influyen en la fractura de instrumentos níquel-titanio.....	19
2.5.1 Angulo de la curvatura.....	19
2.5.2 Radio de la curvatura.	20
2.5.3 Frecuencia de uso.....	20
2.5.4 Torque.....	21
2.5.5 Experiencia del operador.	22
2.6 Revisión sistemática de la literatura	22
2.7 Declaración STROBE.....	24
2.8 Declaración CONSORT 2010	24
3. Objetivos.....	25
3.1 Objetivo general.....	25
3.2 Objetivo específicos.....	25
4. Materiales y métodos	25

4.1. Tipo de estudio.....	25
4.2. Muestra	26
4.3 Criterios de selección.....	26
4.3.1. Criterios de inclusión.....	26
4.3.2. Criterios de exclusión.....	26
4.4 Variables	26
4.5 Recolección de la información.....	26
4.5.1 Estrategia de búsqueda.....	26
4.5.2 Instrumento.....	27
4.6 Procedimientos.....	27
4.6.1 Criterios para la evaluación de calidad de los estudios publicados.....	27
4.6.2 Plan de análisis estadístico.....	27
4.7 Consideraciones Bioéticas.....	27
4.7.1. Ley sobre derechos de autor.....	28
5. Resultados.....	28
5.1 Selección de artículos.....	28
5.2 Análisis de los hallazgos encontrados en la revisión de la literatura.....	30
6. Discusión	34
6.1. Conclusiones.....	39
6.2 Recomendaciones	40
7. Bibliografía	41
Apéndices.....	51
Apéndice A. Operacionalización de Variables	51
Apéndice B. Declaración STROBE.....	54
Apéndice C. Artículos seleccionados	57
Apéndice D. Cronograma	64
Apéndice E. Presupuesto	65

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla de instrumento que se utilizó para resumir los aspectos más importantes de cada artículo seleccionado.	27
Tabla 2. Características clínicas reportadas en la literatura que contribuyen a la fractura de los sistemas rotatorios.....	31
Tabla 3. Factor más frecuente reportado en la revisión de la literatura que influye en la separación de sistemas rotatorios en endodoncia.	32

Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> El método descrito por Pruett y colaboradores para describir la geometría del canal utilizando dos parámetros: radio de curvatura y ángulo de curvatura.	19
<i>Figura 2.</i> Flujograma que especifica la selección de artículos para realizar la revisión sistemática.	29
<i>Figura 3.</i> Distribución de los artículos incluidos en el estudio por año	29
<i>Figura 4.</i> Distribución de los artículos incluidos en el estudio por base de datos.....	30

Resumen

El objetivo principal de esta revisión fue establecer la evidencia en la literatura científica publicada entre 2015-2020, sobre condiciones clínicas y técnicas que contribuyen a la fractura de sistemas rotatorios durante la terapia endodóntica. Se realizó la búsqueda en las diferentes bases de datos como Google scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, PubMed, y Science Direct en idioma inglés, utilizando las siguientes palabras claves: Preparación del conducto radicular, endodoncia, fractura, separación de lima, Glide Path, curvatura radicular, fatiga cíclica, fatiga torsional, reúso, experiencia del operador, limas rotatorias. A partir de éstas, se creó la estrategia de búsqueda y de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, ochenta y nueve artículos fueron incluidos en la revisión sistemática. Las condiciones clínicas que contribuyen a la fractura de instrumentos son la fatiga cíclica y torsional, ángulo y radio de curvatura radicular, experiencia del operador, el reúso de instrumentos, la temperatura y las diferentes propiedades de los sistemas rotatorios. Fatiga cíclica fue la condición clínica con más reporte de separación de limas de NiTi en esta revisión, muchos factores afectan la resistencia de esta condición. Reciproc, Hyflex EDM, R- Pilot, Reciproc Blue, Wave One Gold, Protaper Next, Hyflex CM y Wave One son los sistemas rotatorios reportados con mejor resistencia a la fractura. Es importante conocer las propiedades de los diferentes sistemas para aplicar en cada caso, puesto que el riesgo de separación del instrumento dentro del conducto no se elimina sino que se contribuye a minimizar. La anatomía del conducto radicular es el punto de partida en la selección de instrumentos rotatorios por sus variaciones complejas, principalmente la curvatura radicular. Los molares inferiores, molares y premolares superiores reportan un mayor riesgo de generar fractura de los sistemas rotatorios en endodoncia.

Palabras clave: endodoncia, fractura, curvatura radicular, fatiga cíclica, fatiga torsional, reúso, limas rotatorias.

Abstract

The main objective of this review was to establish the evidence in the scientific literature published between 2015-2020, on clinical and technical conditions that contribute to rotational system fracture during endodontic therapy. The search was carried out in the different databases such as Google scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, PubMed, and Science Direct in English, using the following keywords: Root canal preparation, Endodontics, Fracture, File Separation, Glide Path, Root Curvature, Cyclic Fatigue, Torsional Fatigue, Reuse, Operator Experience, Rotary Files. Based on these, the search strategy was created and, according to the established inclusion and exclusion criteria, eighty-nine articles were included in the systematic review. The clinical conditions that contribute to instrument fracture are cyclical and torsional fatigue, root angle and radius of curvature, operator experience, instrument reuse, temperature, and different properties of rotary systems. Cyclic fatigue was the clinical condition with the most reported NiTi file separation in this review, many factors affect the resistance of this condition. Reciproc, Hyflex EDM, R-Pilot, Reciproc Blue, Wave One Gold, Protaper Next, Hyflex CM and Wave One are the rotary systems reported with the best resistance to fracture. It is important to know the properties of the different systems to apply in each case, since the risk of separation of the instrument within the canal is not eliminated but rather helps to minimize it. The root canal anatomy is the starting point in the selection of rotary instruments due to its complex variations, mainly root curvatures. Lower molars, upper molars and premolars are reported as higher risk of fracturing rotary systems in endodontics.

Key words: endodontics, fracture, root curvature, cyclic fatigue, torsional fatigue, reuse, rotary files.

1. Introducción

El tratamiento endodóntico exitoso depende de una serie de procedimientos secuenciales que incluyen la limpieza, desinfección y la conformación del sistema de conductos radiculares, no obstante, durante la práctica clínica se puede presentar complicaciones y/o errores de procedimiento no deseados que se pueden clasificar en prevenibles y no prevenibles, durante los procedimientos de apertura, instrumentación y obturación, ocasionando un evento adverso (1).

Uno de los problemas más frecuentes en la actualidad que ocurren durante los procedimientos endodónticos, es la fractura o separación de los instrumentos rotatorios, esto impide el logro de una limpieza y conformación eficiente, lo que a su vez puede resultar en una obturación deficiente del sistema de conductos radiculares y posiblemente, llevar al fracaso de dicho procedimiento endodóntico (1).

En 1960 Buehler un metalúrgico descubrió la aleación de Níquel-Titanio (nitinol) que tenía propiedades termodinámicas que eran capaces de producir un efecto de memoria de forma y superelasticidad cuando se realizaba un tratamiento térmico controlado (2). El primer uso a nivel odontológico de la aleación de Nitinol fue desarrollada para los alambres ortodónticos y posteriormente, en el año 1988 Walia y colaboradores informaron el primer uso de este sistema metalúrgico para la fabricación de limas endodónticas (3).

El estudio realizado por Walia en 1998 evaluó las propiedades de flexión y torsión de estos instrumentos y encontraron que las limas de nitinol tenían una flexibilidad elástica considerablemente mayor que las limas de acero inoxidable en los tres modos de prueba de flexión, torsión en sentido horario y torsión en sentido anti horario, por esta razón pueden ser particularmente prometedoras para la preparación clínica de conductos radiculares curvos (3).

Los tipos de fractura que puede sufrir una lima de Níquel-Titanio son, fractura flexural y fractura torsional. Mientras la fractura flexural se produce como consecuencia de la preparación de una curvatura radicular compleja que genera en el instrumento fuerzas de compresión y tensión en la preparación, la fractura torsional se presenta cuando una porción del instrumento se atrapa dentro del conducto radicular, mientras este sigue girando (1).

Debido a la compleja configuración de los conductos radiculares, la llegada de los instrumentos rotatorios de Níquel-Titanio (NiTi) permitió un avance significativo en el campo de la endodoncia, por la superelasticidad y mejor resistencia que brindan a la fractura en comparación con los tradicionales de acero inoxidable. Sin embargo, como se mencionó anteriormente estos instrumentos pueden sufrir fracturas, dentro de su límite elástico y sin signos visibles de deformación permanente previa incluso en instrumentos nuevos, mientras que la fractura de las limas de acero inoxidable está precedida por la distorsión del instrumento que sirve como advertencia de una fractura inminente (4).

El estudio realizado por Sattapan y colaboradores en el año 2000, en una muestra de 378 instrumentos descartados, evidenció una frecuencia de fractura en 21% de los instrumentos que fueron utilizados en la práctica especializada en un periodo de seis meses (5). Por otra

parte Parashos y colaboradores en el 2004 examinaron 7159 de diferentes marcas comerciales, instrumentos que fueron utilizados y desechados por endodoncistas de 4 países; se clasificaron según el número de usos de la lima, la deformación de las estrías (desentorchado o estiramiento) y las fracturas por torsión o flexión, producidos durante el uso clínico, reportando deformación en el 17% de los instrumentos, un 12% por estiramiento de la lima y un 5% por fracturas evidenciando que en promedio los instrumentos fueron descartados después del tercer y cuarto uso(6).

Parashos y colaboradores en el año 2006, en una revisión sistemática, indicaron que la prevalencia de instrumentos manuales endodónticos fracturados retenidos (limas de acero inoxidable) es de aproximadamente 1.6%, con un rango de 0.7 a 7.4%. En contraste, la frecuencia de fractura clínica media de los instrumentos rotatorios de NiTi fue de aproximadamente 1.0% con un rango de 0.4 a 3.7%. Por lo tanto, la frecuencia de fractura de los instrumentos rotatorios de NiTi en realidad puede ser menor que la de las limas manuales de acero inoxidable(7).

Las razones para que se dé la fractura o separación de los instrumentos rotatorios de NiTi son complejas y multifactoriales. Se han llevado a cabo considerables investigaciones para comprender los mecanismos de falla de la aleación de NiTi para minimizar su ocurrencia, desde cambios en el diseño del instrumento, métodos de fabricación y protocolos de instrumentación(8). No obstante, es importante recalcar que existen otros factores asociados a la anatomía radicular del diente que se han relacionado con la tendencia a la fractura de los instrumentos rotatorios de Níquel-Titanio en endodoncia (4).

El objetivo de este trabajo apunta a comprender a partir de una revisión sistemática, los aspectos clínicos que contribuyen a las fracturas o separación de instrumentos endodónticos, reportados en la literatura y de esta manera minimizar la frecuencia de este evento adverso durante la práctica clínica endodóntica.

1.1 Planteamiento del Problema

La seguridad del paciente ha cobrado gran importancia durante los últimos años, en razón a que los daños causados durante la prestación de servicios asistenciales impactan en la calidad de vida de las personas y generan sobrecostos en los sistemas de salud. En el 2000 el Instituto de Medicina de los Estados Unidos reportó hasta 98.000 muertes por año a causa de errores que podían prevenirse (9).

De igual manera, en la odontología, los reportes de eventos adversos también son de interés debido al gran número de pacientes atendidos y la extensa duración de algunos tratamientos pueden conllevar y exponer un riesgo para la posible materialización de un evento adverso durante la atención (10)

Baker y colaboradores en el año 2004, en un estudio sobre la incidencia de eventos adversos realizado en Canadá reportaron una frecuencia de eventos adversos en áreas como la odontología hasta de un 3,6% (10). Por su parte otra de las investigaciones realizadas por Perea y colaboradores en el 2014, revisaron los eventos adversos odontológicos reportados por el Observatorio Español para la Seguridad del Paciente Odontológico entre 2000 y

2010, encontrando que 415 de los eventos atendidos, el 44,3 % correspondió a eventos adversos prevenibles (11).

En Colombia un estudio de casos realizado por Manrique en el año 2005 derivado de las demandas a odontólogos muestra cómo el evento adverso es la principal causa de demandas en los comités de responsabilidad ética en odontología (9).

La endodoncia es una de las áreas en odontología que presenta un gran porcentaje de problemas relacionados con la seguridad del paciente. Estudios como el de Givol en el año 2010 y Pinchi en el 2013, refieren que el área de endodoncia compone una causa frecuente de litigios y demandas a nivel mundial, en Chile los reclamos posicionan a esta especialidad con un primer lugar en las estadísticas (12).

La finalidad del tratamiento endodóntico se basa en obtener la reparación de los tejidos pulpares y perirradiculares afectados, algunos principios han permitido un aumento en la tasa de éxito, al realizar tratamientos bajo condiciones ideales como las referentes a un diagnóstico exacto, conocimiento de la anatomía del sistema de conductos, a la utilización de técnicas de limpieza avanzadas y a principios de conformación y obturación del sistema de conductos radiculares (13).

Sin embargo, la naturaleza del tratamiento endodóntico está basada en una serie de procedimientos secuenciales y la compleja configuración del sistema de conductos radiculares puede ocasionar complicaciones o errores de procedimiento que dificultan la resolución las patológicas pulpares (14).

Gallego y colaboradores en 2014, en un estudio de 411 historias clínicas, encontraron eventos adversos relacionados con endodoncia en 306 (74,4%) historias clínicas. Estos eventos fueron subclasificados en eventos adversos prevenibles y no prevenibles y de acuerdo con las diferentes fases del procedimiento endodóntico. El mayor número de estos correspondió a eventos adversos prevenibles presentados en 249 casos (81,3%). de los cuales en 90 casos (36.1%) ocurrieron durante los procedimientos de preparación biomecánica, identificando en 20 casos fractura de instrumentos (14).

Otro estudio realizado por Huertas y colaboradores en 2017 en la universidad Javeriana, cuyo objetivo era reportar todos los eventos por áreas de atención entre el año 2011 y 2012, en 227 reportes de eventos adversos, se evidenció que 23,8% de los eventos adversos estaban relacionados con pérdida de dientes tratados con endodoncia o con fractura de instrumentos durante el procedimiento (15). Por su parte, Trujillo y colaboradores en 2018, realizaron un estudio de la Universidad de Antioquia en la Facultad de Odontología especialidad de Endodoncia, en el cual el reporte de eventos adversos fue de 8,7% para procedimientos endodónticos (16).

Pabuena Betancour y colaboradores en el año 2017, realizaron un análisis de eventos adversos que ocurren en las clínicas odontológicas de la universidad de Cartagena Colombia, y encontraron que la especialización de endodoncia presenta una frecuencia de 5,7% siendo la segunda área clínica con mayor reporte de eventos adversos (17).

Un estudio realizado en la facultad de odontología de la Universidad Santo Tomas en el postgrado de endodoncia por Corredor en el año 2018 evidenció en la revisión de las historias clínicas que uno de los eventos adversos más frecuentes es la separación de instrumentos presentándose con mayor frecuencia en el primer molar superior derecho con un 16,7% (18).

Durante la preparación biomecánica del procedimiento endodóntico se puede presentar la fractura o separación del instrumento. Son múltiples los factores que la pueden causar por lo cual se han modificado tanto la composición, como el diseño de las limas. La aparición de la aleación de Ni Ti no ha demostrado una mejora en los rangos de fractura de las limas, incluso en manos experimentadas este problema puede ocurrir y comprometer el tratamiento (19).

El pronóstico del tratamiento endodóntico posterior a una fractura o separación de un instrumento dentro del sistema de conductos es un tema controvertido, Panitvisai y colaboradores en el año 2010 concluyen en su metaanálisis que dicho pronóstico no se ve afectado significativamente solo por presentarse la fractura de un instrumento. Sin embargo, reportan que se ha evidenciado un pronóstico más bajo si existe alguna patología de origen periapical al momento del tratamiento y si el instrumento fracturado no permitió un proceso de desinfección adecuado (20).

A su vez, Madarati y colaboradores en el año 2012 reportan la falta de evidencia científica de alto nivel relacionada con el manejo y pronóstico de los instrumentos endodónticos fracturados o separados dentro del sistema de conductos y agregan que no existe un consenso acerca del manejo de este tipo de evento adverso y que la evidencia existente no es suficiente para formular una guía de manejo única (19).

Con base en lo anterior, se plantea la siguiente pregunta PICO que conduce a una revisión sistemática del tema

¿Cuáles son las condiciones clínicas y técnicas que se deben considerar durante la preparación mecánica con instrumentos rotatorios de NiTi para evitar su fractura dentro del sistema de conductos radiculares reportadas en la literatura en el periodo comprendido entre 2015 y 2020?

1.2 Justificación

Durante la práctica clínica, los endodoncistas pueden encontrarse con una serie de obstáculos no deseados ya sean anatómicos o accidentes relacionados con la terapia endodóntica, uno de estos es la fractura o separación del instrumento dentro del conducto radicular, la cual frecuentemente se presenta como resultado de un uso incorrecto o excesivo y se reporta con mayor frecuencia a nivel del tercio apical (6). Aunque existe la percepción de que los instrumentos rotatorios de NiTi pueden separarse sin previo aviso,

Spili y colaboradores en el año 2005 consideraron como aspecto más relevante la habilidad o experiencia del clínico (21).

Este estudio podrá orientar al clínico a comprender la probabilidad de fractura de instrumentos y las razones de este desafortunado evento. La eliminación de limas fracturadas dentro del conducto es un procedimiento técnicamente difícil y conlleva un tiempo prolongado, por lo tanto, es de suma importancia minimizar la probabilidad de fractura.

Hülsmann M. y Schinkel I. en 1999, reportaron que en todos los casos debe intentarse eliminar el fragmento separado, dejar intencionalmente un fragmento dentro del conducto radicular solo se puede considerar cuando la extracción no quirúrgica no ha sido exitosa. La habilidad y experiencia del operador, la ubicación del segmento fracturado, así como los factores anatómicos (curvatura y diámetro del conducto radicular) pueden ser importantes al momento de eliminar el instrumento del conducto (22).

No existe un único procedimiento estandarizado para realizar la eliminación adecuada del instrumento fracturado, y tratar de extraerlo podría influir en forma negativa el éxito del tratamiento, es por ello por lo que el clínico debe reconocer los factores que pueden intervenir en la fractura de estos, minimizando la frecuencia de este evento adverso en la práctica clínica (21).

La seguridad clínica del paciente se ha convertido en motivo de investigación y concientización, debido al incremento de eventos adversos, reportados a partir del 2002, en países desarrollados y que se derivan de la práctica clínica en áreas como medicina, enfermería y odontología. Los resultados del análisis de este estudio servirán para la adopción de una cultura emergente de seguridad del paciente y cumplir con los propósitos internacionales de someter al paciente al menor riesgo posible (14).

El presente estudio será el punto de partida para desarrollar modelos o protocolos de atención en el posgrado de endodoncia que permitan minimizar los riesgos de fractura o separación de instrumentos endodónticos pues proporcionarán orden, lógica y sistematización al tratamiento endodóntico para así prevenir este evento adverso.

2. Marco teórico

2.1 Evento Adverso

Un evento adverso es considerado como cualquier incidente desfavorable, no deseado e imprevisto producido por el error u omisión por parte del clínico y no se encuentra relacionado con la patología previa, sino con la atención proporcionada (23).

2.1.1 Evento adverso prevenible. Resultado de una lesión o complicación, no deseado, no intencional, que se habría evitado mediante el cumplimiento de los estándares del cuidado asistencial disponibles en un momento determinado (24).

2.1.2 Evento adverso no prevenible. Resultado no deseado, no intencional, que se presenta a pesar del cumplimiento de los estándares del cuidado asistencial. No relacionado

con un error o fallo en el sistema y no siempre evitable en el estado actual del conocimiento científico (24).

2.2 Eventos adversos en Endodoncia

El profesional puede encontrarse durante el tratamiento endodóntico con circunstancias indeseables que pueden alterar el pronóstico del caso. Resulta esencial el conocimiento de las causas que comprenden los accidentes de la terapia endodóntica para prevenirlos, así mismo, es necesario aprender los métodos de reconocimiento de errores y accidentes, el tratamiento y sus efectos sobre el pronóstico del caso (24).

Canalda en el año 2006, destaca que apegándose a los principios básicos para realizar un diagnóstico preciso, llevando a cabo una planificación pertinente para cada caso, correcta preparación y conformación al momento de la apertura, limpieza e instrumentación adecuada siguiendo la anatomía y la obturación óptima, dará como resultado una baja incidencia de accidentes y/o errores y a su vez permitirá la conservación de la unidad dentaria, normalizando los tejidos de soporte y restableciendo la función perdida (25,26).

2.2.1 Accidentes durante el acceso cameral. La apertura coronal es el principal y más importante procedimiento que se realiza en un tratamiento de conductos y abarca desde el acceso a la cámara pulpar, conformación adecuada y localización de la entrada de los conductos radiculares; su objetivo principal es crear una vía de acceso libre al espacio pulpar y foramen apical del diente a tratar, facilitando así la preparación, conformación y obturación del sistema de conductos radiculares (12).

A pesar de las múltiples variaciones anatómicas presentes en las configuraciones de las cámaras pulpares, el sistema pulpar se encuentra generalmente en el eje longitudinal del diente. La desviación de ese trayecto y la falta de atención en el grado de inclinación axial de un diente, en relación con los dientes vecinos y al hueso alveolar, provoca la eliminación excesiva de estructura dental originando socavados o perforaciones a nivel coronal (27).

Los errores en esta etapa básicamente se deben a un conocimiento no adecuado de la morfología de las piezas dentales y a la utilización indebida del instrumental rotatorio. Es importante destacar que cualquier error durante esta etapa del tratamiento pueden hacer que el sistema de conductos radiculares sea inalcanzable y, a veces, inaccesible ya que el error que se cometa en esta fase se reflejará en las siguientes fases, con el consecuente fracaso del tratamiento endodóntico. Dentro de los eventos adversos durante el acceso cameral encontramos accesos insuficientes, accesos amplios, accesos inadecuados, perforaciones y fracturas coronales (26).

2.2.2 Accidentes durante la Preparación biomecánica. La preparación biomecánica (PBM) del conducto radicular es una de las etapas más importantes del tratamiento endodóntico; La Preparación biomecánica es un acto operatorio que consiste en procurar tener acceso directo y franco a las proximidades de la unión cemento-dentina-conducto, logrando una adecuada extirpación de la pulpa, liberación del conducto de restos pulpares o material necrótico, preparando a continuación el conducto dentario con el fin de atribuirle

una forma cónica para la completa desinfección y recibir el material obturador garantizándonos una obturación perfecta, eficiente y segura (28,29).

Durante la preparación de los conductos radiculares pueden aparecer una cadena de problemas, algunos imposibles de corregir y, aunque a veces se identifica el problema cuando ya se ha producido, es importante ser consciente de su posible aparición para evitarlo o detectarlo cuando se inicia. Avendaño M, en el año 2018 en su estudio denominado prevalencia de errores y accidentes durante la terapéutica endodóntica concluyó que en la etapa de preparación los errores prevalentes fueron la fractura de instrumentos en 5.21%, deformación Apical (Zipping) 3.49% y sobreinstrumentación con 2.85% (30).

Dentro de los eventos adversos que se pueden presentar durante esta etapa, encontramos la pérdida de longitud de trabajo, fractura o separación de instrumentos endodónticos, transportaciones del foramen apical o Zipping, perforación lateral de la pared o Stripping, sobreinstrumentación, sobrepreparación, broncoaspiración de un instrumento y el accidente por hipoclorito de sodio (29).

2.2.3. Accidentes durante la Obturación. De acuerdo con la asociación americana de endodoncia (AAE), una obturación adecuada se define y se caracteriza por el llenado tridimensional de todo el conducto radicular, lo más cercano posible de la unión cemento-dentinaria(31). La obturación del conducto radicular tiene como objetivo principal impedir el tránsito de fluidos desde los tejidos perirradiculares o la saliva desde la cavidad bucal al conducto radicular; así como a las bacterias y sus factores de virulencia y antígenos desde el conducto radicular hasta los tejidos periapicales (33).

Monteiro Bramante y colaboradores en el año 2009 mencionan que, “la obturación del conducto radicular es la etapa final de un tratamiento endodóntico y de ésta depende el éxito del tratamiento” (32) y es por esto que se debe evitar la ocurrencia de errores de procedimiento durante esta etapa para así impedir que los microorganismos supervivientes se multipliquen dentro del conducto radicular y recuperen el acceso a los tejidos periapicales, iniciando o manteniendo la inflamación perirradicular (33).

Los accidentes que pueden ocurrir dentro de esta etapa es la sobreobtención, sobreextensión, subobtención, subextensión, irritación de los tejidos por la extrusión de cemento sellador que ocasiona una respuesta inflamatoria inmediata de carácter agudo y fractura radicular generado por fuerzas excesivas en la condensación.

2.3 Estandarización de los instrumentos endodónticos.

Durante mucho tiempo los instrumentos para la preparación radicular fueron elaborados de acuerdo con el fabricante y sin especificaciones precisas en cuanto a su diámetro, conicidad, longitud total o longitud de sus bordes cortantes. Ingle y Levine en 1962, utilizando un microcomputador encontraron variaciones tanto en diámetro y conicidad y sugirieron un incremento definido en el diámetro relacionado al tamaño progresivo manteniendo una conicidad constante sin importar el tamaño (34).

En enero de 1976, el American Standards Institute aprobó la "especificación número 28 de la ADA para limas y ensanchadores endodónticos tipo K". La revisión final a la especificación de la ADA número 28, publicada en marzo de 1981, culminó 28 años de trabajo para lograr la estandarización internacional. Esto cambió el nombre del sitio original D1 (donde empiezan los filos cortantes) y actualmente se denomina D0, y 16 mm más adelante hacia el vástago se denomina ahora D16 (34).

Estas medidas aseguran un aumento constante en la conicidad de 0.02 mm por mm de cada instrumento en su parte activa sin importar el tamaño. Otras especificaciones fueron añadidas posteriormente: el ángulo de la punta del instrumento debe ser $75^\circ \pm 15^\circ$, los instrumentos deben aumentar en 0.05 mm en D1, entre los números 10 y 60 y luego deben incrementar en 0.1 mm del número 60 al 140. Los números preserie 6 y 8 han sido añadidos para una mayor versatilidad. El mango del instrumento ha sido codificado con colores para un reconocimiento más sencillo. Los instrumentos se fabrican en longitudes de 21, 25, 28 y 31 mm de largo desde la punta hasta la unión del mango y vástago (34).

2.4 Níquel-titanio

A principios de la década de 1960, W. F. Buehler, un metalúrgico que investigaba aleaciones no magnéticas, resistentes a la sal e impermeables para el programa espacial en el Laboratorio de artillería naval en Silver Springs, Maryland, EE. UU, descubrió una aleación de níquel-titanio. Se descubrió que las propiedades termodinámicas de esta aleación Inter metálica eran capaces de producir un efecto de memoria de forma cuando se realizaba un tratamiento térmico controlado específico por lo cual se denominó aleación inteligente (2).

La aleación de níquel titanio o también llamaba Nitinol, el cual es un acrónimo de los elementos de los que estaba compuesto el material; Ni por níquel, Ti por titanio y Nol del inglés "Naval Ordnance Laboratory" (Laboratorio de Artillería Naval). Presentaban una serie de propiedades interesantes, como memoria de forma, superelasticidad y características de amortiguación que surgen de los cambios cristalográficos reversibles (35).

Como la aleación tiene mayor resistencia y un módulo de elasticidad más bajo en comparación con el acero inoxidable, puede haber una ventaja en el uso de instrumentos NiTi durante la preparación de canales radiculares curvos, ya que las limas no se deformarán permanentemente tan fácilmente como sucedería con las aleaciones tradicionales (36).

2.4.1 Metalurgia de aleaciones de níquel-titanio. Las aleaciones de níquel-titanio utilizadas en el tratamiento del conducto radicular contienen aproximadamente 56% (peso) de níquel y 44% (peso) de titanio. En algunas aleaciones de NiTi un pequeño porcentaje (<2% en peso) de níquel puede ser sustituido por cobalto con el fin de mejorar su elasticidad. La combinación resultante es una relación atómica uno a uno (equiatómica) de los componentes principales y, al igual que con otros sistemas metálicos, la aleación puede existir en diversas formas cristalográficas (2).

El término genérico para estas aleaciones es 55- Nitinol; tienen una capacidad inherente para alterar su tipo de unión atómica que causa cambios únicos y significativos en las propiedades mecánicas y la disposición cristalográfica de la aleación. Estos cambios ocurren en función de la temperatura y el estrés. Las dos características únicas que son relevantes para la odontología clínica se producen como resultado de la transición de austenita a martensita en la aleación de NiTi; Estas características se denominan memoria de forma y superelasticidad (2,37).

2.4.2 Estructura de níquel-titanio. La estructura cristalina de la aleación de NiTi a rangos de alta temperatura (100 ° C) es una red cúbica estable centrada en el cuerpo que se conoce como fase austenítica o fase madre. El Nitinol tiene la característica particular de que cuando se enfría a través de un rango crítico de temperatura de transformación (TTR), la aleación muestra cambios dramáticos en su módulo de elasticidad (rigidez), límite elástico y resistividad eléctrica como resultado de cambios en la unión de electrones(2).

Al reducir o enfriar la temperatura a través de este rango, hay un cambio en la estructura cristalina que se conoce como la transformación martensítica; la cantidad de esta transformación es una función de la temperatura inicial (Ms) y final (Mf). El fenómeno provoca un cambio en las propiedades físicas de la aleación y da lugar a la característica de memoria de forma y superelasticidad (33).

La transformación inducida en la aleación se produce mediante un proceso de tipo de corte a una fase llamada fase martensítica o hija, que da lugar a la martensita maclada que forma la estructura de una red hexagonal muy compacta. Casi ningún cambio de forma macroscópica es detectable en la transformación, a menos que se aplique una fuerza externa. La forma de la martensita se puede deformar fácilmente a una sola orientación mediante un proceso conocido como desmembrado a martensita desdoblada, cuando hay un tipo de cizallamiento de "volteo". La aleación de Ni Ti es más dúctil en la fase martensítica que en la fase de austenita (38) .

2.4.3 Transformación martensítica inducida por el estrés. La transición de la fase austenítica a la martensítica también puede ocurrir como resultado de la aplicación de estrés, como ocurre durante la preparación del conducto radicular. En la mayoría de los metales, cuando una fuerza externa excede una cantidad dada, se induce un deslizamiento mecánico dentro de la red que causa una deformación permanente; sin embargo, con las aleaciones de NiTi se produce una transformación martensítica inducida por el estrés, en el lugar de deslizamiento (2) .

La súper elasticidad del níquel-titanio permite que las deformaciones de hasta un 8% sean completamente recuperables, en comparación con un máximo de menos del 1% con otras aleaciones, como el acero inoxidable. Aunque se ha descubierto que otras aleaciones como el cobre-zinc, cobre-aluminio, oro-cadmio y níquel-niobio tienen propiedades súper elásticas, el níquel-titanio es el material más biocompatible y tiene una excelente resistencia a la corrosión(2).

2.4.4 Fabricación de instrumentos NiTi para la preparación del conducto radicular.

La fabricación de instrumentos de endodoncia NiTi es más compleja que la de los instrumentos de acero inoxidable, ya la mayoría de las limas deben mecanizarse en lugar de torcerse. La súper elasticidad de la aleación significa que no puede mantener una espiral ya que la aleación no sufre deformación permanente. Los intentos de torcer instrumentos de manera convencional probablemente resulten en fracturas de instrumentos. El perfil del instrumento (diseño) debe rectificarse en los espacios en blanco de Nitinol. Otras dificultades durante la producción incluyen la eliminación de las irregularidades de la superficie (marcas de fresado) y el destello metálico (vuelco) en los bordes de corte que pueden comprometer la capacidad de corte de estos instrumentos y potencialmente causar problemas con la corrosión e incluso ser el punto de origen de la fractura (37).

Se han realizado intentos para mejorar la calidad de la superficie mediante un proceso conocido como electropulido de la superficie. El electropulido es un proceso electroquímico que reduce las irregularidades de la superficie, como las marcas de destello y fresado. Se cree que este proceso mejora las propiedades del material, específicamente la resistencia a la fatiga y la corrosión; sin embargo, la evidencia de ambas afirmaciones es mixta. Algunos autores encontraron una extensión de la vida de fatiga para los instrumentos electropulidos (39).

La composición de Nitinol utilizada para construir instrumentos de endodoncia es 56% (peso) de níquel y 44% (peso) de titanio. Aunque solo un fabricante (Dentsply, Maillefer Instruments SA, Ballaigues, Suiza) ha publicado la composición absoluta y los detalles de fabricación del níquel-titanio utilizado para construir sus instrumentos, parecería que esta es la única composición de aleación que puede utilizar las propiedades superelásticas de la aleación (2).

Es posible variar la composición de la aleación de NiTi para dar lugar a alambres con dos características diferentes; ya sea una aleación súper elástica o la propiedad de memoria de forma. Las diferencias dependen de su contenido de Ni y el rango de temperatura de transición para la aleación dada. Varios parámetros afectan la temperatura de transformación; se disminuye la temperatura de transformación aumentando el contenido de Ni o sustituyendo elementos traza como el cobalto, mientras que, al aumentar la temperatura de recocido, aumenta la temperatura de transformación. El alambre se enrolla para dar una forma cónica con una presión uniforme de una serie de rodillos aplicados al alambre. A esta etapa le sigue el dibujado del perfil real o la forma transversal del alambre determinado por el sistema, antes del proceso de limpieza y acondicionamiento. El alambre terminado se almacena en carretes antes del mecanizado (36).

2.4.5 Usos de aleación de níquel-titanio. La aleación de níquel titanio es utilizada en industrias médicas debido a su buena biocompatibilidad, osteointegración y resistencia a la corrosión y sus aplicaciones principalmente son stents vasculares auto expandible, ortopedia, ortodoncia y campo cardiovascular, neuroquirúrgico, endodoncia, etc. (2,40).

Como la superelasticidad es un evento isotérmico, las aplicaciones con un entorno de temperatura bien controlado son más exitosas, en el cuerpo humano. El alambre NiTi se ha utilizado en el tratamiento de ortodoncia, que están en fase austenítica a la temperatura de

la cavidad bucal, se han utilizado con éxito con soportes múltiples. La súper elasticidad se aprovecha para generar una fuerza constante, después de colocar el arco en los soportes, para movimientos dentales amplios (40).

Otro uso es en los localizadores de alambre de aguja Mammalok® (para localizar y marcar tumores de seno), alambres guía para catéteres, agujas de sutura y anclajes, fabricación de anteojos. Otros usos a nivel odontológico para la aleación de NiTi es para fundiciones para coronas y construcción de prótesis, fabricación de implantes y en cirugía oral (2).

2.5 Factores que influyen en la fractura de instrumentos níquel-titanio

2.5.1 Angulo de la curvatura. Se tiene bien establecido que entre más compleja sea la anatomía de los conductos radiculares existe más posibilidad y riesgo de producirse fractura del instrumento endodóntico (41). La curvatura del conducto radicular fue descrita por Schneider en 1971, quién tomó en consideración solamente su ángulo.

Pruett y colaboradores en 1997 describieron con mayor precisión la forma de cualquier curvatura del conducto radicular utilizando dos parámetros: ángulo de curvatura y radio de curvatura. Este autor definió el ángulo de curvatura como el ángulo formado por líneas perpendiculares dibujadas desde los puntos de desviación que se intersectan en el centro del círculo (42) y describió una técnica para la medición del ángulo y radio de curvatura de los conductos radiculares de la siguiente manera: se dibuja una línea recta sobre el eje longitudinal de la porción coronal del conducto. Una segunda línea se dibuja sobre el eje longitudinal de la porción apical del conducto. Hay un punto en cada una de estas líneas en el que el canal se desvía para comenzar o finalizar la curvatura del canal (43)

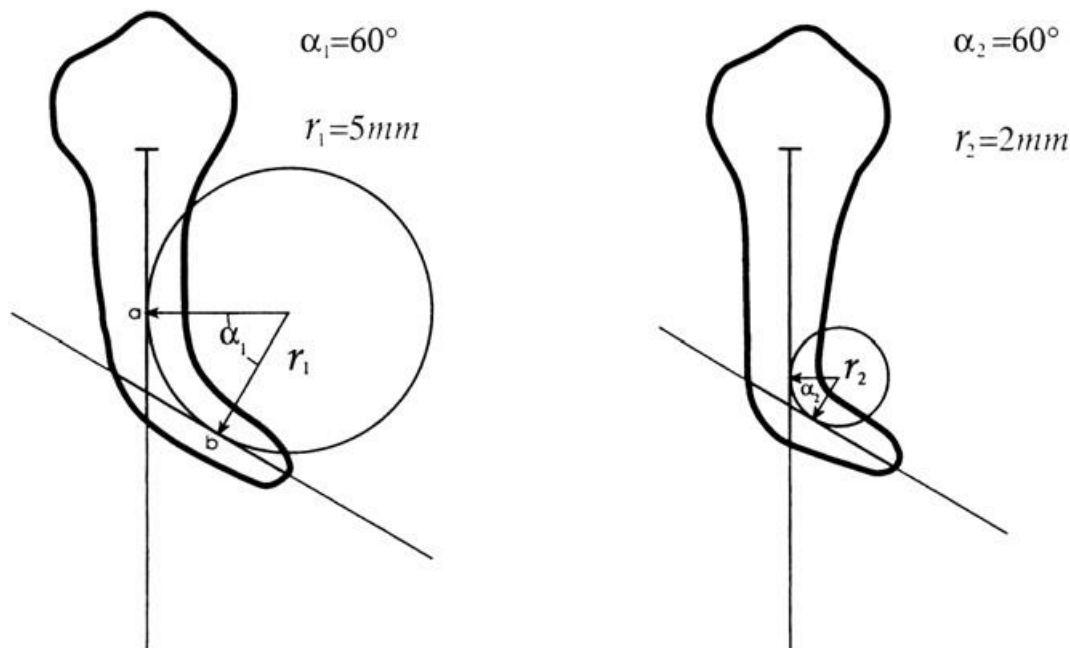


Figura 1. El método descrito por Pruet y colaboradores para describir la geometría del canal utilizando dos parámetros: radio de curvatura y ángulo de curvatura.

La figura 1 grafica la descripción planteada por Pruett y colaboradores en donde indican que en cada una de estas líneas se determinan los puntos de inflexión, que son los puntos donde las líneas se desvían de la trayectoria del conducto: inicio (punto a) y final de la curvatura (punto b) (42). La parte curva del conducto es representada por un círculo con las tangentes a los puntos a y b. El ángulo de curvatura (α_1) se define por el ángulo formado por las líneas perpendiculares procedentes de los puntos de desviación (a y b) que se cruzan en el centro del círculo. La longitud de estas líneas es el radio del círculo y define el radio de curvatura del conducto (44).

Los molares presentan una mayor prevalencia de separación de los instrumentos endodónticos, particularmente las raíces mesiales de los molares mandibulares, y se debe tener en consideración que el riesgo de separación es más alto en el tercio apical que en a nivel medio y coronal. Las limas endodónticas sufren mayor fatiga a medida que aumenta la curvatura y se tiene mayor contacto con las superficies de las paredes dentinales, generando que, su vida útil sea más corta (45).

2.5.2 Radio de la curvatura. Los parámetros del ángulo y el radio de curvatura son independientes de tal manera que incluso si dos canales tienen el mismo ángulo de curvatura pueden tener diferentes radios de curvatura y se ha reportado que la tasa de separación de las limas aumenta a medida que el radio de curvatura disminuye generando que sea el factor más significativo en la falla de una lima rotatoria (46).

Como se mencionó anteriormente el ángulo de curvatura se puede definir por el ángulo formado por líneas perpendiculares dibujadas desde los puntos de desviación que se cruzan en el centro del círculo. La longitud de estas líneas es el radio de curvatura (r_1) el cual se define como la longitud del radio del círculo medido en milímetros(42). Este parámetro representa cuán abruptamente ocurre un ángulo de curvatura específico cuando el canal se desvía de una línea recta. Cuanto más pequeño es el radio de curvatura, más abrupta es la desviación del canal (43).

Varios estudios han demostrado que, a mayor ángulo de curvatura, mayor es la incidencia de separación de los instrumentos rotatorios de NiTi. Si hablamos del radio de curvatura del conducto, a menor radio mayor es la incidencia de separación de los instrumentos (8)

2.5.3 Frecuencia de uso. La separación de instrumentos endodónticos es un problema clínico multifactorial complejo, por lo que no se puede esperar ni recomendar cuántos casos o incluso cuantos canales pueden ser preparados por una lima (8).

A la luz de las observaciones de que las limas rotatorias de NiTi pueden sufrir fracturas debido a la fatiga sin evidencia previa de deformación plástica, algunos especialistas han recomendado el uso único de estos instrumentos. La fatiga cíclica y los procedimientos de prueba de torsión que midieron el tiempo de rotación y el nivel de torque en la fractura han demostrado que los instrumentos rotatorios usados son significativamente más susceptibles a la fractura que los nuevos (41).

Sin embargo, los datos acumulativos de la literatura respaldan la creencia de que el uso múltiple (en lugar del uso único) de los instrumentos rotatorios de níquel titanio es clínicamente aceptable. Un estudio clínico realizado por Wolcott y colaboradores en el 2006, indicaron que las limas rotatorias ProTaper se pueden reutilizar de manera segura al menos cuatro veces (47) (49). No obstante, es más aceptable deshacerse de los instrumentos después de que se hayan utilizado para un número específico de casos clínicos, en lugar de esperar a que aparezcan deformaciones y distorsiones (46).

Lo ideal clínicamente para evitar la fractura de los instrumentos rotatorios y lo recomendado por lo fabricantes es un solo uso (un solo diente y / o un solo paciente), que aumentan el margen de seguridad de la fractura del instrumento porque reducen las tensiones torsionales repetitivas (48).

2.5.4 Torque. El torque es un parámetro importante que influye en la incidencia de la deformación y separación del instrumento. Se define como aquel que mide la fuerza de un instrumento para rotar sobre su propio eje. Es importante describir y diferenciar el torque de un instrumento y el del motor. El de un instrumento se define como la máxima fuerza de torsión que es capaz de resistir un material sin que sobrepase su límite elástico. El torque de un instrumento depende de su diámetro, del tipo de aleación y de la conicidad del instrumento. Por otro lado, el torque de un motor es la fuerza desencadenada por el motor al realizar cada giro, así pues, esta función en el motor endodóntico controla la fuerza con la que el instrumento debe girar (46).

El torque generado durante la instrumentación de canales pequeños es mayor que el de los canales grandes. Además, a medida que aumenta el diámetro de la lima, el torque o la fuerza necesaria para desenrollar o fracturar también aumenta (50). Con respecto a la curvatura del conducto radicular, las limas más pequeñas fallan con menos torque, al igual que las limas en canales curvos más agudos (51). Cuando se utiliza un torque elevado, el instrumento es muy activo y la incidencia de bloqueo del instrumento y la consiguiente deformación o falla estructural y separación tiende a aumentar (50).

Existen dos tipos de motores los de aire convencional y los eléctricos. Los motores de aire convencionales no permiten el control del torque, y una caída en la presión del aire podría afectar la velocidad de rotación y disminuir el torque. Por lo tanto, el operador tiende a forzar el instrumento dentro del canal lo que podría ocasionar stress sobre el instrumento y causar separación de este (41).

Los motores eléctricos se han desarrollado para controlar tanto la velocidad de rotación como el torque durante la instrumentación del conducto radicular, de modo que cuando el torque en un instrumento que gira a una velocidad constante alcanza un nivel predeterminado, el motor invierte automáticamente su dirección de rotación y permite que la lima se retire antes de bloquearse y fractura en el conducto radicular (41).

Se ha informado que los instrumentos utilizados con motores de bajo torque ($<1 \text{ N / cm}$) son más resistentes a la fractura que aquellos usado con motores de alto torque ($> 3 \text{ N / cm}$). Por tanto, los profesionales deben usar motores eléctricos ajustados a bajos niveles de torque durante la preparación del conducto radicular (50).

2.5.5 Experiencia del operador. El éxito de un tratamiento es dependiente de la experiencia clínica del operador y no hay duda de que tanto el entrenamiento como las habilidades adecuadas son imprescindibles para todos los procedimientos dentales y particularmente en endodoncia. La experiencia y habilidad del operador son muy necesarias para la seguridad en el uso de las nuevas técnicas presentes en el mercado y se han sugerido muchas pautas para la prevención y reducir al mínimo la incidencia en la fractura o separación de instrumentos endodónticos (46).

Es importante señalar que las razones de la separación de instrumentos rotatorios de NiTi son complejas y multifactoriales, y las pautas sugeridas para evitar accidentes durante el tratamiento están relacionados con el operador (50).

Los estudios han demostrado que las tasas más altas de fractura del instrumento rotatorio NiTi ocurren con operadores sin experiencia que con operadores experimentados. La capacitación preclínica para dominar la instrumentación y mejorar la competencia del operador a través del aprendizaje y la experiencia es crucial para evitar la separación de la lima rotatoria y reducir la incidencia de bloqueo y deformación del instrumento (52).

Parashos y colaboradores, examinaron un total de 7.159 instrumentos rotativos descartados de NiTi de ocho marcas diferentes para detectar la presencia de defectos después del uso en clínicas. Llegaron a la conclusión de que el factor más importante que influía en las tasas de defectos era el operador, que puede estar relacionado con la habilidad clínica o la decisión de usar instrumentos un número específico de veces o hasta que los defectos fueran evidentes (7).

Yared y colaboradores han evaluado la influencia del operador en la separación de instrumentos rotatorios de níquel titanio ProTaper y Profile. Los resultados de los cuatro estudios indican que la enseñanza de la técnica es crucial para prevenir la separación de los instrumentos y para reducir la incidencia de deformación de estos (52).

2.6 Revisión sistemática de la literatura

Las Revisiones Sistemáticas son un diseño de investigación observacional y retrospectivo, que sintetiza los resultados de múltiples investigaciones primarias. Son parte esencial de la medicina basada en la evidencia por su rigurosa metodología, identificando los estudios relevantes para responder preguntas específicas de la práctica clínica (53).

La revisión sistemática de la literatura es un diseño integrativo cuyo fin es localizar y sintetizar, de forma exhaustiva, la investigación que se ha hecho sobre una cuestión determinada (54). El clínico, para llevar a cabo una buena práctica clínica, debe estar basado en el análisis de la mejor evidencia disponible, la cual puede ser proporcionada por una revisión sistemática, sobre la base del análisis sistemático y metódico de un número adecuado de informes de investigación relevantes (53).

El adjetivo “sistemático” se refiere a que la revisión se prepara a partir de una pregunta claramente formulada y se conduce siguiendo una metodología explícita y reproducible

(idealmente, consignada en un protocolo) para la identificación, la selección y la evaluación de estudios pertinentes, así como para la síntesis de los datos obtenidos de estos (54). Esto debido a que más de dos millones de artículos son publicados anualmente, en más de 20.000 revistas médicas. Ante este volumen inmanejable de información, los médicos preferimos resúmenes no sesgados de investigaciones originales múltiples (53).

Dicha metodología permite minimizar los errores sistemáticos y aleatorios a los que las revisiones de la literatura son susceptibles y es por esto por lo que se utilizan estrategias que limitan estos sesgos y/o errores aleatorios. Estas se resumen en: búsqueda exhaustiva de todos los artículos relevantes, criterios reproducibles y explícitos de selección, valoración del diseño y características de los estudios y síntesis e interpretación de los resultados (55).

La aproximación sistemática y explícita es lo que distingue a la RSL (Revisión Sistemática de Literatura) de otras revisiones narrativas tradicionales por sobre un tema clínico publicado en la literatura biomédica. Las RSL presentan grandes ventajas sobre las revisiones narrativas en el momento de evaluar la evidencia que existe sobre un problema específico; principalmente, porque son menos susceptibles a sesgos e imprecisiones, gracias al protocolo con metodología explícita y rigurosa (54).

Las revisiones sistemáticas presentan un resumen del estado del conocimiento de un tema en específico, dentro de un marco de referencia explícito y siguiendo métodos reproducibles. Esto puede ser de gran utilidad para quienes desean usar dicha información para la toma de decisiones (55). Al combinar los resultados de diversos estudios, ofrecen mejor precisión a la hora de estimar el tamaño de un efecto y más posibilidades de generalizar los hallazgos que los estudios individuales; además establecen las variaciones de dicho efecto sobre diversas poblaciones y describen en peso que un estudio determinado tiene en el contexto global de la evidencia disponible sobre el tema (54).

Los mayores beneficios o fortalezas de las revisiones sistemáticas es identificar las preguntas clínicas que han sido suficientemente estudiadas y no requieren más investigación. Además, es un diseño de investigación eficiente. Permite incrementar el poder y la precisión de la estimación, así como la consistencia y generalización de los resultados; y hacer además una evaluación estricta de la información publicada (55).

Al combinar la información de diversos estudios primarios o individuales, permiten analizar la consistencia de los resultados. Buena parte de los estudios primarios suelen ser pequeños en términos de muestra, es decir, tienen un poder estadístico insuficiente. Integrando estudios que buscan dar respuesta a una misma pregunta se consigue aumentar el tamaño de la muestra y, por ende, se incrementa el poder estadístico (55).

No obstante, como cualquier otro diseño de investigación son susceptibles a sesgos. La inclusión de estudios con sesgos o errores aleatorios en una revisión sistemática puede conducir a que la revisión llegue a conclusiones erradas. Adicionalmente, una de las dificultades que se presentan con las revisiones sistemáticas es que los estudios primarios incluidos pueden no haber evaluado de forma homogénea los desenlaces. Esto se conoce como heterogeneidad, y es una de las razones por las cuales no siempre a una RSL le sigue un metanálisis (54).

2.7 Declaración STROBE

Con frecuencia, la comunicación de estudios observacionales: transversales, cohortes, casos y controles no es lo suficientemente clara y detallada para evaluar las fortalezas y las debilidades de la investigación. Para mejorarla, se desarrolló una lista de Declaración STROBE que consiste en una lista de verificación de 22 puntos que guardan relación con las diferentes secciones de un artículo: título, resumen, introducción, metodología, resultados y discusión. De ellos, 18 puntos son comunes a los tres diseños de estudio: cohorte, casos y controles, y transversales; los otros cuatro son específicos para cada una de estas tres modalidades, que recientemente se ha publicado en varias revistas científicas (56). (Apéndice B)

La declaración STROBE proporciona recomendaciones generales para estudios observacionales analíticos y descriptivos y aquellos que investigan asociaciones entre variables de exposición y resultados de salud. Se aplica a los tres tipos principales de estudios observacionales: de cohortes, de casos y controles, y transversales (57).

La Declaración STROBE fue desarrollada para ofrecer una guía sobre la forma adecuada de comunicar los estudios de investigación, estudios observacionales analíticos, para ayudar a los editores y los revisores que consideran la posible publicación de estos artículos, y para ayudar a los lectores que evalúan de forma crítica los artículos publicados. Los informes de los estudios observacionales a menudo poseen una calidad insuficiente (56).

Por este motivo en el presente trabajo se utilizará la Declaración STROBE, como una guía para evaluar la calidad de los artículos seleccionados y de esta manera generar una investigación de alta calidad y confiabilidad.

2.8 Declaración CONSORT 2010

Se encuentran disponibles diferentes diseños de estudios epidemiológicos, uno de los cuales es el ensayo de control aleatorio (ECA). Los ECA son el estándar de oro para evaluar y traducir eficientemente los datos de la investigación en la práctica clínica. De hecho, este tipo de estudio proporciona los fundamentos de la medicina basada en evidencia y es el diseño de investigación más confiable de todos los estudios epidemiológicos disponibles (58)

Los ensayos clínicos aleatorizados bien diseñados y correctamente ejecutados proporcionan la mejor evidencia sobre el efecto de las intervenciones sanitarias, pero una metodología inadecuada puede resultar en estimaciones sesgadas de este efecto, con los consecuentes problemas al sacar conclusiones y tomar decisiones clínicas (59). Por lo tanto, el informe de estas intervenciones invaluable requiere técnicas de informe de alta calidad, que permiten la transparencia mientras que consiente a los lectores evaluar críticamente los hallazgos del ensayo (59).

Para poder evaluar la metodología de un ECA a partir de su publicación, es preciso que se describan detalladamente, con exactitud y con transparencia, su diseño, ejecución, análisis y resultados. Sin embargo, la información facilitada en las publicaciones es muchas

veces insuficiente o inexacta. Estas carencias motivaron el desarrollo de la declaración CONSORT (acrónimo de CONSolidated Standards Of Reporting Trials) en 1996 y su posterior revisión en 2001 (59).

Aunque, tras la aparición de la declaración CONSORT, se constató que la calidad de la información había mejorado en algunas publicaciones de ECA, en muchas otras seguía siendo inadecuada. Además, desde la revisión de 2001 se ha acumulado nueva evidencia metodológica y experiencia, por lo que recientemente se ha llevado a cabo una nueva revisión, dando lugar a la declaración CONSORT 2010 (60).

La declaración CONSORT 2010 consta de una lista de comprobación de 25 ítems, que se enfoca en el informe del diseño, análisis e interpretación del ensayo, que se consideran críticos y que por tanto deberían incluirse en todo informe de un ensayo clínico, junto con un diagrama para ilustrar el flujo de individuos participantes a lo largo del ensayo (58).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

- Establecer evidencia en la literatura científica publicada entre 2015-2020, sobre condiciones clínicas y técnicas que contribuyen a la fractura de sistemas rotatorios durante la terapia endodóntica.

3.2 Objetivo específicos

- Determinar las características clínicas reportadas en la literatura que contribuyen a la fractura de sistemas rotatorios durante la terapia endodóntica.
- Identificar el factor más frecuente reportado en la literatura que influye en la separación de sistemas rotatorios en endodoncia.
- Identificar el sistema rotatorio que por sus características presenta mejor resistencia a la fractura según lo reportado en la literatura.
- Determinar el diente que por su anatomía tiene mayor riesgo de generar fractura de sistemas rotatorios en endodoncia.
- Establecer la calidad de los artículos encontrados en la literatura según la guía STROBE.

4. Materiales y métodos

4.1. Tipo de estudio.

Este trabajo de grado corresponde a un estudio observacional descriptivo de fuente secundaria, de corte transversal que buscará especificar un fenómeno y se pretende recoger información de manera independiente o conjunta de las variables a través de una revisión sistemática de la literatura.

4.2. Muestra

Se incluyó en la revisión, artículos científicos relacionados con los factores que contribuyen a fractura de limas de Níquel-Titanio en la terapia endodóntica publicadas en las diferentes bases de datos como Google scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, PubMed, y Science Direct en idioma inglés en un periodo de tiempo comprendido entre 2015 a 2020.

4.3 Criterios de selección.

4.3.1. Criterios de inclusión. Artículos científicos que evidencien información acerca de las condiciones clínicas y técnicas, que influyen en la separación de sistemas rotatorios en endodoncia.

Artículos identificados en las bases de datos como Google scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, PubMed, y Science Direct.

Artículos identificados en idioma inglés.

Artículos publicados en periodos de tiempo comprendido entre el 2015 y el 2020.

4.3.2. Criterios de exclusión. Artículos cuya publicación no pueda ser obtenida en texto completo para su análisis. Artículos que dentro de su contenido no se relacionen con los objetivos de la presente revisión. Artículos que no cumplan con los criterios de inclusión planteados anteriormente

4.4 Variables

Ver Apéndice A.

4.5 Recolección de la información

4.5.1 Estrategia de búsqueda. El trabajo se desarrolló inicialmente con la búsqueda de información basada en las palabras claves: root canal preparation, endodontics, fracture, file separation, glidepath, root curvature, cyclic fatigue, torsional fatigue, reuse, operator experience, rotary files.

Se realizó una búsqueda en las bases de datos Google scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, PubMed, y Science Direct, utilizando las siguientes ecuaciones de búsqueda:

1. “root canal preparation” AND endodontics AND “file separation”
2. “root canal preparation” AND endodontics AND “fracture” AND “file separation”
3. “root canal preparation” AND endodontics AND “glidepath”
4. “root canal preparation” AND endodontics AND “root curvature”
5. “root canal preparation” AND endodontics AND “cyclic fatigue”
6. “root canal preparation” AND endodontics AND “torsional fatigue”
7. “root canal preparation” AND endodontics AND “reuse”
8. “root canal preparation” AND endodontics AND “operator experience”

9. “root canal preparation” AND endodontics AND “rotary files”

4.5.2 Instrumento. En esta investigación se tuvo en cuenta un cuadro de operacionalización de variables el cual se realizó con el fin de convertir un concepto abstracto en uno empírico, susceptible de ser medido a través de la aplicación de un instrumento; este proceso es muy importante llevarlo a cabo durante el desarrollo de una investigación para de esta manera lograr tener la seguridad de no cometer errores que son frecuentes en un proceso investigativo, a la hora de llevar la recolección y análisis de los resultados. Las variables que se tomaron en cuenta fueron mencionadas anteriormente.

(Apéndice B)

4.6 Procedimientos

Se procedió a aplicar los términos de búsqueda a partir de los objetivos del estudio, en cada una de las bases de datos seleccionadas; a partir de éstas, se creó la estrategia de búsqueda y con ella se evidenció el listado de artículos; con este se procedió a seleccionar los artículos de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

4.6.1 Criterios para la evaluación de calidad de los estudios publicados. Se realizó la selección de los artículos, se verificó la calidad de cada una de las publicaciones obtenidas mediante la Guía STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology), para estudios observacionales de corte transversal, casos y controles y cohortes; la cual consta de 22 puntos (Apéndice B). Proceso que se realizó por dos evaluadores en forma independiente. En los casos en que exista discrepancia en la evaluación, un tercer miembro del equipo evaluador resolvió las diferencias.

4.6.2 Plan de análisis estadístico. Se construyó unas tablas de resumen para describir los datos registrados en los instrumentos y se realizó un análisis de estos, de acuerdo a la información considerada como relevante de calidad suficiente para ser incluida en el estudio (Tabla 1).

Tabla 1. *Tabla de instrumento que se utilizó para resumir los aspectos más importantes de cada artículo seleccionado.*

Datos generales del artículo	Introducción	Materiales y métodos	Resultado	Discusión y conclusiones
Título, autor, fecha de publicación, revista científica	Se incluirán los datos de interés, en relación con los objetivos y variables.	Se incluirán los datos de interés, en relación con los objetivos y variables.	Se incluirán los datos de interés, en relación con los objetivos y variables.	Se incluirán los datos de interés, en relación con los objetivos y variables.

4.7 Consideraciones Bioéticas.

En este estudio no se realizó una intervención sobre personas, solo se construyó un documento tomando información de artículos realizados y publicados previamente. Según

la Resolución N° 008430 DE 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, este estudio se clasificó como: “Investigación sin riesgo: Son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran: revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta”.

4.7.1. Ley sobre derechos de autor. Ley 23 del 28 de enero de 1982. “Artículo 1: Los autores de obras literarias, científicas y artísticas gozarán de protección para sus obras en la forma prescrita por la presente ley y, en cuanto fuere compatible con ella, por el derecho común. También protege esta ley a los intérpretes o ejecutantes, a los productores de fonogramas y a los organismos de radiodifusión, en sus derechos conexos a los del autor.

5. Resultados

5.1 Selección de artículos.

El proceso de selección se describe de la siguiente forma: Para la revisión sistemática, se emplearon las bases Google Scholar, Scopus, Springer Link, Web Of Science, Dentistry Oral, Scielo, Embase, Pubmed, Y Science Direct, en las cuales se realizó la exploración respectiva con las diferentes ecuaciones de búsqueda establecidas anteriormente.

Búsqueda inicial: La búsqueda inicial se realizó en base únicamente a los títulos, journal y año de publicación, teniendo en cuenta que el título concordara con los objetivos de la investigación en proceso. Emergieron 2363 artículos científicos de los cuales, 221 correspondieron a Pubmed, 902 A Dentistry Oral, 257 A Google Scholar, 266 A Scopus, 15 A Embase, 23 A Scielo, 66 Science Direct, 530 A Springer Link Y 83 A Web Of Science.

Primera selección: Posteriormente y acorde con la lectura de título y resumen se realizó un segundo filtro, en el cual se excluyeron 2116 artículos debido a que no tenían relación con los objetivos del estudio, quedando como resultado una muestra de 247 artículos. Consecutivamente, se excluyeron 86 artículos por duplicado entre bases de datos. Quedando un total de 161 artículos en texto completo evaluados para su elegibilidad.

Segunda selección: Una vez leídos los artículos, en consenso con los tres evaluadores, se eliminaron aquellos artículos donde la metodología no era clara, sin relación con los objetivos, no cumplían con los criterios de inclusión, los resultados no eran significativos e involucraba otros temas fuera de los objetivos evaluados. Quedando un total de 89 artículos incluidos en la revisión sistemática (Fig. 2).

Los artículos seleccionados y obtenidos en texto completo fueron leídos en texto completo por cada uno de los evaluadores, para responder a los objetivos generales y específicos planteados (Apéndice C).

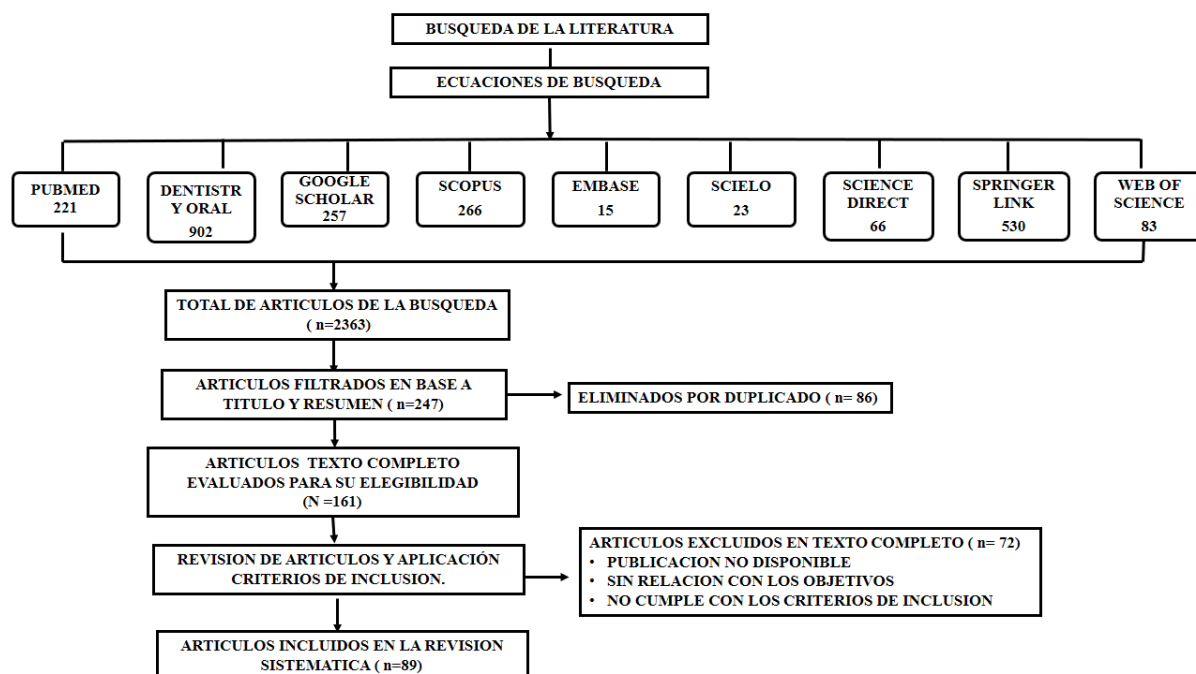


Figura 2. Flujograma que especifica la selección de artículos para realizar la revisión sistemática.

Se evidenció que los años 2018 y 2017 presentaron mayor número de publicaciones con 20 (22,0%) y 19 (21,0%) publicaciones (fig3). Por su parte las bases de datos que concentran el mayor número de artículos fueron PubMed y Dentistry Oral, con un total de 28 (31,5%) artículos cada una. (fig. 4)



Figura 3. Distribución de los artículos incluidos en el estudio por año

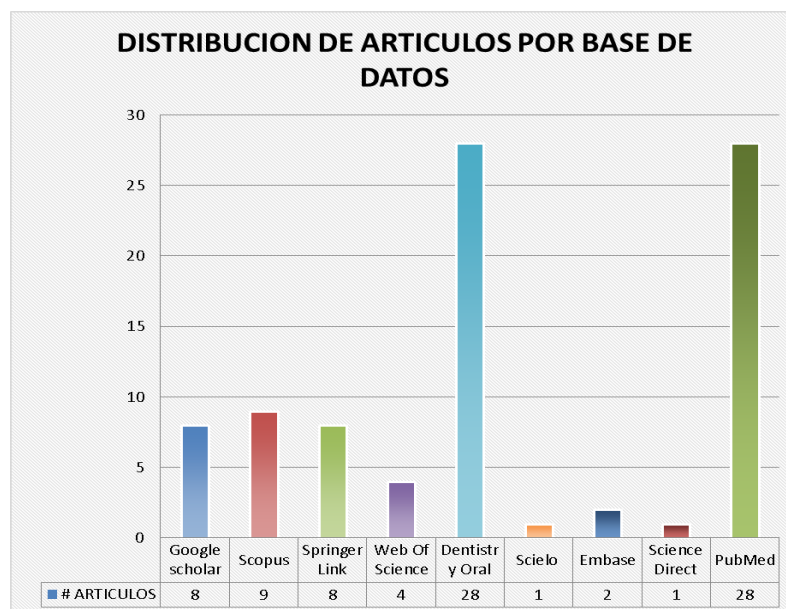


Figura 4. Distribución de los artículos incluidos en el estudio por base de datos

5.2 Análisis de los hallazgos encontrados en la revisión de la literatura.

Se determinaron como condiciones clínicas reportadas por la literatura que contribuyen a la fractura de instrumentos durante la terapia endodóntica, fatiga cíclica y torsional de los instrumentos, ángulo y radio de curvatura del diente a tratar, experiencia del operador, el reúso de instrumentos, la temperatura y las diferentes propiedades individuales de los sistemas rotatorios (Tabla 3). Se identificó como condición clínica más frecuente que influye en la separación de sistemas rotatorios de níquel titanio la fatiga cíclica. (Tabla 4). Los sistemas rotatorios identificados en la literatura por sus características con mejor resistencia a la fractura, son: Reciproc, Hyflex EDM, R- Pilot, Reciproc Blue, Wave One Gold, Protaper Next, Hyflex CM y Wave One (Fig. 5).

Por otra parte, se estableció a través de la revisión de la literatura que los dientes que por su anatomía tienen mayor riesgo de generar fractura con el uso de los sistemas rotatorios en endodoncia son los molares inferiores, molares y premolares superiores. Además, se establece que la resistencia a la fatiga cíclica de las limas rotatorias níquel-titanio está influenciada por condiciones anatómicas variables como lo es, el radio y el ángulo de curvatura radicular(61,62).

El análisis de las publicaciones de estudios observacionales realizado a partir de la guía STROBE pone de manifiesto que los 89 artículos analizados cumplen con un promedio de 16 de los 22 puntos de la lista de verificación. Sin embargo se observó mayor cumplimiento en la base de datos Embase y Science Direct con un promedio de 18, seguido por Scielo y Pubmed con 17 puntos (Fig 6).

Tabla 2. *Características clínicas reportadas en la literatura que contribuyen a la fractura de los sistemas rotatorios.*

Variable	Descripción
Fatiga cíclica	La fractura que se debe a la fatiga a través de la flexión ocurre debido al stress del metal. Cuando un instrumento se mantiene en una posición estática y continúa girando, la mitad del eje del instrumento en el exterior de la curva está en tensión, mientras que la mitad del eje en el interior de la curva está en compresión. Este ciclo repetido de tensión/compresión, que se debe a la rotación dentro de los canales curvos, causa fatiga cíclica del instrumento con el tiempo y puede ser un factor importante en la separación del instrumento (63,64).
Fatiga torsional	La fractura causada por torsión ocurre cuando una parte del metal se fija en su posición, mientras que el resto del instrumento continúa rotando, generando una deformación plástica causada por una fuerza que excede el límite elástico del metal. Esto ocurre si una pieza de mano continúa girando mientras la punta del instrumento está sujeta por la pared del canal durante la instrumentación, especialmente en un canal estrecho o curvo (64,65).
Angulo y radio de curvatura	Uno de los factores más importantes en la fractura de los instrumentos endodónticos rotatorios es la anatomía del sistema de conductos radiculares. La mayoría de los dientes presentan conductos curvos, pero en ocasiones se pueden presentar variaciones anatómicas como las curvaturas dobles que representan un factor potencialmente peligroso para que se genere la fractura de los instrumentos rotatorios. Al aumentar el ángulo de curvatura mayor es la probabilidad de que se presenta la separación del instrumento. El radio de curvatura representa cuán abrupto o severo se presenta el ángulo de curvatura cuando el canal se desvía de una línea recta (66-68)
Experiencia del operador	El factor relacionado con los operadores, como la experiencia, se ha clasificado curiosamente como uno de los más importantes en la separación de limas endodónticas rotatorias. La enseñanza de las técnicas de forma correcta es crucial para prevenir la separación de los instrumentos rotatorios, incluso un entrenamiento corto antes de la preparación con sistemas rotatorios proporciona un nivel aceptable de preparación del canal para estudiantes preclínicos (69,70).
Reúso	Los fabricantes recomiendan protocolos de un solo uso (un solo diente y / o un solo paciente), que aumentan el margen de seguridad de la fractura del instrumento porque reducen las tensiones torsionales repetitivas. Sin embargo, "un solo uso" significa que el mismo instrumento se puede utilizar para instrumentar tres o cuatro conductos, cada uno de los cuales puede tener anatomías complejas. Por lo tanto, el uso único reduce, pero no elimina por completo el riesgo acumulativo de daño por fatiga y posteriormente la separación del instrumento (65,71)

Tabla 2. *Continuacion*

Sistema Rotatorio	Aleación: El tratamiento termo mecánico de las aleaciones de NiTi influye fuertemente en su comportamiento de transformación. Por lo general, la transformación austenita a martensita de 1 etapa ocurre en aleaciones de NiTi ricas en níquel, y la transformación austenita- Fase R- martensita de 2 etapas ocurre después tratamiento térmico adicional, que crea precipitados de Ti_3Ni_4 finamente dispersos en la matriz austenítica, que favorece la formación de Fase R, pero la aleación requiere enfriamiento adicional para que ocurra la transformación de martensita. Las limas producidas con nuevas aleaciones metálicas mejoran las propiedades del material que aumentan su resistencia a la fatiga y flexibilidad en comparación con las limas superelásticas de níquel-titanio. Sección transversal: La geometría del instrumento complica su resistencia a la fractura cíclica estática o dinámica. Las configuraciones con geometrías complejas pueden conducir a situaciones críticas durante el uso. Instrumentos con diseños transversales simples construidos a partir de aleaciones actuales de NiTi, con una conicidad estable y sin grandes variaciones a lo largo de la longitud de trabajo, ofrecen una mayor seguridad en el uso de instrumentos endodónticos en situaciones críticas. Movimiento: El movimiento de las limas de NiTi es uno de los factores más importantes que influyen en la resistencia a la fatiga cíclica de las limas. Como la progresión angular de las limas que realizan movimiento recíproco es menor que la de las limas que realizan un movimiento de rotación continuo, la lima está expuesta a menos estrés dentro del conducto y, por lo tanto, aumenta su vida de fatiga cíclica (72-76).
Temperatura	La temperatura afecta significativamente la vida útil de las limas NiTi a la fatiga. Cuando aumenta la temperatura ambiente, la resistencia a la fatiga de las limas disminuye. La temperatura determinada clínicamente dentro del conducto radicular (35 °C) puede tener un impacto perjudicial en el rendimiento clínico de las limas NiTi (77,78)

Tabla 3. *Factor más frecuente reportado en la revisión de la literatura que influye en la separación de sistemas rotatorios en endodoncia.*

Variable	Descripción
Fatiga Cíclica	La fatiga cíclica por flexión tiene una incidencia clínica impredecible; ocurre repentinamente después de la rotación libre de un cierto número de ciclos en un conducto radicular curvo, mientras la lima se comprime (tensión de compresión) en la superficie de la curva interior y se alarga (tensión de tracción) en la curva exterior. Esta flexión y deflexión de la lima puede causar en la superficie formación de grietas en estas regiones de concentración de esfuerzos de tracción, lo que resulta en fractura (67,79).

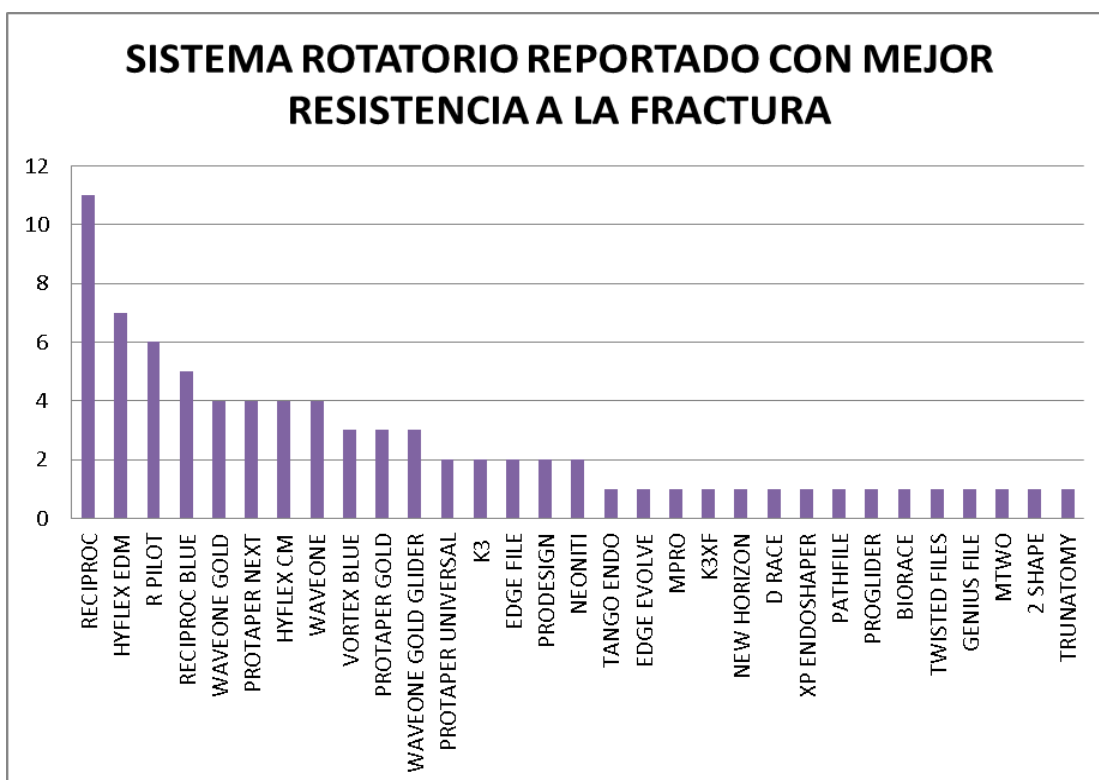


Figura 5. Distribución por número de artículos de los sistemas rotatorios que presenta mejor resistencia a la fractura según lo reportado en la literatura.

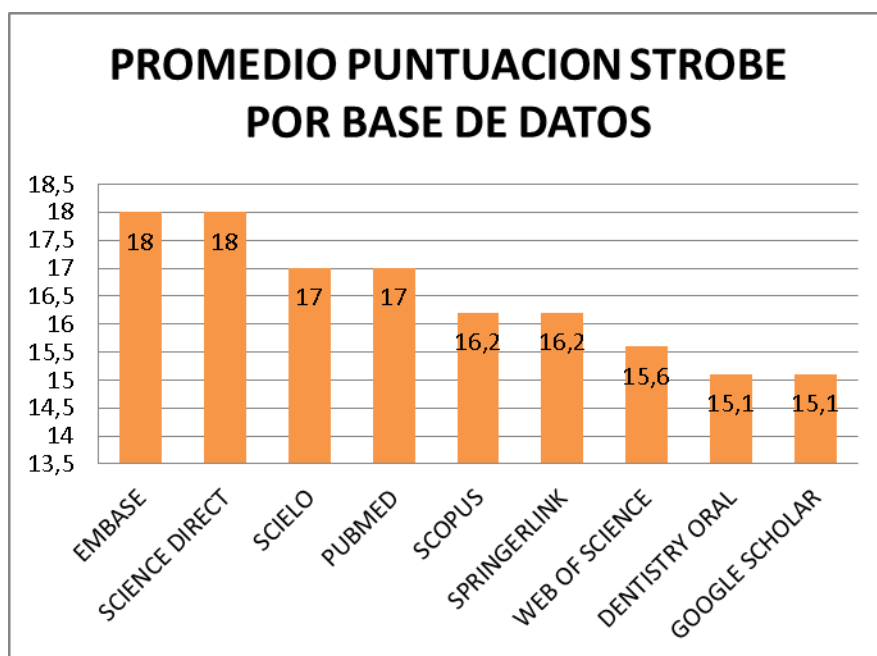


Figura 6. Promedio del cumplimiento de los items de la guía STROBE por base de datos

6. Discusión

Para que los tratamientos de endodoncia sean exitosos, es esencial mantener la configuración original del sistema de conductos radiculares sin causar ningún evento iatrogénico (63). Los instrumentos rotatorios de níquel-titanio (NiTi) representan una evolución en la estandarización de la instrumentación del conducto radicular, y la preparación bien centrada con estos instrumentos en conductos curvos no solo es más fácil y rápida, sino que es más probable que conduzca a una mejor tasa de éxito que la preparación con instrumentos manuales (63,73). Sin embargo, existe el riesgo de que se genere una complicación impredecible, desafiante y en ocasiones con resultados infructuosos como es la fractura del instrumento (80).

En este proceso investigativo desarrollado se evidenciaron condiciones clínicas que contribuyen a la fractura de los instrumentos endodónticos de níquel-titanio, determinando que la causa más frecuentemente reportada en la literatura es la fatiga cíclica. Por otro lado, la fatiga torsional, la temperatura, el reúso de los instrumentos, situaciones anatómicas como el ángulo y radio de curvatura y factores relacionados con operador como la experiencia, favorecen la separación de los instrumentos rotatorios (81).

La fractura que se debe a la fatiga cíclica o flexural ocurre debido al stress del metal.(64). Esencialmente consiste en que el instrumento no se atasca en el canal, pero gira libremente en una curvatura, generando ciclos de tensión/compresión en el punto de máxima flexión hasta que se produce la fractura. La resistencia de los instrumentos rotatorios a la fatiga cíclica por tanto se puede ver afectada por diferentes situaciones como lo son el ángulo y el radio de la curvatura del canal, así como, al tamaño y la conicidad del instrumento (63).

La falla por fatiga generalmente ocurre debido a la formación de microgrietas en la superficie de la lima. Durante cada ciclo de carga se desarrollan microfisuras que se adentran más en el material hasta la completa separación de la lima (82). Elnaghy y colaboradores en el año 2016 observaron en las microfotografías de microscopio electrónico de barrido que la superficie de la fractura por fatiga se caracterizó por numerosos hoyuelos, estrías lineales y áreas de inicio de fisuras con ausencia de deformación plástica. La presencia de "estrías por fatiga", a menudo ocurre en el punto de máxima curvatura (79).

La flexibilidad de los instrumentos rotatorios de NiTi es una propiedad importante porque anticipa el rendimiento y el comportamiento mecánico de los instrumentos de endodoncia al preparar conductos curvos (83). Las propiedades de flexibilidad y resistencia de los instrumentos también pueden verse favorecidas por la aleación con la que está fabricado, de igual forma, el tratamiento termomecánico ofrece importantes beneficios en cuanto a eficacia y seguridad de los instrumentos (84).

En cuanto al uso del movimiento reciprocante, Al- Obaida y colaboradores 2019 refieren que este tipo de movimiento extiende la vida útil de un instrumento de NiTi en comparación con la rotación continua, aumentando así su resistencia a la fatiga (85). Sin

embargo, dicha propiedad se ve afectada cuando aumenta el ángulo de curvatura, disminuye el radio de curvatura del diente a tratar, con el uso prolongado del instrumento y cuando la velocidad de rotación y el diámetro del instrumento aumentan (86).

La fractura causada por torsión ocurre cuando una parte del metal se fija en su posición, mientras que el resto del instrumento continúa rotando (64). La fractura por torsión puede ocurrir como resultado de una deformación plástica causada por una fuerza que excede el límite elástico del metal. Esto ocurre si una pieza de mano continúa girando mientras la punta del instrumento está sujeta por la pared del canal durante la instrumentación, especialmente en un canal estrecho o curvo. Otros factores que influyen en la resistencia a la fractura por torsión de las limas de NiTi son su diseño de sección transversal, la composición química de la aleación y el proceso termomecánico aplicado durante la fabricación (87).

La mayoría de los dientes tienen conductos curvos, no solo en 1, sino en múltiples orientaciones en relación con el sistema de conductos radiculares y en diferentes planos, es decir, la curvatura del conducto radicular es tridimensional y, por tanto, no se puede predecir examinando radiografías en una vista orto-radial. Con mayor frecuencia en la vista proximal se observan las curvaturas secundarias en comparación con la vista orto-radial (65). Özyürek T y colaboradores 2017, mencionan que las variaciones anatómicas como las curvas dobles en el conducto radicular, son factores importantes que afectan potencialmente la resistencia a la fatiga cíclica de las limas NiTi rotatorias siendo estadísticamente menor el número de ciclos de fractura en los conductos de doble curvatura en comparación con los conductos de una sola curva (64,66)

Por lo tanto, la morfología del sistema de conductos radiculares resulta ser problemática, estresante y desafiante. Se precisa además que la curva a nivel apical es la más vulnerable a desviaciones en la anatomía, pérdida de longitud de trabajo y potencial de separación de la lima (65). Topçuoğlu y colaboradores 2017 denotan que la explicación de esto se debe a que la curvatura apical puede tener radio menor, es decir, una curvatura más abrupta en comparación con las coronales que presenta un radio curvatura mayor (66,87). En concordancia, El Feky HM y colaboradores 2019 exponen que cuanto menor es el radio de curvatura, más abrupta es la desviación del canal y la tensión en el instrumento esta inversamente relacionado con el radio de curvatura del canal (85).

El factor relacionado con los operadores, como la experiencia, se ha clasificado curiosamente como uno de los más importantes en la separación de limas endodónticas rotatorias. Moawad Emad & colaboradores 2017 afirman que la experiencia del profesional en definitiva influye en la obtención de mejores resultados técnicos y en un mayor grado de eficiencia en el tiempo. En opinión de los autores, es fundamental que los operadores novatos utilicen un sistema de limas con una menor incidencia de causar errores de procedimiento, porque eso afectará positivamente su percepción, su experiencia de aprendizaje preclínico y su confianza. Su habilidad clínica se optimizará y, en última instancia, esto ayudará a mejorar los resultados de los tratamientos (88).

Celik y colaboradores 2019, concluyen que el uso de instrumentos rotatorios NiTi debe incluirse en el plan de estudios de odontología de pregrado, contribuyendo a un aumento en

la calidad de la conformación del canal y, en consecuencia, la mejora de la experiencia clínica de los estudiantes (68). Con relación a lo anteriormente expuesto, Madaratti y colaboradores 2019 expresan que quienes reporten más años de experiencia clínica y mayor número de tratamientos por semana, como los endodoncistas, serán quienes generen un mayor número de instrumentos fracturados, considerando la complejidad del caso (retratamientos/ anatomías complejas). Sin embargo, el impacto de la aplicación de procesos preventivos que minimicen la ocurrencia de la fractura no debe subestimarse (67)

En cuanto al reuso de los instrumentos NiTi, los fabricantes recomiendan protocolos de un solo uso (un solo diente y / o un solo paciente), que aumentan el margen de seguridad de la fractura del instrumento porque reducen las tensiones torsionales repetitivas. Ha J y colaboradores 2015, refieren que los sistemas reciprocantes deben ser utilizadas durante un tiempo restringido y para un solo uso, esto debido a que se puede exceder el límite elástico en condiciones de contacto entre la lima y el conducto radicular provocando la fractura del instrumento, además puede generar una deformación permanente que distorsiona el ángulo helicoidal y resultar en una reducción de la eficiencia clínica para la conformación del sistema de conductos radiculares y la remoción de desechos dentinales (65,71)

Pirani y colaboradores 2016, estudiaron la morfología superficial y las características de la microestructura de los prototipos de Hyflex EDM comparando instrumentos nuevos y usados en conductos severamente curvos. Se concluyó que después de 10 usos las limas Hyflex EDM, no se registraron fracturas durante la instrumentación del conducto radicular, no se observaron alteraciones superficiales evidentes (88).

El estudio de Caballero-Flores y colaboradores 2019, evaluaron la incidencia de fracturas de instrumentos de sistemas reciprocantes de una sola lima utilizados por estudiantes en un programa de posgrado en endodoncia. Sus resultados demostraron una incidencia de fracturas del 0,92% en relación con el número de conductos radiculares. Se reutilizaron limas esterilizadas, ante la ausencia de alteraciones, para un máximo de seis conductos radiculares. De esta manera, se informa que la reutilización de limas recíprocas ha tenido resultados razonables, ya que es una práctica común adoptada en muchos países del mundo por razones económicas (90).

Con respecto a los sistemas rotatorios, se indica que el tratamiento termomecánico de las aleaciones de NiTi influye fuertemente en su comportamiento de transformación. En aleaciones de NiTi casi equiatómicas, la transformación martensítica puede ocurrir como una transformación de una sola etapa. (Austenita [A] -martensita [M]) o una transformación de 2 etapas (A-R-M), dependiendo del tratamiento termomecánico (R significa Fase R) (61,66).

Por lo general, la transformación A-a-M de 1 etapa ocurre en aleaciones de NiTi ricas en níquel, y la transformación A-R-M de 2 etapas ocurre después tratamiento térmico adicional, que crea precipitados de Ti₃Ni₄ finamente dispersos en la matriz austenítica. Aunque las partículas de Ti₃Ni₄ resisten fuertemente la formación de transformación de martensita, que se asocia con gran deformación de la malla, son mucho menos resistentes a la formación de Fase R, que está asociada con una deformación de malla significativamente menor. La presencia de partículas de Ti₃Ni₄ favorece la formación de Fase R, pero la

aleación requiere enfriamiento adicional para que ocurra la transformación de martensita (61,66,73).

La superelasticidad o pseudoelasticidad se asocia con la aparición de la transformación de fase de la aleación de NiTi sobre la aplicación de estrés por encima de un nivel crítico, que tiene lugar cuando la temperatura ambiente está por encima de la llamada temperatura A_f del material. Por lo tanto, la temperatura de trabajo para las limas NiTi superelásticas deben estar por encima de A_f para permitir la pseudoelasticidad. (61)

Se informa que cuanto más martensítica es una aleación de NiTi, más flexible y, por lo tanto, más resistente a la fatiga se vuelve un instrumento. De hecho, los instrumentos con M-Wire pueden resultar más flexibles y resistentes a la fatiga que los instrumentos fabricados con alambre NiTi convencional, probablemente debido al procesamiento térmico en la creación de la aleación que produce una mejor disposición de la estructura cristalina y cambios en el porcentaje relativo de fases presentes en la aleación (89). Las limas producidas con nuevas aleaciones metálicas (es decir, tecnología de oro o azul) mejoran las propiedades del material que aumentan su resistencia a la fatiga y flexibilidad en comparación con las limas superelásticas de níquel-titanio (90).

La geometría del instrumento complica su resistencia a la fractura cíclica estática o dinámica. Las configuraciones con geometrías complejas pueden conducir a situaciones críticas durante el uso. Instrumentos con diseños transversales simples construidos a partir de aleaciones actuales de NiTi, con una conicidad estable y sin grandes variaciones a lo largo de la longitud de trabajo, ofrecen una mayor seguridad en el uso de instrumentos endodónticos en situaciones críticas (75).

Pedulla y colaboradores 2019 comparativamente con Silva y colaboradores 2016, denotan que el área de sección transversal más grande tendría una mayor rigidez a la flexión y a la torsión y, por lo tanto, el diseño de la lima tendría una influencia significativa en la resistencia a la fatiga. Por ejemplo, los instrumentos de NiTi que tienen una geometría de sección transversal triangular proporcionan una mejor resistencia a la fatiga cíclica que una sección transversal cuadrada (91,92).

Concerniente a el movimiento de las limas de NiTi, se considera como uno de los factores más importantes que influyen en la resistencia a la fatiga cíclica de las limas. Como la progresión angular de las limas que realizan movimiento recíproco es menor que la de las limas que realizan un movimiento de rotación continuo, la lima está expuesta a menos estrés dentro del conducto y, por lo tanto, aumenta su vida de fatiga cíclica (76).

La rotación recíproca real tiene como objetivo minimizar el riesgo de fractura del instrumento causado por la tensión de torsión, ya que el ángulo de rotación en la dirección de corte está diseñado para ser menor que el límite elástico del instrumento (93). Con este tipo de movimiento, el instrumento engancha la dentina en su punta durante su movimiento en sentido antihorario, y el movimiento en sentido horario desengancha el instrumento inmediatamente después, reduciendo la tensión de torsión (75). Además, ayuda al instrumento avanzar hacia el extremo del conducto, luego de un avance de fuerza equilibrada mecánica, al tiempo que reduce el riesgo de bloqueo de la punta del

instrumento(94). El movimiento alternativo se desarrolló para superar la influencia de la curvatura en los conductos radiculares (75).

En un estudio realizado por Olcay & colaboradores 2019, donde evaluaron las resistencias a la fatiga cíclica de los instrumentos Wave One Gold (WOG), ProTaper Next (PTN), 2Shape (TS). Encontraron que la resistencia a la fatiga cíclica de las limas WOG fue estadísticamente más alta que la de las otras limas NiTi probadas. Esto podría explicarse por el movimiento recíproco de la limas WOG, mientras que las limas TS y PTN se utilizaron con una rotación continua (95). Análogamente en una investigación realizada por Elsaka y colaboradores 2015, evidenciaron la mayor resistencia a la fatiga cíclica de WaveOne (WO) por su movimiento alternativo en comparación con la rotación continua de OneShape (OS) en canales simulados con ángulos de curvatura de 45 °, 60 ° y 90 °. WO operó durante un mayor número de ciclos antes de la falla, ya que estaba sujeto a tensiones de tracción y compresión más bajas (96).

Se ha demostrado que la temperatura intracanal in vivo oscila entre 31° C y 35° C; además, los datos in vitro sugieren que las soluciones de irrigación intracanal estarán a la temperatura corporal entre 30 y 60 segundos después de la deposición del irrigante (89). Se podría especular que el área de la sección transversal y la masa de metal de los instrumentos pueden tener un impacto en el comportamiento de la lima debido a que a mayor masa, un mayor número de moléculas pueden cambiar de la fase de austenita a la de martensita debido a la temperatura (77,78,97,98)

El sistema rotatorio que por sus características presenta mejor resistencia a la fractura según lo reportado en la literatura es Reciproc. Reciproc (VDW, Múnich, Alemania) con una aleación de M-Wire y una sección transversal en forma de “S” y dos puntos de corte en las paredes dentinarias. Plotino y colaboradores en 2015 reportaron un porcentaje de fractura <0,5% para los instrumentos Reciproc NiTi que indica optima resistencia a la fatiga cíclica asociada con el movimiento, su sección transversal y la aleación (93). Así mismo, Silva y colaboradores en 2018 evaluaron la influencia del tratamiento térmico Blue en la resistencia a la torsión de las limas Reciproc M-Wire, hallaron que el comportamiento de Reciproc Blue fue menor. Por tanto, Reciproc M-Wire podría indicarse en canales atrésicos que pueden inducir mayores tensiones de carga torsional (61,99-101).

En contraste, Topçuoğlu & colaboradores en 2017 reportaron que los instrumentos Reciproc Blue mostraron una resistencia a la fatiga cíclica significativamente mayor que las limas Reciproc en las curvas apical y coronal en un canal artificial en forma de “S” que se puede asociar con la memoria de forma reducida de Reciproc Blue (68,102).

Así mismo, los resultados del estudio de Topcuoglu y colaboradores en 2017, muestran que la lima Wave One Gold presentó una mayor resistencia a la fatiga cíclica que las lima Reciproc R25 y Wave One en un conducto artificial con doble curvatura a pesar de su sección transversal en forma de paralelogramo. Esto podría deberse a diferencias metalúrgicas entre instrumentos. Las limas Reciproc R25 y WO están hechas con aleación de NiTi M-wire, mientras que las limas WOG están hechas con aleación de oro (103).

Como se precisó previamente en este estudio, los dientes que por su anatomía tienen mayor riesgo de generar fractura de los instrumentos rotatorios en endodoncia son los molares inferiores, molares y premolares superiores. En relación con lo anteriormente expuesto, en el estudio Guedes OA y colaboradores 2015, en donde evaluaron los errores de procedimiento ocurridos durante la preparación del conducto radicular utilizando instrumentos de NiTi rotatorios en dientes molares mandibulares humanos extraídos con 3 conductos (distal, mesiovestibular y mesiolingual), la mayoría de los errores de procedimiento se observaron en el conducto radicular mesiovestibular (48,84%), seguido del conducto radicular distal (32,56%) y mesiolingual (18,60%). Todos los dientes tenían menos de 22 mm y las raíces mesiales tenían una curvatura moderada ($r > 4$ y ≤ 8 mm) (104,105)

Cabe considerar, por otra parte, que en una investigación experimental realizada por Nagi y colaboradores 2016, en dientes humanos extraídos, encontraron que los dientes que presentaban una curvatura mayor a 15° tenían más riesgo a la fractura. Por tanto, el conducto radicular con mayor posibilidad de generarla fue el mesiovestibular de los molares superiores $n=3$ (21.4%), seguido por el conducto distal de molares mandibulares $n=4$ (17.4%) y el conducto vestibular de los premolares maxilares $n=3$ (8.5%) (62).

Dentro de las limitaciones de la presente revisión, es que, aunque examinar la resistencia a la fatiga en dientes extraídos es el mejor método para imitar las condiciones clínicas, los dientes no se pueden estandarizar anatómicamente. Es casi imposible encontrar los dientes que tengan la longitud, el ancho y el diámetro y el ángulo de curvatura adecuados, para trabajar. Es por esto por lo que un gran porcentaje de los estudios utilizados para la evaluación de la fatiga cíclica y la resistencia a la torsión incluidos en esta revisión sistemática son in vitro, en donde se puede reflejar condiciones clínicas similares estandarizadas. Sin embargo, los resultados de los estudios que utilizan canales artificiales deben extrapolarse con cuidado a las condiciones clínicas debido a las diferencias entre un bloque de acero inoxidable y la dentina.

6.1. Conclusiones

La presente revisión sistémica de la literatura se concluye que:

Los instrumentos de NiTi se encuentran expuestos a fuerzas recurrentes de tensión y compresión dentro de los conductos radiculares con curvatura, por lo que la fatiga cíclica es el factor que más se encuentra en los reportes de separación de limas de NiTi en esta revisión. Muchos factores afectan la resistencia a la fatiga cíclica, incluyendo el diseño de la lima, el tratamiento de la superficie del alambre, el tratamiento térmico de la aleación de NiTi, el movimiento de la lima, el radio y el ángulo de la curvatura radicular. Los diferentes tratamientos térmicos aplicados a los sistemas de limas buscan optimizar la microestructura y el comportamiento de transformación del alambre para maximizar la flexibilidad y así mejorar la resistencia a la fatiga cíclica.

Los sistemas rotatorios NiTi presentan diversas configuraciones en su estructura, composición y diseño, esto los hace únicos y les confiere propiedades que los hacen más resistentes a ciertas condiciones a las que se van a encontrar expuestos durante la

preparación del conducto radicular. En la presente revisión se encontró que no existe un sistema de limas que elimine el riesgo de separación del instrumento dentro del conducto, aquí pues la importancia de conocer los diferentes sistemas y sus respectivas propiedades para aplicar en cada caso el sistema de limas pertinente para su preparación y así contribuir a minimizar el riesgo de fractura.

El uso de dientes humanos en estudios sobre el comportamiento de las limas rotatorias de NiTi es muy limitado debido a la dificultad de estandarizar los procesos metodológicos para evitar sesgos durante la experimentación, principalmente debido a las diferencias anatómicas radiculares (radio - ángulo de la curvatura). Sin embargo, en la presente revisión se encontró que los dientes con mayor reporte de separación de instrumentos fueron los primeros molares inferiores, primeros molares superiores y premolares superiores, esto sustentado en la amplia variabilidad de configuraciones anatómicas en estos dientes en cuanto a su número de conductos, ángulo y radio de la curvatura radicular.

El reúso de limas NiTi rotatorias no es lo indicado según las recomendaciones del fabricante, sin embargo, es una práctica común que se ha llevado a cabo por razones económicas. En estudios se ha evidenciado la posibilidad del uso múltiple con baja incidencia de fractura. Al considerar este aspecto se debe tener en cuenta el tipo de diente, puesto que, el reúso se considera según el número de conductos más no el número de dientes, así como la anatomía radicular y las condiciones en las que se encuentren los conductos como la calcificación, debido al mayor estrés al que se exponen. Es importante recalcar, el no uso excesivo de los instrumentos rotatorios incluso en aquellos que no presentan deformaciones evidentes.

La anatomía del conducto radicular es el punto de partida en la selección de instrumentos rotatorios puesto que representa un desafío por sus variaciones complejas, principalmente las curvaturas. Tener en cuenta que en estos casos el instrumento se expone a sitios en donde se concentra mayor esfuerzo y por tanto mayor nivel de fatiga del metal

6.2 Recomendaciones

A partir de la investigación, se recomienda evaluar como las múltiples características de los diferentes sistemas rotatorios influyen en la resistencia a la fractura y como el mejoramiento de la materia prima y/o proceso de fabricación son importantes para mejorar la resistencia a la fatiga.

Se recomiendan futuras investigaciones que teniendo en cuenta las características del instrumento rotatorio de NiTi y sus propiedades, aplicadas a las diferentes anatomías radiculares, formular un protocolo o guía de uso de los diferentes sistemas de instrumentos y su respectiva indicación basada en la evidencia presentada en la literatura.

7. Bibliografía

- (1) Yamalik N, Perea Pérez B. Patient safety and dentistry: what do we need to know? Fundamentals of patient safety, the safety culture and implementation of patient safety measures in dental practice. *Int Dent J* 2012;62(4):189-196.
- (2) Thompson SA. An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000;33(4):297-310.
- (3) Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 1988;14(7):346-351.
- (4) Jiménez-Ortiz JL, Porras ANC, Tello-García B, Navarro HMM. Instrumentos rotatorios: su uso, separación y efecto en complicaciones endodónticas postoperatorias. *Revista odontológica mexicana* 2014;18(1):27-31.
- (5) Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod* 2000;26(3):161-165.
- (6) Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod* 2004;30(10):722-725.
- (7) Parashos P, Messer HH. Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. *J Endod* 2006;32(11):1031-1043.
- (8) Madarati AA, Watts DC, Qualtrough A. Factors contributing to the separation of endodontic files. *Br Dent J* 2008;204(5):241.
- (9) Martha Patricia Castañeda Villamizar, Aitza Vivian Castañeda Solano. Definición y clasificación de los eventos adversos en ortodoncia, desde la perspectiva de la norma técnica Gestión del riesgo ISO 31000. *Signos* 2014 Jul 1;6(2):15-24.
- (10) Baker GR, Norton PG, Flintoft V, Blais R, Brown A, Cox J, et al. The Canadian Adverse Events Study: the incidence of adverse events among hospital patients in Canada. *CMAJ* 2004;170(11):1678-1686.
- (11) Perea-Pérez B, Labajo-González E, Santiago-Sáez A, Albarrán-Juan E, Villa-Vigil A. Analysis of 415 adverse events in dental practice in Spain from 2000 to 2010. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal* 2014;19(5):e500.
- (12) Fonseca GM, Mira K, Beltrán H, Peña K, Yendreka V, FONSECA GM, et al. Eventos adversos y demandas por mala praxis en endodoncia. *Int.J.Med.Surg.Sci.* 2015;2(1).

(13) Díaz-Flores–García V, Perea-Pérez B, Labajo-González E, Santiago-Sáez A, Cisneros-Cabello R. Proposal of a “Checklist” for endodontic treatment. *Journal of clinical and experimental dentistry* 2014;6(2):e104.

(14) Gallego MCT, Alonso LDC, Morales SHM, Moncada JG, De Hoyos, María Fernanda Huertas. Frecuencia de eventos adversos de la terapia endodóntica y seguimiento de pacientes atendidos en el Posgrado de Endodoncia de la Pontificia Universidad Javeriana (2007-2008). *Universitas Odontológica* 2014;33(71):19-28.

(15) Huertas MF, Gonzalez J, Camacho S, Sarraalde AL, Rodríguez A. Analysis of the adverse events reported to the office of the clinical director at a dental school in Bogotá, Colombia. *Acta Odontol Latinoam* 2017;30(1):19-25.

(16) Trujillo-Hoyos M, Gil-Alzate DA, Agudelo-Suárez AA. Characterization of unsafe acts in dentistry (UAD) in a teaching-service institution, Medellín (Colombia), 2015-2017. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 2018;30(1):80-91.

(17) Candelaria María Pabuenta Betancourt, Arrieta Novoa, Ramón de Jesús, Zoila Carbonell Muñoz, Demetrio Alfonso Barcha Barreto. Análisis de eventos adversos que ocurren en clínicas odontológicas de la Universidad de Cartagena Universidad de Cartagena; 2017.

(18) Laura Margarita Corredor Sarmiento. Frecuencia de eventos adversos reportados en las historias clínicas del posgrado de endodoncia de la universidad Santo Tomás durante el periodo 2014 - 2017.

(19) Madarati AA, Hunter MJ, Dummer PM. Management of intracanal separated instruments. *J Endod* 2013;39(5):569-581.

(20) 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(5):775-780.

(21) Spili P, Parashos P, Messer HH. The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod* 2005;31(12):845-850.

(22) Hülsmann M, Schinkel I. Influence of several factors on the success or failure of removal of fractured instruments from the root canal. *Dental Traumatology* 1999;15(6):252-258.

(23) Jenny Alexandra Ramírez, Sergio Andres Yañez Villamizar, Santiago Mejía, Juliana González, María Fernanda Huertas. Frecuencia de los eventos adversos que se presentaron en el área de endodoncia de las clínicas de pregrado de la Facultad de Odontología de la Pontificia Universidad Javeriana durante el año 2013 Pontificia Universidad Javeriana; 2013.

- (24) Vásquez D. Evaluación de la frecuencia de eventos adversos y monitoreo de aspectos claves relacionados con la seguridad del paciente [Internet].
- (25) Webber J. Risk management in clinical practice. Part 4. Endodontics. Br Dent J 2010;209(4):161.
- (26) Canalda Sahli C, Aguadè B. Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas. Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas 2006.
- (27) Torabinejad M, Walton R. E.(2010) Endodoncia Principios y Práctica.
- (28) Levin HJ. Access cavities. Dent Clin North Am 1967:701.
- (29) Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Krastl G, Kühl S. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. Int Endod J 2016;49(10):966-972.
- (30) Maria Gabriela Avendaño Ruiz. Prevalencia de errores y accidentes durante la terapéutica endodóntica. Postgrado de endodoncia FOUC período 2011 – 2017.; 2018.
- (31) García AG, Navarro JT. Obturación en endodoncia-Nuevos sistemas de obturación: revisión de literatura. Revista Estomatológica Herediana 2011;21(3):166-174.
- (32) Monteiro Bramante, C., Berbert, A., Gomes de Moraes, I., Bernardineli, N., & Brandao Garcia, R. .Accidentes y Complicaciones en el Tratamiento Endodóntico. . 1/2009 ed. Brasil: Livraria Santos; 2009.
- (33) Duigou C. Discuss the prevention and management of procedural errors during endodontic treatment. Australian Endodontic Journal 2004;30(2):74-78.
- (34) Council on Dental Materials, Instruments, and Equipment. Revised ANSI/ADA specifications no. 28* for root canal files and reamers, type K, and no. 58 for root canal files, type H (Hedstrom). J Am Dent Assoc 1989;118(2):239.
- (35) Ounsi HF, Nassif W, Grandini S, Salameh Z, Neelakantan P, Anil S. Evolution of Nickel-titanium Alloys in Endodontics. The journal of contemporary dental practice 2017;18(11):1090-1096.
- (36) Gavini G, Santos Md, Caldeira CL, Machado, Manoel Eduardo de Lima, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. Brazilian oral research 2018;32.
- (37) Ferreira MdA, Luersen MA, Borges PC. Nickel-titanium alloys: A systematic review. Dental Press Journal of Orthodontics 2012;17(3):71-82.

- (38) Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35(11):1469-1476.
- (39) Peters OA, Paque F. Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review. *Quintessence international* (Berlin, Germany : 1985) 2010;41(6):479-488.
- (40) Sharma N, Raj T, Jangra K. Applications of nickel-titanium alloy. *Journal of Engineering and Technology* 2015;5(1):1.
- (41) Saber SEM. Factors influencing the fracture of rotary nickel titanium instruments. *Endodontic Practice Today* 2008;2(4).
- (42) Pruett JP, Clement DJ, Carnes Jr DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23(2):77-85.
- (43) Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2009;35(11):1469-1476.
- (44) Tzanetakis GN, Kontakiotis EG, Maurikou DV, Marzelou MP. Prevalence and management of instrument fracture in the postgraduate endodontic program at the Dental School of Athens: a five-year retrospective clinical study. *J Endod* 2008;34(6):675-678.
- (45) L. Mejia, E. Ordoñez, A. Perez, M. Rosales. "Instrumental utilizado en el trabajo biomecanico en endodoncia. Investigacion bibliografica" Universidad de El Salvador; 2004.
- (46) Sergio Morelló Castro. Variables que influyen en la fractura de instrumentos rotatorios de níquel titanio en conductos radiculares instrumentados por operadores inexpertos. *Universitat Internacional de Catalunya*; 2014.
- (47) Wolcott S, Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S, et al. Separation incidence of protaper rotary instruments: a large cohort clinical evaluation. *J Endod* 2006;32(12):1139-1141.
- (48) Yared GM, Dagher FB, Machtou P. Cyclic fatigue of Profile rotary instruments after simulated clinical use. *Int Endod J* 1999;32(2):115-119.
- (49) Yared GM, Dagher FB, Machtou P. Cyclic fatigue of ProFile rotary instruments after clinical use. *Int Endod J* 2000;33(3):204-207.
- (50) Gambarini G. Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments after clinical use with low-and high-torque endodontic motors. *J Endod* 2001;27(12):772-774.
- (51) Booth JR, Scheetz JP, Lemons JE, Eleazer PD. A comparison of torque required to fracture three different nickel-titanium rotary instruments around curves of the same angle but of different radius when bound at the tip. *J Endod* 2003;29(1):55-57.

- (52) Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P, Kulkarni GK. Influence of rotational speed, torque and operator proficiency on failure of Greater Taper files. *Int Endod J* 2002;35(1):7-12.
- (53) Beltrán OA. Revisiones sistemáticas de la literatura. *Revista colombiana de gastroenterología* 2005;20(1):60-69.
- (54) Morales AR. Investigación clínica: epidemiología clínica aplicada. : Pontificia Universidad Javeriana; 2001.
- (55) Manterola C, Astudillo P, Arias E, Claros N, MINCIR G. Revisiones sistemáticas de la literatura. Qué se debe saber acerca de ellas. *Cirugía Española* 2013;91(3):149-155.
- (56) Vandembroucke JP, Von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, et al. Mejorar la comunicación de estudios observacionales en epidemiología (STROBE): explicación y elaboración. *Gaceta sanitaria* 2009;23(2):158. e1-158. e28.
- (57) Von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandembroucke JP. Declaración de la Iniciativa STROBE (Strengthening the Reporting of Observational studies in Epidemiology): directrices para la comunicación de estudios observacionales. *Gaceta Sanitaria* 2008;22(2):144-150.
- (58) Cuschieri Sarah. The CONSORT statement. . *Saudi journal of anaesthesia* 2019;13(Suppl 1):S27–S30.
- (59) Cobos-Carbo A, Augustovski F. Declaración CONSORT 2010: actualización de la lista de comprobación para informar ensayos clínicos aleatorizados de grupos paralelos. *Medicina clínica* 2011;137(5):213-215.
- (60) Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials.[Article]. *Br Med J* 2010;340:698-702.
- (61) Özyürek T, Keskin NB, Furuncuoğlu F, İnan U. Comparison of cyclic fatigue life of nickel-titanium files: an examination using high-speed camera. *Restorative dentistry & endodontics* 2017;42(3):224.
- (62) Nagi SE, Khan FR, Rahman M. Comparison of fracture and deformation in the rotary endodontic instruments: Protaper versus K-3 system. *JPMA: Journal of Pakistan Medical Association* 2016;66(10):S-30.
- (63) Higuera O, Plotino G, Tocci L, Carrillo G, Gambarini G, Jaramillo DE. Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals. *J Endod* 2015;41(6):913-915.

(64) de Almeida-Gomes F, de Matos, Humberto Ramah Menezes, Nunes, Rodrigo Ferreira Lopes Arrais, Arrais AM, Ferreira-Maniglia C, de Moraes Vitoriano M, et al. Cyclic fatigue resistance of different continuous rotation and reciprocating endodontic systems. *Indian Journal of Dental Research* 2016;27(3):278.

(65) Ha J, Kim S, Versluis A, Cheung GS, Kim J, Kim H. Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments. *J Endod* 2015;41(5):715-719.

(66) Özyürek T, Gündoğar M, Yılmaz K, Uslu G. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal. *Journal of dental research, dental clinics, dental prospects* 2017;11(4):241.

(67) Duke F, Shen Y, Zhou H, Ruse ND, Wang Z, Hieawy A, et al. Cyclic fatigue of ProFile Vortex and Vortex Blue nickel-titanium files in single and double curvatures. *J Endod* 2015;41(10):1686-1690.

(68) Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G. Cyclic fatigue resistance of Reciproc Blue and Reciproc files in an S-shaped canal. *J Endod* 2017;43(10):1679-1682.

(69) Madarati AA. Factors influencing incidents of complications while using nickel-titanium rotary instruments for root canal treatment. *BMC oral health* 2019;19(1):1-9.

(70) Çelik G, Kısacık FÖ, Yılmaz EF, Mersinlioğlu A, Ertuğrul İF, Orhan H. A comparative study of root canal shaping using protaper universal and protaper next rotary files in preclinical dental education. *PeerJ* 2019;7:e7419.

(71) Maniglia-Ferreira C, de Almeida Gomes F, Ximenes T, Neto MAT, Arruda TE, Ribamar GG, et al. Influence of reuse and cervical preflaring on the fracture strength of reciprocating instruments. *European journal of dentistry* 2017;11(1):41.

(72) Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Effect of adaptive motion on cyclic fatigue resistance of a nickel titanium instrument designed for retreatment. *Restorative dentistry & endodontics* 2017;42(1):34.

(73) Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang Z, Shen Y. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *J Endod* 2015;41(7):1134-1138.

(74) Topçuoğlu HS, Demirbuga S, Düzgün S, Topçuoğlu G. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating files (Reciproc Blue, WaveOne Gold, and SmartTrack) in two different curved canals. *Journal of investigative and clinical dentistry* 2018;9(3):e12344.

(75) Scelza P, Harry D, SILVA LEd, Barbosa IB, Scelza MZ. A comparison of two reciprocating instruments using bending stress and cyclic fatigue tests. *Brazilian oral research* 2015;29(1).

- (76) Uslu G, Özyürek T, Yılmaz K, Gündoğar M. Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, HyFlex EDM and PathFile nickel-titanium glide path files in artificial canals with double (S-shaped) curvature. *Int Endod J* 2018;51(5):584-589.
- (77) Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G, Castagnola R, Rossetti A, et al. Cyclic fatigue of Reciproc and Reciproc Blue nickel-titanium reciprocating files at different environmental temperatures. *J Endod* 2018;44(10):1549-1552.
- (78) Grande NM, Plotino G, Silla E, Pedullà E, DeDeus G, Gambarini G, et al. Environmental temperature drastically affects flexural fatigue resistance of nickel-titanium rotary files. *J Endod* 2017;43(7):1157-1160.
- (79) Elnaghy AM, Elsaka SE. Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2016;49(11):1073-1078.
- (80) Kaval ME, Capar ID, Ertas H. Evaluation of the cyclic fatigue and torsional resistance of novel nickel-titanium rotary files with various alloy properties. *J Endod* 2016;42(12):1840-1843.
- (81) Uygun AD, Unal M, Falakaloglu S, Guven Y. Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve nickel-Titanium instruments. *Nigerian journal of clinical practice* 2020;23(1):41.
- (82) Iandolo A, Amato A, Martina S, Pantaleo G. Management of Severe Curvatures in Root Canal Treatment with the New Generation of Rotating Files Using a Safe and Predictable Protocol. *The Open Dentistry Journal* 2020;14(1).
- (83) de Barros, Sandrini Gomes de Oliveira, de Lima CO, Vieira VTL, de Almeida Neves A, Accorsi-Mendonça T, da Silva, Emmanuel João Nogueira Leal. Bending resistance and quantitative transportation assessment after multiple uses of a reciprocating instrument. *ENDO (Lond Engl)* 2018;12(4):251-256.
- (84) de Menezes, Sílvia Emanuel Acioly Conrado, Batista SM, Lira JOP, de Melo Monteiro, Gabriela Queiroz. Cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic files in curved canals in vitro. *Iranian endodontic journal* 2017;12(4):468.
- (85) Al-Obaida MI, Merdad K, Alanazi MS, Altwaijry H, AlFaraj M, Alkhamis AA, et al. Comparison of cyclic fatigue resistance of 5 heat-treated nickel-titanium reciprocating systems in canals with single and double curvatures. *J Endod* 2019;45(10):1237-1241.
- (86) El Feky HM, Ezzat KM, Bedier MMA. Cyclic fatigue resistance of M-Pro and RaCe Ni-Ti rotary endodontic instruments in artificial curved canals: a comparative in vitro study. *Restorative dentistry & endodontics* 2019;44(4).
- (87) Varghese NO, Pillai R, Sujathen U, Sainudeen S, Antony A, Paul S. Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files

in continuous and reciprocating motion: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry*: JCD 2016;19(3):225.

(88) Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, et al. HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2016;49(5):483-493.

(89) De Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CAT, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA. Evidence for reduced fatigue resistance of contemporary rotary instruments exposed to body temperature. *J Endod* 2016;42(5):782-787.

(90) Topçuoğlu HS, Demirbuga S, Düzgün S, Topçuoğlu G. Cyclic fatigue resistance of new reciprocating files (Reciproc Blue, WaveOne Gold, and SmartTrack) in two different curved canals. *Journal of investigative and clinical dentistry* 2018;9(3):e12344.

(91) Silva, Emmanuel João Nogueira Leal, Villarino LS, Vieira VTL, Accorsi-Mendonça T, dos Santos Antunes H, De-Deus G, et al. Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc, Unicore, and WaveOne reciprocating instruments. *J Endod* 2016;42(12):1789-1793.

(92) Pedullà E, Ambu E, Rovai F, Chang S, Campedelli F, Corsentino G, et al. Influence of proper or reciprocating optimum torque reverse kinematics on cyclic fatigue of four single files. *Journal of investigative and clinical dentistry* 2019;10(3):e12409.

(93) Plotino G, Grande NM, Porciani PF. Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation. *Int Endod J* 2015;48(2):199-205.

(94) Ha J, Kwak SW, Kim S, Kim H. Screw-in forces during instrumentation by various file systems. *Restorative dentistry & endodontics* 2016;41(4):304.

(95) Olcay K, Eyüboğlu TF, Erkan E. Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature. 2019.

(96) Elsaka SE, Elnaghy AM. Cyclic fatigue resistance of OneShape and WaveOne instruments using different angles of curvature. *Dent Mater J* 2015;34(3):358-363.

(97) Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Kafdağ Ö, Balkaya H. Effect of two different temperatures on resistance to cyclic fatigue of one Curve, EdgeFile, HyFlex CM and ProTaper next files. *Australian Endodontic Journal* 2020;46(1):68-72.

(98) Bueno CRE, Cury MTS, Vasques AMV, Sivieri-Araújo G, Jacinto RC, Gomes-Filho JE, et al. Cyclic fatigue resistance of novel Genius and Edgefile nickel-titanium reciprocating instruments. *Brazilian oral research* 2019;33.

- (99) Arslan H, Alsancak M, Doğanay E, Karataş E, Davut Çapar İ, Ertas H. Cyclic fatigue analysis of Reciproc R 25® instruments with different kinematics. *Australian Endodontic Journal* 2016;42(1):22-24.
- (100) Gündoğar M, Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue nickel-titanium instruments. *J Endod* 2017;43(7):1192-1196.
- (101) Silva, Emmanuel João Nogueira Leal, Hecksher F, dos Santos Antunes H, De-Deus G, Elias CN, Vieira VTL. Torsional fatigue resistance of blue-treated reciprocating instruments. *J Endod* 2018;44(6):1038-1041.
- (102) Nabavizadeh MR, Sedigh-Shams M, Abdolrasoulia S. Cyclic fatigue life of two single file engine-driven systems in simulated curved canals. *Iranian endodontic journal* 2018;13(1):61.
- (103) Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A, Topçuoğlu G. Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature. *Int Endod J* 2017;50(7):713-717.
- (104) Guedes OA, da Costa, Marcus Vinícius Corrêa, Dorilêo, Maura Cristiane Gonçalves Orçati, de Oliveira HF, Pedro FLM, Bandeca MC, et al. Detection of procedural errors during root canal instrumentation using cone beam computed tomography. *Journal of international oral health: JIOH* 2015;7(3):28.
- (105) Caballero-Flores H, Nabeshima CK, Binotto E, Machado M. Fracture incidence of instruments from a single-file reciprocating system by students in an endodontic graduate programme: a cross-sectional retrospective study. *Int Endod J* 2019;52(1):13-18.
- (106) Yılmaz K, Özyürek T. Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and reciproc NiTi instruments. *Restorative dentistry & endodontics* 2017;42(2):134.
- (107) Khalil WA, Natto ZS. Cyclic fatigue, bending resistance, and surface roughness of ProTaper Gold and EdgeEvolve files in canals with single-and double-curvature. *Restorative dentistry & endodontics* 2019;44(2).
- (108) Özyürek T, Yılmaz K, Uslu G. Effect of adaptive motion on cyclic fatigue resistance of a nickel titanium instrument designed for retreatment. *Restorative dentistry & endodontics* 2017;42(1):34.
- (109) Prados-Privado M, Rojo R, Ivorra C, Prados-Frutos JC. Finite element analysis comparing WaveOne, WaveOne Gold, Reciproc and Reciproc Blue responses with bending and torsion tests. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 2019;90:165-172.

(110) Yılmaz K, Uslu G, Özyürek T. In vitro comparison of the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, One G, and ProGlider nickel titanium glide path instruments in single and double curvature canals. *Restorative dentistry & endodontics* 2017;42(4):282.

(111) Özyürek T. Cyclic fatigue resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold nickel-titanium instruments. *J Endod* 2016;42(10):1536-1539.

(112) Ha J, Kim SK, Cheung GS, Jeong SH, Bae YC, Kim H. Effect of alloy type on the life-time of torsion-preloaded nickel-titanium endodontic instruments. *Scanning* 2015;37(3):172-178.

(113) Kawakami DAS, Candeiro, George Táccio de Miranda, Akisue E, Caldeira CL, Gavini G. Effect of different torques in cyclic fatigue resistance of K3 rotary instruments. *Brazilian Journal of Oral Sciences* 2015;14(2):122-125.

Apéndices

Apéndice A. Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operativa	Naturaleza	Escala de Medición	Valor que Asume la Variable
Radio de Curvatura	Círculo hipotético que une las dos líneas del eje del conducto y representa cuán abrupta se produce un ángulo de curvatura cuando el conducto se desvía de una línea recta.	Medida en milímetros	Cuantitativa	Ordinal, Independiente	Menor (1), Mayor (2)
Angulo de Curvatura	Ángulo formado por la intersección de dos tangentes (tangente desde el inicio del conducto siguiendo el eje longitudinal del diente y otra línea que pasará desde la máxima curvatura hasta el ápice).	Medida en ángulos	Cuantitativa	Ordinal, Independiente	Recto: < 5° (1), Moderado: 10-20° (2), Severo: 25-70° (3)
Sistemas de instrumentación rotatorias	Serie de instrumentos con características y funciones específicas durante la preparación biomecánica del sistema de conductos radiculares	Los diferentes sistemas rotarios de limas de Níquel-Titanio reportados en la literatura.	Cualitativa	Nominal, Independiente	Sistema de instrumentación rotatoria (Abierta)
Experiencia del operador	Basada en el conocimiento adquirido y la experiencia adecuada necesaria para minimizar la incidencia de fractura del instrumento rotatorio Ni Ti.	Nivel del competencia del operador	Cualitativa	Ordinal, Independiente	Especialista (1), Estudiante (2), Odontólogo general (3)

Numero de usos	Cantidad de veces que se utiliza la lima NiTi rotatoria durante la terapia endodóntica	Numero de tratamientos endodónticos finalizados por la lima NiTi rotatoria	Cuantitativa	Continua, Independiente	Número de veces de uso de la lima (abierta)
Palabras clave	Palabra que refleja el contenido de un documento y que permite localizarlo dentro de internet	Palabras principales de un contenido con facilidad de encontrar en base de datos	Cualitativa	Nominal, Independiente	Palabras clave (Abierta)
País de publicación	Lugar geográfico donde se hace la publicación	País donde se publica la investigación	Cualitativa	Nominal, Independiente	Nombre del país de la publicación (Abierta)
Idioma	Sistema de signos que utiliza una comunidad para comunicarse oralmente o por escrito	Diferentes lenguajes utilizados para la publicación de artículos	Cualitativa	Nominal, Independiente	Español (1), Inglés (2), Portugués (3)
Base de datos	Bancos de información que contienen datos relativos a diversas temáticas y categorizados de distintas maneras	Bancos de información que contienen datos relacionados con el tema a investigar	Cualitativa	Nominal, Independiente	Scopus (1), Web of Science (2), Embase (3), Bus (4), Med line (5), Cochrane (6), Scielo (7), Google Scholar (8)
Afiliación institucional del autor	Nombre completo de la institución a la cual pertenece el autor	Nombre completo de la institución que corresponde al autor	Cualitativa	Nominal, Independiente	Nombre de la institución (Abierta)
Tipo de estudio	Hace referencia al proceso o forma de recolección de la información del tema de interés para los investigadores	Clasificación del tipo de estudio que se encuentra reportado en cada artículo	Cualitativa	Nominal, Independiente	Casos y controles (1), Cohortes (2), Corte transversal (3), Ensayo clínico aleatorizado (4)
Autor	Investigador principal del trabajo o estudio que se ha realizado	Primer autor que figura en los responsables del artículo	Cualitativa	Nominal, Independiente	Apellido del investigador (Abierta)

Guía STROBE	Lista de comprobación para aumentar la calidad de la publicación de los informes de estudios epidemiológicos	Evaluación de la calidad de los artículos originales	Cualitativa	Nominal, Independiente	Ítems de evaluación de la calidad según la guía (abierta)
Revista	Material científico en donde se publican artículos de interés	Material científico en donde se publican artículos relacionados con endodoncia	Cualitativa	Nominal, Independiente	Nombre de la revista (Abierta)

Apéndice B. Declaración STROBE

Título y resumen		Pu nto	Recomendación
Introducción		1	(a) Indique, en el título o en el resumen, el diseño del estudio con un término habitual (b) Proporcione en el resumen una sinopsis informativa y equilibrada de lo que se ha hecho y lo que se ha encontrado
Contexto/fundamentos		2	-Explique las razones y el fundamento científicos de la investigación que se comunica
Objetivos		3	-Indique los objetivos específicos, incluida cualquier hipótesis preespecificada
Métodos	Diseño	4	Presente al principio del documento los elementos clave del diseño del estudio
	Contexto	5	Describa el marco, los lugares y las fechas relevantes, incluido los períodos de reclutamiento, exposición, seguimiento y recogida de datos
Participantes		6	(a) Estudios de cohortes: proporcione los criterios de elegibilidad, así como las fuentes y el método de selección de los participantes. Especifique los métodos de seguimiento Estudios de casos y controles: proporcione los criterios de elegibilidad así como las fuentes y el proceso diagnóstico de los casos y el de selección de los controles. Proporcione las razones para la elección de casos y controles Estudios transversales: proporcione los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes (b) Estudios de cohortes: en los estudios apareados, proporcione los criterios para la formación de parejas y el número de participantes con y sin exposición Estudios de casos y controles: en los estudios apareados, proporcione los criterios para la formación de las parejas y el número de controles por cada caso
Variables			Defina claramente todas las variables: de respuesta, exposiciones, predictoras, confusoras y modificadoras del efecto. Si procede, proporcione los criterios diagnósticos
Fuentes de datos/medidas			Para cada variable de interés, proporcione las fuentes de datos y los detalles de los métodos de valoración (medida). Si hubiera más de un grupo, especifique la comparabilidad de los procesos de medida
Sesgos		7	Especifique todas las medidas adoptadas para afrontar fuentes potenciales de sesgo
Tamaño muestral			Explique cómo se determinó el tamaño muestral
Variables cuantitativas		8*	Explique cómo se trataron las variables cuantitativas en el análisis. Si procede, explique qué grupos se definieron y por qué

Métodos estadísticos	9	(a) Especifique todos los métodos estadísticos, incluidos los empleados para controlar los factores de confusión (b) Especifique todos los métodos utilizados para analizar subgrupos e interacciones (c) Explique el tratamiento de los datos ausentes (missing data)
	10	(d) Estudio de cohortes: si procede, explique cómo se afrontan las pérdidas en el seguimiento Estudios de casos y controles: si procede, explique cómo se aparearon casos y controles
	11	Estudios transversales: si procede, especifique cómo se tiene en cuenta en el análisis la estrategia de muestreo (e) Describa los análisis de sensibilidad
Resultados Participantes	12	
	13	(a) Describa el número de participantes en cada fase del estudio; por ejemplo: cifras de los participantes potencialmente elegibles, los analizados para ser incluidos, los confirmados elegibles, los incluidos en el estudio, los que tuvieron un seguimiento completo y los analizados
	*	(b) Describa las razones de la pérdida de participantes en cada fase (c) Considere el uso de un diagrama de flujo
Datos descriptivos		(a) Describa las características de los participantes en el estudio (p. ej., demográficas, clínicas, sociales) y la información sobre las exposiciones y los posibles factores de confusión (b) Indique el número de participantes con datos ausentes en cada variable de interés
	14	(c) Estudios de cohortes: resuma el período de seguimiento (p. ej., promedio y total)
	*	
Datos de las variables		Estudios de cohortes: describa el número de eventos resultado, o bien proporcione medidas resumen a lo largo del tiempo de resultado Estudios de casos y controles: describa el número de participantes en cada categoría de exposición, o bien proporcione medidas resumen de exposición Estudios transversales: describa el número de eventos resultado, o bien proporcione medidas resumen
	15	(a) Proporcione estimaciones no ajustadas y, si procede, ajustadas por factores de confusión, así como su precisión (p. ej., intervalos de confianza del 95%). Especifique los factores de confusión por los que se ajusta y las razones para incluirlos
	*	(b) Si categoriza variables continuas, describa los límites de los intervalos (c) Si fuera pertinente, valore acompañar las estimaciones del riesgo relativo con estimaciones del riesgo absoluto para un período de tiempo relevante
Resultados principales	16	

Otros análisis	17	Describa otros análisis efectuados (de subgrupos, interacciones o sensibilidad)
Discusión	18	Resuma los resultados principales de los objetivos del estudio
Resultados clave	19	Discuta las limitaciones del estudio, teniendo en cuenta posibles fuentes de sesgo o de imprecisión. Razone tanto sobre la dirección como sobre la magnitud de cualquier posible sesgo
Limitaciones		
Interpretación	20	Proporcione una interpretación global prudente de los resultados considerando objetivos, limitaciones, multiplicidad de análisis, resultados de estudios similares y otras pruebas empíricas relevantes
Generabilidad	21	Discuta la posibilidad de generalizar los resultados (validez externa)
Otra información		
Financiación	22	Especifique la financiación y el papel de los patrocinadores del estudio y, si procede, del estudio previo en el que se basa el presente artículo

Apéndice C. Artículos seleccionados

TÍTULO	AUTOR	REVISTA	AÑO
Comparison of cyclic fatigue life of nickel-titanium files: an examination using high-speed camera (61)	Taha Özyürek, Neslihan Büşra Keskin, Fatma Furuncuoğlu, and Uğur İnan	Restorative dentistry and Endodontics	2017
Cyclic fatigue life of Tango-Endo, WaveOne GOLD, and Reciproc NiTi instruments(106)	Koray Yılmaz,1 and Taha Özyürek	Restorative dentistry and Endodontics	2017
Cyclic fatigue, bending resistance, and surface roughness of ProTaper Gold and EdgeEvolve files in canals with single- and double-curvature (107)	Khalil WA, Natto ZS	Restorative dentistry and Endodontics	2019
Effect of adaptive motion on cyclic fatigue resistance of a nickel titanium instrument designed for retreatment (108).	Taha Özyürek, Koray Yılmaz and Gülşah Uslu	Restorative dentistry and Endodontics	2017
Finite element analysis comparing WaveOne, WaveOne Gold, Reciproc and Reciproc Blue responses with bending and torsion tests(109)	María Prados-Privado, Rosa Rojo, Carlos Ivorra, and Juan Carlos Prados-Frutos	Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials	2018
In vitro comparison of the cyclic fatigue resistance of HyFlex EDM, One G, and ProGlider nickel titanium glide path instruments in single and double curvature canals(110)	Koray Yılmaz,1 Gülşah Uslu,2 and Taha Özyürek2	Restorative dentistry and Endodontics	2017
Screw-in forces during instrumentation by various file systems(94)	Jung-Hong Ha, Sang Won Kwak, Sung-Kyo Kim, and Hyeon-Cheol Kim	Restorative dentistry and Endodontics	2016
Cyclic fatigue resistance of M-Pro and RaCe Ni-Ti rotary endodontic instruments in artificial curved canals: a comparative in vitro study(86)	El Feky HM, Ezzat KM, Bedier MM	Restorative dentistry and Endodontics	2019
Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments (100).	Gündoğar, M., Özyürek, T.	Journal of Endodontics	2017
Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc, WaveOne, and WaveOne Gold Nickel-Titanium Instruments(111)	Özyürek, T.	Journal of endodontics	2016
Effect of alloy type on the life-time of torsion-preloaded nickel-titanium endodontic instruments (112)	Ha, J.-H., Kim, S.K., Cheung, G.S.-P., (...), Bae, Y.C., Kim, H.-C.	Scanning	2015
Effect of different torques in cyclic fatigue resistance of K3 rotary instruments (113)	Kawakami, D.A.S., Candeiro, G.T.M., Akisue, E., Caldeira, C.L., Gavini, G.	Brazilian Journal of Oral Sciences	2015

Effect of two different temperatures on resistance to cyclic fatigue of one Curve, EdgeFile, HyFlex CM and ProTaper next files(97)	Topçuoğlu, H.S., Topçuoğlu, G., Kafdağ, Ö., Balkaya, H.	Australian Endodontic Journal	2020
Factors influencing incidents of complications while using nickel-titanium rotary instruments for root canal treatment	Madarati, A.A.	BMC Oral Health	2019
Fatigue Resistance of New and Used Nickel-Titanium Rotary Instruments: a Comparative Study	Gambarini, G., Miccoli, G., Seracchiani, M., (...), Di Nardo, D., Testarelli, L.	La Clínica terapéutica	2018
Influence of reuse and cervical preflaring on the fracture strength of reciprocating instruments	Maniglia-Ferreira, C., Gomes, F.A., Ximenes, T., (...), Ribamar, G.G., Herculano, L.F.G.	European Journal of Dentistry	2017
Torsional fatigue strength of reciprocating and rotary pathfinding instruments manufactured from different niti alloys	Vivan, R.R., Alcalde, M.P., Candeiro, G., (...), Caldeira, C.L., Duarte, M.A.H.	Brazilian Oral Research	2019
Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments	Alcalde, M.P., Duarte, M.A.H., Bramante, C.M. et al.	Clinical Oral Investigations	2018
Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments	Klymus, M.E., Alcalde, M.P., Vivan, R.R. et al	Clinical Oral Investigations	2019
Cyclic fatigue resistance of D-RaCe, ProTaper, and Mtwo nickel–titanium retreatment instruments after immersion in sodium hypochlorite	Topçuoğlu, H.S., Pala, K., Aktı, A. et al.	Clinical Oral Investigations	2016
Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, WaveOne Gold Glider, and ProGlider glide path instruments	Keskin, C., İnan, U., Demiral, M. et al.	Clinical Oral Investigations	2018
Cyclic fatigue resistance of XP-endo Shaper compared with different nickel-titanium alloy instruments	Elnaghy, A., Elsaka, S.	Clinical Oral Investigations	2018
Cyclic fatigue resistances of Hyflex EDM, WaveOne gold, Reciproc blue and 2shape NiTi rotary files in different artificial canals	Özyürek, T., Gündoğar, M., Uslu, G. et al.	Odontology	2018
Cyclic fatigue using severely curved canals and torsional resistance of thermally treated reciprocating instruments	Silva, E.J.N.L., Vieira, V.T.L., Hecksher, F. et al.	Clinical Oral Investigations	2018
Finite element analysis comparing WaveOne Gold and ProTaper Next endodontic file segments subjected to bending and torsional load	Ismail, A.G., Zaazou, M.H.A., Galal, M. et al.	Bulletin of the National Research Centre	2019
A comparative study of root canal shaping using protaper universal and protaper next rotary files in preclinical dental education	Celik, G ; Kisacik, FO ; Yilmaz, EF; Mersinlioglu, A; Ertugrul, IF; Orhan, H	PEERJ	2019

A Comparison of the Cyclic Fatigue Resistance of Used and New Glide Path Files	Ozyurek, T; Uslu, G ; Inan, U	JOURNAL OF ENDODONTICS	2017
Comparison of fracture and deformation in the rotary endodontic instruments: Protaper versus K-3 system	Nagi, SE ; Khan, FR; Rahman, M	journal of the pakistan medical association	2016
The impact of clinical use on the torsional behavior of Reciproc and WaveOne instruments	de Magalhaes, RRS; Braga, LCM ; Pereira, ESJ ; Peixoto, IFD ; Buono, VTL; Bahia, MGD	Journal of applied oral science	2016
Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Five Nickel Titanium Rotary File Systems with Different Manufacturing Techniques.	Aminsobhani M, Meraji N, Sadri E.	Journal of Dentistry of Tehran University of Medical Sciences.	2015
Deformation and fracture incidence of Reciproc instruments: a clinical evaluation.	Plotino G, Grande NM, Porciani PF.	International Endodontic Journal	2015
Detection of Procedural Errors during Root Canal Instrumentation using Cone Beam Computed Tomography	Guedes OA, da Costa MVC, Orçati Dorilêo MCG, de Oliveira HF, Miranda Pedro FL, Bandeca MC, et al.	Journal of International Oral Health	2015
Flexibility and resistance to cyclic fatigue of instruments manufactured by different methods	LOPES WSP, LOPES HP, ELIAS CN, VIEIRA MVB, ALVES FRF.	Dental Press Endodontics	2015
Cyclic fatigue analysis of Reciproc R25® instruments with different kinematics	Arslan H, Alsancak M, Doğanay E, Karataş E, Davut Çapar İ, Ertas H	Australian Endodontic Journal	2016
Deformation and fracture of K3 rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use	Shen SM, Deng M, Wang PP, Chen XM, Zheng LW, Li HL.	International Endodontic Journal	2016
Mechanical properties of ProTaper Gold nickel-titanium rotary instruments	Elnaghy AM, Elsaka SE.	International Endodontic Journal	2016
Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files in continuous and reciprocating motion: An in vitro study	Varghese NO, Pillai R, Sujathen U-N, Sainudeen S, Antony A, Paul S.	Journal of Conservative Dentistry	2016
Single file reciprocating systems: A systematic review and meta-analysis of the literature: Comparison of reciproc and WaveOne	Alsilani, Rana. Y col.	Journal of International Society of Preventive & Community Dentistry	2016
An investigation of technical outcome and procedural errors produced by novice operators with ProTaper Universal and ProTaper Next nickel titanium instruments in simulated root canals	Moawad Emad, Blundell Katherine, col.	Endodontic Practice Today	2017
Bending resistance and cyclic fatigue life of Reciproc Blue, WaveOne Gold, and Genius files in a double (S-shaped) curved canal	Özyürek T, Gündoğar M, Yılmaz K, Uslu G.	Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects	2017

Comparative study of the mechanical properties of instruments made of conventional, M-wire, R-phase, and controlled memory nickel-titanium alloys	Soares RG, Lopes HP, Elias CN, Vieira MVB, Vieira VTL, de Paula CB, et al.	Endodontic Practice Today	2017
Cyclic fatigue resistance of two nickel-titanium rotary instruments in interrupted rotation	Pedullà E, Lizio A, Scibilia M, Grande NM, Plotino G, Boninelli S, et al.	International Endodontic Journal	2017
Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne Gold, ProDesign R and ProDesign Logic Files in Curved Canals In Vitro	Acioly Conrado de Menezes SE, Machado Batista S, Ouro Preto Lira J, Queiroz de Melo Monteiro G.	Iranian Endodontic Journal	2017
Environmental Temperature Drastically Affects Flexural Fatigue Resistance of Nickel-titanium Rotary Files	Grande NM, Plotino G, Silla E, Pedullà E, DeDeus G, Gambarini G, et al.	JOE	2017
Influence of the surface roughness on the torsional resistance of nickel-titanium rotary endodontic instruments	Lopes H, Elias C, Vieira M, Vieira V, Inojosa I, Ferreira L.	Endodontic Practice Today	2017
Laboratory comparison of cyclic fatigue resistance of WaveOne Gold, Reciproc and WaveOne files in canals with a double curvature	Topçuoğlu HS, Düzgün S, Aktı A, Topçuoğlu G.	International Endodontic Journal	2017
Laboratory comparison of the mechanical properties of TRUShape with several nickel-titanium rotary instruments	Elnaghy AM, Elsaka SE.	International Endodontic Journal	2017
Torsional and bending resistance of WaveOne Gold, Reciproc and Twisted File Adaptive instruments	Elsaka SE, Elnaghy AM, Badr AE.	International Endodontic Journal	2017
Bending resistance and quantitative transportation assessment after multiple uses of a reciprocating instrument	de Barros SG de O, de Lima CO, Vieira VTL, de Almeida Neves A, Accorsi-Mendonça T, Nogueira Leal da Silva EJ.	Endodontic Practice Today	2018
Comparison of cyclic fatigue resistance and bending properties of two reciprocating nickel-titanium glide path files	Özyürek T, Uslu G, Gündoğar M, Yılmaz K, Grande NM, Plotino G.	International Endodontic Journal	2018
Cyclic Fatigue Life of Two Single File Engine-Driven Systems in Simulated Curved Canals	Nabavizadeh MR, Sedigh-Shams M, Abdolrasoulnia S.	Iranian Endodontic Journal	2018
Cyclic fatigue resistance of 2Shape, Twisted File and EndoSequence Xpress nickel-titanium rotary files at intracanal temperature	Uslu G, Özyürek T, Gündoğar M, Yılmaz K.	Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects	2018
Cyclic fatigue resistance of new reciprocating glide path files in 45- and 60-degree curved canals	Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Kafdağ Ö, Arslan H.	International Endodontic Journal	2018

Cyclic fatigue resistance of R-Pilot, HyFlex EDM and PathFile nickel-titanium glide path files in artificial canals with double (S-shaped) curvature	Uslu G, Özyürek T, Yılmaz K, Gündoğar M.	International Endodontic Journal	2018
Cyclic fatigue resistances of several nickel-titanium glide path rotary and reciprocating instruments at body temperature	Yılmaz, K., Uslu, G., Gündoğar, M., Özyürek, T., Grande, N. M., & Plotino, G.	International Endodontic Journal	2018
Fracture incidence of instruments from a single-file reciprocating system by students in an endodontic graduate programme: a cross-sectional retrospective study	Caballero FH, Nabeshima CK, Binotto E, Machado MEL.	International Endodontic Journal	2019
In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of TruNatomy in single and double curvature canals compared with different nickel-titanium rotary instruments	Elnaghy AM, Elsaka SE, Mandorah AO.	BMC Oral Health	2020
Cyclic fatigue resistance of novel Genius and Edgefile nickel-titanium reciprocating instruments	Bueno, Carlos Roberto Emerenciano; Cury, Marina Tolomei Sandoval; Vasques, Ana Maria Veiga; Sivieri-Araújo, Gustavo; Jacinto, Rogério Castilho; Gomes-Filho, João Eduardo; Cintra, Luciano Tavares Angelo; Dezan-Júnior, Eloi.	Brazilian Oral Research	2019
Modalities of using endodontic nickel-titanium rotary instruments and factors influencing their implementation in dental practice	Madarati A.A., Habib A.A.	BMC oral health	2018
Management of severe curvatures in root canal treatment with the new generation of rotating files using a safe and predictable protocol	Iandolo A., Amato A., Martina S., Latif D.A., Pantaleo G.	Open Dentistry Journal	2020
A comparison of two reciprocating instruments using bending stress and cyclic fatigue tests.	Scelza P, Harry D, Silva LE, Barbosa IB, Scelza MZ.	Braz Oral Res	2015
Comparison of cyclic fatigue resistance of novel nickel-titanium rotary instruments.	Capar ID, Ertas H, Arslan H.	Aust Endod J	2015
Cyclic Fatigue of ProFile Vortex and Vortex Blue Nickel-Titanium Files in Single and Double Curvatures.	Duke F, Shen Y, Zhou H, Ruse ND, Wang ZJ, Hieawy A, Haapasalo M.	JOE	2015
Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial canals.	Higuera O, Plotino G, Tocci L, Carrillo G, Gambarini G, Jaramillo DE.	JOE	2015
Cyclic fatigue resistance of OneShape and WaveOne instruments using different angles of curvature.	Elsaka SE, Elnaghy AM.	Dental Materials Journal	2015

Cyclic fatigue resistance of two nickel-titanium instruments in different curving angles: a comparative study.	Peng C, Hui WU, Wang L, Xin HU, Deng S, Li C, Zhang L.	Braz. res oral	2015
Elastic limits in torsion of reciprocating nickel-titanium instruments.	Ha JH, Kim SR, Versluis A, Cheung GS, Kim JW, Kim HC.	JOE	2015
Phase Transformation Behavior and Resistance to Bending and Cyclic Fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal Instruments.	Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang ZJ, Shen Y.	JOE	2015
Bending Resistance and Cyclic Fatigue Life of Reciproc, Unicone, and WaveOne Reciprocating Instruments.	Silva EJ, Villarino LS, Vieira VT, Accorsi-Mendonça T, Antunes HD, De-Deus G, Lopes HP.	JOE	2016
Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProGlider and One G Glide Path Files.	Uslu G, Özyürek T, İnan U.	JOE	2016
Cyclic fatigue resistance of different continuous rotation and reciprocating endodontic systems.	de Almeida-Gomes F, de Matos HR, Nunes RF, Arrais AM, Ferreira-Maniglia C, de Moraes Vitoriano M, Gurgel-Filho ED.	Indian J Dent Res.	2016
Evaluation of the Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Novel Nickel-Titanium Rotary Files with Various Alloy Properties.	Kaval ME, Capar ID, Ertas H.	JOE	2016
Evidence for Reduced Fatigue Resistance of Contemporary Rotary Instruments Exposed to Body Temperature.	de Vasconcelos RA, Murphy S, Carvalho CA, Govindjee RG, Govindjee S, Peters OA.	JOE	2016
HyFlex EDM: superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments.	Pirani C, Iacono F, Generali L, Sassatelli P, Nucci C, Lusvarghi L, Gandolfi MG, Prati C.	International Endodontic Journal	2016
In Vitro Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of ProTaper Next, HyFlex CM, OneShape, and ProTaper Universal Instruments in a Canal with a Double Curvature.	Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G, Akti A, Düzgün S.	JOE	2016
Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining.	Pedullà E, Lo Savio F, Boninelli S, Plotino G, Grande NM, La Rosa G, Rapisarda E.	JOE	2016
Cyclic and Torsional Fatigue Resistance of Reciprocating Single Files Manufactured by Different Nickel-titanium Alloys.	Alcalde MP, Tanomaru-Filho M, Bramante CM, Duarte MAH, Guerreiro-Tanomaru JM, Camilo-Pinto J, Só MVR, Vivan RR.	JOE	2017
Cyclic Fatigue Resistance of Reciproc Blue and Reciproc Files in an S-shaped	Topçuoğlu HS, Topçuoğlu G.	JOE	2017

Canal.

Cyclic Fatigue of Reciproc and Reciproc Blue Nickel-titanium Reciprocating Files at Different Environmental Temperatures.	Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G, Castagnola R, Rossetti A, Özyürek T, Cordaro M, Fortunato L.	JOE	2018
Cyclic fatigue resistance of new reciprocating files (Reciproc Blue, WaveOne Gold, and SmartTrack) in two different curved canals.	Topçuoğlu HS, Demirbuga S, Düzgün S, Topçuoğlu G.	J Invest Clin Dent	2018
Cyclic Fatigue Resistance of Novel Glide Path Instruments with Different Alloy Properties and Kinematics.	Serefoglu B, Kaval ME, Micoogullari Kurt S, Çalışkan MK.	JOE	2018
Torsional Fatigue Resistance of Blue-treated Reciprocating Instruments.	Silva EJNL, Hecksher F, Antunes HDS, De-Deus G, Elias CN, Vieira VTL.	JOE	2018
Influence of proper or reciprocating optimum torque reverse kinematics on cyclic fatigue of four single files.	Pedullà E, Ambu E, Rovai F, Chang SW, Campedelli F, Corsentino G, Rapisarda S, La Rosa GRM, Grandini S.	J Investig Clin Dent	2019
Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of 5 Heat-treated Nickel-titanium Reciprocating Systems in Canals with Single and Double Curvatures.	Al-Obaida MI, Merdad K, Alanazi MS, Altwaijry H, AlFaraj M, Alkhamis AA, Al-Madi EM.	JOE	2019
Cyclic fatigue resistance of waveone gold, protaper next and 2shape nickel titanium rotary instruments using a reliable method for measuring temperature.	Olçay K, Eyuboglu TF, Erkan E.	Níger J Clin Pract	2019
Torsional fatigue resistance of R-Pilot and WaveOne Gold Glider NiTi glide path reciprocating systems.	Santos CB, Simões-Carvalho M, Perez R, Vieira VTL, Antunes HS, Cavalcante DF, De-Deus G, Silva EJNL.	Int Endod J	2019
Torsional Resistance of ProGlider, Hyflex EDM, and One G Glide Path Instruments.	İnan U, Keskin C.	JOE	2019
Comparison of the cyclic fatigue resistance of hyflex EDM, vortex blue, protaper gold, and onecurve nickel-Titanium instruments.	Uygun AD, Unal M, Falakaloglu S, Guven Y.	Níger J Clin Pract	2020
Influence of heat-treatment on torsional resistance to fracture of nickel-titanium endodontic instruments	Silva EJNL, Giraldez JFN, de Lima CO, Vieira VTL, Elias CN, Antunes HS.	Int Endod J	2019

Apéndice E. Presupuesto

RUBRO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
SERVICIOS PROFESIONALES			
Residentes 4h semanal c/u (4 horas x \$15000 hora x 3 residentes x 4 semanas x 24 meses)	3	\$ 5.760.000	\$17.280.000
EQUIPOS Y PAPELERIA			
Equipos de computo	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Software (Office)	1	\$ 650.000	\$ 650.000
Impresiones	300	\$ 500	\$ 150.000
Fotocopias	200	\$ 300	\$ 60.000
Lapiceros	15	\$ 2.000	\$ 30.000
CD	4	\$ 2.000	\$ 8.000
Empastado	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Otros (Viáticos, Alimentación, imprevistos)		\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
TOTAL			\$21.278.000