

**AVANCES EN LA METALÚRGICA DE LAS LIMAS ENDODÓNTICAS
MECANIZADAS EN LA ERA ACTUAL**

(Revisión Bibliográfica)



Universidad de Carabobo
Facultad de Odontología
Dirección de Estudios de posgrado
Programa de especialización en Endodoncia

Avances en la metalúrgica de las limas endodónticas mecanizadas en la era actual (Revisión bibliográfica)

Autor(a): Od. Dulce Miguel Moreno
Tutor de contenido: Francisco Farías

Valencia, Octubre del 2019



Universidad de Carabobo

Facultad de Odontología

Dirección de Estudios de posgrado

Programa de especialización en Endodoncia

Avances en la metalúrgica de las limas endodónticas mecanizadas en la era actual (Revisión bibliográfica)

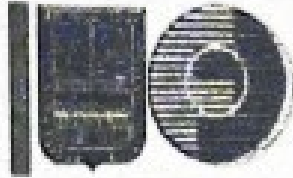
Trabajo de grado adscrito al laboratorio de investigación de tecnología LITICSE, en línea de investigación, bajo la línea de investigación biotecnología en la temática biomateriales y tecnología innovada y la subtemática de propiedades de los materiales.

Tutor de Contenido: Francisco Farías

C.I.:3637864

Autor(a): Od. Dulce Miguel Moreno

C.I.:17.688.935



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
Facultad de Odontología
Dirección de Asuntos Estudiantiles

DAEFO

ACTA DE DISCUSION TRABAJO DE ESPECIALIZACION

En atención a lo dispuesto en los Artículos 127,128,137,138 y 139 del Reglamento de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo, quienes suscribimos como Jurado Designado por el Consejo de Postgrado de la Facultad de Odontología, de acuerdo a lo previsto en el Artículo 135 del citado Reglamento, para estudiar el Trabajo de Especialización titulado:

**"AVANCES EN LA METALURGICA DE LAS LIMAS ENDODONTICAS
MECANIZADAS EN LA ERA ACTUAL"**

Presentado para optar al grado de **ESPECIALISTA en ENDODONCIA** por el (la) aspirante:

MORENO F., DULCE M.
C.I. V.- 17.688.935

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO**.

En Valencia, a los siete días del mes de Noviembre del año dos mil diecinueve.


Prof. DORTA DIANA
C.I.: 07.11.19
Fecha: 12/06/219
23182309 No


Prof. FARIAS FRANCISCO
C.I. 96 33807
Fecha: 7/11/19



Prof. CARPAVIRE YOMINSIMAR
C.I.: V-11.116.412
Fecha: 7.11.19.



Universidad de Carabobo

Facultad de Odontología

Dirección de Estudios de posgrado

Programa de especialización en Endodoncia

CONSTANCIA DE CULMINACIÓN DEL TUTOR

Por medio de la presente yo Francisco Farías, Cédula de Identidad C.I.:3637864, en mi carácter de TUTOR del trabajo de grado de la especialización en endodoncia , titulado Avances en la metalúrgica de las limas endodónticas mecanizadas en la era actual, adscrito en la UNIMPA, en línea de investigación Rehabilitación del sistema estomatognático y la temática rehabilitación anátomo funcional y la subtemática instrumentación Manual y Rotatoria del sistema de conductos radiculares de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo, realizado por la ciudadana Dulce Miguel Moreno, cédula de identidad 17.688.935, y cumpliendo con los objetivos planteados en el trabajo de grado y con los requisitos de adscripción a una línea de investigación científica, doy fe de la culminación del trabajo de grado, en Valencia a los 07 días del mes de Noviembre del año 2019.

Prof. Francisco Farías

C.I.:3637864

Tutor

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por guiar mis pasos.

A mi Madre por su inmenso e invaluable apoyo espiritual y logístico, en cada uno de mis proyectos, y en especial para la culminación de mi especialidad. Sin su apoyo esto no fuera posible.

A mi familia, pilares fundamentales de mi vida personal y profesional, quienes me han acompañado en cada paso que doy, al pendiente de mis necesidades. Por sus palabras oportunas y necesarias. Los adoro.

A todas las personas que de una u otra manera influyeron en este logro, incluyendo a mis profesores y amigos de posgrado.

A todos ustedes dedico este logro.

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que colaboraron en la culminación de esta nueva meta profesional.

A mi madre, y a mis pacientes. Cada minuto de tiempo invertido con ustedes, me transformaron en positivo durante el desarrollo de mi especialidad y de mi vida.

A mis profesores, compañeros de clase, higienistas, a Lucy, y a todo el personal administrativo que trabaja con una sonrisa en la Universidad, atentos y colaborativos para atender nuestros requerimientos.

A mi hermana, que con profundo amor, consejos y paciencia se encargó de la corrección ortotipográfica y de estilo de este texto.



Universidad de Carabobo

Facultad de Odontología

Dirección de Estudios de Posgrado

Programa de Especialización en Endodoncia

AVANCES EN LA METALÚRGICA DE LAS LIMAS ENDODÓNTICAS MECANIZADAS EN LA ERA ACTUAL

Trabajo de grado adscrito en la UNIMPA, en línea de investigación Rehabilitación del sistema estomatognático y la temática rehabilitación anátomo funcional y la subtemática instrumentación Manual y Rotatoria del sistema de conductos radiculares de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo

Autor: Dulce Miguel Moreno

Año 2019

RESUMEN

Las limas endodónticas mecanizadas forman parte importante e indispensable para la preparación mecánica de tratamientos endodónticos no quirúrgicos, como herramienta innovadora para reducir errores y realizar un tratamiento predecible. Las limas endodónticas no escapan del avance tecnológico, y se ve reflejado en cambios continuos no solo en sus diseños, sino también en tratamientos realizados a la aleación de níquel titanio, en los cuales se basa la fabricación de estos instrumentos. Conocer la metalúrgica de esta aleación permite entender el comportamiento del instrumento, confiere la destreza para un mayor provecho de sus propiedades, y por ende evita errores en tan importante etapa del tratamiento. El presente trabajo de grado, de modalidad documental, tiene como objetivo analizar los avances en la metalúrgica de las limas endodónticas en la era actual.



Universidad de Carabobo

Facultad de Odontología

Dirección de Estudios de Postgrado

Programa de Especialización en Endodoncia

AVANCES EN LA METALÚRGICA DE LAS LIMAS ENDODÓNTICAS MECANIZADAS EN LA ERA ACTUAL

Trabajo de grado adscrito a la LITICSE, en la línea de investigación Rehabilitación del Sistema Estomatognático; temática: Rehabilitación Anátomo Funcional; subtemática: Instrumentación Manual y Rotatoria del Sistema de Conductos Radiculares de la Facultad de Odontología de la Universidad de Carabobo

Autor: Dulce Miguel Moreno

Año 2019

ABSTRACT

Mechanized endodontic files are an important and indispensable part for the mechanical preparation of non-surgical endodontic treatment, as an innovative tool to reduce errors and perform a predictable treatment. Endodontic files do not escape of technological progress, and it is reflected in continuous changes; not only in its design, but also in treatments is based. Knowing the metallurgical of this, allows us to understand the behavior of the instrument and confers the skill to a greater advantage of its properties, and therefore avoids errors in such an important stage of the treatment. This documentary research has as aim to analyze the advances in metallurgical of the endodontic files, in the current era.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria _____	7
Agradecimiento _____	8
Resumen _____	9
Abstract _____	10
Introducción _____	13
Revisión Bibliográfica _____	21
Tratamiento endodóntico no quirúrgico _____	21
Preparación del sistema de conductos radiculares _____	22
Instrumental endodóntico mecanizado _____	23
Aleación de níquel titanio _____	25
Metalúrgica de las aleaciones de níquel titanio _____	27
Clasificación de los instrumentos mecanizados _____	30
Tratamiento térmico _____	32
Tratamiento de superficie _____	33

. DISCUSIÓN	44
. CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	56

Introducción

La endodoncia es una de las especialidades en el área odontológica, que se encuentra en constante avance tecnológico, con respecto a los materiales, instrumentos y equipos que son utilizados en las diferentes fases del tratamiento. Uno de los instrumentos más utilizados por el endodoncista son las limas endodónticas mecanizadas. Estas ayudan a reducir el tiempo de trabajo y mejora la eficiencia durante la preparación del sistema de conductos radiculares, garantizando un aumento en la tasa de éxitos, y un resultado predecible.

Debe tomarse en cuenta, que la preparación del sistema de conductos radiculares es una etapa importante en la terapia endodóntica no quirúrgica, la cual representa entre otras el éxito del tratamiento realizado, con la introducción del níquel/ titanio, comenzaron a variar los diseños de los instrumentos, y también a modificar la metalurgia de los mismos, la futura investigación busca la simplificación y facilitar el conocimiento sobre la metalúrgica de la instrumentación mecanizada utilizada en la actualidad para realizar la terapia endodóntica no quirúrgica.

La utilización de instrumental mecanizado brinda ventajas importantes, entre las que se pueden mencionar, la preparación del sistema de conductos radiculares más efectiva, y la reducción del tiempo de trabajo en esta etapa del tratamiento, el cual puede ser usado en la fase de desinfección. La flexibilidad del instrumento reduce el riesgo de accidentes en conductos curvos, evita el desgaste innecesario en las paredes dentinarias, y mantiene la configuración radicular original.

Se evidencia en Washington en el año 1838 la fabricación del primer instrumento endodóntico, fabricado por Edwin Maynard partiendo de una

cuerda de reloj. Este instrumento se utilizó con el fin de ensanchar y limpiar el conducto radicular; la forma de realizarlo era con la utilización de limas que aumentaban su diámetro gradualmente.

En principio, los instrumentos eran fabricados con acero de carbono donde la única característica en común era el aumento gradual del diámetro, la secuencia del mismo, y la longitud variaba de acuerdo al fabricante. En el año 1962, gracias al aporte de John Ingle y Levine, la sociedad americana de endodoncia toma en cuenta realizar una estandarización de los instrumentos endodónticos utilizados para la práctica clínica endodóntica, siendo el primero las limas tipo K fabricadas por la industria Kerr Manufacturing C.A.⁷

El objetivo de la utilización de estas limas dentro del conducto radicular era el de realizar una preparación quirúrgica, con la remoción del tejido pulpar y la disminución de microorganismos, logrando la limpieza y asepsia con la conformación de una forma adecuada para su posterior obturación. La anatomía del sistema de conductos radiculares obligó a la evolución en la fabricación de los instrumentos, desde el material a utilizar (acero de carbono, acero inoxidable y níquel titanio) hasta la creación de diversas técnicas manuales para utilizarlos, y la variación en su diseño, adaptando las curvas de las raíces, para buscar mayor flexibilidad.

Cvjan, en los años 70, fue el primero en sugerir la utilización del níquel titanio para dar mayor flexibilidad a los instrumentos endodónticos, y resistencia torsional, al compararlas con las limas de acero inoxidable; estas características estaban direccionadas a disminuir significativamente los errores producidos por la rigidez del acero inoxidable, como por ejemplo, menor riesgo al transporte apical, escalones y perforaciones.⁸

Posteriormente, la utilización del níquel titanio en los instrumentos manuales, y la evidencia científica positiva relacionada con su uso, impulsó el desarrollo

de las limas mecanizadas, otorgando rapidez a la preparación del conducto radicular.

La introducción de la aleación de níquel titanio para la fabricación de limas endodónticas dio paso a una nueva generación de limas activadas de forma mecánica, constituyendo un avance de la endodoncia actual, al mejorar la instrumentación, reducir el tiempo de trabajo, la fatiga y el estrés del operador.¹¹

En la actualidad, el mercado especializado sigue ofreciendo nuevas alternativas de instrumentos mecanizados con ciertas diferencias en su diseño y fabricación, con características variables en su forma transversal, conicidad y ángulo de cortes según cada casa comercial, para otorgar mayor flexibilidad, y conformación de conicidad de forma rápida y efectiva.

De esta manera se logra mantener la configuración original del conducto sobre la base de las propiedades superelásticas del níquel titanio, que indican una revolución en el manejo endodóntico mediante estas herramientas.

Sin embargo, pese a estas bondades aun así pueden generarse problemas que impidan un resultado exitoso del tratamiento endodóntico. Estos problemas suceden por responsabilidad del operador, que no realiza una elección eficiente entre las diferentes de limas mecanizadas que ofrece el mercado, para tratar su caso.

El endodoncista debe conocer a detalle todos los aspectos relacionados con la instrumentación mecanizada para optimizar su utilización y evitar errores y fracasos durante la manipulación, uno de estos la fractura.

A pesar de las cualidades antes mencionadas, uno de los riesgos al utilizar instrumentos mecanizados es la fractura, las cuales pueden ser ocasionadas por estrés torsional o fatiga cíclica. La fractura por torsión ocurre cuando el

instrumento rota dentro del conducto radicular y éste se atora en las paredes del conducto mientras continúa el movimiento de rotación, ocasionando la superación del límite de elasticidad de la lima. La fractura por fatiga cíclica o flexión, es causada por aspectos referentes a la anatomía dental, especialmente a los conductos curvos que llevan al instrumento a ciclos de tensión y compresión superando su punto máximo de flexión produciendo la fractura.¹²

La fractura de un instrumento dentro del sistema de conductos radiculares compromete el tratamiento endodóntico y su pronóstico, representa una de las preocupaciones principales al momento de utilizar las limas mecanizadas de níquel titanio; la ruptura sucede de manera inesperada.

Es importante destacar que la incidencia a la fractura de los instrumentos es variable, un estudio realizado por Prieto y Cols, en el año 2015, menciona que el reporte de prevalencia de fractura de instrumentos se encuentra entre 5% y 20%.¹⁴ Por su parte, Alfouzan, K., & Jamleh, A. (2017) Indican que el uso clínico repetido influye en el estrés del instrumento originando su fractura, ellos evalúan la incidencia de la ruptura de instrumentos de níquel titanio durante el tratamiento y retratamiento endodóntico, con un estudio retrospectivo de 5 años, donde obtienen como resultado que la incidencia a fractura es de un 1.41% de los cuales 0.74% se refieren a primeros tratamientos y 2.96% a casos de retratamiento.¹⁵

Villela et al. (2017) Realizan un estudio retrospectivo por medio de la revisión de 20 artículos en el cual hacen referencia a la incidencia de fractura de instrumentos de NiTi, reportado desde el año 1997 al 2016, con un resultado que varía entre 0.3% a 22.9 % de incidencia a la fractura.¹⁶

Lambrianidis, T. (Ed.). (2018)¹⁷, reporta una incidencia de fractura de 0.7 a 7.4 %; mientras que en el mismo año Khasnis y colaboradores indican que la prevalencia va de un 1.3 a 10%, este porcentaje es determinado por la revisión de diversos artículos publicados entre el año 2000 al 2017.¹⁸

En el desarrollo de la evidencia científica antes mencionada, se indica que para reducir la incidencia a la fractura se toman en cuenta diversos aspectos que influyen en la resistencia a la fatiga cíclica y torsional, como son el instrumento, el operador y la anatomía del diente a tratar.

El operador debe estar en capacidad de elegir el mejor instrumento que se adapte a las necesidades de la unidad dentaria a tratar, para ello es importante conocer todos los aspectos relacionados que conllevan a la elección de un sistema. Además de lo importante que es el conocimiento sobre el diseño del instrumento, la aleación de éste también es una variable a considerar.

El mercado actual ofrece una muy amplia variedad de sistemas mecanizados para la preparación biomecánica de conductos radiculares curvos; por tal motivo, todos los fabricantes tienen sus propios diseños de limas e instrumentos y las características que ostentan, siempre son las mejores.

Los instrumentos mecanizados de níquel titanio son utilizados desde el año 1992, y marcaron un cambio importante, luego de que las casas comerciales empezaran a fabricar instrumentos con aleación de níquel titanio, con tratamientos, para optimizar sus propiedades. En el año 1999 se utilizó tratamientos de electropulido, en el 2007 iniciaron los tratamientos térmicos pre y/o post manufactura con diferentes variaciones, y en el 2016 la casa coltene realizo tratamiento de electrodescarga a su instrumento.

Diversos estudios se han realizado tomando en cuenta la metalurgia de las limas mecanizadas, ya que el avance o el desarrollo de nuevos sistemas va

de la mano con la manufacturación o diversos tratamientos realizados a la aleación para lograr aumentar sus propiedades, tomando en cuenta los diferentes aspectos que pueden modificarlos; a continuación se mencionarán algunos.

En Alemania, en el año 2000, Tillmann presentó un proyecto titulado “tecnología de producción para componentes y semiherramientas de aleación de níquel titanio”, donde se explica el efecto de la temperatura en la aleación de níquel titanio, el uso de la aleación en la fabricación de instrumentos superelásticos, e instrumentos con efecto de memoria de forma; el autor puntualiza que para poder obtener ambas propiedades la aleación debe transformarse a la forma deseada y aplicar temperatura de 350 a 600°C. Es importante resaltar que en el proyecto realizado por Tillmann se definen cada una de las propiedades de la aleación para poder adecuarlo al fin de cada herramienta a fabricar según su funcionalidad, y el avance que genera al área de la salud.

En el año 2017, en Lima Perú, Flores A. presentó una tesis titulada Aleaciones de Níquel Titanio en la Manufacturación de las Limas Endodónticas la autora realizó una revisión bibliográfica donde relaciona la aleación de níquel titanio con la manufactura de las limas endodónticas, llegando a la conclusión de que la mencionada aleación es la ideal para la fabricación de limas endodónticos destacando que no existe un sistema mecanizado que se considere como el mejor, pero si protocolos y parámetros adecuados para facilitar la instrumentación del sistema de conductos radiculares.

En el año 2009, Alapati s. y Cols. Realizan un estudio titulado “características metalúrgicas de un nuevo vástago de níquel titanio para instrumentos rotativos de endodoncia” publicado en el *journal of endodontics*, con el objetivo de determinar el origen de las propiedades mecánicas

mejoradas, en donde se examinaron dos muestras de dos instrumentos fabricados con M-wire con diferentes métodos de procesamiento, evaluándolos con microscopía electrónica, escáner de calorimetría y microscopía electrónica de barrido, llegando a la conclusión de que los instrumentos con modificación o procesamiento micro estructuralmente presentan un fortalecimiento de la aleación. Comparado con el presente estudio, se evidencia que los tratamientos de la aleación de níquel titanio convencional mejoran las propiedades de los instrumentos endodónticos.

En el 2011 Shen. y Cols. titulan un artículo como “características metalúrgicas de los instrumentos rotativos de níquel titanio con memoria controlada”, en el cual examinan el comportamiento de transformación de fase y microestructura de los instrumentos de níquel titanio a partir de su fabricación con un vástago con memoria controlada (CM-Wire), para esto se tomaron 6 instrumentos rotatorios, examinados con escaneo diferencial calorimétrico, y difracción de rayos X para observar microestructura de los instrumentos en estudio, llegando a la conclusión que los instrumentos CM-Wire tienen cambios significativos en el comportamiento de transformación de fase, comparado con el níquel titanio convencional, aumentando su resistencia.

En el año 2011 De León, en Perú realiza una revisión bibliográfica titulada “evolución de los sistemas rotatorios en endodoncia: propiedades y diseño”, el objetivo de este trabajo es evaluar los cambios relacionados con las propiedades metalúrgicas y el diseño de nuevos instrumentos endodónticos, llegando a la conclusión que el conocimiento detallado de los instrumentos endodónticos mecanizados dan mayor seguridad y eficiencia al operador, obteniendo mejores resultados en la calidad del tratamiento endodóntico.

En este sentido, y con el desarrollo de la siguiente investigación busca beneficiar al paciente en la reducción del tiempo de trabajo, evitando errores

y proporcionando una terapéutica adecuada y por su parte, al operador mediante la simplificación del procedimiento de conformación del sistema de conductos radiculares, así mismo representa una herramienta útil para el odontólogo ya que con los conocimientos adquiridos estará en la capacidad de aclarar las dudas entre los diferentes sistemas mecanizados y simplificar el tiempo operatorio. Así mismo se considera como un aporte metodológico de la investigación el generar base referencial y/o antecedentes para futuras investigaciones similares.

No menos importante, da un aporte social, se fundamenta en crear una herramienta para evitar complicaciones mayores en un tratamiento endodóntico no quirúrgico, dando así un óptimo, preciso y adecuado tratamiento y manejo endodóntico.

Tomando en consideración la evolución durante los últimos años de los sistemas fabricados con aleación de níquel titanio, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar los cambios metalúrgicos de las limas mecanizadas en la era actual, a través de la mención de la metalúrgica utilizada para la fabricación de las limas mecanizadas, e identificación de las características aportadas por los diferentes tratamientos realizados a los instrumentos

De acuerdo al objetivo que se pretenden alcanzar con la presente investigación, se puede identificar como un diseño no experimental de tipo documental, bajo la modalidad de revisión bibliográfica mediante una búsqueda minuciosa con una selección y recopilación crítica de lo que se ha escrito y publicado sobre el tema, en diferentes fuentes primarias como publicaciones periódicas y no periódicas, documentos audiovisuales o análisis de grabaciones, documentos hallados en internet, publicaciones en la web, diarios o revistas científicas indexadas, libros, tesis o documentos digitalizados, encontrados a través de una búsqueda electrónica mediante PubMed, Scienedirect, Medline, Scielo y Google Académico

La búsqueda de la información por medio de publicaciones de artículos científicos se realizó en revistas reconocidas como ejemplo se puede mencionar: *journal of endodontic*, *international endodontic journal*, *the british journal*, *international dental research*, entre otras, donde se seleccionaron metaanálisis, revisiones bibliográficas, estudios prospectivos, reportes de caso, series de casos y algunos estudios in vitro e in vivo. Los datos de la investigación se realizaron por medio de la evaluación y revisión bibliográfica, de los documentos obtenidos de manera organizada para no pasar por alto detalles importantes, para esto se utilizan diferentes técnicas e instrumentos de recolección de datos, como las fichas de citas textuales.

El presente trabajo se encuentra adscrito al laboratorio de investigación de tecnología LITICSE, bajo la línea de investigación biotecnología en la temática biomateriales y tecnología innovada y la subtemática de propiedades de los materiales.

Revisión Bibliográfica

Tratamiento endodóntico no quirúrgico:

Este tratamiento se realiza a las unidades dentarias donde el tejido vasculo-nervioso del mismo se encuentra afectado de manera irreversible, y busca mantener el órgano dental en su arcada de manera funcional y estética.

La asociación americana de endodoncia (AAE) ¹⁹ en su glosario de términos define la endodoncia como:

Rama de la odontología que estudia la morfología, la fisiología y la patología de la pulpa dental humana y los tejidos perirradicular, abarcando las ciencias clínicas básicas, incluida la biología de la pulpa normal; la etiología, el diagnóstico, la prevención y tratamiento de enfermedades y lesiones de la pulpa, y condiciones del tejido perirradicular asociado.

Una unidad dentaria tratada endodónticamente, de forma correcta, representa la permanencia de la misma en la arcada dentaria, luego de perder su función vital, no solo es tratar la raíz del diente, es un tratamiento multidisciplinario el éxito del tratamiento endodóntico no quirúrgico va de la mano con una correcta restauración, y un tejido de soporte en buenas condiciones.

Uno de los objetivos del tratamiento endodóntico no quirúrgico es prevenir o curar la periodontitis apical.^{20 21}

Partiendo de dicha premisa, para lograr este objetivo Schilder indica que se deben cumplir dos criterios: mecánicamente, la obturación tridimensional del sistema de conductos radiculares, y biológicamente, la eliminación de la degradación de proteínas, bacterias y toxinas dentro del conducto.²²

Ambos criterios, los mecánicos y los biológicos, se logran mediante una correcta preparación del sistema de conductos radiculares.

La preparación del sistema de conductos radiculares, desde una perspectiva biológica, busca la resolución en una enfermedad perirradicular o evitar que esta ocurra, mediante la acción de diferentes irrigantes utilizados dentro del sistema de conductos radiculares, lo que abarca el componente químico, para eliminar los elementos causantes de la enfermedad. Estos irrigantes suelen actuar mediante el contacto directo con el contenido contaminante dentro del conducto radicular, y para lograrlo se requiere de una preparación mecánica previa que no cause aberración de la anatomía inicial del sistema de conductos radiculares; esto se hace por medio de instrumentos adecuados, adaptados a sus características anatómicas. Lo planteado anteriormente define la limpieza y la desinfección del sistema de conductos radiculares como un proceso bioquímico-mecánico.

La preparación siempre estará destinada a la eliminación del contenido del conducto; el tejido nervioso afectado irreversiblemente en casos de unidades dentarias con vitalidad pulpar, y el material necrótico en casos de necrosis pulpar; esto facilita la posterior desinfección química, la acción del medicamento intraconducto (si es necesario utilizarlo) y la posterior obturación tridimensional, logrando así un tratamiento endodóntico con pronósticos predecibles.

Preparación del sistema de conductos radiculares de forma mecánica

Se refiere a las limas endodónticas utilizadas dentro del sistema de conductos radiculares para lograr una correcta conformación del mismo, que pueden ser activadas de forma mecánica, por medio de equipos denominados motores endodónticos.

La idea de utilizar motores para activar mecánicamente el instrumento data del año 1958, con el cabezal de lima RACER, que realizaba movimientos oscilatorios longitudinales; y con el contraángulo GIROMATIC en 1964, el cual realizaba movimientos reciprocantes. ^{23 24}

En esa misma época se crearon varios contraángulos para la activación de limas endodónticas dentro del conducto, ya se hablaba de movimiento de rotación continua, de tracción lineal y movimientos reciprocantes, pero se tenía poco control del movimiento. Entre las principales desventajas se encontraba; la ausencia de sensibilidad táctil, lo que podría generar errores en el procedimiento como desviaciones de la anatomía inicial del conducto, y múltiples fracturas de instrumentos en el interior del conducto^{24 25} ya que las limas utilizadas eran fabricadas de acero inoxidable; esta fue la principal causa por la cual se dejó a un lado la instrumentación mecanizada.

Luego del descubrimiento de la aleación de níquel titanio, vuelve a tomar fuerza la idea de una preparación del sistema de conductos radiculares de manera mecánica, ya que la fabricación de limas con esta aleación da flexibilidad al instrumento dentro del conducto, permitiendo su adaptación a la anatomía variante del sistema de conductos radiculares. De esta manera se resolvió el problema de la rigidez y la fractura, a su vez, los motores utilizados para la activación de dichos instrumentos presentan ahora control de velocidad y de torque.

Instrumental endodóntico mecanizado:

Las protagonistas son las limas endodónticas accionadas por medio de motores endodónticos, estas limas son fabricadas de aleación de níquel titanio; dicha aleación se caracteriza por su flexibilidad, elasticidad y control de memoria; se utilizan desde inicio de la década de los 90^{25 26} y marcaron un progreso en la especialidad; actualmente forman parte fundamental del arsenal diario utilizado por el endodoncista.²⁷

Estos instrumentos tienen una capacidad adecuada para la preparación del sistema de conductos radiculares, ya que permiten una instrumentación controlada que resulta en preparaciones anatómicamente predecibles, y que

se pueden lograr en menor tiempo, con mayor comodidad para el paciente y el operador.²⁷

En la actualidad se pueden encontrar una gran variedad de limas endodónticas mecanizadas. Las diferentes casas comerciales, buscando la adaptación del instrumento al complejo y variable sistema de conductos radiculares, realizan modificaciones en el diseño e innovadores tratamientos térmicos, y tratamientos de superficie, que aumentan la flexibilidad de la aleación.

Es importante que el operador tenga un conocimiento sobre el diseño del instrumental, la preparación previa de su aleación, y la cinemática de uso del instrumento, para lograr una correcta elección de la lima, que se adapte a sus capacidades y a la unidad dentaria, logrando, de esta manera, una reducción del tiempo en la preparación mecánica, y una optimización del uso del instrumentos.

La preparación mecánica no se desliga de la preparación química, ya que la instrumentación se debe realizar con irrigante (hipoclorito de sodio) dentro del conducto. La reducción del tiempo en esta fase facilita la posterior desinfección del sistema de conductos radiculares, y los nuevos diseños preparan al conducto para una mejor desinfección bioquímico-mecánica. Así se facilita la llegada del irrigante a esos lugares que no fueron tocados por el instrumento.

Como se mencionó anteriormente, para la elección de una lima en particular, el profesional debe tomar en cuenta las indicaciones, ventajas, limitaciones, características morfológicas y mecánicas del instrumento. De igual manera, se recomienda tener una capacitación adecuada, que proporcione mayor seguridad al operador y reduzca los posibles errores o accidentes que puedan presentarse.^{26 28}

Aleación de níquel titanio

La aleación de níquel titanio se descubrió en 1963, por el metalúrgico estadounidense William J. Buchler, de forma casual, en el *Naval Ordnance Laboratory*, (N.O.L) mientras realizaba estudios para crear un intermetal que fuera resistente a la corrosión, impermeable y no magnético.²⁹ Los intermetálicos son formados por la unión de dos metales, que en este caso serían níquel (NI) y titanio (TI), en proporciones casi iguales, lo que los convierte en intermetálicos equiatómicos, también se pueden llamar NITINOL por sus componentes y lugar de creación.³⁰

La aleación de níquel titanio es denominada una aleación inteligente por sus propiedades principales que son la superelasticidad y el efecto de memoria de forma.

Por su parte, para poder entender en qué consisten estas características se necesita conocer lo que respecta a la deformación elástica y la deformación plástica de un metal.

La deformación elástica es el cambio de forma o dimensión de un cuerpo por debajo de su límite elástico. El límite elástico se refiere a la capacidad de un material para soportar una carga sin deformación, de forma reversible; si se supera el límite elástico se estaría hablando de una deformación plástica.³¹

La deformación plástica es la deformación de un material producido por una fatiga o carga que supera el límite de su elasticidad, produciendo una deformación, es decir, un cambio de forma del material.³¹

Es importante el conocimiento de estos conceptos por que se encuentran en íntima relación con las características principales de la aleación de níquel titanio. La deformación elástica es a la superelasticidad, de igual forma que la deformación plástica es al control de memoria; siendo proporcionales la respuesta del material a la carga ejercida, que al superar el límite elástico,

pasa a la deformación plástica, con la particularidad de ser una aleación con memoria de forma.

El efecto de memoria de forma: es la capacidad del material de deformarse y volver a su forma original preestablecida, por medio de la descarga, o del calentamiento inducido térmicamente.³²

La superelasticidad y el efecto de memoria de forma, se encuentran relacionados con la aplicación de una tensión que es inducida mecánicamente, o por el cambio de temperatura a la aleación, el cual tiene la capacidad de absorber esta energía hasta un 8% más que el acero inoxidable, mediante el cambio en la posición de sus átomos. Este proceso lleva por nombre transición de fase cristalográfica; estas fases son: la austenita y la martensita.

La fase austenita es aquella en la cual los átomos se encuentran en disposición simétrica, esta es la fase original, o la fase a temperatura ambiente de los instrumentos de níquel titanio convencionales. En este punto la aleación es rígida, dura y se caracteriza por su superelasticidad, además presenta estabilidad a altas temperaturas, y a bajos valores de tensión.³³

Por su parte, se dice que una aleación níquel titanio está en fase martensítica cuando ha superado su límite elástico. La disposición atómica en esta fase, puede ser de forma asimétrica, o como la denominan muchos autores, en forma de cizalla, o sierra. Esta es la fase original, o la fase a temperatura ambiente de los instrumentos de níquel titanio tratados, y se caracteriza por ser dúctil, es decir maleable, por lo que se deforma con facilidad, y son estables a bajas temperaturas y a altos valores de tensión.³³

El proceso de fabricación metalúrgica define el estado final de la aleación de níquel titanio, que se pueden encontrar con aleaciones en estado de austenita, o en estado de martensita; la diferencia entre ellas se puede

identificar, microestructuralmente, por la disposición de las partículas, y el proceso y temperatura de su fabricación.

Las fases mencionadas anteriormente, son fases de transformación metálica que se dan durante la fabricación de la aleación, y también en la aleación ya elaborada, en donde pueden ser modificadas por diferentes tratamientos térmicos, y/o por variación en su composición; a continuación se explicará la metalúrgica de la aleación níquel titanio.

Metalúrgica de la aleación de níquel titanio

La aleación de níquel titanio es una aleación intermetálica equiatómica³³, cuya mezcla se compone de níquel en proporción de 55% y titanio en proporción de 45%. Si hay alguna variación en estas proporciones de metales, se afectarán las temperaturas de variación de transición de fase, generando que sus características de superelasticidad y control de memoria de forma también se vean afectadas, siendo estas características las más relevantes en la aplicación médico-odontológica.

Si en la aleación níquel-titanio se presenta una composición donde el níquel es de mayor porcentaje, se afectará la temperatura de transición de fase, teniendo como resultado que la aleación no sea estable a baja temperatura, disminuyéndose así su capacidad de efecto de memoria en la transformación a martensita. Es importante recordar que para generar el cambio de austenita a martensita es necesario aplicar tensión; autores como Frenzel y Cols. realizaron un estudio donde evalúan las propiedades de aleaciones de níquel titanio, con desviaciones en su composición; entre sus conclusiones mencionan que las propiedades de la aleación dependen del procesamiento de la misma; a su vez destacan la importancia de los niveles de pureza de la aleación, y el efecto en las fases de transformación cuando no se cuida la metalúrgica de la aleación.

Lo anteriormente expuesto afirma que el proceso metalúrgico juega un papel importante ya que las propiedades mecánicas de la aleación se ven influenciadas por su procesamiento, la obtención de una aleación de níquel titanio se realiza por medio de fusión.³⁴

Las técnicas de fusión pueden ser; fusión por inducción al vacío, fusión por arco de vacío, y molde por inyección de metal; básicamente las técnicas serían por fusión o inyección en moldes o troquel.^{34 35} Los procesos térmicos y mecánicos juegan un papel importante porque buscan obtener una aleación libre de contaminantes, homogénea y uniforme.

La fusión por inducción al vacío consiste en la colocación del metal fundido en crisol realizado de grafito³⁶ al vacío en temperaturas a partir de los 800°C; durante el proceso, dentro del crisol se colocan paletas de níquel y varillas de titanio. Esta técnica tiene como ventaja mayor el control que se logra en las temperaturas, y es la usada por las empresas SAES Smart Materials y Furukawa.³⁶ Su resultado son lingotes muy homogéneos.

La fusión por arco de vacío no requiere de un crisol para la colocación de la aleación, se realiza mediante múltiples ciclos de fusión, en donde una fuente de calor dentro del horno funde el metal y éste cae sobre un molde de cobre; al producto de este proceso se le realizan múltiples fusiones, es importante el control de la temperatura y el número de veces que se funde la aleación. El resultado de este proceso son aleaciones de muy alta calidad.³⁶

Novak y colaboradores, también mencionan la técnica de pulvimetalurgia³⁴ donde los metales se forman de polvo, se funden, y se prensan, o se moldean, por inyección.

Es importante que durante la fabricación de la aleación níquel titanio, se lleve el control de la proporción de los metales y la temperatura, ya que sobrepasarse, o presentarse un déficit en sus componentes genera una

aleación distinta. En el diagrama de transformación (ver figura 1), se puede observar cuando se forma la aleación de níquel titanio. El equilibrio de proporción de esta aleación es de 50% níquel y 50% titanio, a una temperatura entre 600° C y 1400 °C.

A través de las normas de la sociedad americana de pruebas y materiales internacionales que utilizan tecnología térmica, se busca cuantificar la variabilidad de la aleación, y controlar la fabricación y pruebas de las aleaciones de níquel titanio, para el uso de dispositivos médicos.

Luego de la producción de los lingotes de níquel titanio, según cuál será su función biomédica, se pueden realizar tratamientos posteriores cuando se fabrican limas de níquel titanio.

De acuerdo con lo anterior, las limas mecanizadas son fabricadas a partir de un vástago de aleación de níquel y titanio. En la actualidad, el vástago puede ser de aleación convencional o presentar algún tipo de tratamiento térmico o de superficie, antes o después de ser diseñados.

Para realizar el estudio de dichos instrumentos se tomará en cuenta la clasificación de los instrumentos activados mecánicamente, que realizó el autor Mario Roberto³⁷ en el año 2017. Esta clasificación divide el instrumental endodóntico mecanizado, según el vástago utilizado para su fabricación, en 6 generaciones.

- ✓ **Primera generación** instrumentos fabricados con níquel titanio (NiTi).
- ✓ **Segunda generación** instrumentos fabricados con NiTi fase R.
- ✓ **Tercera generación** instrumentos fabricados con NiTi M-Wire.
- ✓ **Cuarta generación** instrumentos fabricados con NiTi CM- Wire.
- ✓ **Quinta generación** instrumentos fabricados con tratamiento GOLD.
- ✓ **Última generación** Instrumentos fabricados con tratamientos BLUE.

En la PRIMERA GENERACIÓN se encuentran los instrumentos fabricados a partir de un vástago de aleación de níquel titanio convencional. Es importante destacar que estos instrumentos son los que marcaron la diferencia entre la preparación del sistema de conductos radiculares de forma manual (limas de acero inoxidable) a preparaciones mecanizadas (limas de níquel titanio).

La primera característica destacada de estos instrumentos es la flexibilidad del mismo, gracias a la elasticidad de la aleación. En su composición se encuentra un 55% de níquel y un 45% de titanio.³⁸ La temperatura de Austenita final es de 31°C.

En cuanto a su estructura microestructural, estos instrumentos se encuentran en fase austenita, y presentan deformación elástica irreversible. En su transformación de fase austenita final, a martensita final, estos instrumentos no cuentan con la característica mecánica del control de memoria, reaccionando al ser sometidos a estrés; por ello el diseño de estos instrumentos se realiza mediante mecanizado o tallado, y no por torsión como los de acero inoxidable.

La manufactura juega un papel importante en la proporción de los metales, la temperatura de fusión, y el diámetro del vástago. Antes de su mecanizado, esto afecta sus propiedades físicas, ya que al tener 1% de variación en la proporción de los inter-metales, causaría 100°C de variación en su temperatura de fusión, y por ende, cambios en sus propiedades físicas y/o de homogeneidad.³⁸

Los instrumentos destacados de la primera generación son:

Profile 0.4 – 0.6; no solo fueron uno de los primeros instrumentos diseñados para el uso rotatorio, estos también representan una modificación en su conicidad; variación que no se presentaba en los instrumentos manuales fabricados con acero inoxidable. La conicidad, a pesar de ser constante,

presentaba la variación, no solo eran de conicidad 0.2, si no también se encontraban 0.4.

Otras limas destacadas de esta primera generación son: Lightspeed, Greater Quantec niti, Protapper universal y Mtwo.³⁸

A continuación, debe señalarse que las siguientes generaciones son de vástagos tratados, con tratamientos posteriores, a la metalurgia de la aleación de níquel titanio. Estos tratamientos son utilizados para mejorar o aumentar las propiedades físicas de la aleación. Elahinia y Cols. (2012) mencionan que los tratamientos que se pueden realizar a la aleación son, trabajos en frío, trabajos en caliente, maquinado, tratamientos de superficie y tratamientos térmicos.

Los tratamientos pueden ser térmicos, o de superficie, y son patentados por las casas comerciales que lo realizan. Las limas endodónticas en general requieren de una fabricación y diseño detallado. Lo que se busca con estos tratamientos es mejorar las propiedades mecánicas de la aleación, para disminuir los riesgos mientras se están utilizando, buscando una mayor flexibilidad, una mayor resistencia a la fatiga por torsión, y la utilización de la propiedad de control de memoria.

Las casas comerciales no suelen revelar los procedimientos de los tratamientos a los cuales se someten sus instrumentos, pero lo que sí se sabe es que dichos procedimientos se basan en cambios de temperatura a la aleación, en el caso de tratamientos térmicos, y/o tratamientos de superficie; ambos se explicaran a continuación:

Tratamientos térmicos:

Estos tratamientos buscan cambiar microestructuralmente la aleación. Es decir, cambiar la matriz de la fase cristalográfica, de la aleación de níquel titanio. En las aleaciones convencionales tenemos que instrumentos en fase

austenita final, al ser sometidos a cambios de temperatura, inician una transformación de fase, o sea de adaptación, que es la principal característica de la aleación. Aquí se logra alterar la disposición anatómica, y por ende la fase de transformación, resultando una aleación que requiere de mayor temperatura para su deformación.⁴⁰

Los tratamientos térmicos pueden realizarse antes o después del diseño, por ejemplo, antes de tallar se le realiza tratamiento al M-Wire de Protaper Next (maillerfer), y después a las Wave One Gold (dentsply).

Tratamientos de superficie:

Son tratamientos realizados en los instrumentos luego de su diseño, y buscan mejorar su acabado, y obtener un instrumento sin detalles, disminuyendo así la posibilidad de fracturas. Esto es importante porque las imperfecciones en la superficie son una de las causas de fractura de los instrumentos; una grieta puede ser la causante de una separación.^{38 39}

Hay tratamientos que consisten en procedimientos electroquímicos, estos son los llamados de electropulidos, y busca minimizar los detalles. El electro pulido es un tratamiento de superficie que consiste en un procedimiento electroquímico para minimizar los detalles de la superficie del instrumento fabricado, por medio de la disolución iónica de imperfecciones, a través del recubrimiento de TIO₂ en la aleación. Khasnis, en el 2018, menciona que el electropulido da mayor resistencia a la corrosión y resistencia a la fatiga cíclica.³⁹

Otro tratamiento es la exposición a un filamento caliente de plasma, formando una capa de nituro de titanio sobre la superficie del instrumento, autores mencionan que este tratamiento le confiere mayor eficiencia de corte al instrumento, dureza, y resistencia al desgaste.³⁹

SEGUNDA GENERACIÓN

Son aquellos instrumentos fabricados con aleación de níquel titanio, en fase R. Es el primer tratamiento térmico realizado a un vástago convencional, y fue presentado en el año 2007 por la casa comercial SybronEndo. Las limas conocidas en fase R son Twisted File (TF), K3XF, TF Adaptive.⁴³

La fase R es una fase intermedia entre la transformación de austenita final, a martensita Inicial, y se logra mediante la aplicación de estrés. Hay autores que mencionan que los instrumentos en esta fase aumentan su resistencia a la fatiga, y presentan mayor flexibilidad

La fabricación de los instrumentos en fase R se realiza por torsión, lo que anula las marcas por fresado del diseño del instrumento. Su fabricación consiste en un vástago de NiTi convencional, al que se le realiza tratamiento térmico para llegar a la fase R, y luego se le aplica torsión. En este proceso se mantiene en fase R, y luego se le aplica nuevamente tratamiento térmico para volver a fase austenita, pero en su nueva forma, dando como resultado una austenita final de 18–25°C (la curva de transformación es más estrecha y con una masa de carga más baja, por su composición microestructural).⁴⁷

En el diagrama de histéresis se puede notar que los instrumentos de fase R son más estrechos, y no parten de austenita final; lo que le da a la aleación la capacidad de absorber mayor estrés, antes de llegar a la fase martensita final.^{39 43}

TERCERA GENERACIÓN:

Son los instrumentos fabricados con aleación M- Wire, presentada en el año 2007. El tratamiento termo-mecánico de esta aleación fue patentado por (sportswire LLC, Langley OK), y los fabricantes que realizan limas mecanizadas con M-Wire aseguran que este material es más resistente a la fatiga.

M-Wire parte de una aleación níquel titanio convencional, de proporciones aproximadas 55.8 +/- 1.5% (Ni), 44.2 +/- 1.5% (Ti), pero su austenita final está comprendida entre 43 -50°, por el cambio microestructural producido por el tratamiento térmico.

Diferentes autores han realizado estudios para determinar el porqué de las propiedades mecánicas del M-Wire. Autores coinciden^{38 39 46} que se debe a su composición microestructural, modificada por el tratamiento termo mecánico. A propósito PETERS y Cols. mencionan que la modificación se debe a cambios de temperatura de forma gradual, que resulta en una condición microestructural de austenita y martensita, estable a temperatura corporal.³⁹

Sin embargo, autores como Alapati y Cols. al observar en el microscopio electrónico de barrido (SEM), señalan que microestructuralmente se evidencia cantidades casi iguales de austenita y fase R. A consecuencia de esto, al comparar el tamaño del grano del M-Wire, este es más grande que el del níquel titanio convencional, y las temperaturas de transformación de fase se realizan a más altas temperaturas.⁴⁶

Por tanto, al poseer estas tres fases en su composición a temperatura ambiente, el módulo de elasticidad es más bajo, se presenta en un estado superelástico, y al observarlo en la curva de tensión deformación (cantidad de estrés necesario para la transformación de fase), se requiere menos tensión para su transformación de austenita final a martensita inicial.⁴⁷

Las limas mecanizadas más conocidas realizadas a partir de un vástago M-Wire incluyen ProFile GT Series X, ProFile Vortex y Vortex Blue de Dentsply. El primer instrumento rotativo endodóntico disponible en el mercado fabricado con M-Wire fue el GT Series X.⁴⁸

Cabe destacar que las limas Vortex Blue están realizadas a partir de M-Wire⁴⁸ pero por presentar un tratamiento de superficie Blue, entra dentro de los instrumentos de última generación, en la clasificación dada en el 2017 por Mario Roberto.³⁷

CUARTA GENERACIÓN:

Son los instrumentos fabricados a partir de un vástago de CM-Wire, conocidos también como instrumentos de control de memoria.⁴³ A partir de esta generación se utiliza la propiedad de control de memoria de la aleación de níquel titanio, dejando a un lado la característica de superelasticidad, y fue presentado por primera vez en el año 2010.

Por ser un instrumento con control de memoria, la característica más relevante de este instrumento es su flexibilidad, ya que son instrumentos en fase martensita; es decir, a temperatura ambiente se mantienen en fase plástica, y al aplicarle estrés se puede deformar fácilmente y mantenerse en esa posición, mientras que al aplicarle una fuente de calor vuelven a su forma original.^{36 38}

En su composición la cantidad de níquel es de un 52%, por lo cual es más dúctil. Su austenita final es a 47-55°C, aunque macroscópicamente no presenta cambios, microestructuralmente presenta partículas en fase austenita, fase martensita y pocas en fase R,⁴⁷ en estos instrumentos se necesita de menos tensión, para lograr la transformación a martensita final.

Una de las cosas importantes a destacar de esta aleación es su contenido inferior de níquel, comparándola con los instrumentos anteriores.

QUINTA GENERACION:

Estos instrumentos son los clasificados como limas GOLD, ya que se le realiza un tratamiento térmico al vástago, que da como resultado un cambio de color en el mismo, gracias a la formación de óxido de titanio.

Este es un tratamiento de superficie, lo que quiere decir que busca mejorar el acabado del instrumento, por ello es realizado luego de diseñado el instrumento, y se puede encontrar instrumentos tanto en fase austenita (superelásticos) como el profile Gold, o instrumentos martensíticos (control de memoria), como el Wave One Gold.⁵⁰

La casa comercial Dentsply, afirma que el tratamiento térmico aumenta la flexibilidad de las limas, este se realiza calentando el instrumento, y luego enfriándolo lentamente.⁵⁰

Khasnis y Cols. mencionan que el tratamiento de superficie Gold se realiza tomando en cuenta el tamaño y la forma del instrumento, y que en una primera fase son expuestos a altas temperaturas de 370° a 510°C, por un tiempo de 10 a 60 minutos, dando como resultado una temperatura de austenita final de 50°C, esto en el caso de ProTaperGold. El mismo autor menciona que las limas WaveOneGold se les aplica tensión constante de 3 a 15 Kg. A temperatura 410°C a 440°C, y posteriormente se aplica calor nuevamente a la superficie a temperaturas entre 120°C a 260°C.

Las pruebas internas de DENTSPLY han demostrado lo siguiente: la resistencia a la fatiga cíclica de WaveOne GOLD Primary es un 50% mayor que la de WaveOne Primary.⁵⁰

ÚLTIMA GENERACION:

Son los instrumentos a los cuales se le realiza un tratamiento de superficie que da como resultado una capa que se caracteriza por su color azul, y fue lanzado por primera vez en el año 2011, con la presentación de ProFile Vortex Blue⁴⁷, luego en el año 2016 fue presentado el Reciproc Blue.

DE-DEUS menciona que el tratamiento se realiza por medio de calentamiento y enfriamiento por refrigeración; esto sería lo responsable de

producir la capa visible de óxido de titanio, caracterizado por el calor azul en su superficie.

El ProFile Vortex Blue presenta una austenita final de 38°C y su transformación a martensita inicia a los 31°C. En su presentación microestructural se puede observar martensita estable, lo que hace que este instrumento sea más blando y dúctil,⁴⁷ para compensarlo se le realiza el tratamiento de superficie mejorando la eficiencia de corte y dando como resultado una superficie con mayor dureza.

En el año 2017 fue presentado un nuevo instrumento que no es considerado en esta clasificación, pero que a continuación se menciona; estas son las limas realizadas a partir de la tecnología MaxWire, que es presentada por la casa comercial FKG Dentaire S.A.⁴¹

MAX WIRE

Este instrumento presenta las dos características mecánicas de la aleación de níquel titanio, la superelasticidad y el efecto de memoria, lo que significa que presenta las dos fases cristalográficas; la fase austenita y la fase martensita. También es innovador con respecto a su diseño.

Los instrumentos conocidos como MaxWire son las limas XP ENDO, con dos presentaciones; una para ser utilizada en la preparación del sistema de conducto radicular XP-Endo Shaper, y otra para activación del irrigante XP-Endo Finisher.

Se presentan en fase martensita de forma recta a temperatura ambiente, y al ingresar en el conducto radicular éste pasa a fase austenita, gracias a la memoria molecular⁵³ y luego de ser utilizados fuera del conducto, puede volver a su forma original recta, de forma manual.

El diseño del instrumento tiene un diámetro de 0.01mm, gracias a ese diámetro y a las características de superelasticidad y control de memoria, el instrumento puede distenderse y contraerse dentro del conducto, dependiendo de la temperatura, y así llegar a tocar el máximo de paredes del sistema de conductos radiculares, sin grandes modificaciones en la anatomía del conducto radicular.^{47 53}

El análisis y la interpretación de esta información se explican gráficamente, a continuación:

En la figura 1 se puede observar que para tener la aleación equiatómica, el titanio y el níquel deben presentarse en cantidades proporcionales, por ello se ve reflejado en el eje de las X como próximo al 50% formando el nitinol. La aleación estudiada se fabrica mediante la fusión y el manejo de la temperatura, que puede variar desde los 600° a los 1300°C, en este rango de concentración y temperatura es donde se manejan los diferentes tratamientos aplicados a la aleación, y las diferentes proporciones de la misma. En la medicina e ingeniería se han realizado diversos estudios comparando las características mecánicas macro y microestructurales de la variación en la aleación.

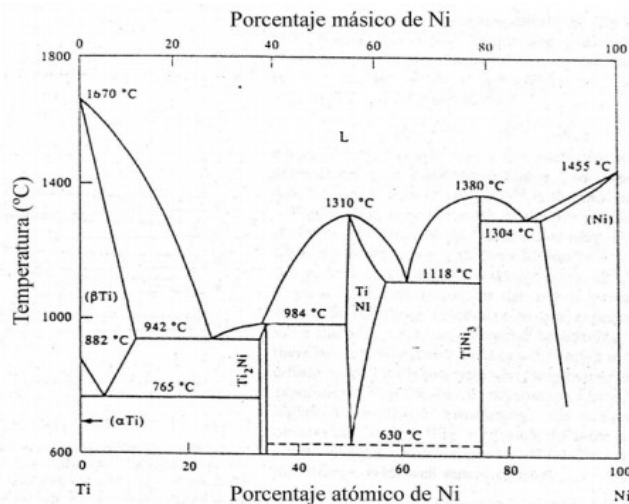


Figura 1

Diagrama de fases en el equilibrio para el sistema binario Ni-Ti [Nag94].

Las propiedades destacadas de la aleación de níquel titanio son la superelasticidad y el efecto de memoria, estas se dan como resultado de la transformación de fase de austenita a martensita, y pueden ser inducidas o activadas por medio de estrés o aumento de la temperatura (Zupanc 2018)

A continuación se observa una comparación entre la estructura del acero inoxidable con la aleación de níquel titanio.

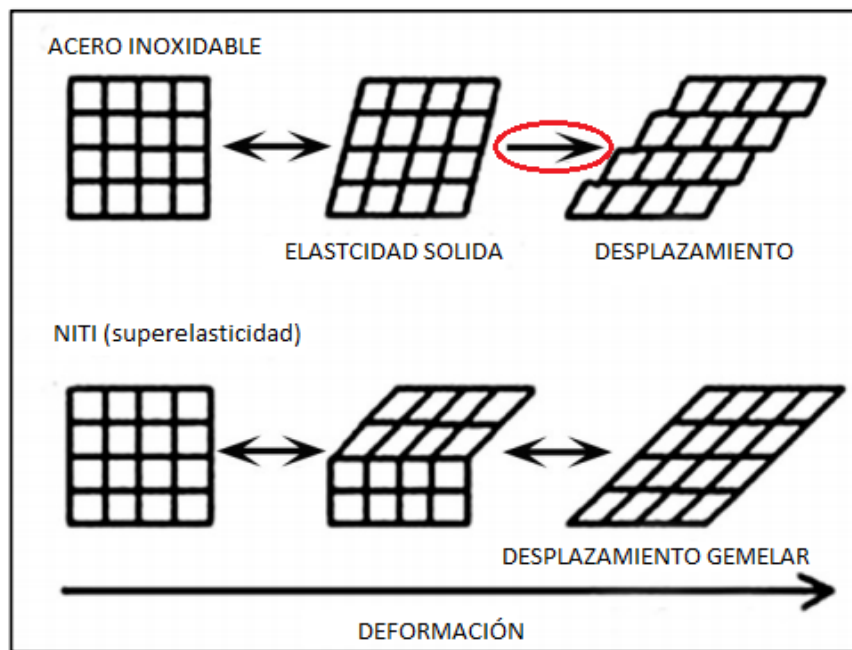


Figura 2

Se puede observar en la figura 2 un esquema comparativo macroestructural entre la aleación de acero inoxidable y la aleación de níquel titanio. Cuando el material se encuentra en reposo, la organización estructural de sus átomos se encuentra ordenada uno al lado del otro, y luego al aplicar una carga de estrés sobre la aleación la respuesta de los átomos es diferente; en ambos hay una deformación en el acero inoxidable. La carga es soportada hasta un 1%, después de esto deja de ser una deformación reversible; y a medida que se aumenta la fuerza aplicada para la deformación, el desplazamiento de los

átomos pierde la capacidad de volver a su disposición inicial, creándose una deformación plástica y cambios macroestructurales irreversibles.

Por su parte, la aleación de níquel titanio, como se mencionó al inicio, es capaz de soportar un 7% de deformación elástica, lo que quiere decir que el material absorbe mayor carga, es decir, soporta mayor estrés antes de deformarse a etapa plástica. Los átomos, ante la fuerza aplicada, se agrupan para soportarla, y al retirar la fuerza el material tiene la capacidad de volver a su forma inicial, esto es lo que se conoce como transformación austenita reversible.

Para comprender la resistencia del material de níquel titanio se mostrará una comparación de capacidad de deformación del mismo, con respecto a otros.

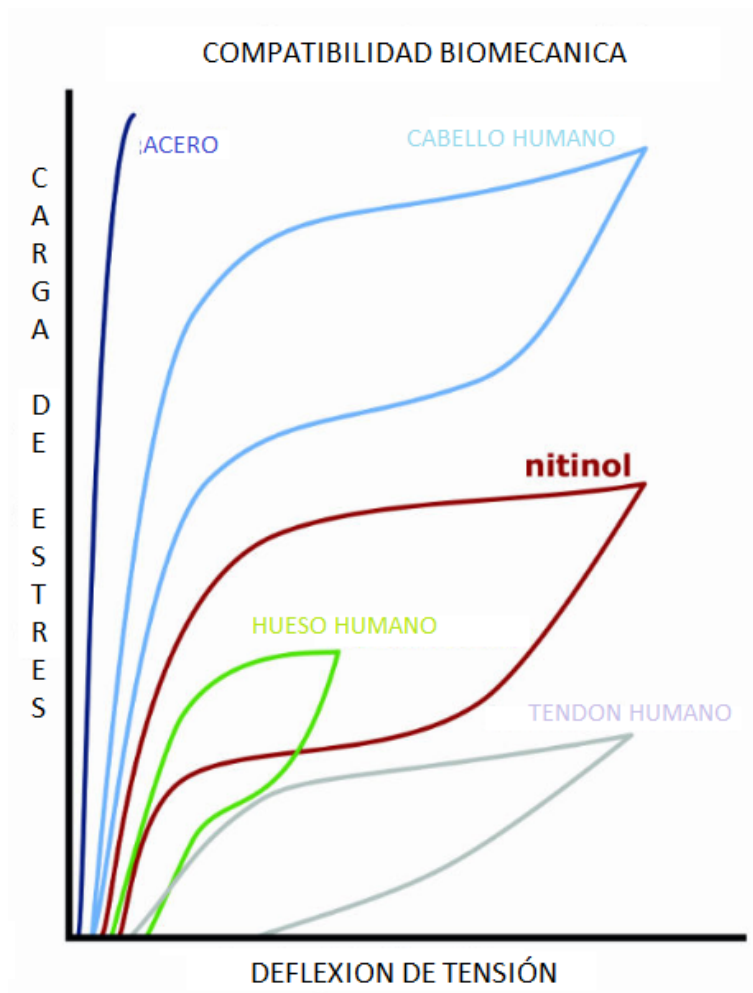


Figura 3

En la figura 3 se muestra la capacidad de reversibilidad. La "bandera" formada en la parte interna del diagrama de cada material representa la resistencia a las cargas de tensión sobre ellos, por ello al observar el acero se representa en forma lineal, que resiste el estrés pero sin la capacidad de volver a su forma original. Al evaluar el comportamiento del níquel titanio (nitinol) en comparación con el resto, su capacidad de resistencia al estrés es media, pero con un mayor rango de reversibilidad al momento de retirada la carga

Ahora bien, como se ha repetido en reiteradas ocasiones, las dos características principales del níquel titanio son las superelasticidad y el efecto de memoria, a propósito, a continuación se representan la modificación de las partículas.

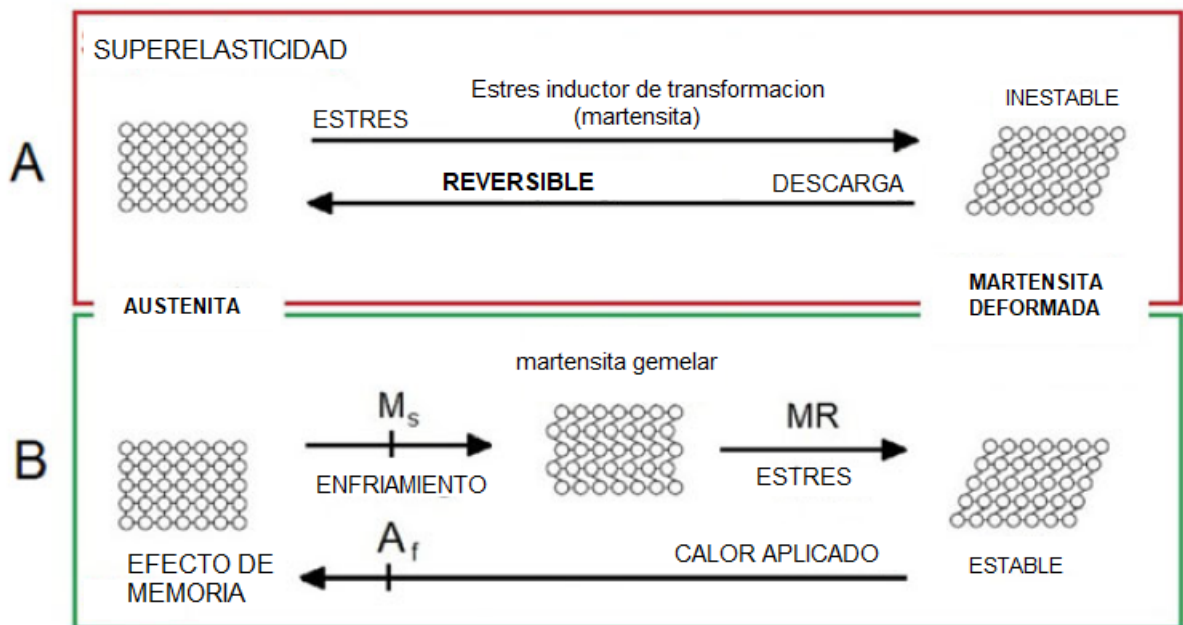


Figura 4

En la figura 4, se indica con la letra A la superelasticidad, y se entiende que al aplicar la carga de estrés se inicia un proceso de transformación reversible, de austenita a martensita, de manera estable, siempre y cuando la carga no sobrepase el límite elástico; si éste se llega a superar (mientras se continúe aplicando el estrés sin cambio térmico) el material se fracturará, si es retirado antes, simplemente volverá a estado austenita

Por su parte, indicado con la letra B, se encuentra el efecto de memoria, éste no se manifiesta en el material si no que se realiza una modificación del mismo por medio de cambios térmicos. Estos cambios térmicos son los que cada casa comercial presenta como tratamiento térmico (cada uno con diferentes temperaturas y con diferentes tiempos de exposición). Al lograr el efecto de memoria en la aleación, cuando se aplica una fuerza sobre ella, el material no es reversible hasta que no se le aplique exposición a alta temperatura para devolverlo a etapa austenita, lo que indica que la aleación de níquel titanio puede manifestar superelasticidad, o efecto de memoria; esto se encuentra enlazado con el tratamiento realizado.

DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo analizar los avances metalúrgicos de las limas endodónticas en la era actual, todas las limas mecanizadas desde sus inicios hasta la actualidad son fabricadas con aleación de níquel titanio, la manufactura de estos instrumentos se realiza de una manera precisa para mantener las propiedades del material. Existen diferentes tratamientos realizados por las casas comerciales para optimizar las propiedades antes mencionadas: las elasticidad y el efecto de memoria, con el fin de preservar la anatomía inicial del conducto radicular, recordando éste, en un principio fundamental de la preparación del sistema de conductos radiculares.

Varios autores defienden utilizar los sistemas mecanizados de última generación por sus ventajas al usarlos, los recientes avances reflejan que cambios sutiles en la aleación, como proporciones de los metales y tratamientos térmico mecánicos, aumentan la flexibilidad y disminuyen el riesgo a la fractura.^{67 68}

Testarelli y Plotino, al comparar un instrumento fabricado con CM- Wire observaron que este es más flexible que aquellos fabricados con níquel titanio convencional, por la modificación en la proporción de los metales, siendo el primero fabricado con 52% de níquel mientras que la aleación convencional con un 55%.⁶⁹.

Luego de aplicado un tratamiento térmico, a la aleación le aumenta la resistencia a la fatiga cíclica y torsional, por estimulación de cambio de fase de la aleación. La modificación de la estructura cristalográfica se evidencia microscópicamente al estudiar cortes de instrumentos tratados, previa o posteriormente.

Gambarini y Colb, mencionan que un instrumento en fase R presenta un mayor módulo de elasticidad, por el cambio en su microestructura y la combinación entre partículas en fase de austenita y martensita.^{70 71}

Hani F y Cols, en el año 2018, hacen referencia al tratamiento de electro pulido, que usualmente se realiza con ácido, este tratamiento presenta menos indicios en causar cambios en las propiedades mecánicas de la aleación, su acción solo se limita unos nanómetros de la superficie de la misma; el calor que reacciona sobre la superficie confiere resistencia a la erosión y mejora la eficiencia de corte, mientras que el vapor para crear el cambio de temperatura confiere un color dorado a la aleación, dada por la creación de una capa de nitrito de titanio. Los mismos autores hacen referencia también a un procedimiento realizado con plasma, o choque de iones, lo cual aumenta la eficiencia de corte sin afectar las características del instrumento.³³

Los autores coinciden en que los tratamientos realizados antes o después de la fabricación del instrumento mejoran sus propiedades y confieren dureza en los ángulos de corte, pero no necesariamente disminuyen la flexibilidad del instrumento, adecuándose correctamente a las características anatómicas del sistema de conductos radiculares.

CONCLUSIÓN

La investigación presentada se enfocó en realizar una revisión bibliográfica sobre la variable aleación, y el efecto que tienen los cambios realizados en los instrumentos endodónticos, para optimizar sus características principales de superelasticidad y control de memoria.

Para realzar las propiedades de la aleación se realizan tratamientos en su composición estructural, como los tratamientos térmicos, y las altas temperaturas, a su vez se disminuyen la dureza de la aleación, la cual es necesaria para tener un ángulo óptimo de corte en la superficie del instrumento. Para contrarrestar este efecto, las casas comerciales incluyeron los tratamientos de superficie, entre los que se pueden mencionar aquellos que producen en la superficie una capa de óxido de titanio. Esta capa se puede observar en los instrumentos de color azul, y son denominados por las casas comerciales como “sistema *Blue*”.

En el instrumento tratado, también se presenta una capa de nitrito de titanio capaz de proteger el filo de las hojas de corte, y aumentar la resistencia a la corrosión, sin que se afecten las propiedades de la aleación, la cual le confiere al instrumento la característica de una tonalidad dorada, y son denominados por las casas comerciales como “sistema *Gold*”.

Los tratamientos de superficie *Blue* o *Gold* en los instrumentos, se realizan más que todo en aquellos instrumentos fabricados a partir de aleaciones martensíticas, para aumentar su dureza en la superficie.

La bibliografía nos refiere avances en los sistemas presentados por las casas comerciales. Según éstos, las limas de última generación pueden ser, bien de movimientos reciprocantes, o bien de movimientos rotatorios. En ambos casos, se toma en cuenta la forma cómo operan cada uno de los movimientos de éstas limas dentro del conducto radicular. Entre sus

diferencias, las reciprocantes apuestan al sistema de lima única; mientras que las rotatorias apuestan al sistema MaxWire, que brinda las propiedades de súperelasticidad y de control de memoria, de manera simultánea, innovando así en el diseño de una lima más eficiente.

En conclusión todos estos cambios realizados en los diferentes sistemas de limas, marcan una evolución en la preparación del sistema de conductos radiculares, con el objetivo de reducir los errores en la fase de preparación mecánica del conducto radicular, en el tratamiento endodóntico no quirúrgico, para rehabilitar el sistema estomatognático. De esta forma se desarrolla un tratamiento más predecible, garantizando el éxito del tratamiento porque estos sistemas optimizados evitan la fractura del instrumento dentro del conducto.

Los cambios también se encuentran orientados a disminuir el daño en la dentina a nivel radicular, buscando una reducción de microfracturas y de estrés sobre el sustrato, garantizando la correcta evolución y resolución de la patología, y la conservación de la unidad dentaria en la arcada, cumpliendo su función estética y masticatoria.

Es importante la realización de futuras investigaciones delimitadas, a cada variante, dentro de cada fase del tratamiento endodóntico, para garantizar el éxito y un pronóstico predecible.

Para finalizar, esta investigación ofrece aportes teóricos, genera discusión y reflexión sobre el conocimiento existente en el área, y proporciona una herramienta de consulta que contribuye a la preparación académica y actualización; además, no se pueden dejar de lado los aportes prácticos, la instrumentación mecanizada es utilizada por el especialista en endodoncia no es de manejo cotidiano en la odontología general,

BIBLIOGRAFIA

1. Ramírez Skinner, H. ¿Y antes de Fauchard qué? La odontología en las cavernas, los templos, los hospitales y las universidades. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 2012, vol. 5, no 1, p. 29-39.
2. Zimbrón A., et al. Algunas prácticas odontológicas en la época prehispánica. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. UNAM. México. 1988. Pp 39
3. Canguilhem G. Lo Normal y lo Patológico. Siglo XXI; 1978
4. Canguilhem, Georges. Canguilhem y el estatuto epistemológico del concepto de salud. *História, Ciências, Saúde—Manguinhos*, 1997, vol. 4, no 2, p. 287-307.
5. Spielman, Andrew I. The birth of the most important 18th century dental text: Pierre Fauchard's *Le chirurgien dentiste*. *Journal of dental research*, 2007, vol. 86, no 10, p. 922-926.
6. Lynch, Christopher Daniel; y Cols. T. Pierre Fauchard: the 'father of modern dentistry'. *British dental journal*, 2006, vol. 201, no 12, p. 779.
7. Leonardo, Mario Roberto. Sistemas rotatorios en endodoncia: Instrumentos de Níquel-Titanio. 2002.
8. De León, Yenny F. Fernández Ponce; AQUINLO, Carlos Mendiola. Evolución de los sistemas rotatorios en endodoncia: propiedades y diseño. *Revista Estomatológica Herediana*, 2011, vol. 21, no 1, p. 51-54.

9. Hülsmann M, Peters O, Dummer P. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics* 2005;10:30-76.
10. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2001; 14: 324–333.
11. Balestrini, M. Como se elabora un proyecto de investigación. Caracas-Venezuela. 1997
12. Marco, Hernández-Gordillo, et al. Caracterización metalográfica de seis sistemas rotatorios de Níquel-Titanio. *Caracterización metalográfica de seis sistemas rotatorios de Níquel-Titanio*, p. 14-25.
13. Winter 2008 Rotary Instrumentation: An Endodontic Perspective Published for the Dental Professional Community by the American Association of Endodontists Colleagues for Excellence
14. Prieto Cárdenas, Sandra Milena, et al. Evaluación de la resistencia teórica a la flexión de tres instrumentos utilizados en endodoncia mediante análisis de elementos finitos. *Universitas Odontológica*, 2015, vol. 34, no 73.
15. Alfouzan, K.; Jamleh, A. Fracture of nickel titanium rotary instrument during root canal treatment and re-treatment: a 5-year retrospective study. *International endodontic journal*, 2018, vol. 51, no 2, p. 157-163.
16. Villela, Alexandre Mascarenhas, et al. Fracture Incidence of Reciproc Instruments in Endodontic Treatment Provided by Graduate Students-A Retrospective Study. *of*, 2017, vol. 4, p. 2.

17. Lambrianidis, Theodor; Hülsmann, Michael. Complications During Attempts of Retrieval or Bypassing of Fractured Instruments. En *Management of Fractured Endodontic Instruments*. Springer, Cham, 2018. p. 225-245.
18. Khasnis, Sandhya Anand, et al. Rotary science and its impact on instrument separation: A focused review. *Journal of conservative dentistry: JCD*, 2018, vol. 21, no 2, p. 116.
19. American Association of Endodontists. Definition of Endodontics. AAE Membership Roster; 2005–2006.
20. Curtis DA, Lacy A, Chu R, Richards D, Plesh O, Kasrovi P , et al. Treatment planning in the 21st century: what's new? *J Calif Dent Assoc* 2002;30:503–10.
21. De Chevigny, Cristian, et al. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study—phase 4: initial treatment. *Journal of endodontics*, 2008, vol. 34, no 3, p. 258-263.
22. Schilder, Herbert. Filling root canals in three dimensions. *Journal of endodontics*, 2006, vol. 32, no 4, p. 281-290.
23. Moradas Estrada, M. Instrumentación rotatoria en endodoncia: ¿qué tipo de lima o procedimiento es el más indicado? *Avances en odontoestomatología*, 2017, vol. 33, no 4, p. 151-160.
24. Elahinia, Mohammad H., et al. Manufacturing and processing of NiTi implants: A review. *Progress in materials science*, 2012, vol. 57, no 5, p. 911-946.
25. Paryab, M., et al. Effect of heat treatment on the microstructural and superelastic behavior of NiTi alloy with 58.5 wt% Ni. *Journal of Environmental Friendly Materials*, 2019, vol. 3, no 1, p. 23-27.

26. Del Fabbro, Massimo, et al. In vivo and in vitro effectiveness of rotary nickel-titanium vs manual stainless steel instruments for root canal therapy: systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 2018, vol. 18, no 1, p. 59-69.
27. Gavini, Giulio, et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Brazilian oral research*, 2018, vol. 32.
28. Peters, Ove A y Cols. Cleaning and shaping of the root canal system. *Pathways of the Pulp*, 2006, vol. 9, p. 290-357.
29. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*. 2000;33(4):297-310. Epub 2001/04/20.
30. Kauffman, George B. *The Story of Nitinol: The Serendipitous Discovery of the Memory Metal and Its Applications* 1997 *
31. [Casciati, Sara; FARAVELLI, Lucia; VECE, Michele. Investigation on the fatigue performance of Ni-Ti thin wires. *Structural Control and Health Monitoring*, 2017, vol. 24, no 1, p. e1855.](#)
32. Mas, Benito; y Cols. *Fundamentals and pilot experiences of the application of shape memory alloys in structural engineering. Hormigón y Acero*, 2016, vol. 67, no 280. <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.hya.2016.02.007>
33. Ounsi, Hani F., et al. *Evolution of Nickel-titanium Alloys in Endodontics. The journal of contemporary dental practice*, 2017, vol. 18, no 11, p. 1090-1096.
34. Novák, P., et al. *Preparation of nitinol by non-conventional powder metallurgy techniques. Materials Science and Technology*, 2015, vol. 31, no 15, p. 1886-1893.

35. Julien, Gerald J. *Manufacturing of Nitinol parts and forms*. U.S. Patent No 6,422,010, 23 Jul. 2002.
36. Bohorquez. *Modulo proceso de manufactura*. 2018.
37. Leonardo M., Leonardo R. *Tratamento de Canais Radiculares: Avancos Técnicos e biológicos de uma Endodontia Minimamente Invasiva em Nível Apical e Periapical*. 2ª edicao. Editorial Artes Médicas Ltda. Sao Paulo. 2017: 220-233.
38. Ounsi, Hani F., et al. *Evolution of Nickel-titanium Alloys in Endodontics*. *The journal of contemporary dental practice*, 2017, vol. 18, no 11, p. 1090-1096.
39. Peters, Ove A. *Current developments in rotary root canal instrument technology and clinical use: a review*. *Quintessence International*, 2010, vol. 41, no 6.
40. Steinfort, K. *Nuevas Aleaciones. WaveOne® Gold: La nueva apuesta de Dentsply Sirona. Canal Abierto*. *Revista de la Sociedad de Endodoncia de Chile*, 2017, no 35.
41. Antunez M., Olguin C., *Xpendo Shaper: Crece la Familia Xpendo*. *canal abierto. Revista de la sociedad de endodoncia de chile, SECH #35 Abril 2017*. Pag. 12-15.
42. Flores Flores, Andrea. *Aleaciones de níquel titanio en la manufacturación de las limas en endodoncia*. 2017.
43. GU, Yu, et al. *Various heat-treated nickel–titanium rotary instruments evaluated in S-shaped simulated resin canals*. *Journal of Dental Sciences*, 2017, vol. 12, no 1, p. 14-20.

44. Lopes HP, Gambarra-Soares T, Elias CN, et al. Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. *J Endod* 2013;39:516 e20.
45. Ha JH, Kim SK, Cohenca N, Kim HC. Effect of R-phase heat treatment on torsional resistance and cyclic fatigue fracture. *J Endod* 2013;39:389e93.
46. Alapati, Satish B., et al. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *Journal of endodontics*, 2009, vol. 35, no 11, p. 1589-1593.
47. Zupanc, J.; Y Cols. New thermomechanically treated NiTi alloys—a review. *International endodontic journal*, 2018, vol. 51, no 10, p. 1088-1103.
48. Haapasalo, Markus. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future. *Endodontic topics*, 2013, vol. 29, no 1, p. 3-17.
49. De-Deus, Gustavo, et al. Blue thermomechanical treatment optimizes fatigue resistance and flexibility of the Reciproc files. *Journal of endodontics*, 2017, vol. 43, no 3, p. 462-466.
50. Gündoğar, Mustafa; Özyürek, Taha. Cyclic fatigue resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne gold, and Reciproc blue nickel-titanium instruments. *Journal of endodontics*, 2017, vol. 43, no 7, p. 1192-1196.
51. Webber, Julian. *Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system*. *Roots*, 2015, vol. 1, p. 34-40.

52. Belladonna, Felipe Gonçalves, et al. Micro-computed Tomography Shaping Ability Assessment of the New Blue Thermal Treated Reciproc Instrument. *Journal of endodontics*, 2018, vol. 44, no 7, p. 1146-1150.
53. Marchi, Andrea. Endo XP funções, vantagens e desvantagens. 2018. Tesis Doctoral.
54. Çapar, I. D.; Arslan, H. A review of instrumentation kinematics of engine-driven nickel-titanium instruments. *International endodontic journal*, 2016, vol. 49, no 2, p. 119-135.
55. You, Sung-Yeop, et al. Lifespan of one nickel-titanium rotary file with reciprocating motion in curved root canals. *Journal of Endodontics*, 2010, vol. 36, no 12, p. 1991-1994.
56. Ferreira, F., et al. *Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review*. *International endodontic journal*, 2017, vol. 50, no 2, p. 143-152.
57. Ahn, So-Yeon; Kim, Hyeon-Cheol; KIM, Euseong. Kinematic effects of nickel-titanium instruments with reciprocating or continuous rotation motion: a systematic review of in vitro studies. *Journal of endodontics*, 2016, vol. 42, no 7, p. 1009-1017.
58. Grande, Nicola María, et al. Current assessment of reciprocation in endodontic preparation: a comprehensive review—part I: historic perspectives and current applications. *Journal of endodontics*, 2015, vol. 41, no 11, p. 1778-1783.

59. Arias, Fidas G. El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Fidas G. Arias Odón, 2012.
60. DEL Cid, Alma; y Cols. Investigación: fundamentos y metodología. 2011.
61. Sabino, Carlos. El proceso de investigación. Editorial Episteme, 2014.
62. Hernández Sampieri, Roberto, et al. Metodología de la investigación. 2010.
63. Galindo, Jesus. Entre la exterioridad y la interioridad. Apuntes para una metodología cualitativa. 1994.
64. Busot, A. Investigación Educativa Luz. Metodología. 1991.
65. Olabuénaga, José Ignacio Ruiz. Metodología de la investigación cualitativa. Universidad de Deusto, 2012.
- 66 Rivero, Daniel. Metodología de la investigación. 2013.