

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS
SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE GOLD®,
MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN
HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN**

AUTORES

ALVARADO CAICEDO BRANDON NICOLÁS

GARZÓN BARRERO OLGA JANETH

SIERRA COLLAZOS DIANA CAROLINA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA, UNICOC

ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA

POSTGRADO EN ENDODONCIA

BOGOTÁ D.C.

2019

**COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS
SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE GOLD®,
MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN
HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN**

AUTORES

ALVARADO CAICEDO BRANDON NICOLÁS
GARZÓN BARRERO OLGA JANETH
SIERRA COLLAZOS DIANA CAROLINA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ENDODONCIA

ASESOR CIENTÍFICO

Dr. Juan Carlos Murcia Celedón
DDS

ASESOR METODOLÓGICO

Dr. Néstor Raúl Ríos Osorio
DDS, MSc

ASESOR ESTADÍSTICO

Dr. Jaime Andrés Cubides

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA, UNICOC
ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA
POSTGRADO EN ENDODONCIA
BOGOTÁ D.C, 2019**

El trabajo de grado **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN”**, fue elaborado por: **Alvarado Caicedo Brandon Nicolás, Garzón Barrero Olga Janeth, Sierra Collazos Diana Carolina**; como requisito para optar por el título de especialista en **Endodoncia**.

La sustentación se llevó a cabo el 29 de Noviembre de 2019

Acta No. _____

Dr. Juan Carlos Murcia C.

Asesor Científico

Dr. Néstor Ríos Osorio

Asesor Metodológico

Dra. Sandra Elizabeth Aguilera Rojas

Directora Centro de Investigación

Colegio Odontológico – CICO

TRANSFERENCIA DE DERECHOS DE PUBLICACIÓN

Título del artículo: “COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN”

Autores: Alvarado Caicedo Brandon Nicolás, Garzón Barrero Olga Janeth, Sierra Collazos Diana Carolina

Los autores certifican que el artículo arriba mencionado es trabajo original y no ha sido previamente publicado, excepto en forma de resumen. Una vez aceptado para publicación en la revista que la Institución Universitaria Colegios de Colombia estipule, los derechos de autor serán transferidos a la universidad. Así mismo, declaran que no ha sido enviado en forma simultánea para su posible publicación en otra revista. Los autores acceden, dado el caso, a que este artículo sea incluido en los medios electrónicos que los editores de la Institución Universitaria Colegios de Colombia, consideren convenientes.

Alvarado Caicedo Brandon Nicolás

CC. 1.073.517.164

Garzón Barrero Olga Janeth

CC. 1.077.146.845

Sierra Collazos Diana Carolina

CC.1.033.745.288

CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Alvarado Caicedo Brandon Nicolás, Garzón Barrero Olga Janeth y Sierra Collazos Diana Carolina** manifestamos en este documento nuestra voluntad de ceder a la Institución Universitaria Colegios de Colombia los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la ley 23 de 1982, de la tesis de grado titulada **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN”**, producto de nuestra actividad académica para optar por el título de Especialista en Endodoncia de la Institución Universitaria Colegios de Colombia. La institución tiene los derechos anteriores cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y publicación. Con todo, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la ley 23 de 1982. En concordancia, suscribimos este documento en el momento mismo de la ley 23 de entrega del trabajo final a la biblioteca de la Institución Universitaria Colegios de Colombia.

Alvarado Caicedo Brandon Nicolás

CC. 1.073.517.164

Garzón Barrero Olga Janeth

CC. 1.077.146.845

Sierra Collazos Diana Carolina

CC.1.033.745.288

Señores:

Sistema de Bibliotecas de UNICOC (SIBU)

Institución Universitaria Colegios de Colombia

Bogotá,

Autorizamos al Centro de Investigación del Colegio Odontológico de la Institución Universitaria Colegios de Colombia a consultar y reproducir con fines de investigación, parcial o totalmente el contenido del trabajo de grado titulado: **“COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN”**, presentado al Centro de Investigación como requisito del programa para optar a el título de **Especialista en Endodoncia** siempre que mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al trabajo de investigación y a sus autores.

Alvarado Caicedo Brandon Nicolás

CC. 1.073.517.164

Garzón Barrero Olga Janeth

CC. 1.077.146.845

Sierra Collazos Diana Carolina

CC.1.033.745.288

FICHA TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

TÍTULO DEL TRABAJO: “COMPARACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FATIGA CÍCLICA ENTRE LOS SISTEMAS RECIPROCANTES, RECIPROC® BLUE Y WAVE ONE® GOLD, MEDIANTE UN TEST DINÁMICO, SOMETIDOS A INMERSIÓN EN HIPOCLORITO DE SODIO Y/O ESTERILIZACIÓN”

AUTORES: Alvarado Caicedo Brandon Nicolás, Garzón Barrero Olga Janeth y Sierra Collazos Diana Carolina

ASESOR CIENTÍFICO: Dr. Juan Carlos Murcia Celedón

ASESOR METODOLÓGICO: Dr. Néstor Raúl Ríos Osorio

MATERIAL ANEXO: 2 libros, 2 artículos científicos

FACULTAD: Odontología

TÍTULO OBTENIDO: Especialista en Endodoncia

CATEGORIA: Postgrado

PALABRAS CLAVES: fatiga cíclica, resistencia a la flexión, Reciproc blue, wave One Gold, prueba dinámica, canales simulados, hipoclorito de sodio, esterilización.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado a nuestros padres y familiares que con su amor, trabajo y sacrificio, nos apoyaron incondicionalmente en este proceso.

A nuestros asesores quienes con su paciencia, esfuerzo y dedicación hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

Por último, y no menos importante, a nuestra institución, la cual ha sido nuestra base de formación durante nuestra especialización.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por sus bendiciones, a mi padre que me ha dado su ejemplo de trabajo y honradez.

También quiero agradecer a la Institución Universitaria Colegios de Colombia - UNICOC, directivos y docentes por el constante apoyo y por brindarnos sus conocimientos.

Olga Janeth Garzón Barrero

Agradezco a mis padres, Consuelo y Tomás, quienes han sido los verdaderos protagonistas de esta historia, ya que sin sus innumerables esfuerzos este logro no sería posible. A mi novia, Natalia, por siempre mantener su amor y apoyo incondicional en esta etapa.

Por último, gracias a mi tía, Olga, a mis abuelos, Fabiola y Ubaldo, a mis primos, Juan David y Julián, por confiar y creer fielmente en mí.

Brandon Nicolás Alvarado Caicedo

A Dios por ser mi guía y fortaleza a lo largo de este proceso y en cada paso de mi vida.

A mis padres y hermana por creer en mí y darme todo su apoyo, amor y comprensión durante la carrera y a lo largo de mi vida. A todas aquellas personas que con su ayuda, sus consejos y palabras de aliento, hicieron posible este sueño.

Diana Carolina Sierra Collazos

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. ASPECTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1.1 Descripción del problema	1
1.1.2 Formulación del problema	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 PROPÓSITO	4
1.4 MARCO TEÓRICO	5
1.4.1 Aleación Níquel – Titanio	5
1.4.2 Metalurgia de Aleaciones de Níquel – Titanio	5
1.4.3 Estructura de Aleación Níquel – Titanio.....	6
1.4.4 Transformación Martensítica inducida por estrés	7
1.4.5 La Fabricación de instrumentos endodónticos Níquel – Titanio	8
1.4.6 Fractura de instrumentos endodónticos.....	9
1.4.7 Fatiga cíclica y fractura por torsión	9
1.4.8 Hipoclorito de Sodio.....	10
1.4.9 Esterilización.....	11
1.4.10 Dispositivos de ensayo de fatiga cíclica	12
1.4.11 Mejora de la resistencia a la fractura mediante modificaciones en metalurgia de las limas	14
1.4.12 CM-Wire	14
1.4.13 Instrumentos RECIPROC® Blue y Wave One® Gold	15
1.4.14 Microscopio electrónico de barrido	17
1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	19
1.5.1 Objetivo general:.....	19
1.5.2 Objetivos específicos:.....	19
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	20

2.1	TIPO DE ESTUDIO	20
2.2	HIPÓTESIS	20
2.3	OBJETO DE ESTUDIO	20
2.4	POBLACIÓN DE ESTUDIO	21
2.5	UNIDAD DE OBSERVACIÓN.....	21
2.6	MUESTRA.....	21
2.7	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	22
2.7.1	<i>Criterios de Inclusión</i>	22
2.7.2	<i>Criterios de Exclusión</i>	22
2.8	PROCEDIMIENTO (MUESTRA, DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES, INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN)	23
2.8.1	<i>Definición y operacionalización de variables</i>	26
2.8.2	<i>Instrumento de recolección de datos:</i>	27
2.9	ASPECTOS ÉTICOS.....	29
2.10	ESTADÍSTICA.....	29
3.	RESULTADOS	30
4.	DISCUSIÓN	38
5.	CONCLUSIONES	45
6.	RECOMENDACIONES.....	46
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Dispositivo de Fatiga Cíclica Estático.....	12
Figura 2. Dispositivo de Fatiga Cíclica Dinámico	13
Figura 3. Sistema Reciproc® Blue, Casa Comercial VDW.....	16
Figura 4. Sistema Wave One® Gold; Casa Comercial Dentsply	17
Figura 5. Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM 6490	18
Figura 6. Distribución aleatoria de los instrumentos Reciproc Blue y Wave One Gold en 7 grupos de estudio.....	22
Figura 7. Canal artificial de acero inoxidable.....	24
Figura 8. Modelo de simulación prueba de fatiga cíclica.....	25
Figura 9. Comparación del tiempo de fractura entre las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%.	31
Figura 10. Comparación de los fragmentos apicales de las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%	32
Figura 11. Comparación de los fragmentos coronales de las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%	32
Figura 12. Comparación entre los sistemas Reciproc Blue y Wave One Gold, los cuales fueron sometidos a tres inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%	33
Figura 13. Comparación de los fragmentos apicales de las limas sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%	34
Figura 14. Comparación de los fragmentos coronales de las limas sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%	34
Figura 15. Media de los fragmentos coronales de las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%. 36	
Figura 16. Media de los fragmentos apicales de las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%.....	36
Figura 17. Media del tiempo que tardaron en fracturarse las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%	37

Figura 18. Movimiento alterno recíprocante	39
Figura 19. Análisis de microscopía electrónica de barrido	43
Figura 20. Análisis de microscopía electrónica de barrido realizado en muestras fracturadas	44

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	26
Tabla 2. Instrumento de recolección de datos Reciproc Blue	27
Tabla 3. Instrumento de recolección de datos Wave One Gold	28
Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables evaluadas	30
Tabla 5. Comparación entre limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%	31
Tabla 6. Comparación entre limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%	33
Tabla 7. Promedio del número de inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%para Reciproc Blue y Wave One Gold.....	35

1. ASPECTOS TEÓRICOS

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

Durante las últimas dos décadas, los instrumentos de níquel-titanio (Ni-Ti) han sido ampliamente utilizados para la preparación de los conductos radiculares debido a su alta capacidad de flexibilidad y eficacia de corte (1). Dicha aleación consiste en una relación atómica similar de níquel y de titanio, la cual posee propiedades mecánicas como la memoria de forma y mayor elasticidad. Esta aleación experimenta una transformación martensítica inducida por esfuerzo, el cual es reversible, y por lo tanto el instrumento presenta una gama elástica y es capaz de recuperarse de una tensión sin romperse. Esa transformación martensítica termo elástica es la principal razón para aumentar la flexibilidad de los instrumentos Níquel – Titanio sobre los tradicionales, lo que facilita la instrumentación de los canales radiculares curvos (2).

La fractura de los instrumentos puede ocurrir de dos maneras diferentes: una fractura causada por torsión y una fractura causada por fatiga cíclica. La fractura por torsión presenta una incidencia del 55,7% (2) y es aquella que ocurre cuando la punta del instrumento u otra parte del mismo se bloquean en un canal mientras el vástago de la lima continua en movimiento. Cuando el límite elástico del metal es excedido por el esfuerzo de torsión ejercido, la fractura es un evento inevitable (3). Mientras tanto, la fractura causada por fatiga cíclica, con una incidencia de 44,3% (2), es la que se produce debido a la fatiga que puede llegar a sufrir el metal cuando se producen ciclos de tensión y compresión en el punto de máxima flexión hasta que se produce la fractura (4).

Se han propuesto diferentes estrategias para mejorar la resistencia, propiedades mecánicas, así como también, aumentar sus características, como lo son los tratamientos de electro pulido, implantación de iones, revestimientos superficiales, y los tratamientos térmicos del instrumento (3) (4).

Recientemente, el tratamiento térmico de la aleación de Ni-Ti se ha utilizado para optimizar sus propiedades mecánicas. Los instrumentos son fabricados a partir de un hilo de memoria Ni-Ti sometido a un proceso termo mecánico patentado (CM Wire), el cual proporciona mayor flexibilidad y resistencia (5).

Además de estas modificaciones, la introducción de la cinemática del movimiento reciprocante o alterno ha repercutido en la vida útil general de los instrumentos en comparación con el movimiento de rotación continua, en cuanto a que este movimiento genera en los instrumentos unos valores de tensión más bajos buscando evitar esa fatiga en un periodo prolongado de tiempo. Reciproc® (VDW, Múnich, Alemania) y Wave One® (Dentsply Maillefer, Baillagues, Suiza) son los principales ejemplos de sistemas comercialmente disponibles para la preparación del conducto radicular utilizando movimiento alternativo, y ambos instrumentos están fabricados con una aleación tratada térmicamente como lo es el M-Wire (6).

Recientemente se han introducido sistemas como Wave-One® Gold, que utilizan el mismo movimiento alternativo que el Wave-One®, y a su vez, el sistema Reciproc® Blue, sucesoras de las Reciproc®. Dichos instrumentos presentan unas modificaciones y están fabricadas con una metalurgia avanzada y una tecnología de tratamiento térmico para mejorar así sus propiedades mecánicas (2) (7).

Un factor adicional que limita potencialmente la resistencia de los archivos de Ni-Ti a la fractura por fatiga es la corrosión, que puede ocurrir en presencia de una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl). NaOCl se usa como irrigante, y elimina selectivamente el níquel de la superficie del instrumento y causa micro-picaduras, lo que afecta negativamente a las propiedades físicas y mecánicas de los archivos Ni-Ti (8).

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuál sistema de limas reciprocantes, entre Reciproc® Blue y Wave One® Gold, demuestra una mejor vida útil considerando la fatiga cíclica cuando son sometidas a inmersión dinámica con hipoclorito de sodio al 5,25% y/o esterilización?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas se ha ampliado el uso de instrumentos fabricados en aleaciones de níquel- titanio las cuales ofrecen propiedades benéficas para alcanzar los objetivos de conformación y limpieza del conducto, como súper-elasticidad, alta resistencia a la corrosión, memoria de forma, alta biocompatibilidad (1). Sin embargo estos instrumentos siguen presentando dificultades entre ellas: fractura por fatiga cíclica o fractura por torsión, lo que llevaría a un número de usos limitados del instrumento.

Debido a las tasas de fractura de instrumentos endodónticos dentro de los conductos radiculares, que se encuentran entre un 20% a un 10%, disminuyendo el pronóstico del tratamiento endodóntico hasta en un 19% surge la necesidad de estudiar nuevas aleaciones alternativas al níquel titanio que puedan disminuir el porcentaje de fractura de instrumentos (9).

Recientemente, se han introducido los instrumentos Wave One Gold (Dentsply, Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EE. UU.). Fueron desarrollados con propiedad metalúrgica avanzada a través de la tecnología de tratamiento térmico y tiene un diseño progresivamente cónico que es reclamado por el fabricante para mejorar la eficiencia y la seguridad del corte. Presentan una sección transversal de paralelogramo (Dentsply Tulsa 2014) (10). Por otro lado las limas Reciproc Blue (VDW) están hechas de un nuevo tipo de alambre Ni-Ti, a saber, el alambre de

memoria controlada (CM), que ha sido sometido a un procesamiento termomecánico patentado. Ha sido fabricado por un proceso único que controla la memoria del material, lo que hace que las limas sean extremadamente flexibles, pero sin la memoria de forma típica de otras limas de Ni-Ti (11).

Pocos estudios analizaron la influencia de la inmersión de NaOCl en la fatiga cíclica de las limas de endodoncia de Ni-Ti. Además, ningún estudio ha investigado la influencia inmersión en NaOCl de instrumentos fabricados por diferentes aleaciones tratadas térmicamente (8) como Wave One Gold y Reciproc Blue.

La investigación es posible debido a que la predictibilidad del tratamiento de sistemas de conductos radiculares es variable y no existe un factor determinante en el tratamiento que nos arroje un método fiable por medio del cual podamos evaluar comparativamente la eficacia en el corte para conformar conductos sin llegar a presentar problemas como fracturas del instrumento y un inadecuado cumplimiento de los principios mecánicos de la endodoncia (12).

.Para que el estudio clínico pueda establecer y comprobar la vida útil de los dos tipos de sistemas rotatorios de limas respecto a su manejo clínico en paciente, considerando la fatiga cíclica en relación a sus propiedades físicas y metalúrgicas es conveniente un periodo de tiempo entre 1 año o 2 años aproximadamente.

1.3 PROPÓSITO

El propósito del siguiente estudio es generar conocimiento, proporcionando bases científicas para tomar decisiones a la hora del uso clínico que se le dé a cada tipo de instrumento, con el fin de evitar que se produzcan fracturas de los instrumentos endodónticos utilizados en dientes con curvaturas moderadas o severas y así mismo obtener resultados más aproximados con respecto a la vida útil de los mismos, para obtener un promedio al momento de sus usos en la práctica diaria.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 Aleación Níquel – Titanio

A principios de los años sesenta, una aleación de níquel-titanio fue desarrollada por W. F. Buehler, un metalúrgico que investigaba las aleaciones no magnéticas, resistentes a la sal, impermeables para el programa espacial en el Naval Ordnance Laboratory en Silver Springs, Maryland, USA (13) (14).

Las propiedades termodinámicas de esta aleación inter-metálica resultaron ser capaces de producir un efecto de memoria de forma cuando se llevó a cabo un tratamiento térmico controlado específico (13). La aleación fue nombrada “Nitinol”, un acrónimo para los elementos de los cuales el material fue compuesto; “Ni” para el níquel, “ti” para el titanio y “nol” del Laboratorio Naval de Artillería. Nitinol es el nombre dado a un conjunto de aleaciones inter-metálicas de níquel y titanio que tienen propiedades únicas de memoria de forma y súper elasticidad. El comportamiento súper elástico de los cables de Nitinol significa que al descargarse vuelven a su forma original antes de la deformación (15) (16).

Dado que la aleación tiene mayor resistencia y un módulo de elasticidad más bajo en comparación con el acero inoxidable (17) puede haber una ventaja en el uso de instrumentos Ni-Ti durante la preparación de conductos radiculares curvos. Debido a que las limas no se deformarán permanentemente tan fácil como sucedería con las aleaciones tradicionales (18).

1.4.2 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 Ni-Ti, un pequeño porcentaje (<2% en peso) de níquel puede

ser sustituido por cobalto. 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. Tienen una capacidad inherente para alterar su tipo de unión atómica que provoca cambios únicos y significativos en las propiedades mecánicas y en la disposición cristalográfica de la aleación. Estos cambios ocurren en función de la temperatura y el estrés. Las dos características únicas que son de relevancia para la odontología clínica ocurren como resultado de la transición de austenita a martensita en la aleación Ni-Ti; Estas características se denominan memoria de forma y súper elasticidad (5) (13).

1.4.3 Estructura de Aleación Níquel – Titanio

La estructura cristalina de la aleación Ni-Ti a temperaturas elevadas (100 ° C) es una red cúbica estable, centrada en el cuerpo, que se conoce como fase de austenita o fase madre. El Nitinol tiene la característica particular de que cuando se enfría a través de un rango de temperatura de transformación crítico (TTR), la aleación muestra cambios dramáticos en su módulo de elasticidad (rigidez), resistencia a la deformación y resistividad eléctrica como resultado de cambios en la unión de electrones. Al reducir o enfriar la temperatura a través de este intervalo, hay un cambio en la estructura cristalina que se conoce como transformación martensítica; La cantidad de esta transformación es una función de la temperatura de inicio (Ms) y de acabado (Mf). El fenómeno provoca un cambio en las propiedades físicas de la aleación (19) y da lugar a la característica de memoria de forma. Por lo cual, la aleación Ni-Ti es más dúctil en la fase martensítica que en la fase austenita.

La deformación se puede invertir calentando la aleación por encima del TTR (rango de temperatura de transformación inversa o RTTR) con el resultado de que las propiedades de la aleación Ni-Ti vuelven a sus valores de temperatura superiores

anteriores. Este fenómeno se denomina memoria de forma y permite que la aleación vuelva a su forma anterior, formando enlaces de electrones fuertes, direccionales y enérgicos para retirar los átomos desplazados a sus posiciones anteriores (13).

Cuando el Ni-Ti se calienta a través de su temperatura de transformación recuperará su forma original 'permanente'. En términos de endodoncia, este fenómeno puede traducirse en la capacidad de eliminar cualquier deformación dentro de instrumentos de níquel-titanio calentándolos por encima de 125 ° C (13).

1.4.4 Transformación Martensítica inducida por estrés

La transición de la fase austenítica a martensítica también puede ocurrir como resultado de la aplicación de estrés, tal como ocurre durante la preparación del conducto radicular. En la mayoría de los metales, cuando una fuerza externa excede una cantidad dada, se induce deslizamiento mecánico dentro de la red que causa deformación permanente; Sin embargo, con las aleaciones de Ni-Ti se produce una transformación martensítica inducida por el estrés, en lugar de deslizarse. Esto causa (17):

- Un cambio volumétrico asociado con la transición de una fase a otra y se desarrolla una relación de orientación entre las fases,
- La tasa de aumento de la tensión a nivelarse debido a la deformación progresiva incluso si se añade deformación debido a la transformación martensítica. Esto da como resultado la elasticidad, un movimiento que es similar a la deformación por deslizamiento,
- Resorte elástico cuando la tensión disminuye o se detiene sin que se produzca deformación permanente. El resorte se define como carga por cambio de deflexión, a la forma anterior con retorno a la fase de austenita, siempre y cuando la temperatura esté dentro de un rango específico.

La súper elasticidad del níquel-titanio permite que las deformaciones de hasta 8% de deformación sean totalmente recuperables, en comparación con un máximo de menos del 1% con otras aleaciones, como el acero inoxidable (17).

1.4.5 La Fabricación de instrumentos endodónticos Níquel – Titanio

La composición de Nitinol usada para construir instrumentos endodónticos es 56% (peso) de níquel y 44% (peso) de titanio. Las diferencias entre las aleaciones están en su contenido de níquel y el rango de temperatura de transición para la aleación dada. Varios parámetros afectan a la temperatura de transformación; Se produce una disminución de la temperatura de transformación con un aumento del contenido de níquel o mediante la sustitución de oligoelementos tales como cobalto, mientras que un aumento en la temperatura de recocido aumenta la temperatura de transformación. Idealmente, para la fabricación de instrumentos del conducto radicular, la resistencia a la tracción final de la aleación debe ser lo más alta posible para resistir la separación, mientras que los parámetros de alargamiento deben ser adecuados para la flexibilidad del instrumento y para permitir una alta resistencia a la fatiga (5) (13).

Una vez que la aleación ha sido fabricada, se somete a varios procesos antes de que el alambre terminado pueda mecanizarse en un instrumento de conducto radicular. Esencialmente, la pieza fundida se forja en una prensa en una forma cilíndrica antes de la estampación rotativa bajo presión, para crear un alambre estirado. El cable se enrolla entonces para formar una forma ahusada con una presión uniforme de una serie de rodillos aplicados al alambre (19).

La aleación níquel-titanio (Nitinol) equiatómica súper elástica se ha convertido en el material más popular para la fabricación de instrumentos endodónticos. La ventaja más relevante de los instrumentos Ni-Ti en comparación con los instrumentos de acero inoxidable es su capacidad para mantener la forma original del canal sin crear

graves irregularidades y aberraciones, particularmente en los canales radiculares estrechos y curvos, por su comportamiento súper elástico que proviene de la formación inducida por estrés de martensita (SIM). A pesar de estas ventajas, la fractura inesperada del instrumento no es infrecuente y representa una preocupación importante en el uso clínico. En los canales radiculares rectos, las limas endodónticas experimentan principalmente fuerzas de fricción que se oponen a su movimiento torsional, pero cuando el instrumento gira dentro de un canal radicular curvo, se somete a ciclos de tensiones porque durante cada rotación la superficie interna del instrumento es comprimida y la superficie exterior está bajo tensión. Estos ciclos de deformación alternados pueden dar lugar al fallo de los instrumentos por fatiga por torsión y fatiga cíclica (4).

1.4.6 Fractura de instrumentos endodónticos

Las limas endodónticas de níquel-titanio (Ni-Ti) tienen mayor flexibilidad y resistencia en comparación con los instrumentos de acero inoxidable, pero parecen ser vulnerables a la fractura en situaciones clínicas. Un estudio encontró que las limas Ni-Ti se fracturan 7 veces más que las limas de acero inoxidable (6). Otros estudios han encontrado una tasa de fractura de limas de aproximadamente el 5% en la práctica clínica (7) (9). Muchas variables pueden contribuir a la separación de las limas, pero las 2 principales causas son la fatiga cíclica y el estrés torsional (9).

1.4.7 Fatiga cíclica y fractura por torsión

La fatiga cíclica da como resultado el fallo de la lima cuando se producen ciclos repetidos de tensión y compresión cuando la flexión es suficiente para provocar un daño estructural y una eventual fractura. Clínicamente, esto sucede a menudo en canales curvos (3) (20).

El esfuerzo de torsión es generado por el continuo movimiento de una lima alrededor de su eje longitudinal en un extremo mientras que el otro extremo es fijo. Esto puede suceder en canales rectos o curvos, especialmente en la preparación de canales estrechos cuando la lima es susceptible a altas cargas de torsión. El fallo de torsión se caracteriza por una carga máxima de torsión y un ángulo de rotación. Esta última propiedad revela la capacidad del instrumento de girar antes de la fractura. Debido a esto, los fabricantes de dichos instrumentos han tratado de desarrollar nuevos diseños, procesos de fabricación y cinemática para minimizar fracturas y crear técnicas más fáciles y rápidas que mantienen la forma original del canal con un error iatrogénico considerablemente menor (3).

1.4.8 Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es el irrigante más común; utilizado en el tratamiento endodóntico, este tiende a corroer los instrumentos quirúrgicos (21).

La corrosión puede afectar negativamente las propiedades físicas de los instrumentos de Ni-Ti (21); ya que elimina selectivamente el níquel de la superficie del instrumento y causa micro-picaduras, lo que afecta negativamente a las propiedades físicas y mecánicas de las limas de Ni-Ti (8) causando defectos micro estructurales que pueden conducir a áreas de acumulación de tensión y formación de grietas, debilitando la estructura del instrumento (22). Este efecto corrosivo del NaOCl sobre los instrumentos de Ni-Ti se ha estudiado previamente; Haikel et al utilizaron instrumentos manuales totalmente sumergidos en una solución al 2.5% durante 24 a 48 horas y no detectaron corrosión obvia. Busslinger et al, utilizaron 5% de NaOCl durante 30 o 60 minutos en instrumentos rotatorios Lightspeed y encontraron patrones de corrosión, incluso si los autores no estaban seguros de las implicaciones clínicas. Sin embargo, estos estudios proporcionan un contacto de los instrumentos de endodoncia con el hipoclorito en modo estático y durante diferentes momentos. De hecho, la parte funcional de los instrumentos de endodoncia contacta

dinámicamente con la solución de NaOCl por unos minutos durante la preparación biomecánica. Por tal motivo si está presente, la corrosión puede afectar negativamente las propiedades físicas (23).

Las posibles explicaciones para estos resultados; son los diferentes protocolos de prueba e inmersión utilizados. La inmersión varió sustancialmente (entre 5 minutos y 48 horas) siempre que el instrumento se sumergiera total y estáticamente en la solución. Estas condiciones, que imitan las utilizadas durante los procedimientos de limpieza de los instrumentos y que involucran NaOCl como agente desinfectante, son muy poco probables en la práctica clínica cuando el eje está completamente alojado dentro de la cabeza de la pieza de mano y la lima gira durante todo el tratamiento (24).

1.4.9 Esterilización

Un factor adicional que puede contribuir a la fatiga torsional y fatiga cíclica es la esterilización. Los ciclos repetitivos afectan a las fases cristalinas de la aleación de Ni-Ti. Estos cambios dan lugar a propiedades físicas mejoradas, tales como una mayor eficacia de corte y resistencia a la fractura (25). Yahata et al. (2009) sugirieron que el retratamiento de calor adicional de los instrumentos de Ni-Ti durante la esterilización en autoclave puede aumentar esta flexibilidad. Silvaggio y Hicks (1997) demostraron que 10 ciclos de esterilización por calor de los instrumentos (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza), no aumentaron la probabilidad de fractura. La esterilización en autoclave se realizó a 134 ° C, con una presión de 30 psi, durante 5 min (26). Otros investigadores informaron de que el "tratamiento térmico adicional", durante la esterilización en autoclave puede mejorar la flexibilidad de las limas, y la esterilización de las limas mediante el uso de aire caliente seco y una autoclave, tendría un efecto positivo en la resistencia a la fatiga cíclica (27).

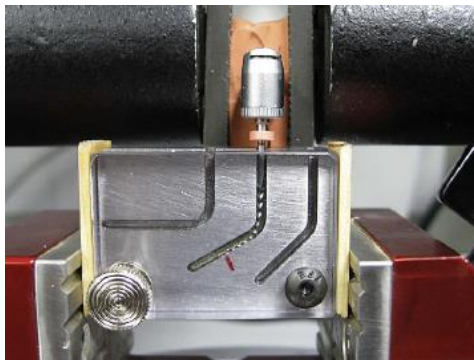
1.4.10 Dispositivos de ensayo de fatiga cíclica

La curvatura rotacional es la prueba utilizada en la literatura endodóntica para evaluar la fatiga de los instrumentos rotatorios Ni-Ti. Los dispositivos usados para probar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos giratorios Ni-Ti permiten que los instrumentos giren hasta la fractura usando diferentes curvaturas geométricas (2).

La curvatura del canal se define usando el método introducido por Schneider en 1971. Este método utiliza sólo un único parámetro para definir un ángulo en grados. Para determinar el grado de curvatura de la raíz, Schneider trazó una línea paralela al eje largo del canal. Se dibujó una segunda línea del agujero apical para intersecar con la primera línea en el punto donde el canal comienza a abandonar el eje largo del canal (2).

Larsen et al., probaron los instrumentos en un bloque de metal con un canal simulado con un ángulo de 60° de curvatura y un radio de curvatura de 5 mm, con un diámetro de 1,5 mm de ancho. El bloque fue hecho de acero inoxidable serie 300. Una cubierta giratoria de acrílico de la tapa superior permite la visualización de las limas que giran en el canal y la eliminación de instrumentos quebrados entre pruebas (2).

Figura 1. Dispositivo de Fatiga Cíclica Estático



Para evitar cualquier interferencia del operador, este bloque de acero inoxidable se añade a un dispositivo con una base cuadrada y un eje vertical, el cual sostiene la pieza de mano, manteniendo el eje del instrumento alineado con el segmento recto del canal artificial, dicho dispositivo se diseña para realizar las pruebas de fatiga cíclica de forma estática. Por otro lado y más recientemente, ha evolucionado la idea de utilizar ese mismo aparato de acero inoxidable de la prueba estática y generar una prueba dinámica que se asemeje más a la realidad clínica. En la que el eje vertical de ese dispositivo permite un movimiento de entrada y salida del instrumento mientras este gira libremente dentro del canal. La amplitud de dicho movimiento axial es de 3mm y la frecuencia de oscilación de estos movimientos es de aproximadamente 0,5 Hz (28) (29).

Figura 2. Dispositivo de Fatiga Cíclica Dinámico



1.4.11 Mejora de la resistencia a la fractura mediante modificaciones en metalurgia de las limas

Se han utilizado varias estrategias para mejorar la resistencia a la fatiga de los instrumentos endodónticos Ni-Ti. Estas estrategias incluyen electro pulido, implantación de iones, revestimientos superficiales y tratamiento térmico. Recientemente, el tratamiento térmico de la aleación Ni-Ti ha sido utilizado con éxito para mejorar las propiedades mecánicas de los instrumentos endodónticos como la resistencia a la fatiga, la flexibilidad, la eficiencia de corte y la capacidad de centrado del canal. Los fabricantes han introducido varias aleaciones de Ni-Ti tratadas térmicamente (por ejemplo, alambre de memoria controlada [Symphon-Endo, Orange, TN], M-Wire [Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK], CA) para optimizar la microestructura y el comportamiento de transformación de aleaciones Ni-Ti, que a su vez tiene mayor influencia en las propiedades mecánicas de las limas Ni-Ti. Una nueva generación de instrumentos (RECIPROC® Blue y Wave-One® Gold) se someten a un tratamiento complejo de refrigeración por calefacción que da como resultado una capa visible de óxido de titanio en la superficie del instrumento. Este tratamiento controla las temperaturas de transición, creando una aleación de control de memoria de forma, que es reivindicado por el fabricante para dar lugar a propiedades mecánicas superiores y rendimiento de los instrumentos Ni-Ti (2) (30) (31).

1.4.12 CM-Wire

Es una aleación de Ni-Ti con propiedades flexibles que fue introducido en endodoncia en el 2010. Donde fabrica los instrumentos utilizando un proceso termo mecánico que controla la memoria del material, haciendo las limas extremadamente flexibles, pero sin la memoria de forma de otras limas Ni-Ti (32).

1.4.13 Instrumentos RECIPROC® Blue y Wave One® Gold

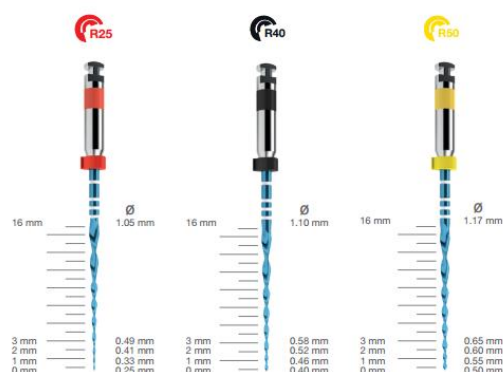
✓ RECIPROC® Blue

Se producen con níquel-titanio (Ni-Ti) que pasa por un tratamiento térmico en el que se agrega una capa visible de óxido de titanio en la superficie del instrumento, lo que le confiere el control de memoria de forma, mayor resistencia a la fatiga cíclica y flexibilidad adicional, así como su color azul característico (31).

Características:

- Punta inactiva
- Sección transversal en forma de “S”
- Movimiento alterno reciprocante
- Ángulo de giro: 150/30°
- Eje corto de 11 mm niquelado que permite un mejor acceso a los molares
- Longitudes del instrumento: 21mm, 25mm, 31mm.
- Presenta marcas radiográficas visibles en 3 puntos de profundidad (18,19,20,22mm)
- Sistema de una lima para cada tipo de conducto radicular (R25, R40, R50)
 - R25: prepara el canal radicular a un diámetro de 0.25mm con una conicidad de 0.08 sobre los primeros milímetros apicales.
 - R40: prepara el canal radicular a un diámetro de 0,40 mm con una conicidad de 0,06 sobre los primeros milímetros apicales.
 - R50: prepara el canal radicular a un diámetro de 0,50 mm con una conicidad de 0,05 sobre los primeros milímetros apicales.

Figura 3. Sistema Reciproc® Blue, Casa Comercial VDW



Fuente: <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/Reziproke-Aufbereitung/RECIPROC-blue/VDW-Dental-RECIPROCblue-Product-Brochure-EN.pdf>

✓ **Wave One Gold®**

Wave One Gold (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) es un instrumento recíproco reciente de una sola lima que reemplazó a Wave One. Wave One Gold se mejora con el uso de alambre de oro y un nuevo diseño de sección transversal en paralelogramo con 2 filos de corte (33).

Características

- Sección transversal en paralelogramo con dos puntas cortantes
- Punta del instrumento semi-activa
- Movimiento recíprocante
- Angulo de giro 150/30°
- Longitudes de las limas: 21, 25 y 31mm
- Mango corto de 11mm para mejorar acceso en molares
- Sistema de 4 limas (small, Primary, medium, large)
 - SMALL: prepara el conducto radicular a un diámetro #20 con una conicidad de .07

- PRIMARY: prepara el conducto radicular a un diámetro #25 con una conicidad de .07
- MEDIUM: prepara el conducto radicular a un diámetro #35 con una conicidad .06
- LARGE: prepara el conducto radicular a un diámetro #45 con una conicidad de .05

Figura 4. Sistema Wave One® Gold; Casa Comercial Dentsply



Fuente: <https://www.dentaltix.com/es/mailefer/surtido-limas-waveone-gold-4ud>

1.4.14 Microscopio electrónico de barrido

Permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características.

El microscopio electrónico de barrido puede estar equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución SEI (Secondary Electron Image), un detector de electrones retro dispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie BEI (Backscattered Electron Image), y un detector de energía dispersiva EDS (Energy Dispersive Spectrometer) permite

colectar los Rayos X generados por la muestra y realizar diversos análisis e imágenes de distribución de elementos en superficies pulidas (34). Además permite la observación directa de todo tipo de superficies, así como extender el rango de resolución de las imágenes hasta la escala nanométrica. Estas técnicas comenzaron a ser utilizadas desde 1977 cuando se completó la instalación del microscopio electrónico PSEM 500 en la Unidad de Actividad Materiales del Centro Atómico Constituyentes. Presenta una gran profundidad de foco, característica -privativa de los instrumentos electrónicos, que permite la obtención de micrografías en foco de superficies irregulares como las de una fractura.

Figura 5. Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM 6490



Fuente: <https://investigaciones.uniandes.edu.co/microscopio-electronico-de-barrido-jeol-jsm-6490lv/>

1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

1.5.1 Objetivo general:

Determinar cuál de los dos tipos de sistemas de limas genera mayor resistencia a la fatiga cíclica al ser sometidas a inmersión en Hipoclorito de Sodio al 5,25% y/o esterilización; 1 vez y 3 veces; en un bloque de acero inoxidable preformado con doble curvatura.

1.5.2 Objetivos específicos:

- ✓ Evaluar el comportamiento de las limas respecto a sus propiedades físicas y metalúrgicas durante el manejo de una doble curvatura en un bloque de metal con irrigación.
- ✓ Comparar los sistemas reciprocantes Reciproc Blue y Wave One Gold sometidos a inmersión activa en hipoclorito de sodio al 5,25% y/o esterilización.
- ✓ Determinar si existen diferencias estadísticamente significativas, respecto a tiempo y longitud de fragmento, entre las limas Reciproc Blue y Wave One Gold.

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio de tipo experimental In Vitro.

2.2 HIPÓTESIS

La aplicación de una solución irrigante como el Hipoclorito de Sodio al 5,25% disminuye las propiedades de las limas generando menor resistencia a la fractura torsional y por flexión en relación a la fatiga cíclica.

- ✓ **Hipótesis nula:** La interacción del Hipoclorito de Sodio al 5,25% y la aleación de níquel-titanio de las limas conlleva a micro-rugosidades estructurales de las mismas.
- ✓ **Hipótesis alterna:** Existen diferencias de interacción entre el Hipoclorito de Sodio al 5,25% respecto al tipo de sistema de limas debido a la variación de su fase cristalográfica.

2.3 OBJETO DE ESTUDIO

La diferencia que ofrecen las propiedades del Hipoclorito de Sodio al 5,25% al momento de interactuar con las limas Wave One Gold y Reciproc Blue en relación a la resistencia de la fatiga cíclica respecta a la fractura torsional y la modificación del bloque de acero inoxidable con doble curvatura.

2.4 POBLACIÓN DE ESTUDIO

RECIPROC® Blue R25 y Wave-One® Gold Primary sometidas a inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25% y/o esterilización 1 vez o 3 veces durante 3 minutos.

2.5 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Se observará y se registrará la fractura del instrumento en segundos.

2.6 MUESTRA

De tipo aleatoria simple; la cual se encuentra dividida en siete grupos, cada uno con 15 limas RECIPROC® Blue “R25” y 15 limas Wave-One® Gold “Primary”. En este estudio se analizaron los grupos número 2 y 5

Grupo 2: 15 limas RECIPROC® Blue “R25” y 15 limas Wave-One® Gold “Primary” sometidas a inmersión activa en hipoclorito de sodio al 5,25% 3 veces durante 3 minutos.

Grupo 5: 15 limas RECIPROC® Blue “R25” y 15 limas Wave-One® Gold “Primary” sometidas a inmersión activa en hipoclorito de sodio al 5,25% 1 vez durante 3 minutos.

Figura 6. Distribución aleatoria de los instrumentos Reciproc Blue y Wave One Gold en 7 grupos de estudio.



Fuente: Alvarado B, Garzón O, Sierra D.

2.7 CRITERIOS DE SELECCIÓN

2.7.1 Criterios de Inclusión

- ✓ Limas del sistema reciprocante RECIPROC® Blue, en las cuales se encuentran: R25
- ✓ Limas del sistema reciprocante Wave-One® Gold, en las cuales se encuentran: Primary.

2.7.2 Criterios de Exclusión

- ✓ Limas que no se encuentren nuevas, o que hayan sido utilizadas anteriormente.
- ✓ Limas que al ser observadas antes del uso presenten algún tipo de deformación.

2.8 PROCEDIMIENTO (MUESTRA, DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES, INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN)

Un total de 30 limas nuevas RECIPROC® Blue "R25" 25 / .08 y 30 Wave One Gold® "Primary" 25 / .07 fueron seleccionadas en este estudio experimental in vitro. De estos instrumentos, 30 fueron examinados previamente con un aumento de x160 bajo un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM 6490), en términos de deformaciones estructurales. Ninguno de los instrumentos examinados tenía defectos visibles. Por lo tanto, todas las limas se sometieron a una prueba dinámica de fatiga cíclica.

Todos los instrumentos fueron asignados aleatoriamente en 7 grupos (n = 15) para cada marca. Grupo 1 (grupo control) incluyó instrumentos nuevos que no estaban inmersos en NaOCl o sometidos a esterilización en autoclave.

Se incluyó en el Grupo 2, 15 limas RECIPROC® Blue "R25" 25/.08 y 15 limas Wave One® Gold "Primary" 25/.07. Todas las limas se colocaron en pequeños recipientes de vidrio con la cantidad de solución de NaOCl necesaria para contactar los 16 mm de la parte activa del instrumento; se permitió la inmersión dinámica, activando los instrumentos de endodoncia con una pieza de mano (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Alemania); alimentada por el motor VDW Silver Reciproc (VDW, Munich, Alemania). Estas limas fueron sometidas a inmersión activa 3 veces durante 3 minutos en hipoclorito de sodio al 5,25%; se removió la solución de hipoclorito con suero fisiológico después de cada ciclo para neutralizar el efecto del NaOCl; se secaron y se almacenaron en recipientes identificados con el número de la lima, tipo de Sistema y número de inmersiones en NaOCl.

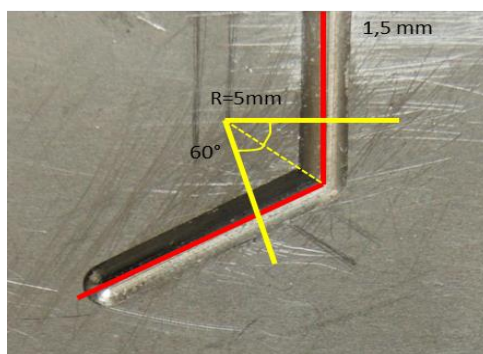
Se esperaron 24 horas para su inmersión a un nuevo ciclo hasta completar el número de inmersiones requeridas. Posteriormente se realizó la prueba de fatiga cíclica en el modelo de simulación, donde se introdujo solo 22 mm de su longitud.

En el grupo 5 se incluyeron 15 limas RECIPROC® Blue "R25" 25/.08 y 15 limas Wave One® Gold "Primary" 25/.07. Todas las limas se colocaron en pequeños

recipientes de vidrio con la cantidad de solución de NaOCl necesaria para contactar los 16 mm de la parte activa del instrumento; se permitió la inmersión dinámica, activando los instrumentos de endodoncia con una pieza de mano (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Alemania); alimentada por el motor VDW Silver Reciproc (VDW, Munich, Alemania). Estas limas fueron sometidas a inmersión activa 1 vez durante 3 minutos en hipoclorito de sodio al 5,25%; se removió la solución de hipoclorito con suero fisiológico para neutralizar el efecto del NaOCl; se secaron y se almacenaron en recipientes identificados con el número de la lima, tipo de Sistema y número de inmersiones en NaOCl. Se esperaron 24 horas para realizar la prueba de fatiga cíclica en el modelo de simulación, donde se introdujo solo 22 mm de su longitud.

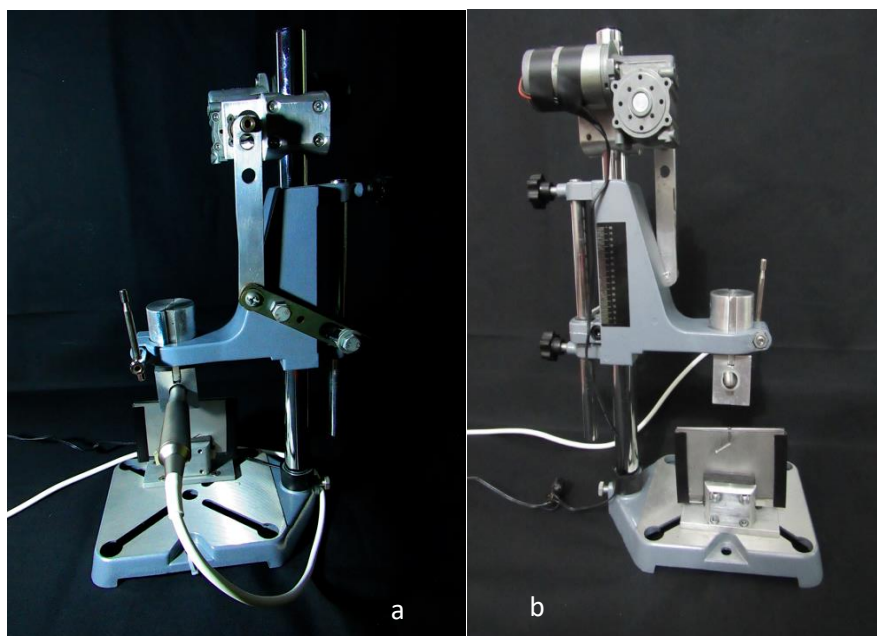
La prueba de fatiga cíclica dinámica se realizó en un canal artificial de acero inoxidable serie 300, con un diámetro interno de 1.5 mm, un ángulo de curvatura de 60 ° y radio de curvatura de 5 mm (Fig. 7). La punta del instrumento tiene 7 mm en la mitad del segmento curvo (2). Todos los instrumentos se utilizaron con un motor endodóntico Silver Reciproc (VDW, Munich, Alemania) conectado al dispositivo de prueba de fatiga cíclica dinámica (Fig.8) utilizando el programa "Reciproc ALL" diseñado específicamente para RECIPROC® y el "Wave One ALL" diseñado específicamente para instrumentos Wave One®. Todos los instrumentos con una longitud fija de 22 mm se operaron con un movimiento axial de 3 mm / s hasta que se produjo la fractura del instrumento.

Figura 7. Canal artificial de acero inoxidable



Fuente: Gutiérrez, C. Antolinez, K.

Figura 8. Modelo de simulación prueba de fatiga cíclica



(a) Modelo de simulación prueba de fatiga cíclica, con pieza de mano VDW Silver Reciproc. (b) Modelo de simulación prueba de fatiga cíclica en el que se observa el canal artificial de acero inoxidable.

Fuente: Gutiérrez, C. Antolinez, K.

El tiempo de fractura (TF) para cada lima probada se registró en segundos usando un cronómetro; además, se realizó un registro de video para cada instrumento para verificar el tiempo de fractura. La longitud del fragmento fracturado se midió en mm para cada instrumento con un microcaliper digital. Después de que se produjo la fractura, el grado de deformación sufrido por los instrumentos fue evidenciado por la observación en el Microscopio Electrónico de Barrido de electrons (JEOL, modelo JSM 6490-LV, Universidad de los Andes); se analizó el tipo de fractura, y se tomaron fotomicrografías de las superficies fracturadas con diferentes aumentos ($\times 120$ a $\times 600$).

2.8.1 Definición y operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Descripción	Tipo de variable	Nivel de medición	Naturaleza
Fatiga Cíclica	Se relaciona con la cantidad de ciclos que un instrumento soporta antes de sufrir la fractura de un segmento.	Cuantitativa	De Razón	Independiente
Hipoclorito de sodio	Líquido claro, pálido, verde-amarillento, extremadamente alcalino y con fuerte olor a cloro, que presenta una acción disolvente sobre el tejido necrótico y restos orgánicos, además de ser un potente agente antimicrobiano.	Cualitativo	Nominal	Dependiente
Tipo de lima	Wave One Gold y Recipro Blue	Cuantitativa	De razón	Dependiente
Radio de la curvatura	A menor radio, mayor fatiga.	Cuantitativa	De razón	Dependiente
Velocidad	A mayor velocidad de rotación, mayor fatiga.	Cuantitativa	De razón	Dependiente
Tiempo	A mayor tiempo de rotación del instrumento en la curvatura mayor fatiga.	Cuantitativa	De razón	Dependiente
Cinemática	No dejar rotando el instrumento en las curvas y en un punto.	Cuantitativa	De razón	Dependiente

Fuente: Alvarado B, Garzón O, Sierra D.

2.8.2 Instrumento de recolección de datos:

Tabla 2. Instrumento de recolección de datos Reciproc Blue

SISTEMA RECIPROC BLUE R 25					N° INMERSIONES EN NaOCl
LIMA	TIPO FRACTURA	TIEMPO	LONGITUD FRAGMENTO APICAL	LONGITUD FRAGMENTO CORONAL	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Fuente: Alvarado B, Garzón O, Sierra D.

Tabla 3. Instrumento de recolección de datos Wave One Gold

SISTEMA WAVE ONE GOLD “PRIMARY”					
LIMA	TIPO FRACTURA	TIEMPO	LONGITUD FRAGMENTO APICAL	LONGITUD FRAGMENTO CORONAL	N° INMERSIONES EN NaOCl
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Fuente: Alvarado B, Garzón O, Sierra D.

2.9 ASPECTOS ÉTICOS

Según el Artículo 11 de la Resolución N° 008430 de 1993 (expedida por el Ministerio de Salud de Colombia), la presente es una **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.

2.10 ESTADÍSTICA

Para la resistencia a la fatiga cíclica y los datos de la longitud de los fragmentos fracturados, la hipótesis de normalidad se probará utilizando la prueba Shapiro-Wilk. Los datos obtenidos sobre las longitudes de los fragmentos también serán sometidos a un análisis de varianza de 1 vía. Los valores de resistencia a la fatiga cíclica se analizaron utilizando U de Mann-Whitney y SPSS con un nivel de significancia del 5%.

3. RESULTADOS

La Tabla 4 representa los valores de tiempo de fractura, fragmento apical y fragmento coronal para cada instrumento, en los cuales no se encontró normalidad de los grupos ($p < 0.05$, Prueba de Shapiro Wilk); en consecuencia se opta por hacer la comparación de los grupos con el uso de estadística no paramétrica.

Tabla 4. Prueba de normalidad de las variables evaluadas

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
TIEMPO	,901	60	,000
FRAG APICAL	,926	60	,001
FRAG CORONAL	,906	60	,000

Fuente: Cubides, J.

El análisis inferencial reveló diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes grupos considerando el tipo de instrumento como la variable independiente ($P < .05$).

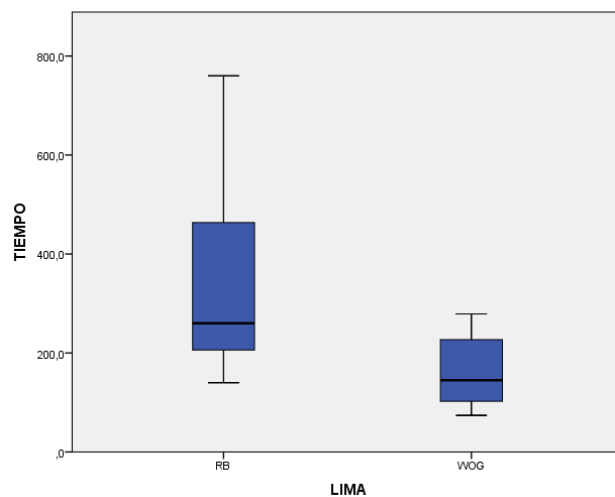
La tabla 5 representa las diferencias en la distribución de las medianas entre los grupos de Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%; en el cual se concluye que entre el tiempo, fragmento apical y fragmento coronal existen diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 5. Comparación entre limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%

Lima	Promedio de TIEMPO (DE)	Promedio de FRAG APICAL (DE)	Promedio de FRAG CORONAL (DE)
RB	343,13 (204,9) a	10,96 (2,5) a	16,23 (2,7) b
WOG	161,26 (67,8) b	6,86 (1,7) b	18,26 (1,8) a
	p valor 0,001	p valor 0,002	p valor 0,021

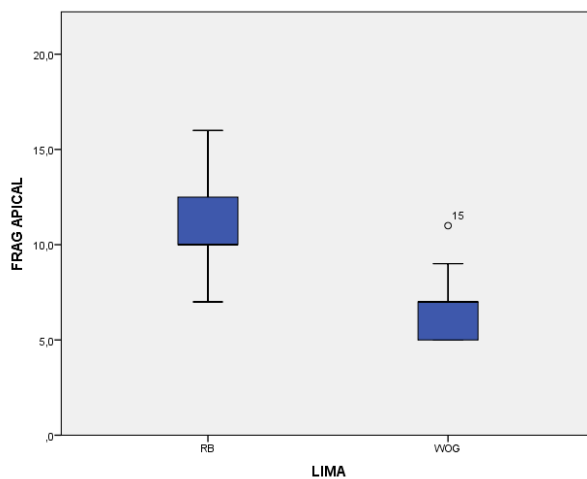
Fuente: Cubides, J.

Figura 9. Comparación del tiempo de fractura entre las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%.



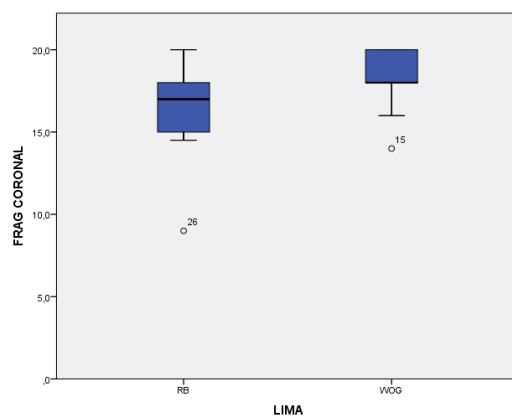
Fuente: Cubides, J.

Figura 10. Comparación de los fragmentos apicales de las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

Figura 11. Comparación de los fragmentos coronales de las limas sometidas a una inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

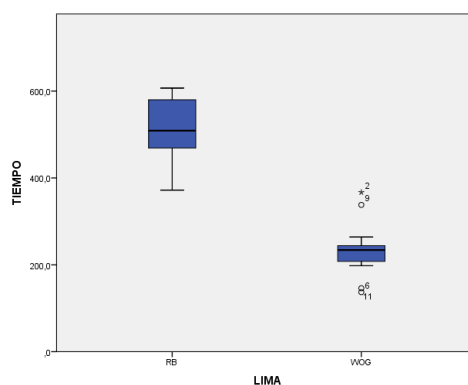
Tabla 6. Comparación entre limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%

LIMA	Promedio de TIEMPO (DE)	Promedio de FRAG APICAL (DE)	Promedio de FRAG CORONAL (DE)
RB	514,53 (77,3) a	6,93 (1,3) a	17,8 (1,6) a
WOG	233,86 (59,5) b	5,9 (1,7) a	18,83 (1,3) a
	p valor 0,0001	p valor 0,161	p valor 0,161

Fuente: Cubides, J.

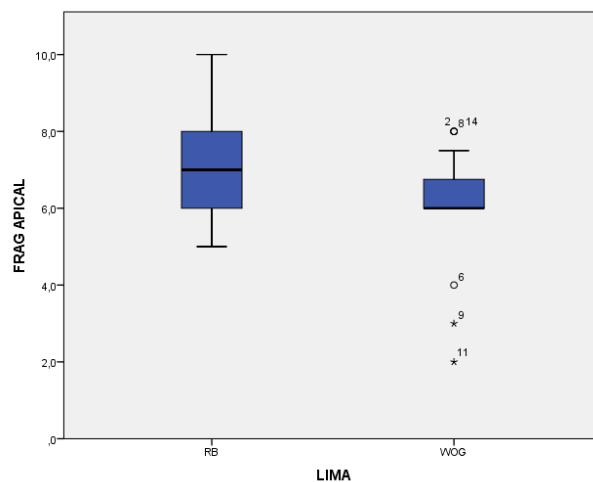
De acuerdo a los resultados obtenidos para el grupo 2 (inmersión en hipoclorito 3 veces), se contrasta la hipótesis de diferencias en la distribución de las medianas entre los grupos Reciproc Blue y Wave One Gold con el test de U Mann Whitney. El test estadístico muestra un p valor inferior al alfa de 0,05 ($p < 0.05$); por lo cual se concluye que en el tiempo hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Figura 12. Comparación entre los sistemas Reciproc Blue y Wave One Gold, los cuales fueron sometidos a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



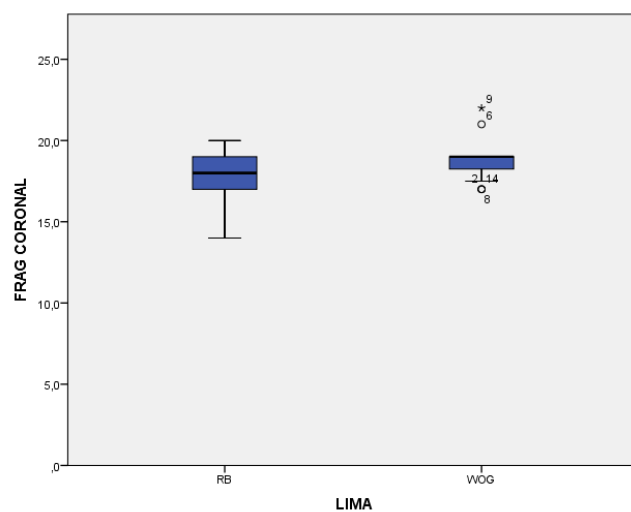
Fuente: Cubides, J.

Figura 13. Comparación de los fragmentos apicales de las limas sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

Figura 14. Comparación de los fragmentos coronales de las limas sometidas a tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

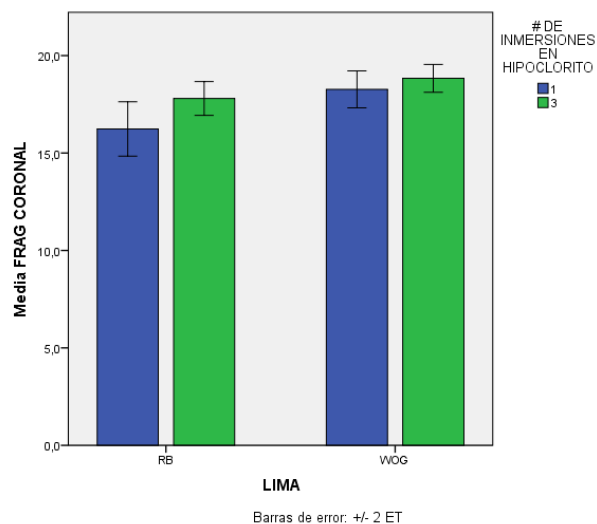
En la tabla 7 se compara los instrumentos Reciproc Blue y Wave One Gold con el número de inmersiones a las que fueron sometidos antes de realizar el test dinámico de fatiga cíclica. Se realizó la prueba estadística de U Mann Whitney; la cuál mostró un p valor inferior al alfa de 0,05 ($p < 0.05$), en las comparaciones de tiempo y fragmento apical. Por lo tanto se concluye que tanto en el tiempo como en la longitud del fragmento apical existen diferencias estadísticamente significativas entre las inmersiones únicamente para el grupo de Reciproc Blue.

Tabla 7. Promedio del número de inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25% para Reciproc Blue y Wave One Gold.

	Promedio de TIEMPO	Promedio de FRAG APICAL	Promedio de FRAG CORONAL
RB	428,83 (175,3)	8,95(2,8)	17,01 (2,3)
1	343,13 (204,9) a	10,96 (2,5) a	16,23 (2,7) a
3	514,53 (77,3) b	6,93 (1,3) b	17,8 (1,6) a
WOG	197,56 (72,8)	6,38 (1,7)	18,55 (1,6)
1	161,26 (67,89) b	6,86 (1,7) a	18,26 (1,8) b
3	233,86 (59,5) a	5,9 (1,7) a	18,83 (1,3) b

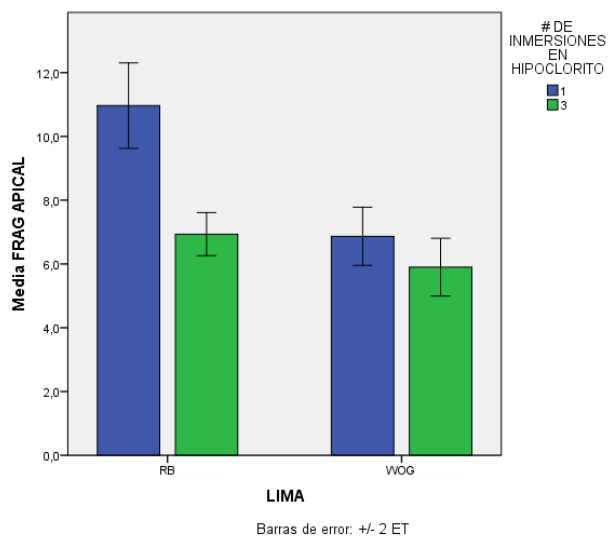
Fuente: Cubides, J.

Figura 15. Media de los fragmentos coronales de las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



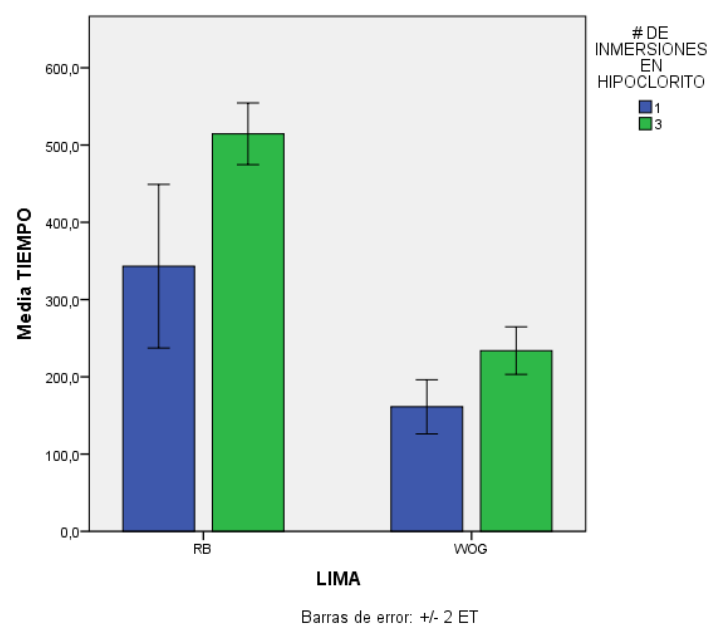
Fuente: Cubides, J.

Figura 16. Media de los fragmentos apicales de las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

Figura 17. Media del tiempo que tardaron en fracturarse las limas Reciproc Blue y Wave One Gold sometidas a una o tres inmersiones en hipoclorito de sodio al 5,25%



Fuente: Cubides, J.

4. DISCUSIÓN

Este estudio experimental "in vitro" se realizó en base a la comparación de la resistencia a la fatiga cíclica de los sistemas reciprocantes, RECIPROC Blue y Wave One Gold, cuando se evaluó bajo una prueba dinámica e inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25% y esterilización en autoclave.

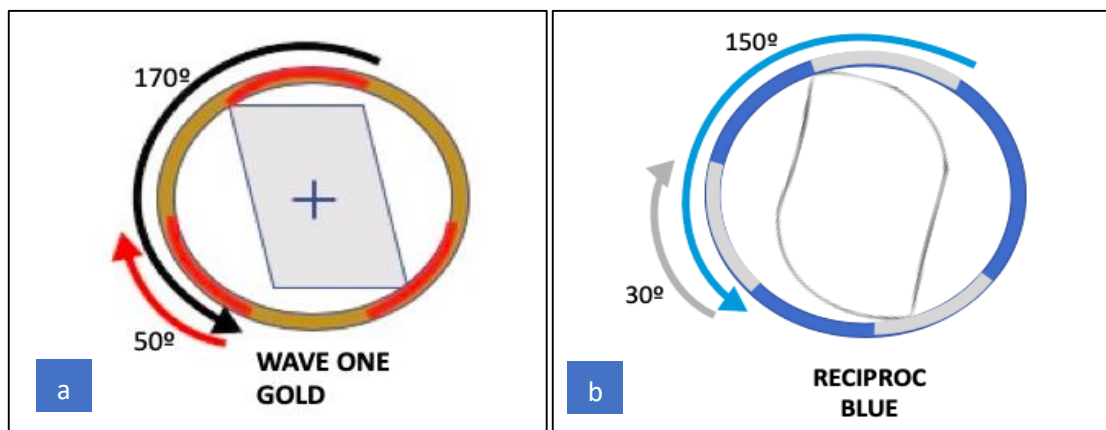
La fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios está influenciada por varios factores; tales como la velocidad de las limas, los ángulos de curvatura, el torque, las características de diseño del instrumento y la aleación en la que se fabrican (35). La cinemática reciprocante se ha desarrollado especialmente para reducir la incidencia de fracturas de instrumentos al influir en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos de níquel titanio (7) (35). Los procesos patentados están altamente influenciados por la temperatura y los intervalos de tiempo. Cualquier proceso de mecanizado adicional afectará las temperaturas de transición y el porcentaje de fases de la aleación. Esto se puede explicar por qué el rendimiento de los instrumentos de Ni-Ti puede verse influido por la calidad de los procesos de fabricación y los diferentes tratamientos térmicos (27). Las hipótesis para dar cuenta de estos resultados son múltiples, incluido el hecho de que los instrumentos reciprocantes giran una distancia circunferencial más corta en comparación con la cinemática de rotación continua, por lo tanto, someten la lima a valores de tensión mucho más bajos (36).

En este estudio, la prueba de fatiga cíclica dinámica se llevó a cabo utilizando los programas de motor preestablecidos (Silver Reciproc, VDW, Múnich, Alemania) "Reciproc ALL" para activar RECIPROC Blue 25 / .08 y "Wave One ALL" para activar Wave One Gold Primary 25 / .07. El modo preestablecido "Reciproc ALL" tiene un ángulo de 150 ° de rotación en sentido anti horario (CCW) y 30 ° en sentido horario (CW) y 300 rpm. Por otro lado, el modo preestablecido "wave-One all" tiene ángulos de rotación de 170 ° CCW y 50 ° CW y 350 rpm (fig. 18) (37). Estudios anteriores

han revelado que la mayor rotación de los ángulos durante el movimiento recíprocante y las velocidades más altas tienden a disminuir el tiempo de resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos (38) (39).

Sin embargo, algunos autores han informado que los modos preestablecidos "Reciproc ALL" y "Wave One ALL" no influyen en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos (37) (40); conclusión que se ha vuelto contradictoria según otros autores que informaron que la alteración de la amplitud del movimiento recíproco representa un factor que puede influir significativamente en la vida de la fatiga cíclica de los archivos Ni-Ti (35) (36). Estos últimos estudios concuerdan con la presente investigación; ya que se observa que los instrumentos con menos rango de amplitud tardan más ciclos en fracturarse que aquellos con amplios rangos, lo que indica que la amplitud del rango y las rpm influyen en la fractura de los mismos.

Figura 18. Movimiento alterno recíprocante



(a) ángulos de rotación del sistema Wave One All, 170° en sentido anti horario (CCW), 50° en sentido horario (CW); (b) ángulos de rotación del sistema Reciproc Blue, 150° en sentido anti horario (CCW), 30° en sentido horario (CW)

Fuente: http://www.dentsplymallefer.com/wpcontent/uploads/2017/03/Dentsply_Maillefer_WAVEONE_GOLD_SYSTEM_DFU_0117_WEB_DSE_ES.pdf; <https://www.vdw-dental.com/fileadmin/Dokumente/Sortiment/Aufbereitung/Reziproke-Aufbereitung/RECIPROC-blue/VDW-Dental-RECIPROCblue-Product-Brochure-EN.pdf>

De lo contrario, aunque los instrumentos probados en esta investigación tienen los mismos diámetros en la punta (# 25); el diseño de la sección transversal y el

tratamiento térmico de estos instrumentos son diferentes entre ellos. RECIPROC Blue "R25" y Wave One Gold "Primary" tienen conicidades de .08 y .07 respectivamente, en los primeros 3 mm apicales. En general, los instrumentos con conicidades inferiores garantizan una mayor resistencia a la fatiga cíclica (37); sin embargo, según los resultados del presente estudio, los instrumentos Reciproc Blue R25 / 0.8 mostraron una mayor resistencia a la fatiga cíclica que los Wave One Gold "Primary" / 07. Estos resultados están de acuerdo con el informe de Gündoğar y Özyürek T., 2017; Özyürek T et al., 2018 y Özyürek T et al., 2017 (12) (41). Por lo tanto, las conicidades no se considerarían una variable que influyó en los valores de resistencia a la fatiga cíclica en este estudio; porque tienen el mismo taper a los 7 mm, lugar donde se fracturaron las dos limas o porque simplemente la zona que más tensión recibe es la que está justo donde termina la curva; sin embargo unas se fracturaron más rápido que las otras.

Otras variables como el tratamiento térmico de los instrumentos y el diseño transversal, representan un factor importante en los resultados de esta investigación. Como se mencionó anteriormente, ambos instrumentos elegidos tienen diferentes tipos de aleaciones. Los instrumentos Ni-Ti tratados con calor muestran cambios de transformación de fase que mejoran la flexibilidad y la resistencia a la fatiga de los instrumentos (42). RECIPROC Blue presenta una aleación recientemente desarrollada, obtenida mediante un proceso de fabricación termo mecánico; en el que se agrega una capa superficial de óxido patentada, y ha demostrado un rendimiento general mejorado en comparación con las diferentes aleaciones (Ni-Ti convencional, M-Wire) que demuestran una mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga. Esta aleación presenta micro dureza reducida manteniendo las características similares de su superficie (31).

Por otro lado, el sistema Wave One Gold® está fabricado con tratamiento térmico "Gold". A diferencia de la tecnología M-Wire basada en el tratamiento térmico antes de la producción, el tratamiento "Gold" se realiza calentando y enfriando lentamente

la lima después de su producción. Los fabricantes afirman que dicho tratamiento térmico aumenta la flexibilidad de los instrumentos (43).

Dados los hallazgos y resultados de esta investigación y de investigaciones anteriores, se demostró que las limas RECIPROC® Blue podrían beneficiarse de su proceso de fabricación. Es probable que los diferentes tratamientos térmicos entre ellos puedan dar lugar a diferentes transformaciones de la fase martensítica y podrían inducir diferentes disipaciones de la energía requerida para la formación y/o propagación de fisuras durante las pruebas de fatiga cíclica (44) (45). Sin embargo, esto debe ser confirmado por investigaciones adicionales.

La fatiga cíclica también está influenciada por las dimensiones y el diseño de la sección transversal de los instrumentos (3) (4). RECIPROC® Blue 25 / .08 tiene un diseño de sección transversal en "S" itálica, mientras que Wave One Gold® 25 / .07 tiene una sección transversal en forma de paralelogramo. Estudios previos han demostrado que un mayor volumen de masa metálica en el punto máximo de tensión de los instrumentos afecta la resistencia a la fatiga cíclica (37). Por lo tanto, un diseño transversal diferente puede ser un factor determinante en la resistencia a la fatiga cíclica de diferentes limas (4) (37).

Es necesario enfatizar que, dentro de las limitaciones de este estudio, las características de los instrumentos, como los tratamientos térmicos y el diseño transversal, tuvieron una influencia significativa en las propiedades mecánicas de los instrumentos evaluados. Los resultados mostraron que RECIPROC® Blue 25 / .08 tiene la mayor resistencia a la fatiga cíclica en comparación con Wave One® Gold 25 / .07.

Para las pruebas de fatiga cíclica, se han utilizado diferentes dispositivos con modelos estáticos y dinámicos. En los modelos estáticos, el instrumento gira a una longitud fija en el canal artificial sin ningún movimiento axial (29). Mientras que en los modelos dinámicos hay un movimiento axial hacia arriba y hacia abajo del instrumento con una amplitud de 3 mm, según lo establecido en esta investigación,

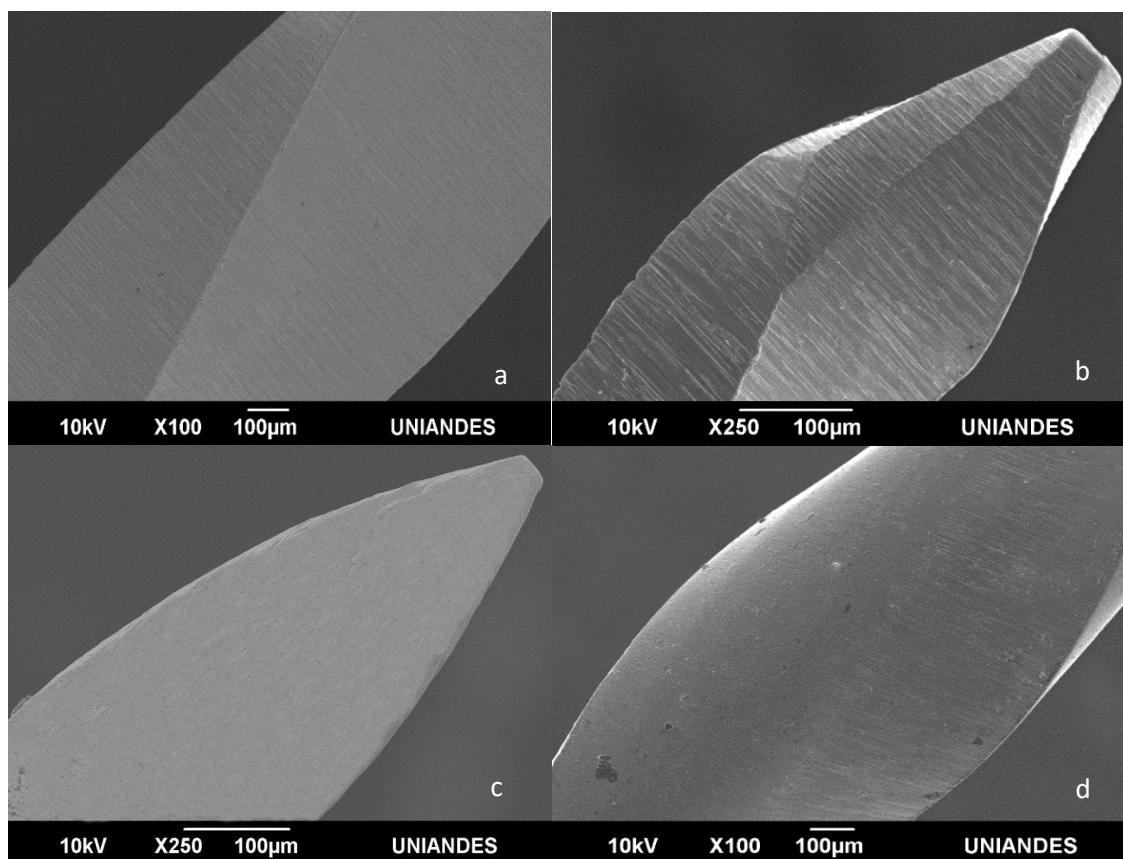
y como se ha utilizado en estudios anteriores (46) (47) (48) (49). Los dispositivos dinámicos se han utilizado recientemente porque esa prueba representa mejor la práctica clínica un poco más que los dispositivos de prueba de fatiga cíclica estática (50) (51).

En estos modelos dinámicos, el valor del tiempo de fractura aumenta, porque la tensión se distribuye en las áreas de tensión y compresión durante el movimiento, en comparación con los modelos de prueba estáticos en los que la tensión se concentra en un área constante y específica del instrumento (29) (47) (50).

Los instrumentos de Ni-Ti se reutilizan con frecuencia, lo que conduce a una disminución en la resistencia a la fatiga cíclica. La fatiga del material parece ser una razón importante para la fractura de los instrumentos durante el uso clínico (27).

Por lo tanto, en el presente estudio, se investigó el efecto de la inmersión en NaOCl al 5,25% y la esterilización en autoclave a 132°C por 45 minutos en cuanto a la resistencia a la fatiga cíclica de 2 instrumentos Ni-Ti tratados térmicamente. Para acercarse a las condiciones clínicas, el protocolo de este estudio proporcionó una inmersión dinámica en NaOCl al 5,25% durante 3 minutos en su parte activa (16 mm). Para simular un número realista de veces que los instrumentos pueden reutilizarse, se eligieron de 1 a 3 ciclos de esterilización y / o inmersión en NaOCl. Se construyó un modelo de simulación dinámica con un conducto artificial con un ángulo de curvatura de 60° y un radio de curvatura de 5 mm ya que la mayoría de los estudios previos sobre fatiga cíclica se basaron bajo parámetros (27).

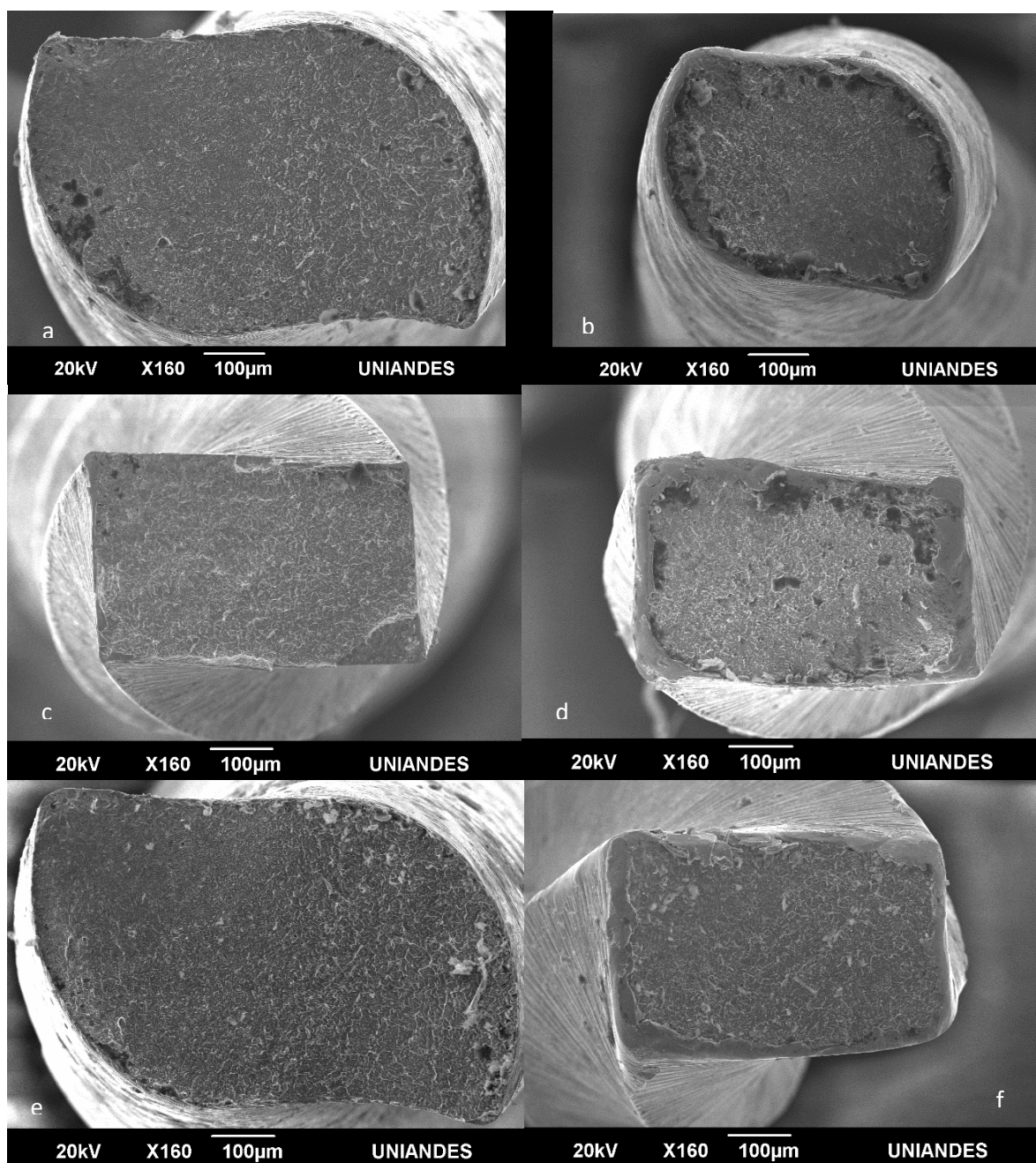
Figura 19. Análisis de microscopía electrónica de barrido



realizado en lima Wave One Gold antes de inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25% para verificar defectos estructurales (a y b); Análisis de microscopía electrónica de barrido realizado en lima Reciproc Blue antes de inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25% para verificar defectos estructurales (c y d).

Fuente: Universidad de los Andes

Figura 20. Análisis de microscopía electrónica de barrido realizado en muestras fracturadas



(Vistas axiales) a 160 de RB (A y B) y limas (C Y D) Wave One Gold sumergidos dinámicamente durante 3 minutos en NaOCl al 5% 1 vez; Análisis de microscopía electrónica de barrido realizado en muestras fracturadas (vistas axiales) a 160 de RB (E) y limas (F) Wave One Gold sumergidos dinámicamente durante 3 minutos en NaOCl al 5,25% 3 veces.

Fuente: Universidad de los Andes

5. CONCLUSIONES

Los instrumentos RECIPROC® Blue "R25" fueron significativamente más resistentes a la fatiga cíclica que los instrumentos Wave One Gold Primary. La resistencia se puede asociar con los diferentes procesos de fabricación térmica y los diferentes diseños de sección transversal de los mismos.

Los instrumentos RECIPROC® Blue "R25" exhibieron una mayor resistencia a la fatiga cíclica que Wave One Gold® "Primary" cuando fueron sometidos a inmersión y/o esterilización en autoclave. Estos resultados podrían atribuirse a los diferentes tratamientos termo mecánicos posteriores al mecanizado; a los que se somete la aleación Ni-Ti durante su fabricación. Además, las longitudes de los fragmentos son diferentes, ya que los fragmentos fracturados de RECIPROC® Blue "R25" promedian 7-10 mm en comparación con los de Wave One Gold® "Primary" que son de 6-8 mm, lo cual genera una diferencia estadísticamente significativa.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con los diferentes grupos de estudio para posteriormente someterlos a análisis estadístico, y así, poder evaluar la influencia que tiene en la resistencia a la fatiga cíclica la esterilización a 134° y el protocolo combinado de inmersión en hipoclorito de sodio al 5,25% y esterilización, para generar datos y resultados transpolables que sirvan de guía para el uso clínico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Shen Y, , Zhou HM, , Zheng YF, , Campbell L, , Peng B, , Haapasalo M.. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. J Endod. 2011 Nov; 37(11): p. 1566-71.
2. Plotino G , Grande NM , Cordaro M , Testarelli L , Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. J Endod. 2009 Nov; 35(11): p. 1469-76.
3. Pedullà E , Lo Savio F , Boninelli S , Plotino G , Grande NM , La Rosa G , et al. Torsional and Cyclic Fatigue Resistance of a New Nickel-Titanium Instrument Manufactured by Electrical Discharge Machining. J Endod. 2016 Jan; 42(1): p. 156-9.
4. Plotino G , Grande NM , Testarelli L , Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. Int Endod J. 2012 Jul; 45(7): p. 614-8.
5. Condorelli GG , Bonaccorso A , Smecca E , Schäfer E , Cantatore G , Tripi TR.. Improvement of the fatigue resistance of NiTi endodontic files by surface and bulk modifications. Int Endod J. 2010 Oct; 43(10): p. 866-73.
6. Alapati SB , Brantley WA , Iijima M , Clark WA , Kovarik L , Buie C , et al. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. J Endod. 2009 Nov; 35(11): p. 1589-93.
7. Kiefner P , Ban M , De-Deus G.. Is the reciprocating movement per se able to improve the cyclic fatigue resistance of instruments?. Int Endod J. 2014 May; 47(5): p. 430-6.

8. Keles A , Uzunoglu Ozyurek E , Uyanik MO , Nagas E.. Effect of Temperature of Sodium Hypochlorite on Cyclic Fatigue Resistance of Heat-treated Reciprocating Files. J Endod. 2019 Feb; 45(2): p. 205-208.
9. Shen Y , Qian W , Abtin H , Abtin H , Haapasalo M.. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. J Endod. 2011 Jul; 37(7): p. 997-1001.
10. Surakanti JR , Venkata RC , Vemisetty HK , Dandolu RK , Jaya NK , Thota S.. Comparative evaluation of apically extruded debris during root canal preparation using ProTaper™, Hyflex™ and Waveone™ rotary systems. J Conserv Dent. 2014 Mar; 17(2): p. 129–132.
11. Al-Sudani D.. Topographic Analysis of HyFlex(®) Controlled Memory Nickel-Titanium Files. J Int Oral Health. 2014 Nov-Dec; 6(6): p. 1-4.
12. Gündoğar M , Özyürek T.. Cyclic Fatigue Resistance of OneShape, HyFlex EDM, WaveOne Gold, and Reciproc Blue Nickel-titanium Instruments. J Endod. 2017 Jul; 43(7): p. 1192-1196.
13. Thompson SA.. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. Int Endod J. 2000 Jul; 33(4): p. 297-310.
14. Buehler WJ , Cross WB.. “55-Nitinol unique wire alloy with a memory.”. Wire Journal. 1969; 2: p. 41-9.
15. Lee JH , Park JB , Andreasen GF , Lakes RS.. “Thermomechanical study of NiTi alloys.”. Journal of Biomedical Materials Research. 1988; 22: p. 573–88..
16. Lee D-H , Park JB , Saxena A , Serene TP.. “Enhanced surface hardness by boron implantation in Nitinol alloy.”. J Endod. 1996; 22: p. 543-6.
17. Andreasen G , Wass K , Chan KC.. A review of superelastic and thermodynamic nitinol wire. Quintessence Int. 1985 Sep; 16(9): p. 623-6.

18. Schäfer E.. "Root canal instruments for manual use: a review.". Endodontics and Dental Traumatology. 1997; 13: p. 51-64.
19. Wang FE , Pickart SJ , Alperin HA.. "Mechanism of the TiNi martensitic transformation and the crystal structures of TiNi-II and TiNi-III phases". Journal of Applied Physics. 1972; 43: p. 97-112.
20. Arias A , Perez-Higueras JJ , de la Macorra JC.. Differences in cyclic fatigue resistance at apical and coronal levels of Reciproc and WaveOne new files. J Endod. 2012 Sep; 38(9): p. 1244-8.
21. Pedullà E , Grande NM , Plotino G , Pappalardo A , Rapisarda E.. Cyclic fatigue resistance of three different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. J Endod. 2011 Aug; 37(8): p. 1139-42.
22. Bulem ÜK , Kececi AD , Guldaz HE.. Experimental evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite and/or sterilization. J Appl Oral Sci. 2013 Nov-Dec; 21(6): p. 505-10.
23. Elnaghy AM , Elsaka SE.. Effect of sodium hypochlorite and saline on cyclic fatigue resistance of Wave One Gold and Reciproc reciprocating instruments. Int Endod J. 2017 Oct; 50(10): p. 991-998.
24. Pedullà E , Franciosi G , Ounsi HF , Tricarico M , Rapisarda E , Grandini S.. Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments after immersion in irrigant solutions with or without surfactants. J Endod. 2014 Aug; 40(8): p. 1245-9.
25. Khabiri M , Ebrahimi M , Saei MR.. The Effect of Autoclave Sterilization on Resistance to Cyclic Fatigue of Hero Endodontic File #642 (6%) at Two Artificial Curvature. J Dent (Shiraz). 2017 Dec; 18(4): p. 277-281.

26. Zhao D , Shen Y , Peng B , Haapasalo M.. Effect of autoclave sterilization on the cyclic fatigue resistance of thermally treated Nickel-Titanium instruments. *Int Endod J*. 2016 Oct; 49(10): p. 990-5.
27. Pedullà E , Benites A , La Rosa GM , Plotino G , Grande NM , Rapisarda E , et al. Cyclic Fatigue Resistance of Heat-treated Nickel-titanium Instruments after Immersion in Sodium Hypochlorite and/or Sterilization. *J Endod*. 2018 Apr; 44(4): p. 648-653.
28. Gambarra-Soares, T , Pereira-Lopes, H , Machado-Oliveira, J.C , Chaves Souza, L , Talarico- Leal, V , Elias, C.N.. “Dynamic or static cyclic fatigue tests: which best determines the lifespan of endodontic files? *ENDO (Lond Engl)*. 2013; 7(2): p. 101–104.
29. De-Deus G , Leal Vieira VT , Nogueira da Silva EJ , Lopes H , Elias CN , Moreira EJ.. Bending resistance and dynamic and static cyclic fatigue life of Reciproc and WaveOne large instruments. *J Endod*. 2014 Apr; 40(4): p. 575-9.
30. Ahn SY , Kim HC , Kim E.. Kinematic Effects of Nickel-Titanium Instruments with Reciprocating or Continuous Rotation Motion: A Systematic Review of In Vitro Studies. *J Endod*. 2016 Jul; 42(7): p. 1009-17.
31. De-Deus G , Silva EJ , Vieira VT , Belladonna FG , Elias CN , Plotino G , et al. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod*. 2017 Mar; 43(3): p. 462-466.
32. Haapasalo M , Shen Y.. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future. *Endodontic Topics*. 2013; 29: p. 3-17.
33. Adıgüzel M , Capar ID.. Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of WaveOne and WaveOne Gold Small, Primary, and Large Instruments. *J Endod*. 2017 Apr; 43(4): p. 623-627.

34. Pirani C , Iacono F , Generali L , Sassatelli P. superficial features, metallurgical analysis and fatigue resistance of innovative electro discharge machined NiTi rotary instruments. *International Endodontic Journal*. 2016; 49: p. 483-493.
35. Ferreira F , Adeodato C , Barbosa I , Aboud L , Scelza P , Zaccaro Scelza M.. Movement kinematics and cyclic fatigue of NiTi rotary instruments: a systematic review. *Int Endod J*. 2017 Feb; 50(2): p. 143-152.
36. Plotino G , Ahmed HM , Grande NM , Cohen S , Bukiet F.. Current Assessment of Reciprocation in Endodontic Preparation: A Comprehensive Review--Part II: Properties and Effectiveness. *J Endod*. 2015 Dec; 41(12): p. 1939-50.
37. Alcalde MP , Duarte MAH , Bramante CM , de Vasconcelos BC , Tanomaru-Filho M , Guerreiro-Tanomaru JM , et al. Cyclic fatigue and torsional strength of three different thermally treated reciprocating nickel-titanium instruments. *Clin Oral Investig*. 2018 May; 22(4): p. 1865-1871.
38. Karataş E , Arslan H , Bükür M , Seçkin F , Çapar İD.. Effect of movement kinematics on the cyclic fatigue resistance of nickel titanium instruments. *Int Endod J*. 2016 Apr; 49(4): p. 361-4.
39. Arslan H , Alsancak M , Doğanay E , Karataş E , Davut Çapar İ , Ertas H.. Cyclic fatigue analysis of Reciproc R25® instruments with different kinematics. *Aust Endod J*. 2016 Apr; 42(1): p. 22-4.
40. Kim HC , Kwak SW , Cheung GS , Ko DH , Chung SM , Lee W.. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod*. 2012 Apr; 38(4): p. 541-4.
41. 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. J Dent Res Dent Clin Dent Prospects. 2017; 11(4): p. 241-246.
42. Hieawy A , Haapasalo M , Zhou H , Wang ZJ , Shen Y.. Phase Transformation Behavior and Resistance to Bending and Cyclic Fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal Instruments. J Endod. 2015 Jul; 41(7): p. 1134-8.
 43. Muhammad S , Al-huwaizi H.. Evaluation of the Cyclic Fatigue of WaveOne Gold and Reciproc Blue using Different Irrigating Medium. Int J Med Res Health Sci. 2018;; p. 27-31.
 44. Lopes HP , Britto IM , Elías CN , Machado de Oliveira JC , Neves MA , Moreira EJ , et al. Cyclic fatigue resistance of ProTaper Universal instruments when subjected to static and dynamic tests. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2010 Sep; 110(3): p. 401-4.
 45. Shen Y , Zhou HM , Zheng YF , Peng B , Haapasalo M.. Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. J Endod. 2013 Feb; 39(2): p. 163-72.
 46. Li UM , Lee BS , Shih CT , Lan WH , Lin CP.. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. J Endod. 2002 Jun; 28(6): p. 448-51.
 47. Scelza P , Harry D , Silva LE , Barbosa IB , Scelza MZ.. A comparison of two reciprocating instruments using bending stress and cyclic fatigue tests. Braz Oral Res. 2015; 29: p. 1-7.
 48. Pruett JP , Clement DJ , Carnes DL Jr.. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod. 1997 Feb; 23(2): p. 77-85.

49. Pedullà E , Lizio A , Scibilia M , Grande NM , Plotino G , Boninelli S , et al. Cyclic fatigue resistance of two nickel-titanium rotary instruments in interrupted rotation. *Int Endod J.* 2017 Feb; 50(2): p. 194-201.
50. 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 Jul; 50(7): p. 713-717.
51. Grande NM , Plotino G , Pecci R , Bedini R , Malagnino VA , Somma F.. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006 Oct; 39(10): p. 755-63..
52. Kocak M , Cicek E , Kocak S , Saglam B , Furuncuog F.. Comparison of ProTaper Next and HyFlex instruments on apical debris extrusion in curved Canals. *International Endodontic Journal.* 2016; 49: p. 996-1000.