

**Análisis microgeo-métrico con digitalización de la superficie de los sistemas
rotatorios Protaper Ultimate® De Maillefer y Rotate® De VDW.**

**Everaldo Naranjo Lerma, Judy Rodríguez Lozano, María Teresa Caicedo
Rojas**

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Endodoncia

Asesor Metodológico:

Dra. Diana Parra, Dr. Oscar Mauricio Jiménez

Asesor científico:

Dr. Javier Fernando Gutiérrez, Dra. María Fernanda Serpa

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División Ciencias de la Salud

Facultad de Odontología

2024

Contenido

1.Introducción.....	13
1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.2 Pregunta de investigación.....	16
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos.....	17
1.3.1 Objetivo general	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
2. Marco referencial.....	19
2.1 Marco conceptual	20
2.2 Fase austenítica NiTi	21
2.2.2 Fase R (Pre-Martensítica).....	21
2.2.3 Fase martensítica	21
2.3 Tipos de aleaciones.....	22
2.3.1 Martensítica NiTi.....	22
2.3.2 AusteNiTica NiTi	22
2.3.3 Aleación M	22
2.3.4 Aleación CM	22
2.3.5 Tratamiento térmico Gold y Blue.....	23
3.Método.....	32
3.1 Tipo de estudio	32
3.2 Selección y Descripción de participantes	32
3.2.1 Población	32
3.2.2 Muestra y tipo de muestreo	32
3.2.3 Criterios de inclusión.....	32
4.Resultados.....	33
4.1 Variables.....	33
4.2 Instrumentos de recolección de datos	34
4.3 Procedimiento.....	35
4.3.1 Análisis microgeométrico con digitalización de la superficie.....	35

4.4 Preparación endodóntica.....	37
4.4.1 Secuencia de preparación del grupo 1 sistema Protaper Ultimate®	37
4.4.2 Secuencia de preparación del grupo 2 sistema Rotate®.....	38
4.5 Consideraciones éticas.....	39
5. Resultados.....	40
6. Discusión	45
7. Conclusiones.....	49
Referencias	50

Lista de tablas

Tabla 1. <i>SISTEMA ROTATE VDW</i>	28
Tabla 2. <i>Variables</i>	33
Tabla 3. Conicidad inicial y final (6 usos) en D2 y D4.....	40
Tabla 4. <i>Rugosidad inicial y final (6 usos) en D2 y D4</i>	41
Tabla 5. <i>Ángulos de corte e incidencia y corte de los sistemas Rotate ® VDW y ProTaper Ultimate®</i>	43

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ángulos de corte, ataque e incidencia.</i>	24
Figura 2. <i>Infinite Focus G6</i>	26
Figura 3. <i>Bloque de resina acrílica con doble curvatura</i>	27
Figura 4. <i>Limas Rotate VDW</i>	29
Figura 5. <i>Limas Rotate VDW- sección transversal</i>	29
Figura 6. <i>Sistema Protaper ultimate® Maillefer</i>	31
Figura 7. <i>Sección transversal cuadrada</i>	31
Figura 8. <i>Sección transversal paralelogramo</i>	31
Figura 9. <i>Ángulos de corte, ataque e incidencia</i>	37
Figura 10. <i>Secuencia de preparación Protaper ultimate</i>	38
Figura 11. <i>Secuencia de preparación Rotate® VDW</i>	38
Figura 12. <i>Rugosidad limas Rotate® VDW y Protaper Ultimate</i>	42
Figura 13. <i>Superficie de las limas Rotate® y ProTaper Ultimate® antes y después</i>	44

Resumen

El objetivo del presente estudio fue identificar la conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia, antes y después de seis usos de las limas ProTaper Ultimate® de Maillefer y Rotate® VDW, mediante análisis microgeométrico de la superficie. **Materiales y Métodos:** Se realizó un estudio cuasi experimental in vitro que analizó 3 limas ProTaper Ultimate® (Slider, Shaper y F1) y 3 limas Rotate® (15/.04, 20/.05 y 25/.06). Después del lavado de los instrumentos nuevos, se realizó el primer análisis microgeométrico. Se instrumentaron seis cubos de resina con doble curvatura para realizar el segundo análisis. **Resultados:** Se encontró un aumento en la conicidad de la lima Rotate® 15/.04 y 20/.05 y la lima Shaper PTU®. La rugosidad aumentó con la lima Rotate® 25/.06 y Shaper PTU®. Los ángulos de corte y ataque de Rotate® presentaron un aumento en D2 y D4 en las limas 20/.05 y 25/.06 y una disminución en los ángulos de incidencia en las limas PTU®. Los ángulos de corte no arrojaron valores concluyentes. **Conclusiones:** Las limas Rotate® de VDW y ProTaper Ultimate® de Maillefer mostraron cambios en conicidad, rugosidad y ángulos tras seis usos en bloques de resina con doble curvatura. En las Rotate®, la conicidad aumentó en la lima 20/.05 y disminuyó en la 25/.06, evidenciando distintos patrones de desgaste. La disminución de rugosidad en D2 y D4 sugiere desgaste controlado, mientras que el aumento en los ángulos de corte mejoró la capacidad de corte, reduciendo la resistencia. Las ProTaper Ultimate® presentaron aumento de conicidad en las limas Shaper y F1, y disminución en Slider. El incremento de rugosidad en la lima Shaper implica mayor fricción y riesgo de fractura. Los ángulos de corte y ataque se mantuvieron estables, indicando un desempeño consistente.

Palabras clave: Rotate® ProTaper Ultimate® Rugosidad, Ángulos,

Conicidad, Reuso

Abstract

Objective: The aim of this study was to identify the taper, roughness, and cutting, rake, and incidence angles, before and after six uses, of the ProTaper Ultimate® Maillefer and Rotate® VDW files, through microgeometric surface analysis. **Materials and Methods:** A quasi-experimental in vitro study was conducted, analyzing 3 ProTaper Ultimate® files (Slider, Shaper, and F1) and 3 Rotate® files (15/.04, 20/.05, and 25/.06). After cleaning the new instruments, the first microgeometric analysis was performed. Six double-curvature resin blocks were used for the second analysis. **Results:** An increase in taper was observed in the Rotate® 15/.04 and 20/.05 files, as well as in the PTU® Shaper file. Roughness increased in the Rotate® 25/.06 and PTU® Shaper files. The cutting and rake angles of the Rotate® files showed an increase at D2 and D4 in the 20/.05 and 25/.06 files, while the incidence angles decreased in the PTU® files. Cutting angles did not yield conclusive values. **Conclusions:** The Rotate® files by VDW and ProTaper Ultimate® files by Maillefer exhibited changes in taper, roughness, and angles after six uses in double-curved resin blocks. For Rotate® files, taper increased in file 20/.05 and decreased in 25/.06, indicating distinct wear patterns. The reduction in surface roughness at D2 and D4 suggests controlled wear, while the increase in cutting angles enhanced cutting efficiency but reduced instrument strength. ProTaper Ultimate® files showed taper increases in Shaper and F1 files, with a slight decrease in Slider. The increase in roughness in the Shaper file suggests higher friction and fracture risk. Cutting and rake angles remained stable, indicating consistent performance.

Keywords: Rotate®, ProTaper Ultimate®, Roughness, Angles, Taper, Reuse.

Glosario

Ángulo de ataque: ángulo que forma el borde de corte de la lima con respecto al material que está siendo eliminado. Un ángulo adecuado maximiza la eficiencia de corte sin fracturar la lima.

Ángulo de incidencia: ángulo con el que la lima entra en contacto con la superficie del canal. Es importante para controlar la presión aplicada y minimizar el riesgo de fractura.

Ángulo helicoidal: inclinación de las espiras en la lima rotatoria, que influye en la capacidad de corte y en la eliminación de restos de tejido. Un ángulo helicoidal bien diseñado permite una acción de corte eficiente y reduce el riesgo de bloqueo en el canal.

Ángulos de corte: ángulos en los bordes de la lima que determinan la eficacia de corte. Un ángulo de corte agudo permite mayor agresividad, mientras que ángulos menos pronunciados ofrecen una acción de corte más suave.

Ápice: punto terminal del conducto radicular. Es esencial trabajar cerca del ápice sin excederse para evitar perforaciones y asegurar un sellado adecuado del canal.

Conicidad: grado de aumento en el diámetro de la lima desde la punta hacia el mango, expresado en porcentajes (ej., 0.04 o 4%). Indica cuánto ensanchará el canal.

Corte activo: propiedad de las limas para retirar tejido de tejido. Algunas limas tienen un corte más agresivo, mientras que otras son más conservadoras.

Cubos de acrílico de doble curvatura: dispositivo usado para probar la flexibilidad y capacidad de las limas rotatorias para adaptarse a la curvatura de los canales. La doble curvatura simula condiciones de canales complejos.

Curvatura de canales: grado de curvatura del canal radicular, que puede afectar la elección de la lima y el sistema rotatorio para evitar fracturas.

Desgaste: pérdida gradual de material en la superficie de la lima debido al uso repetido en canales radiculares, afectando la efectividad de corte y aumentando el riesgo de fractura.

Desgaste destinario: remoción de tejido destinario durante la instrumentación del canal radicular. Un adecuado desgaste destinario asegura una limpieza efectiva del canal y facilita la posterior obturación.

Diámetro: tamaño de la punta de la lima, generalmente medido en centésimas de milímetro. Determina el tamaño del canal y el tipo de lima que se debe usar según la longitud y la anchura deseada del canal.

Elasticidad: capacidad de la lima de regresar a su forma original después de ser doblada o deformada. La elasticidad es esencial para evitar fracturas en canales curvos.

Endo motor: dispositivo que controla el movimiento de la lima rotatoria, con funciones de control de torque, velocidad ajustable, y modos de rotación continua o reciprocante.

Endodoncia rotatoria: técnica que emplea motores rotatorios para trabajar con limas en lugar del método manual, mejorando la eficiencia y reduciendo la fatiga del operador.

Fase controlada (cm – controles menor): tipo especial de NiTi modificado térmicamente para reducir la memoria de forma, lo que aumenta la flexibilidad y reduce el riesgo de fractura.

Fase de calor: proceso de tratamiento térmico que aumenta la flexibilidad y resistencia de las limas NiTi, permitiendo que se adapten mejor a canales curvos sin perder su forma.

Fases de las limas (austenita y martensita):

Austenita: fase de alta temperatura, rígida y elástica, adecuada para un corte eficiente.

Martensita: fase de baja temperatura, más flexible, que permite que la lima se adapte a canales curvos sin fracturarse.

Fatiga cíclica: desgaste y fractura de la lima debido a los ciclos repetidos de deformación en canales curvos, manejado con diseños y tratamientos térmicos.

Fatiga de flexión: fractura causada por la tensión repetida al doblarse y desdoblarse en canales curvos, reducida con materiales flexibles y tratamientos térmicos.

Frecuencia de oscilación: en limas con movimiento recíprocante, es la cantidad de movimientos hacia adelante y atrás por segundo, afectando la eficacia y durabilidad.

Fuerza apical excesiva: presión no deseada hacia el ápice, que puede causar perforaciones o fracturas de la lima. El control de torque ayuda a reducir esta fuerza.

Infinite focus: tecnología de microscopía que permite una visualización en tres dimensiones de la superficie de las limas, usada para evaluar con precisión la rugosidad y desgaste en las limas endodónticas.

Instrumentación secuencial: técnica de preparación del canal que utiliza varias limas en secuencia de tamaños y conicidades para una limpieza y conformación progresiva.

Iso (organización internacional de normalización): estándar internacional que regula tamaños y colores de las limas para su identificación.

Lima rotatoria: tipo de lima endodóntica que se usa en un motor rotatorio para facilitar la limpieza y conformación del canal.

Longitud de la lima: longitud total de la lima desde la punta hasta el mango, generalmente en 21 mm, 25 mm y 31 mm.

Martensita: fase cristalina del NiTi que se encuentra en estado duro y rígido, inducida con tratamientos térmicos para aumentar la resistencia a fracturas.

Mecanizado de conducto: proceso de limpieza y conformación del conducto radicular usando limas para eliminar tejido pulpar y prepararlo para la obturación.

Memoria de forma: propiedad del NiTi que permite a la lima recuperar su forma original tras deformarse, clave para adaptarse a la anatomía del canal.

Memoria superelástica: propiedad en materiales como el NiTi que permite que la lima recupere su forma original después de deformarse sin daño permanente.

Micro geométrico: técnica de análisis que evalúa las características geométricas y la precisión de la superficie de las limas a nivel microscópico.

Movimiento continuo: tipo de movimiento en el que la lima rota de manera continúa en una sola dirección. Este movimiento es más agresivo en el corte, pero aumenta el riesgo de fractura si no se controla adecuadamente el torque.

Movimiento reciprocante: tipo de movimiento en el que la lima gira en ambas direcciones (horario y antihorario) en lugar de hacer rotaciones completas, reduciendo el riesgo de fractura.

Níquel-titanio (NiTi): material flexible y resistente a la fatiga utilizado en limas rotatorias para adaptarse a canales curvos sin fracturarse.

Rebaba metálica: fragmentos metálicos generados durante el desgaste de la lima en el proceso de corte. Las rebabas pueden interferir en el proceso de limpieza y deben eliminarse para evitar contaminación en el canal.

Reuso: uso de una lima endodóntica en varios pacientes o procedimientos. Sin embargo, el reuso debe ser evaluado cuidadosamente, ya que el desgaste afecta la eficacia y aumenta el riesgo de fractura.

Rugosidad superficial (sa, sq, sz):

Sa (promedio de rugosidad): valor promedio de las alturas de la superficie de la lima.

Sq (rugosidad cuadrática media): valor cuadrático medio de las alturas de la superficie, que da una idea de la textura general de la lima.

Sz (altura máxima de rugosidad): diferencia entre la altura máxima y mínima de la superficie de la lima, que indica la irregularidad.

Sistema de obturación: materiales y técnicas para rellenar y sellar el canal radicular tras la limpieza y conformación, evitando reinfecciones.

Sistema protaper: marca de limas rotatorias con diseño cónico progresivo para una conformación eficiente y segura del canal.

Sistema waveone: sistema de limas rotatorias que utiliza un movimiento recíprocante, diseñado para minimizar el riesgo de fractura en canales curvos.

Tamaño (o número de lima): diámetro de la punta de la lima en centésimas de milímetro; por ejemplo, una lima de tamaño 25 tiene un diámetro de 0.25 mm en la punta.

Torque controlado: característica de los motores de endodoncia que ajusta la potencia según la resistencia que encuentra la lima, previniendo fracturas.

1. Introducción

La endodoncia ha avanzado con la introducción de sistemas de limas rotatorias de níquel-titanio (NiTi), los cuales han transformado la preparación del conducto radicular al proporcionar mayor eficiencia y seguridad en los procedimientos. Estos instrumentos han demostrado ventajas significativas en términos de flexibilidad, resistencia a la fatiga cíclica y capacidad de corte, aspectos cruciales para el éxito del tratamiento endodóntico (Martins et ál., 2023).

En la práctica endodóntica, la preparación adecuada del conducto radicular es uno de los objetivos principales, donde la conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia de las limas juegan un papel fundamental. La conicidad influye directamente en la forma final del conducto. (Paraskevopoulou et ál., 2016). Por otro lado, la rugosidad de la superficie de las limas puede incrementar la fricción y el riesgo de fracturas durante el procedimiento (Zafar m. S. 2021).

El ángulo de corte determina la eficiencia con la que las limas pueden cortar la dentina. Los ángulos de corte positivos facilitan el proceso de corte, mientras que los negativos pueden incrementar el esfuerzo requerido (Niño-Barrera et al., 2020). Asimismo, los ángulos de ataque e incidencia determinan la eliminación eficiente de virutas de dentina y el rendimiento general de las limas (Chow et ál., 2005).

El uso de técnicas avanzadas de medición sin contacto proporciona una evaluación precisa y detallada de las superficies de las limas, permitiendo identificar cambios y variaciones que pueden influir en su rendimiento y durabilidad (Araque Salazar et al., 2018). La implementación de equipos como el Infinite focus g6 facilita la obtención de datos de alta precisión, esenciales para el análisis comparativo (Facultad de Ingeniería, UNAL, 2019)

El propósito del estudio fue identificar la conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia antes y después de seis usos en bloques de resina, de las limas PROTAPER ULTIMATE® de MAILLEFER y ROTATE® de VDW mediante análisis microgeométrico de las superficies.

1.1 Planteamiento del problema

Durante el proceso de fabricación de los sistemas rotatorios de NiTi se determina el tipo de sección transversal, conicidad y puntos de corte del instrumento según la casa comercial; sin embargo, debido al proceso de mecanizado se presentan defectos que afectan el rendimiento, la durabilidad y la apariencia del instrumento. (Jovanović - medojević et ál. 2023) informaron que el electropulido se usa para reducir los defectos superficiales, como microgrietas, fisuras y desgaste del instrumento, causando irregularidades en el borde de corte (Thompson, 2000) otros autores informan que debido al electropulido de los instrumentos NiTi, estos tienen una excelente suavidad superficial y son resistentes a la fatiga cíclica, pero durante la instrumentación se presentan tensiones que aumentan la rugosidad superficial, la fuerza de fricción y la probabilidad de daño del instrumento. Si la rugosidad se ve aumentada, se afecta la eficiencia de corte del instrumento, aumentando a su vez la fricción entre el instrumento y el diente (Zafar, 2021). El desconocimiento de características específicas como la rugosidad superficial, conicidad, los ángulos de ataque, corte e incidencia de los sistemas de limas Rotate® VDW y ProTaper Ultimate®, puede provocar un manejo inadecuado de los instrumentos, generando un envejecimiento o pérdida de sus características durante la preparación. Adicionalmente, el ángulo de corte de los instrumentos se ha reportado como un parámetro importante en la eficiencia de corte de dentina durante el procedimiento de preparación biomecánica, especialmente en instrumentos con ángulos de corte positivo, estos cortan más dentina, y de corte negativo cortan menos, pero el instrumento sufre más (Niño, 2015). De esta forma, el desconocimiento de las características superficiales de los sistemas Rotate® VDW y ProTaper Ultimate® puede conducir a un uso inadecuado de estos instrumentos.

1.1.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son las características específicas de conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia de las limas ProTaper Ultimate® Maillefer y Rotate® VDW antes y posterior a seis usos en conductos simulados de doble curvatura?

1.2 Justificación

La investigación en el campo de la endodoncia es fundamental en la mejora de los procedimientos endodónticos. En este sentido, uno de los aspectos críticos es la preparación de los conductos radiculares y la calidad de los sistemas de limas rotatorias utilizados. Nuevos sistemas como el ProTaper Ultimate® y el Rotate® VDW® tienen características que promueven una instrumentación conservadora de la anatomía radicular. Sin embargo, la falta de información sobre las características de estos sistemas es una de las desventajas, ya que pueden ser utilizados de manera inadecuada (Çapar & Arslan, 2016).

Por lo tanto, es importante comprender los posibles cambios superficiales que pueden experimentar estas limas rotatorias durante su uso, con el objetivo de mejorar la eficacia de estos sistemas. Por ejemplo, el estudio de (Menecy et al, 2018). Ha señalado la presencia de defectos superficiales en las limas de ni-ti, lo cual conlleva al riesgo de fractura durante la instrumentación. La falta de estándares y la amplia variedad de instrumentos disponibles pueden resultar en una elección inapropiada, incrementando así el riesgo de complicaciones durante los procedimientos endodónticos (Thompson, 2000).

Este estudio se enfoca en observar los cambios superficiales en las limas ProTaper Ultimate® y Rotate® VDW a través de un análisis mediante el uso de micro-geometría de superficie. Esta técnica ha demostrado ser una herramienta de alta precisión para examinar

minuciosamente las características superficiales de estas limas, y poder determinar la rugosidad de la misma.

Según el estudio realizado por Al-Sudan et ál. (2012) El uso de cubos de resina de doble curvatura o en forma de s permite estandarizar el diámetro, la longitud, la curvatura del conducto radicular en términos de ángulo y radio, logrando una anatomía radicular de mayor complejidad, pero que a la vez permite la visualización durante el procedimiento; conduciendo a mayor estrés y tiempo de trabajo para el instrumento. Esta estandarización es aplicable a los dos sistemas que serán utilizados en esta investigación.

La importancia de esta investigación radica en su capacidad para abordar un vacío crítico del conocimiento en cuanto a las características específicas de los instrumentos en estudio, lo cual permite una aplicación adecuada. Al responder a la pregunta de investigación sobre los cambios superficiales de las limas ProTaper Ultimate® de Maillefer® y las limas Rotate® de VDW, este estudio proporcionará valiosas herramientas y criterios para especialistas en endodoncia, ayudándoles a tomar decisiones más acertadas sobre la selección de instrumentos (Miryed et ál., 2023).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Identificar la conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia, antes y después de seis usos, de las limas PROTAPER ULTIMATE® MAILLEFER y ROTATE® VDW mediante análisis micro geométrico de la superficie.

1.3.2 Objetivos específicos

- Indicar la conicidad antes y después de seis usos, de las limas Protaper Ultimate® Maillefer y las limas Rótate® VDW, mediante análisis microgeo-métrico de la superficie.
- Identificar la rugosidad antes y después de seis usos, de las limas Rótate® VDW y Protaper ultime® Maillefer), mediante análisis microgeométrico de la superficie.
- Determinar los ángulos de corte, ataque e incidencia, antes y después de seis usos, de las limas Protaper Ultimate® Maillefer y las limas Rótate® VDW, mediante análisis microgeo-métrico de la superficie.
- Comparar los cambios en la conicidad, rugosidad y ángulos de las limas Protaper Ultimate® Maillefer y Rótate® VDW antes y después de seis usos.

2. Marco referencial

Según el estudio de (Zafar 2020), la rugosidad de la superficie (SR) de instrumentos endodónticos rotatorios de níquel titanio NiTi ProTaper Next [PTN], Wave One Gold [WOG] y ProTaper Gold [PTG]) antes y después de su uso fue evaluada mediante perfilometría óptica. El estudio reveló valores más altos de rugosidad, específicamente en la hoja de corte. Además, se observó un aumento de la rugosidad superficial en todas las limas de NiTi evaluadas después de la instrumentación endodóntica de cuatro conductos radiculares. A pesar de ello, no se observaron signos de fractura ni formación de defectos visibles, concluyendo que su uso es seguro.

La superficie topográfica de las limas HyFlex CM y HyFlex EDM después del tratamiento mostró que HyFlex CM presenta deformaciones superficiales menores que HyFlex EDM. Se observó la presencia de grietas y micro cavidades después de la preparación. Este estudio fue realizado mediante microscopia óptica, demostrando que la rugosidad aumenta la probabilidad de fractura y a su vez, reduce la eficiencia de corte. Se concluyó que las limas HyFlex EDM tenían superficies más rugosas en comparación con las HyFlex CM en su estado original, y ambas experimentaron un aumento de la rugosidad inicial de la superficie después del uso en canales radiculares severamente curvos. Sin embargo, el aumento de rugosidad fue más significativo en las limas HyFlex CM en comparación con las HyFlex EDM (Uslu et ál., 2018).

Así mismo, se observaron cambios superficiales en los sistemas Wave One y Wave One Gold in vitro. La lima Primary Wave One 25/.08 fabricada con aleación M-wire Ni-Ti y la lima Primary Wave One Gold 25/.07 con aleación Gold mostraron defectos superficiales en ambos grupos de estudio, con valores más altos en el grupo WOG antes de su uso. Los defectos superficiales aumentaron significativamente en los grupos WO y WOG después del

uso. El grupo WOG mostró defectos significativamente mayores, incluyendo tiras de metal, picaduras, cráteres, microfisuras y bordes romos. Se concluyó que esta lima tiene una metalurgia diferente debido a su acabado dorado, el cual no mejora su resistencia a los defectos superficiales durante el uso clínico (Menecy et ál., 2018).

Por lo tanto, un estudio de revisión bibliográfica encontró que las limas Reciproc Blue (REB) (RPC Blue; VDW, Múnich, Alemania) y Wave One Gold (WOG) (Maillefer Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, EE. UU) analizaron la superficie externa de los instrumentos, informando la presencia de microgrietas longitudinales a lo largo del eje de la lima, con distorsión en los surcos mecanizados de ambas limas, al ser sometidas a cargas torsionales (Arboleda y Huertas, 2020).

2.1 Marco conceptual

Las aleaciones de NITI, desarrolladas por W.E. Bucher, un ingeniero metalúrgico del Naval Ordnance Laboratory, recibieron su nombre debido a la combinación de elementos que las conforman: níquel (56%) y titanio (44%), junto con "Nol" en referencia al Naval Ordnance Laboratory, cuya relación atómica es de uno a uno. El término genérico para estas aleaciones es NiTiNol 55. En estas aleaciones pueden existir en dos estructuras cristalinas dependiendo de la temperatura: la austenita (fase madre o de alta temperatura, con una estructura cristalina cúbica B2) y la fase martensita (fase de baja temperatura, con una estructura cristalina monoclinica). Según Haapasalo y Shen (2013), tales aleaciones presentan características notables, como la superelasticidad (SE) y el efecto de memoria de forma (SME), los cuales ejercen una influencia en sus propiedades mecánicas y pueden ser fácilmente modificados mediante pequeños cambios en la composición (Yoneyama y Kobayashi, 2009).

2.2 Fase austenítica NiTi

La fase austenítica de la aleación de níquel-titanio, también conocida como la fase madre, es un estado que se encuentra a altas temperaturas, generalmente alrededor de 100°C. Esta fase se caracteriza por tener una estructura cristalina cúbica B2 centrada en el cuerpo y presenta propiedades elásticas (Zupanc, 2018).

2.2.2 Fase R (*Pre-Martensítica*)

Esta fase se produce a lo largo de un rango de temperatura en la curva de calentamiento o enfriamiento entre las formas martensítica y austenítica. Este proceso sucede durante la fase básica de austenita, la cual se transforma en la fase R mediante calentamiento y enfriamiento. El calentamiento y enfriamiento en serie convertirían la fase R retorcida nuevamente en la fase cristalina de austenita. Los instrumentos en fase R presentan una mayor resistencia a la fatiga cíclica, así como una mayor flexibilidad que las limas NiTi convencionales (Tabassum y Zafar, 2019).

2.2.3 Fase martensítica

La fase martensítica es un estado de la aleación que se encuentra entre los -50°C, caracterizado por la formación de una red hexagonal de empaquetamiento denso que la hace más dúctil y con efecto de memoria de forma. Esta fase se logra enfriando y deformando la aleación por debajo de la temperatura de martensítica inicial, y luego calentando por encima de la temperatura austenita final para lograr la recuperación de la forma, lo que se conoce como el efecto memoria de forma inducido por el calentamiento (Zupanc, 2018).

2.3 Tipos de aleaciones

2.3.1 *Martensítica NiTi*

Es una aleación con tratamiento térmico, donde la temperatura de austenítica final está por encima de la temperatura corporal, es más blanda, dúctil, con control de memoria de forma y mayor resistencia a la fatiga cíclica (Haapasalo y Shen, 2013).

2.3.2 *AusteNiTica NiTi*

Es una aleación con tratamiento térmico, donde la temperatura de austenítica final está por debajo de la temperatura corporal; por lo cual también es llamada fase de baja temperatura, es más rígida, de fácil deformación y presenta efecto de superelasticidad al enfriarse (Haapasalo y Shen, 2013).

2.3.3 *Aleación M*

Esta aleación, denominada aleación M, se compone de 55.8% de níquel, 44.2% de titanio y un 1% de oligoelementos. Su temperatura de transición está en el rango de 43° a 50°, y posee mayor flexibilidad (Zafar et ál., 2022). Este proceso se lleva a cabo mediante procesamiento termomecánico, el cual incluye tres fases cristalinas: martensita deformada y micromaclada, fase R y austenita. La presencia de la fase martensita mejora la resistencia a la fatiga cíclica, pero a expensas de la dureza, lo que genera la necesidad de diferentes tratamientos superficiales para lograr una mayor resistencia a la fatiga (Tabassum y Zafar, 2019).

2.3.4 *Aleación CM*

Es la primera aleación NITI tratada termo mecánicamente, no tiene propiedades superelásticas, a temperatura ambiente y corporal, los instrumentos pueden deformarse debido a la reorientación de las variantes de martensita, tienen control de memoria de forma. El análisis de calorimetría reveló que la temperatura de austenita final (Af), está por encima de la temperatura corporal (47° a 55°C), lo cual la define como una aleación NiTi martensítica, con pequeñas cantidades austeníticas y de fase R a temperatura ambiente; estos instrumentos tienen mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica que los instrumentos de M-WIRE y NITI convencional (Zupanc 2018).

2.3.5 Tratamiento térmico Gold y Blue

La aplicación de altas temperaturas, otorga a la superficie un determinado grosor de la capa de óxido de titanio, la cual establece el color y se define de acuerdo al rango de temperatura aplicado (450°C y 750°C), mostrando que a medida que la temperatura aumenta, el color tiende a oscurecerse; de esta manera, los instrumentos sin tratamiento térmico presentan un color blanco plateado, pero con temperaturas superiores a 450°C, el color cambia a un tono naranja dorado, así mismo el color azul se logra a una temperatura de 500°C, con un espesor que varía entre 60 a 80 nm, la aleación Gold, presenta espesor entre 100 a 140 nm; como resultado estos instrumentos adquieren memoria controlada, aumentando su capacidad de deformación por maclado y generando alta resistencia a la fatiga cíclica y mayor flexibilidad (Matumay y Cabrera, 2020).

2.3.5.1 Rugosidad superficial. El electropulido es un método utilizado por los fabricantes para dar acabado a las superficies y eliminar defectos residuales después de la fabricación de instrumentos de NiTi (Lopes et ál., 2016). A pesar de la suavidad superficial

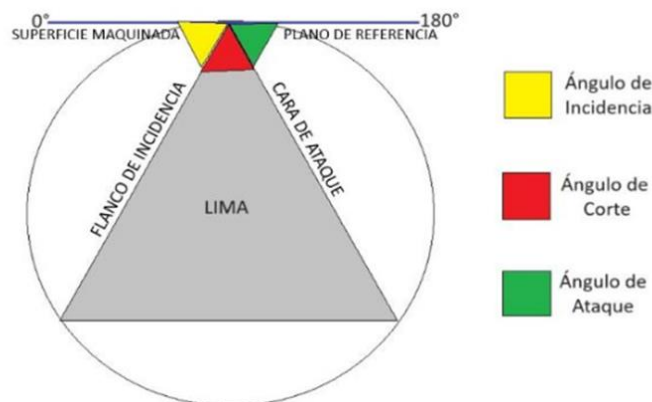
y resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios de NiTi, las tensiones generadas por la instrumentación mecánica aumentan la rugosidad superficial (SR), la fuerza de fricción y la probabilidad de fallo del instrumento (Zafar, 2021). Existen diversos métodos para evaluar la rugosidad superficial, los cuales pueden clasificarse en dos categorías principales: métodos de contacto, como el rugosímetro por contacto y el perfilómetro; y métodos sin contacto, como la interferometría óptica y la espectroscopia de correlación de luz. En este sentido La espectroscopia de correlación es similar a la interferometría óptica, pero utiliza la correlación de la luz dispersada para medir la rugosidad por lo tanto es un método rápido y sin contacto, aunque puede ser menos preciso en superficies reflectantes (Jolic et ál., 1994). Los parámetros más comunes para medir la rugosidad incluyen el valor promedio de rugosidad de la superficie (S_a), la rugosidad cuadrática media (S_q) y la altura de pico a valle (S_z).

2.3.5.2 Ángulo de corte. El ángulo de corte es aquel formado por la cara de ataque de la hoja de corte con el flanco de la herramienta. Si este ángulo es negativo, la herramienta tendrá una menor capacidad de corte. En contraste, los instrumentos con ángulos de corte positivos son más eficientes para cortar dentina, ya que se requiere un menor esfuerzo en comparación con aquellos de ángulo de corte negativo. Por tanto, se ha informado que el ángulo de corte de los instrumentos es un parámetro importante en la eficiencia del corte de dentina durante el procedimiento de preparación biomecánica (Nino et ál., 2020).

2.3.5.3 Ángulo de incidencia y ataque. El ángulo de incidencia está formado por la superficie mecanizada de la pieza de trabajo y la cara del flanco de la herramienta de corte (Nino et ál., 2020). La importancia de este ángulo radica en que, mientras más positivo sea, mayor será la capacidad de eliminar virutas de dentina, lo que resulta en un aumento de la eficiencia de corte (Chow et ál., 2005).

Por otro lado, el ángulo de ataque está definido por el plano de referencia y la cara de ataque de la hoja de corte, y su influencia en el corte de la dentina puede variar según sea negativo o positivo, dependiendo del ángulo de corte (Chow et ál., 2005b).

Figura 1. *Ángulos de corte, ataque e incidencia.*



Tomado de: Rondón Y Sánchez H (2023).

2.3.5.4 Microgeometría de superficie. La técnica de alta precisión para medir superficies que utiliza la luz para obtener perfiles tridimensionales es conocida por su capacidad para alcanzar mediciones a escala nanométrica. Esta técnica, no destructiva, no causa daños a la muestra durante la medición y puede aplicarse a diversos materiales como metales, polímeros y biomateriales. A diferencia de los métodos tradicionales de contacto, como los perfilómetros mecánicos, esta técnica no requiere un contacto físico con la muestra, lo que la hace ideal para medir superficies sin riesgo de dañarlas. Este enfoque se basa en dos principios fundamentales: la interferometría y la espectroscopía de correlación de luz. En el caso de la interferometría, se aprovecha la interferencia de la luz para medir las variaciones de altura en la superficie, utilizando la diferencia en la fase entre un haz de luz de referencia y otro reflejado en la muestra. Por otro lado, la espectroscopía de correlación de luz se basa en la correlación de la luz dispersada para reconstruir el perfil de la superficie, analizando la dispersión de la luz en diferentes direcciones según la rugosidad de la superficie (Afonso y Tiemblo, 2020).

2.3.5.5 Equipo de medición infinite focus g6. Es un equipo especializado en mediciones de alta precisión que proporciona valores en el rango de micrómetros, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren una alta resolución. Además, permite un análisis superficial rápido, convirtiéndolo en una herramienta adecuada para el control de calidad. Se destaca en la medición de componentes independientemente de su tamaño, material,

geometría, peso y acabado superficial. Utiliza métodos de medición sin contacto, lo que elimina la necesidad de contacto físico con la muestra y evita daños en las superficies. Este equipo cuenta con cinco ejes que permiten la medición detallada de geometrías complejas y características de difícil acceso. También es capaz de medir superficies lisas, reflectantes y altamente pulidas con un mínimo nivel de ruido. Además, está equipado con el software MetMaX, que ofrece una interfaz fácil de usar para el análisis y la presentación eficiente de datos (Infinite Focus G6 - Alicona – Metalinspec).

Figura 2: *Infinite Focus G6 Fuente: Infinite Focus G6, Alicona Metalinspec.*



Tomado de: <https://www.metalinspec.com.mx/equipos/infinitefocusg6>

2.3.5.6 Bloques de resina acrílica. Los bloques de resina acrílica transparente simulan los conductos de un diente real, permitiendo abordar las variaciones y la ventaja de estandarizar factores como la dureza y la anatomía radicular. Los bloques marca Dentsply® Maillefer, Ballaigues, Suiza, condoble curvatura, con diámetro de 0,15 mm ,presenta una distancia de 4 mm desde apical hasta la primera curvatura, la cual presenta 33 grados y de 2 mm desde apical hasta la segunda curvatura la cual presenta 30grados; así mismo los bloques tienen una altura de 17mm, con un ancho de 10mm, una profundidad de 10mm y el conducto una longitud de 16mm, presentando la propiedad de permitir la visualización del proceso de instrumentación, aplicable en la investigación y la enseñanza (Weine et ál., 1975). En cuanto a investigación los dos modelos experimentales más utilizados son conductos radiculares

simulados en bloques de resina transparente, así como los conductos radiculares en dientes humanos extraídos. De esta forma los bloques de resina acrílica proporcionan estandarización del diámetro, la longitud y la curvatura del conducto radicular en términos de ángulo y radio; pero no reflejan los resultados de la instrumentación en dientes reales, pues la dureza y comportamiento de abrasión de la resina acrílica, comparada con la dentina radicular es diferente.

Figura 3. *Bloque de resina acrílica con doble curvatura.*



2.3.5.7 Conicidad. Se define como la diferencia de diámetro entre el extremo apical y coronal de la lima, dividida por la longitud de trabajo y está representada en porcentaje. La importancia de la conicidad radica en varios aspectos: en primer lugar, influye en la forma final del conducto radicular preparado, lo que afecta la retención del material de obturación y la prevención de filtración bacteriana. Además, una conicidad adecuada facilita el acceso a conductos radiculares curvos o estrechos, lo que es crucial para garantizar un tratamiento endodóntico eficaz y completo. Por otro lado, una conicidad incorrecta puede aumentar el riesgo de complicaciones durante el tratamiento, como perforaciones del conducto radicular o la creación de escalones, lo que puede comprometer el éxito del procedimiento (Jolic et ál., 1994). Existen dos tipos principales de conicidad: progresiva y constante. La primera implica un aumento gradual de la conicidad a lo largo de la lima, mientras que la segunda mantiene una conicidad uniforme en toda su longitud (Jolic et ál., 1994).

2.3.5.8 Rebaba. La rebaba es un exceso de metal que puede surgir por el mecanizado en el proceso durante su fabricación de la lima: Una vez formadas, las rebabas pueden crear

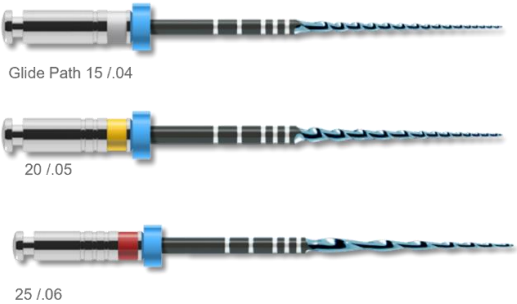
puntos de estrés adicionales en la lima, lo que aumenta el riesgo de fractura durante su uso. La presencia de rebabas también puede interferir con la capacidad de limpieza y desinfección de la lima, lo que aumenta el riesgo de contaminación cruzada y de introducción de bacterias en el conducto radicular.

2.3.5.9 Limas Rotate® VDW. El sistema Rotate® VDW es una nueva alternativa de limas rotatorias, fabricadas por VDWa las cuales se aplica un tratamiento térmico, después del mecanizado, que le otorga una tonalidad azul más clara; incluye los instrumentos 15.04, 20.05, 25.04 para canales estrechos o muy curvos, así como el 25.06 para canales más anchos, por ultimo también presenta instrumentos de mayor calibre, como el 30.04, 30.06, 35.04, 35.06, 40.04, 40.06, 50.04 y 60.04, requiere utilizarse con rotación continua en sentido horario, su sección transversal es forma de S, mejora la eficiencia del corte, con un control más preciso (Galdeano 2021).

Tabla 1. Sistema Rotate VDW

Instrumento	Torque	Velocidad rpm	Aleación
VDW.ROTATE™ 15.04	1.3	350	Blue
VDW.ROTATE™ otros tamaños de conformación hasta ISO 60	2	350	Blue
VDW.ROTATE™ Revisión 25.06	3.5	400	Blue

Figura 4. Limas Rotate VDW.



Tomado de: vdw-dental.com (2024).

Figura 5. *Sección transversal Limas Rotate VDW®*



Tomado de: RODE - Revista de operatoria dental y endodoncia: sistema recprocaste (2024).

2.3.5.10 Limas Protaper Ultimate®. El sistema rotatorio PROTEIPER ULTIMATE® (PT) es la última generación de la familia PT se fabrican utilizando 3 aleaciones diferentes tratadas térmicamente: alambre M, alambre de dorado (SX 020.003v Shaper, F1, F2, F3) y alambre azul (FX y FXL). Este sistema está Conformado por Slider 16/.02v, SX 20/.03v, Shaper 20/.04v, F1 20/.07v, F2 25 /.08v, F3 30/.09v, FX 35/.12v y FXL 50/.10v (Zafar, 2021).

Sx: abridor de orificios, longitud 14 min, conicidad variable del 3% 12 estrías activas.

Slider: conforma el **tercio** coronal y medio, sección transversal cuadrada que gira en un paralelogramo Angulo de 90° a 75°, eje de rotación excéntrico, conicidad variable del 2 % ,19 estrías en su parte activan, alambre M, rotación continua de 400 rpm.

Shaper: sección transversal de paralelogramo variable 85°-80° eje de rotación descentrado, alambre Gold, 18 estrías activas rotación continua 400 – 500 rpm.

Finishers: sección transversal paralelogramo variable, eje de rotación excéntrico, conicidad variable, rotación continua 400.- 500 rpm, F1. F2, 16 estrías F3 12 estrías.

Finishers auxiliares: conformadoras para conductos más amplios FX8 Estrías, FXL5 Estrías (Martins et ál., 2023).

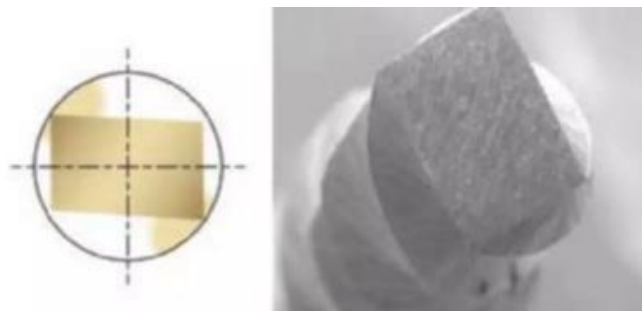
Presentan conicidad variable, con promedio de 0.02 (2%) en la lima slider, conicidad variable de 0.04 (4%) en la lima shaper, de 0.07 (7%) en la Finishers 1 F1), conicidad variable con promedio de), conicidad la **finishers** 2 (F2), conicidad variable de 0.09 (9%) en la finishers (F3), conicidad variable de la lima finishers auxiliar FXL de 0.10 (10%) y por último conicidad variable de la lima auxiliar FX de 0.12 (12%).

Figura 6. Sistema ProTaper ultimate® Dentsply.



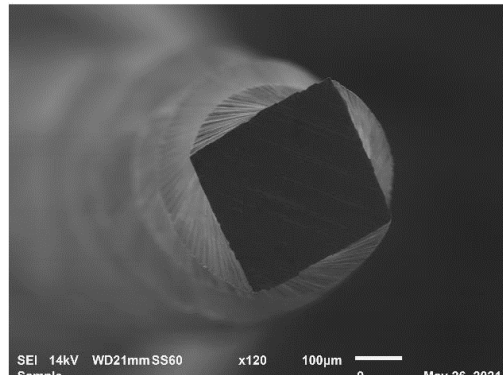
Fuente: Dentsplysirona.Com (2024).

Figura 7. Sección transversal cuadrada



Tomado de: Endo vita. (2022, Agosto 5).

Figura 8. *Seccion transversal paralelogramo.*



Tomado de: Endo vita. (2022, Agosto 5).

3. Método

3.1 Tipo de estudio

Cuasi Experimental in vitro.

3.2 Selección y Descripción de participantes

3.2.1 Población

Limas Protaper Ultimate® de Maillefer y limas Rotate ® de VDW.

3.2.2 Muestra y tipo de muestreo

3 limas de un blíster nuevo sellado y original Protaper Ultimate®, de Maillefer específicamente la Slider, la Shaper y la F1.

3 limas de un blíster nuevo Rotate de VDW® específicamente la 15.04, 20.5. Y la 25.06

Estas se utilizarán en 6 cubos de resina acrílica con doble curvatura para cada grupo para un total de 12 cubos

3.2.3 Criterios de inclusión

Limas nuevas en empaque original dentro de blíster sellado, con los sistemas Protaper Ultimate® y Rótate®.

4. Resultados

4.1 Variables

Tabla 2. Descripción de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN	NATURAL EZA	ESCALA DE MEDICIÓN	VALORES QUE ASUME
Sistema de limas (Instrumento)	Sistemas de limas para la preparación de los conductos Protaper Ultimate® (Maillefer) y Rotate® (VDW)	Cualitativa	Nominal	Protaper Ultimate (Maillefer) y Rotate (VDW)
Conicidad	Es el aumento del diámetro a partir de la punta del instrumento, hasta el diámetro más coronal. Por tanto, la conicidad puede ser constante o variable y puede ir desde el 2% hasta el 12%. Teniendo en cuenta que en este caso la conicidad se mide entre 2 y 4 mm	Cuantitativa	Razón	%
Rugosidad	Es una parte de la topografía superficial que estas formadas por ondas de longitud corta que describen las irregularidades y asperezas de la textura superficial, y tiene influencia en el desgaste durante la fricción, estas irregularidades se definen por picos y valles. Los parámetros de medida son Sa, Sq, Sp y Sz.	Cuantitativa	Continua discreta	Um

VARIABLE	DEFINICIÓN	NATURAL EZA	ESCALA DE MEDICIÓN	VALORES QUE ASUME
Ángulo de corte	Formado por el borde cortante y el flanco de la herramienta, su valor se da en grados.	Cuantitativa	Razón	Grados
Ángulo de ataque	Está conformado por la cara de ataque y el plano de referencia de la herramienta de corte, es decir el plano perpendicular a la dirección del movimiento de corte, Sobre la cara de ataque de la herramienta de corte se van a ir desplazando las virutas producidas. su valor se da en grados	Cuantitativa	Razón	Grados
Ángulo de incidencia	Está conformado por la superficie maquinada de la pieza de trabajo y la cara de flanco de la herramienta de corte. su valor se da en grados	Cuantitativa	Razón	Grados

4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los datos obtenidos se recolectaron en dos tablas de Excel, una para las limas Protaper Ultimate® Maillefer y otra para las limas Rotate® VDW. Cada tabla contendrá en el eje de las X, las variables revisadas mediante análisis microgeométrico, Mientras el eje de las Y contendrá los valores resultantes de dichas variables.

4.3 Procedimiento

Se conformaron 2 grupos de 3 limas cada uno:

Grupo 1: El sistema de limas Protaper Ultimate® Maillefer: 1: Slider, 2: Shaper conformación 3: F1. Preparación

Grupo 2: sistema de limas VDW Rotate®: 1: 15.04, 2: 20.05 y 3: 25.06

Una vez se sacó cada instrumento del blíster original, fueron sumergidos en jabón enzimático durante 15 minutos, para luego ser lavados de manera minuciosa y exhaustiva con magnificación en microscopio operatorio, se finalizó el lavado con ultrasonido por 5 minutos, para eliminar restos metálicos que pudiesen disminuir la visualización durante el análisis microgeométrico con digitalización de la superficie. Posteriormente se procedió a empacar, a rotular y enviar cada instrumento al laboratorio, donde se revisó la conicidad, rugosidad, ángulo de corte, ángulo de ataque y ángulo de incidencia.

4.3.1 Análisis microgeométrico con digitalización de la superficie.

El análisis microgeométrico con digitalización de la superficie se realizó por un operador experimentado en el laboratorio de metrología dimensional de precisión de la Universidad Nacional, quien observó cada instrumento antes de la preparación endodóntica, con equipo marca *Alicona Infinite Focus G6*. Las características de superficie relevantes se miden utilizando un sensor de medición multifuncional.

Cada lima de NiTi fue montada y fijada en la platina de muestra. Utilizando la cámara incorporada, la hoja de corte y el área adyacente, se analizaron 2 zonas, específicamente a 2 y 4 milímetros de la punta, que corresponde a la zona de las curvaturas 1 y 2. Estas zonas fueron escaneadas

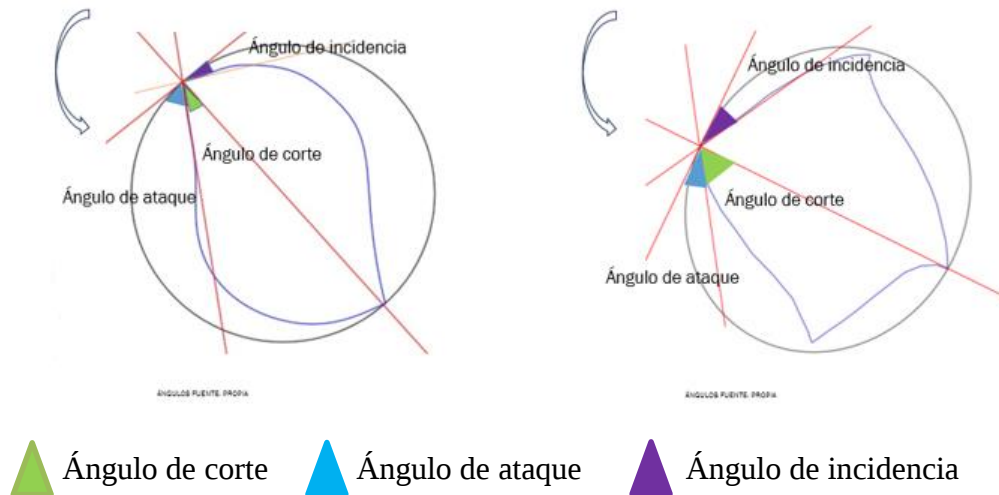
Para hallar el porcentaje de conicidad entre el diámetro dos y el diámetro cuatro de cada instrumento, se utilizó los valores de D2 Y D4, los cuales fueron determinados a partir de la medición de los radios, para posteriormente aplicar la siguiente formula:

$$A = \frac{D4 - D2}{2000} \cdot 100$$

Los valores de rugosidad una vez importados los datos, son visualizados a partir de la exploración de la topografía de la muestra, examinando áreas específicas de interés con detalle, el análisis de rugosidad fue aplicado por el software con énfasis en área, enfocado en los parámetros de rugosidad Sa, Sq, Sp y Sí, los cuales proporcionaron representaciones visuales de la rugosidad, como mapas de colores que muestran variaciones en la altura de la superficie. Estos programas permiten aplicar filtros y correcciones a los datos de medición para eliminar artefactos o mejorar la precisión de los resultados, lo que incluye la eliminación de ruido de medición o la corrección de inclinaciones o deformaciones de la muestra. Finalmente, una vez completado el análisis, el software facilita la generación de informes que resumen los resultados obtenidos, incluyendo estadísticas de rugosidad, gráficos y visualizaciones para interpretar los datos.

Por último, los ángulos de corte se determinaron analizando los diámetros D2 y D4 registrados por el equipo en cada instrumento, midiendo cada punto de contacto y trazando un círculo en toda la lima, donde los puntos que interfieren con el círculo son los puntos de contacto. Luego, se trazó una línea desde el centro de la sección transversal hasta el vértice del filo y se realizó una tangente a la circunferencia. El ángulo de corte se determinó a partir de la intersección entre la línea central de la sección transversal y el flanco de la herramienta de corte. . El ángulo de ataque se formó con la cara del flanco y la tangente, y el ángulo de incidencia entre la cara de flanco y la tangente (figura 9).

Figura 9. Ángulos de corte, ataque e incidencia de las limas # 25/.06 del sistema Rotate® VDW.



Nota. Los ángulos se observaron en rotación antihoraria, ya que el equipo analiza el instrumento como si este estuviera interactuando directamente con el diente.

4.4 Preparación endodóntica

Se realizaron las preparaciones en 12 cubos de resina acrílica de doble curvatura; Un operador experimentado realizó la instrumentación con cada sistema en los bloques de resina utilizando un motor *woodpecker endoradar plus* con un torque y velocidad ajustado a cada lima según la recomendación del fabricante; los instrumentos endodónticos se dividieron en dos grupos, cada grupo conformado por 3 instrumentos.

4.4.1 Secuencia de preparación del grupo 1 sistema Protaper Ultimate®

Se utilizó una lima manual #10 kfile Maillefer a 16 mm, posteriormente las limas Slider, Shaper y F1 a la misma longitud, a una velocidad de 400 rpm, torque 4 N/cm e irrigación con agua, verificando la permeabilidad con lima #10.

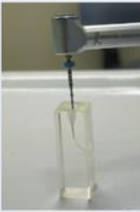
Figura 10. *Secuencia de preparación Protaper ultimate.*

Secuencia de preparación Protaper Ultimate			
Lima 10	Slider	Shaper	F1
			
Manual 010/.02	Torque : 4 Ncm RPM : 400 Rotación continua 016 /.02	Torque : 4 Ncm RPM : 400 Rotación continua 020 /.04	Torque : 4 Ncm RPM : 400 Rotación continua 020 /.07

4.4.2 Secuencia de preparación del grupo 2 sistema Rotate®

Se inició con lima manual #10 a 16 mm, posteriormente se utilizaron los instrumentos Rotate® VDW: 15/.04, con torque 1.3 N/cm, seguido de las limas 20/.05, y 25/.06 con torque de 2.0 N/cm, a una velocidad de 350 rpm e irrigación con agua y permeabilidad con lima #10.

Figura 11. *Secuencia de preparación Rotate® VDW.*

Secuencia de preparación VDW Rotate			
Lima 10	15 /.04	20 /.05	25 /.06
			
Manual	Torque : 1.3 Ncm RPM :350 Rotación continua	Torque : 2.0 Ncm RPM : 350 Rotación continua	Torque : 3.5 Ncm RPM : 400 Rotación continua

Después del sexto uso con cada instrumento, se siguió el mismo protocolo de lavado. Posteriormente, los instrumentos fueron empacados, rotulados y enviados nuevamente al laboratorio de metrología tridimensional, donde se evaluó la conicidad, rugosidad superficial y ángulos de corte, ataque e incidencia mediante digitalización de la superficie, con los mismos parámetros descritos anteriormente en el primer análisis. Los datos obtenidos se almacenaron en una tabla de Excel y fueron analizados mediante un enfoque descriptivo, debido a que las características de los datos no permitieron realizar un análisis estadístico.

4.5 Consideraciones éticas

La resolución 8430 de 1993 en el título II de la investigación en seres humanos, capítulo I que refiere de los aspectos éticos de la investigación, específicamente en su título 11 literal A clasifica la investigación sin riesgo y define que es aquella que emplea 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.

5. Resultados

A partir del análisis realizado por el equipo *Infinite Focus* en D2 y D4 con cada instrumento se encontraron cambios en conicidad, rugosidad, ángulos de corte, ataque e incidencia al comparar el análisis microgeométrico de las superficies, antes y después de la instrumentación con los 6 bloques de resina. **La conicidad** antes y después de 6 usos de los instrumentos 15/.04 y 20/.05 de Rotate® VDW presentaron la mayor variación positiva con 0.04% y la lima 25/.05 presentó la mayor variación negativa con -0.03%. Por otra parte, con ProTaper Ultimate®, la lima Shaper (20/.04v) presentó la mayor variación positiva con 0.12%, y la slider (16/.02) la mayor variación negativa con -0.02%. (Ver tabla 2).

Tabla 3. Conicidad inicial y final (6 usos) en D2 y D4

SISTEMA	Conicidad Inicial %	Conicidad Final %	Diferencia
Rotate®			
15/.04	3,37	3,46	0.09
20/.05	4,79	4,84	0.04
25/.06	5,85	5,82	-0.03
ProTaper Ultimate			
slider 16/.02V	2,77	2,75	-0.02
Shaper 20/.04V	4,66	4,78	0.12
F1 20/.07V	6,06	6,17	0.10

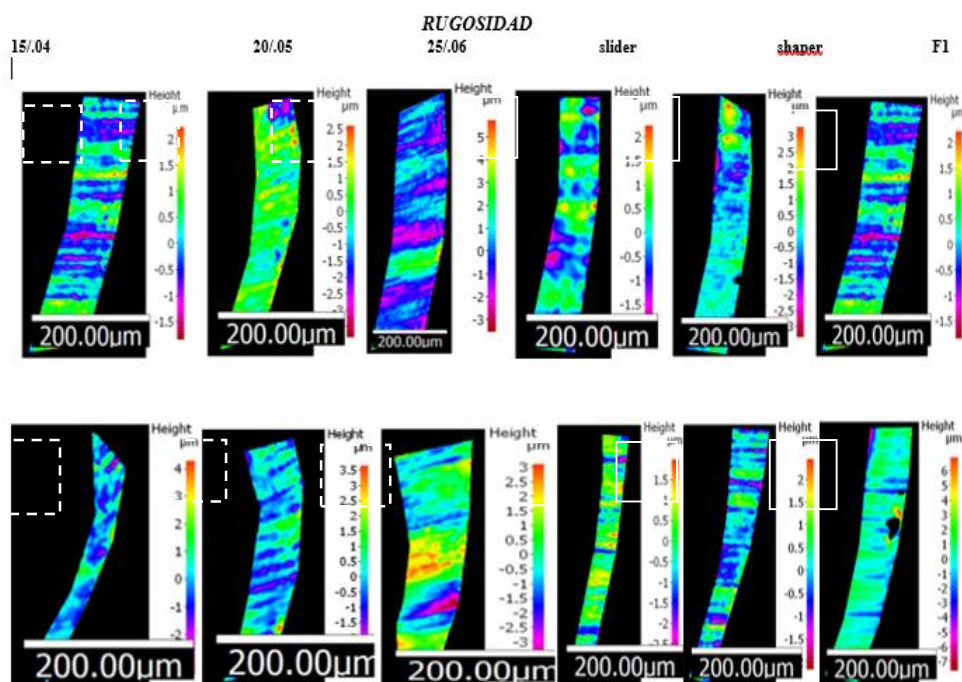
La rugosidad superficial se midió mediante los parámetros Sa, Sq, Sp y Sz. En el sistema Rotate® VDW, la lima 15/.04 mostró una disminución en Sa, Sq, Sp y Sz en ambas mediciones (D2 y D4). Con la lima 20/.05, se observó constancia en los valores de rugosidad. En la lima 25/.06, se registró un incremento notable en Sz tanto en D2 como en D4.

En el sistema PTU, los resultados mostraron que con la lima Slider, la rugosidad Sa y Sq disminuyó en D2 y D4. La lima Shaper presentó un aumento en todos los parámetros en ambas mediciones (D2 y D4). En la lima F1, la rugosidad Sa y Sp disminuyó en D2 y D4, mientras que el parámetro Sz mostró una disminución en D4. Estos resultados indican diferencias en el comportamiento de las limas, entre las diferentes referencias como en las distintas áreas de medición. (Ver tabla 3).

Tabla 4: rugosidad inicial y final (6 usos) en D2 y D4

INSTRUMENTOS			inicial rugosidad (en micrómetros)				final Rugosidad en micrómetros)			
SISTEMA	referencia	Lugar medición	Sa (μm)	Sq (μm)	Sp (μm)	sz (μm)	Sa (μm)	sq (μm)	Sp (μm)	Sz (μm)
Rotate®	15/.04	d2	0,62	0,85	4,49	7,3	0,55	0,69	1,66	4,15
	15/.04	d4	0,57	0,78	4,3	7,78	0,73	0,97	3,78	7,56
	20/.05	d2	0,65	0,82	3,02	5,7	0,41	0,56	3,07	5,21
	20/.05	d4	0,57	0,75	3,66	6,87	0,63	0,84	2,6	6,43
	25/.06	d2	0,55	0,7	3,28	2,09	0,69	0,9	3,09	7,08
	25/.06	d4	0,97	1,22	3,1	7,22	0,91	1,16	5,73	9,26
ProTaper ultimate®	slider	d2	0,56	0,73	3,24	6,55	0,42	0,56	1,75	3,92
	slider	d4	0,57	0,73	1,98	3,13	0,53	0,67	2,24	4,49
	shaper	d2	0,45	0,57	1,87	3,61	0,5	0,63	2,64	4,72
	shaper	d4	0,47	0,6	2,44	4,62	0,52	0,74	3,29	6,63
	F1	d2	0,42	0,53	1,92	3,35	0,41	0,55	3,73	5,44
	F1	d4	0,77	1,12	6,91	14,55	0,49	0,61	2,22	4,07

Figura 12. Rugosidad Limas ROTATE® VDW y PROTAPER ULTIME ® antes y después de 6 usos A: Lima15/.04 Rotate® VDW nueva, B: lima 20/.05 Rotate® VDW nueva, C: lima 25/.06 Rotate® VDW nueva, D: Lima Rotate® VDW 15/.04 después de 6 usos, E: lima Rotate® VDW 20/.05 después de 6 usos, F: lima Rotate® VDW 25/.06 después de 6 usos. G: Lima slider nueva, H: lima Shaper nuevas, I: lima F1 nueva, J: Lima slider después de 6 usos, K: lima Shaper después de 6 usos, L: lima F1 después de 6 usos.



Los ángulos de corte, ataque e incidencia mostraron variaciones con ambos sistemas. Con el sistema Rotate®, los ángulos de corte y ataque presentaron aumento en D2 y D4, y una disminución en los ángulos de incidencia. En cuanto a los ángulos de corte, la lima 20/.05 presentó un aumento, mientras que la 25/.06 una disminución. Por otro lado, en el sistema ProTaper Ultimate® (PTU), la lima Slider mostró un aumento en los ángulos de ataque e incidencia en D2 y D4. No obstante, los ángulos de corte de las limas Slider, Shaper y F1 no arrojaron valores concluyentes. Las limas Rotate® VDW mostraron mediciones en los dos puntos de corte (D2 y D4) para los ángulos de corte, ataque e incidencia en las limas 20/.05

y 25/.06. (Ver Tabla 3). Con el sistema Rotate® VDW, el equipo Infinite tomó dos puntos de referencia para la medición de los ángulos, debido a que la forma de la sección transversal en S Itálica evidenció dos puntos de contacto, donde cada uno de ellos se convirtió en un punto de referencia, en la determinación de cada ángulo en estudio.

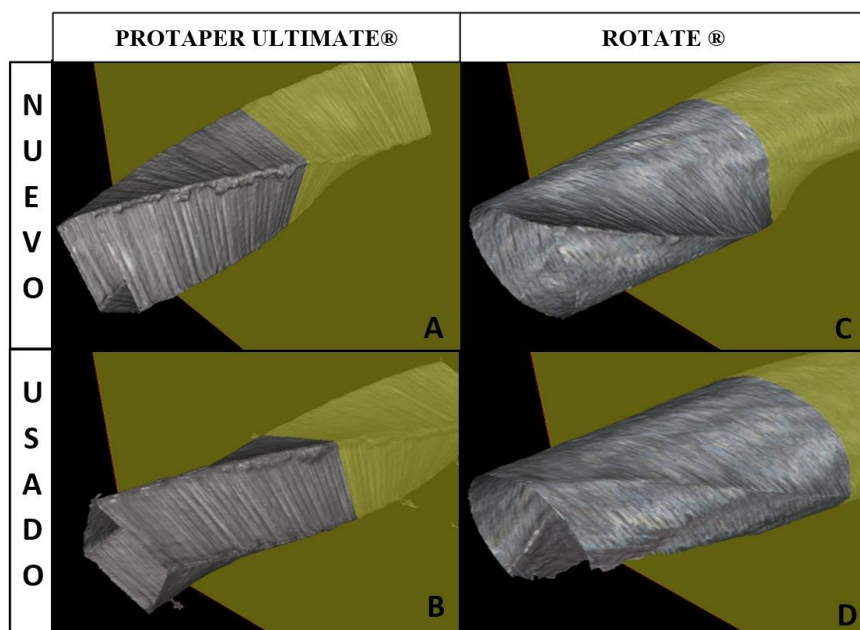
Tabla 5: *Ángulos de corte e incidencia y corte de los sistemas Rotate ® VDW y ProTaper Ultimate®*

SISTEMA	Referencia	Lugar de medición	ANGULOS - PRIMER ANALISIS			ANGULOS - SEGUNDO ANALISIS		
			Corte	Ataque	Incidencia	Corte	Ataque	Incidencia
Rotate®	15/.04	d2	36,85	53,11	18,27	36,58	54,23	19,01
	15/.04	d4	37,97	52,06	22,63	36,11	55,39	20,4
	20/.05	d2	40,88	49,14	19,17	41,9	49,85	14,25
	20/.05	d2	46,85	43,18	7,41	48,99	42,47	7,86
	20/.05	d4	43,17	46,84	16,3	43,7	47,6	12,7
	20/.05	d4	39,84	50,3	7,33	40,9	51,21	5,79
	25/.06	d2	34,73	58,67	15,35	21,45	71,31	24,42
	25/.06	d2	34,96	55,06	25,9	32,03	60,19	16,4
	25/.06	d4	33,01	56,98	22,32	29,94	60,27	20,1
	25/.06	d4	32,98	57,04	20,59	31,24	58,9	16,39
	Slider	d2	46,8	42,37	44,31	43,03	84,69	48,3
ProTaper ultimate®	Slider	d2	45,39	45,14	46,66	47,76	82,08	50,16
	Slider	d4	46,44	43,5	44,53	42	47,22	48,71
	Slider	d4	44,61	45,44	40,7	48,71	48,71	44,86
	Shaper	d2	42,93	47,21	46,89	43,28	46,72	47,1
	shaper	d2	42,9	46,93	44,86	43,07	47,05	44,91
	shaper	d4	42,38	47,58	46,56	44,57	44,78	46,31
	Shaper	d4	43,86	46,17	45,61	42,6	47,53	48,51
	F1	d2	42,79	47,27	44,64	44,6	45,31	45,31
	F1	d2	45,18	44,81	46,03	42,53	47,73	44,7
	F1	d4	43,63	46,39	46,46	43,56	46,11	47,9
	F1	d4	43,64	46,24	46,12	44,53	46,07	46,17

En el análisis de las limas ProTaper Ultimate®, se observó una característica similar a restos de metal en el borde de los instrumentos, algo que no se identificó en las limas Rotate® (ver figura 13).

Figura 13. Superficie de las limas Rotate® y ProTaper Ultimate® antes y después de 6 usos.

A: Lima F1 ProTaper Ultimate® nueva. B: Lima F1 ProTaper Ultimate® después de seis usos, C: Lima 25/.06 Rotate® VDW, nuevos D: 25/.06 Rotate® VDW después de seis usos.



6. Discusión

En este estudio, se evaluaron las variaciones en la conicidad, rugosidad y ángulos de corte, ataque e incidencia de las limas Rotate® y ProTaper Ultimate® después de seis usos, observándose cambios en las variables mencionadas. Los resultados obtenidos muestran alteraciones mínimas. En las limas Rotate® VDW, se observó un aumento en la conicidad de la lima 20/.05, mientras que la lima 25/.06 presentó una disminución. Las limas ProTaper Ultimate® también presentaron variaciones similares, con incrementos en la conicidad de la lima Shaper y F1, así como una ligera disminución en la lima Slider. (Faus-Llácer et ál. 2021) informa que un aumento en la conicidad podría reducir la resistencia a la fatiga cíclica, mientras que una disminución puede indicar la deformación del instrumento tras su uso. (Arıcan y Atav, 2021) también respalda esta observación, señalando que las limas con mayor conicidad tienden a ser menos resistentes a la fatiga cíclica después de varios usos, lo cual coincide con los cambios observados en las limas Rotate® VDW y ProTaper Ultimate®. Por su parte, (Gergi et ál. 2011) encontraron que tanto el sistema TwistedFile® (TF) de SybronEndo como el PathFile y Protaper® Maillefer presentaron variabilidad en la conicidad tras la preparación, observando cambios en el tercio apical debido a la presión ejercida contra las paredes del conducto. Esta deformación se analizó en el estudio de (Bahía 2005), que informa que las limas Profile®, al ser utilizadas en conductos con curvaturas abruptas, presentaron microgrietas en la superficie, a 2 mm (D2) y 5 mm (D5), con una mayor incidencia entre la segunda y la tercera estría. Además, señala que las curvaturas abruptas, especialmente en el tercio apical de un conducto, presentan dificultad, debido a la limitada posibilidad de modificar el radio de la curvatura con la ampliación coronal. En nuestro estudio el punto máximo de curvatura está ubicado en D2 y D4, lo cual se confirma con el estudio anterior,

donde el reuso ocasiona tensión lo cual provocan la mayor deformación del instrumento incluyendo la variación en conicidad y la resistencia a carga cíclica.

En cuanto a la rugosidad superficial, la lima Shaper (PTU) mostró un aumento en todos los valores de rugosidad después del sexto uso. Este aumento en la rugosidad puede afectar significativamente el rendimiento clínico, especialmente en términos de fatiga y posible fractura en canales curvos (Özyürek et ál., 2018) señalan que el uso repetido de las limas bajo condiciones clínicas puede aumentar la porosidad superficial, lo cual predispone a la aparición de grietas que eventualmente podrían llevar a fracturas.

Los resultados de rugosidad superficial para las limas Rotate® VDW (15/.04 y 20/.05) mostraron una disminución en todos los valores en los diámetros D2 y D4 tras el uso, lo que sugiere un desgaste más controlado o una mayor resistencia del material. Esto puede estar relacionado con diferencias en los materiales de fabricación (Almnea et ál., 2024). Documentaron un aumento generalizado en la rugosidad tras el uso clínico. Además, la distribución del desgaste no es uniforme, como se observó en la lima 20/.06 de Rotate® VDW, donde los valores de rugosidad aumentados indican mayor fricción y desgaste del instrumento y esto puede depender de la curvatura del canal, del ángulo de inserción del instrumento y del aumento del diámetro y de la conicidad. (Zafar, 2020).

En lo que respecta a los ángulos de corte, ataque e incidencia, se observaron diferencias entre las limas ProTaper Ultimate® y Rotate®. Las limas PTU mostraron una menor variación en los ángulos de corte, ataque e incidencia, lo que sugiere mayor estabilidad. Esto se debe, en parte, a su sección de corte transversal asimétrica, que reduce la fricción y el esfuerzo sobre el instrumento al tocar las paredes del conducto. (Diemer et ál. 201) indicaron que una sección asimétrica puede reducir las tensiones axiales sin afectar el torque, mejorando así la seguridad del

instrumento. Además, las limas PTU presentan un diseño excéntrico que genera un movimiento serpenteante durante la rotación, reduciendo el contacto con las paredes del conducto y aumentando el espacio para la eliminación de virutas (Ha et ál., 2017). Esta característica permite que las limas mantengan una mayor estabilidad en los ángulos durante su uso repetido, disminuyendo el riesgo de fractura por fatiga cíclica (Niño et ál., 2020). Menciona que un ángulo de ataque positivo puede mejorar la penetración en la dentina, pero un ángulo más amplio incrementa el riesgo de fractura, su ángulo negativo incrementa la fricción durante el corte, afectando la duración del instrumento. En cambio, las limas Rotate® VDW (15/.04 y 20/.05) presentaron un aumento en los ángulos de corte después de seis usos, indicando que, mantienen su capacidad de corte debido a que presentan dos ángulos de corte y una sección transversal en S itálica, que permite una adecuada eliminación de virutas de dentina; sin embargo, esto disminuye la resistencia del instrumento (Niño et ál., 2015). Respecto a los ángulos de incidencia, un valor más bajo en las limas Rotate® 25/.06 sugiere mayor desgaste en los bordes cortantes, aumentando el riesgo de fractura por fatiga cíclica. Adicionalmente, un estudio reciente (Di Russo et ál., 2024), indica que el diseño de la sección transversal es importante, debido a que influye en la rigidez y flexibilidad del instrumento; las secciones triangulares o en S son más flexibles, mientras que las rectangulares son más rígidas.

Además, se observó la presencia de restos de metal en los bordes de las limas ProTaper Ultimate®, Cora et ál. 2020, sugiere que la presencia de restos de metal puede favorecer la acumulación de residuos en los canales radiculares, dificultando la eliminación eficaz del tejido dental y comprometiendo el éxito del tratamiento.

En relación con el uso de conductos simulados de doble curvatura en resina acrílica, Al-Sudan (2012) confirmó que los instrumentos que trabajan en conductos con doble curvatura

presentan una mayor exigencia mecánica, siendo menos resistentes a la fatiga cíclica en la porción apical del conducto en comparación con la coronal. Por tanto, en el presente estudio la primera curvatura se encontró a 4 mm (D4) y la segunda curvatura a 2 mm (D2) con relación al ápice. La curvatura afecta la resistencia de las limas debido a los esfuerzos de torsión y flexión que se generan durante la instrumentación (Scheffer, 1995). Estas consideraciones mecánicas determinaron que en el presente estudio se realizaran las mediciones de conicidad, rugosidad superficial y ángulos de corte, ataque e incidencia en los diámetros D2 y D4, al utilizar cubos de resina acrílica de doble curvatura. Sin embargo, Karikal (2008) demostró que la resina acrílica por su baja dureza presentó un transporte significativamente mayor, en comparación con los dientes naturales y bloques de resina de alta dureza.

7. Conclusiones

Las limas Rotate® de VDW y ProTaper Ultimate® de Maillefer mostraron cambios variables en la conicidad después de seis usos en bloques de resina con doble curvatura.

Las limas Rotate® mostraron variaciones en su conicidad, con un incremento en la lima 20/.05 y una disminución en la 25/.06, lo que sugiere diferentes patrones de desgaste. Los valores de rugosidad superficial disminuyeron en D2 y D4 en algunas limas, lo que indica un desgaste más controlado, también presentaron aumento en los ángulos de corte, lo que mejoró su capacidad de corte, pero disminuyó la resistencia del instrumento.

Las limas ProTaper Ultimate® experimentaron cambios en la conicidad, con un aumento en las limas Shaper y F1, y una ligera disminución en Slider, además, el aumento generalizado en la rugosidad superficial de la lima Shaper sugiere una mayor fricción y riesgo de fractura. En cuanto a los ángulos de corte y ataque, los resultados indican estabilidad en el rendimiento.

Referencias

- Almeida, B. C. D., & Elías, C. N. (2020). Influence of heat treatment on color and flexibility of nickel-titanium endodontic instruments. *RGO - Revista Gaucha de Odontologia*, 68, e20200443683. <https://doi.org/10.1590/1981-8637-2020-00443683>
- Al-Sudani, D., Grande, N., Plotino, G., Pompa, G., Di Carlo, S., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2012). Cyclic fatigue of nickel-titanium rotary instruments in a double (S-shaped) simulated curvature. *Journal of Endodontics*, 38(7), 978–982. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.025>
- Araque Salazar, I. (2018). *Metodología de micro medición de superficies: Forma y rugosidad 3D con método óptico de variación focal*.
- Arboleda, A., & Huertas, E. (2020). Cambios superficiales de los sistemas Pavone Gold® y Reciproc Blue®. Revisión de literatura. Repositorio USTABUCA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/27988/2020ArboledaAdriana.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Arıcan, B., & Atav, A. (2021). How do reused glide path files affect the cyclic fatigue resistance? *ODOVTOS-International Journal of Dental Sciences*, 23(3), 98-106.
- Bahia, M. G., & Buono, V. T. (2005). Decrease in the fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments after clinical use in curved root canals. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 100(2), 249–255. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2004.10.013>
- Cora, S., Er, K., Taşdemir, T., Kiraz, N., Becer, B., & Felek, R. (2020). Efecto del recubrimiento superficial de iones de plata sobre la eficiencia antimicrobiana y de corte de las limas rotativas de níquel-titanio. *Revista Médica y Dental Meandros*, 21(1), 26–33. <https://doi.org/10.4274/meandros.galenos.2019.79553>
- Diemer, F., Michetti, J., Mallet, J. P., & Piquet, R. (2013). Effect of asymmetry on the behavior of prototype rotary triple helix root canal instruments. *Journal of Endodontics*, 39(6), 829–832. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.022>
- Di Russo, F. M., Gisario, A., Zanza, A., Natali, S., Ruta, G., & Testarelli, L. (2024). Optimización del diseño de elementos finitos mediante la técnica Doe del comportamiento de la tensión torsional para instrumentos endodónticos rotatorios Niti. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4724179>

- Eskibağlar, B. K., & Özata, M. Y. (2024). Evaluación de los restos extruidos apicalmente con el uso de los sistemas de limas ProTaper Ultimate y TruNatomy con y sin preparación deslizando en dientes primarios. MRE Press. <https://doi.org/10.34172/joddd.2024.032>
- Faus-Llácer, V., et al. (2021). El efecto de la conicidad y el diámetro apical en la resistencia a la fatiga cíclica de las limas endodónticas rotatorias. *Journal of Endodontics*.
- Gergi, R., Abou, R. J., Osta, N., Sader, J., & Naaman, A. (2011). Taper preparation variability compared to current taper standards using computed tomography. *International Journal of Dentistry*, 2012, 1–4. <https://doi.org/10.1155/2012/265695>
- Gündoğar, M., Uslu, G., Özyürek, T., & Plotino, G. (2020). Comparación de la resistencia a la fatiga cíclica de las limas rotatorias de níquel-titanio VDW.ROTATE, TruNatomy, 2Shape y HyFlex CM a temperatura corporal. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 45(3), e37. <https://doi.org/10.5395/rde.2020.45.e37>
- Hanbola, M. M. A., Kataia, M. A., & El Baz, A. A. (2022). Evaluación de la eficiencia de corte y los defectos que influyen en la topografía de la superficie de dos instrumentos rotatorios de Ni-Ti (un estudio in vitro). *Scholars Journal of Dental Sciences*, 9(3), 39–48. <https://doi.org/10.36347/sjds.2022.v09i03.001>
- Hassan, A. O. A., Munshi, I. E., & Tootla, S. (2019). Comparison of the effect of fixed and variable taper on the volume of obturation material. *South African Dental Journal*, 74(1), 28–32.
- Khalilak, Z., Fallahdoost, A., Dadresanfar, B., & Rezvani, G. (2008). Comparison of extracted teeth and simulated resin blocks on apical canal transportation. *Iranian Endodontic Journal*, 3(4), 109–112. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3782243/>
- Liang, Y., & Yue, L. (2022). Evolution and development: Engine-driven endodontic rotary nickel-titanium instruments. *International Journal of Oral Science*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41368-021-00154-0>
- Martins, J. N. R., Silva, E. J. N. L., Marques, D., Ajuz, N., Rito Pereira, M., Pereira da Costa, R., Braz Fernandes, F. M., & Versiani, M. A. (2023). Characterization of the file-specific heat-treated ProTaper Ultimate rotary system. *International Endodontic Journal*, 56(4), 530–542. <https://doi.org/10.1111/iej.13880>

- Mustafa, M., Attur, K., Bagda, K. K., Singh, S., Oak, A., & Kathiria, N. (2022). An appraisal on newer endodontic file systems: A narrative review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 23(9), 944–952. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3398>
- Nino-Barrera, J., Sánchez-Alemán, J., López, L., & Cortés-Rodríguez, C. (2020). Application of cutting-tool concepts to endodontic files to achieve better design: A review. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 48(4), 223–234. <https://doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2020034949>
- Nino-Barrera, J., & Cortés-Rodríguez, C. J. (2015). *Análisis de las limas de endodoncia como herramientas de corte: Una revisión de la literatura.*
- Paraskevopoulou, M. T., & Khabbaz, M. G. (2016). Influencia de la conicidad de la forma del conducto radicular en la reducción bacteriana intraconducto. *The Open Dentistry Journal*, 10, 568–577. <https://doi.org/10.2174/1874210601610010568>
- Schäfer, E., Tepel, J., & Hoppe, W. (1995). Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *Journal of Endodontics*, 21(10), 493–497. [https://doi.org/10.1016/s0099-2399\(06\)80519-4](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80519-4)
- Thompson, S. A. (2000). An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *International Endodontic Journal*, 33(4), 297–310. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2000.00339.x>
- Uslu, G., Özyürek, T., & Yılmaz, K. (2018). Surface characteristics of four nickel-titanium rotary instruments after different clinical uses. *Journal of Endodontics*, 44(2), 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.10.026>
- Zhang, W., Li, Y., Liang, Y., & Li, C. (2016). Cyclic fatigue resistance of the new thermally treated ProTaper Next file system. *International Endodontic Journal*, 49(4), 379–384. <https://doi.org/10.1111/iej.12499>
- Zhang, X., Zhen, W., Yu, D., & Shi, Z. (2020). The mechanical properties of ProTaper Universal and ProTaper Next. *Journal of Endodontics*, 46(1), 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.012>
- Zmener, O., & Banegas, G. (2008). Study of the cleaning effectiveness of rotary and hand instrumentation in the root canal system. *Journal of Endodontics*, 34(3), 340–344. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.006>