



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN**

ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

**“EFECTO DE LA FRICCIÓN SOBRE LA
SUPERFICIE DE CORTE DE LAS LIMAS NITI,
EVALUADAS AL MEB: ESTUDIO PILOTO DE DOS
PROTOCOLOS DE INSTRUMENTACIÓN”**

*PRESENTA PARA OBTENER EL DIPLOMA COMO
ESPECIALISTA EN ENDODONCIA:*

Gloria Angélica Torres García

DIRECTOR DE TESIS:

C.D.E.E. Martín Alberto Loeza Ramírez

CO DIRECTOR DE TESIS:

C.D.E.E. Luis Alberto Pantoja Villa

Asesor Metodológico:

Dr. Luis José Flores Álvarez

Morelia, Michoacán. Junio de 2025



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN**

ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

**“EFECTO DE LA FRICCIÓN SOBRE LA
SUPERFICIE DE CORTE DE LAS LIMAS NITI,
EVALUADAS AL MEB: ESTUDIO PILOTO DE DOS
PROTOCOLOS DE INSTRUMENTACIÓN”**

*PRESENTA PARA OBTENER EL DIPLOMA COMO
ESPECIALISTA EN ENDODONCIA:*

Gloria Angélica Torres García

**DIRECTOR DE TESIS:
C.D.E.E. Martin Alberto Loeza Ramírez**

**CO DIRECTOR DE TESIS:
C.D.E.E Luis Alberto Pantoja Villa
Asesor Metodológico:
Dr. Luis José Flores Álvarez**

Mbreliá, Mchoacán. Junio de 2025



Dedicatoria

A Dios, por sostenerme incluso en los momentos en que sentí que no podía más.

A mi versión anterior, por tener el coraje de comenzar este camino, por persistir, aún con dudas, y por no abandonar sus sueños.

A Toby, mi fiel compañero, por su presencia silenciosa y constante, en cada desvelo y en cada abrazo.

A mi familia, por estar, por cuidar, por confiar, por celebrar cada logro con alegría genuina.

A esa persona especial que supo acompañarme, incluso en la distancia, con ternura, paciencia y actos de amor cotidiano.

A quienes formaron parte de este camino y hoy ya no están, gracias por lo que dejaron, por lo que enseñaron, y por lo que ayudaron a transformar.

Este trabajo es un umbral. Un cierre que honra el trayecto, y una apertura hacia lo nuevo que estoy lista para vivir.

“Todo lo que no fue, abrió el espacio para lo que debía ser.”



Agradecimientos

Agradezco profundamente a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Centro Universitario de Estudios de Posgrado e Investigación (CUEPI), por brindarme el espacio académico para formarme con rigor y sentido.

A mis profesoras y profesores, gracias por compartir no sólo su conocimiento, sino también su vocación. Cada consejo, cada palabra oportuna, cada gesto de acompañamiento dejó huella en este proceso.

Mi agradecimiento especial al Dr. Luis José Flores Álvarez, al Dr. Martín Loeza, a la Dra Laysa Yanina, y al Dr. Luis Pantoja Villa por ser guía y por enseñarme que incluso en la incertidumbre hay camino. Gracias por creer, por no soltar, por ayudar a sostener este proyecto cuando parecía no avanzar.

A mis compañeros de generación, colegas y amigos, por los intercambios sinceros, el apoyo en las tardes largas, las dudas resueltas y las risas compartidas. No caminé sola, y lo valoro profundamente.

A quienes estuvieron fuera del aula pero dentro del corazón de este proceso: mi familia, por su apoyo emocional, económico y logístico incondicional; y aquellas personas cuyo amor, generosidad y presencia constante me sostuvieron, especialmente en los momentos más inciertos.

Hoy entiendo que cada persona que se cruzó en este camino trajo consigo un aprendizaje.

Este trabajo no sólo representa una tesis, sino el cierre consciente de una etapa, la promesa de una nueva, y la confirmación de que, incluso con obstáculos; la voluntad, la fe y el amor pueden sostener incluso los momentos complicados.



TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	2
Agradecimientos.....	3
1. RESUMEN	8
1.1 ABSTRAC	9
2. INTRODUCCIÓN	10
3. MARCO TEÓRICO.....	13
3.1 PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES	13
3.1.1 ÁNGULO Y GRADO DE CURVATURA	13
3.1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA INSTRUMENTACIÓN.....	15
3.2 INSTRUMENTOS MECANIZADOS EN ENDODONCIA.....	19
3.2.1 VENTAJAS DE LOS INSTRUMENTOS MECANIZADOS	20
3.2.2 DISEÑO DE LOS INSTRUMENTOS ROTATORIOS	21
3.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ALEACIÓN DE NÍQUEL TITANIO (NITI)23	
3.4 DIAGRAMA DE FASES DE ALEACIÓN DE NIQUEL TITANIO.....	24
3.5 FASES CRISTALOGRÁFICAS DE LAS ALEACIONES NITI.....	25
3.5.1 AUSTENITA	26
3.5.2 MARTENSITA	26
3.5.3 FASE R	27
3.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE NÍQUEL TITANIO	27
3.6.1 SUPERELASTICIDAD	27
3.6.2 MEMORIA DE FORMA	27
3.6.3 MICRODUREZA.....	27
3.6.4 RESISTENCIA MECÁNICA	28
3.6.5 DEFORMACIÓN	29



3.7 PROCEDIMIENTOS PARA AUMENTAR LA RESITENCIA DE LOS INSTRUMENTOS	30
3.7.1 TRATAMIENTO TÉRMICO	30
3.7.2 IMPLANTACIÓN DE IONES	30
3.7.2.1 IMPLANTACIÓN DE IONES DE INMERSIÓN DE PLASMA.....	30
3.7.3 ELECTROPULIDO: ELECTRIC DISCHARGE MACHINIG (EDM)	30
3.7.4 NITRURACIÓN TÉRMICA	31
3.7.5 DEPOSICIÓN FÍSICA O QUÍMICA DE VAPOR (PDV)	31
3.7.6 ELECTROEROSIÓN.....	31
3.7.7 DESOXIDANTE (DEOX)	31
3.8 DEFECTOS EN EL ACABADO DE SUPERFICIE DURANTE LA FABRICACIÓN	32
3.8.1 MERMAS	32
3.8.2 POROSIDADES.....	32
3.8.3 MATERIAL EXTRAÑO LAMINADO	33
3.8.4 CRÁTERES.....	34
3.8.5 MARCAS DE TREFILADO	34
3.8.6 RUGOSIDAD	35
3.9 DEFECTOS EN EL ACABADO DE SUPERFICIE DESPÚES DE SU USO	36
3.9.1 GRIETAS	36
3.9.2 DESECHOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS	36
3.9.3 APLANADO DE LOS BORDES CORTANTES.....	37
3.9.4 DEFROMACIÓN PLÁSTICA	38
3.9.5 FRACTURA DEL INSTRUMENTO.....	39
3.10 INSTRUMENTO TG6 PERFECCENDO.....	40
3.11 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO (MEB)	41



4. ANTECEDENTES	41
5. JUSTIFICACIÓN	50
6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	50
7. HIPÓTESIS	52
8. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS	53
8.1 OBJETIVO GENERAL:	53
8.2 OBJETIVO ESPECIFICO:	53
9. PROPUESTA METODOLÓGICA	53
9.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	53
9.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN	53
9.3 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN	53
9.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO	54
9.5 MUESTRA. -	54
9.6 METODOLOGÍA	54
Primera Etapa. -	54
Segunda Etapa. -	59
Tercer Etapa.-	62
10. RESULTADOS	67
10.1 Perfil de los participantes.....	67
10.1.1 Tiempo de experiencia profesional en Endodoncia.....	68
10.2 Análisis de pruebas cruzadas con chi cuadrada	69
10.2.1 Interpretación de resultados cruzados según formación y experiencia en Endodoncia	69
10.2.2 Interpretación estadística del análisis de chi cuadrada	71
10.3 Evaluación Diagnóstica visual mediante imágenes: Selección de defectos y percepción del uso en los instrumentos.....	73



11. DISCUSIÓN	75
12. CONCLUSIONES.....	77
13. ANEXOS	79
13.1 GLOSARIO	79
14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	82



1. RESUMEN

La limpieza y conformación del sistema de conductos constituye un objetivo esencial en la preparación endodóntica. La incorporación de tratamientos térmicos en la fabricación de limas rotatorias de aleación NiTi ha permitido preparaciones más centradas, predecibles y eficientes, reduciendo errores operatorios frente a las técnicas manuales con limas de acero inoxidable. No obstante, estos instrumentos continúan siendo susceptibles a fracturas inesperadas por fatiga cíclica y torsional acumulada. Si bien se ha estudiado el impacto de la anatomía radicular en las cargas internas del instrumento, ha sido menos explorada la influencia del coeficiente de fricción sobre su superficie de corte.

Este estudio analizó el desgaste estructural de limas TG6 de PerfectEndo bajo dos técnicas de instrumentación: la convencional del fabricante y la técnica de Preparación Apical Temprana (PAT). Se utilizaron imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) después de 1, 3 y 6 usos. Además, se diseñó un análisis perceptual mediante encuestas aplicadas a estudiantes y profesionales, evaluando su capacidad para identificar defectos estructurales bajo condiciones visuales controladas.

Los resultados demostraron que los instrumentos sometidos a la técnica PAT conservaron mejor su integridad superficial, incluso tras múltiples usos, en comparación con los tratados bajo la técnica convencional. Notablemente, la mayoría de los observadores identificó erróneamente como “nuevo” al instrumento más usado con técnica PAT, lo que evidencia una conservación estructural efectiva, aunque no perceptible a simple vista.

Se concluye que la técnica PAT puede reducir significativamente la fricción operativa, favoreciendo la longevidad clínica del instrumento.

Palabras Clave: INSTRUMENTOS MECANIZADOS- ESTRÉS FRICCIONAL- ENDODONCIA - MEB.



1.1 ABSTRAC

Cleaning and shaping the root canal system is an essential objective in endodontic preparation. The incorporation of heat treatments in the manufacture of NiTi alloy rotary files has enabled more focused, predictable, and efficient preparations, reducing operative errors compared to manual techniques with stainless steel files. However, these instruments remain susceptible to unexpected fractures due to accumulated cyclic and torsional fatigue. While the impact of root anatomy on internal instrument loads has been studied, the influence of the coefficient of friction on the cutting surface has been less explored.

This study analyzed the structural wear of PerfectEndo TG6 files under two instrumentation techniques: the manufacturer's conventional technique and the Early Apical Preparation (EAP) technique. Images obtained by scanning electron microscopy (SEM) were used after 1, 3, and 6 uses. In addition, a perceptual analysis was designed using surveys administered to students and professionals, evaluating their ability to identify structural defects under controlled visual conditions.

The results showed that instruments subjected to the EAP technique better preserved their surface integrity, even after multiple uses, compared to those treated using the conventional technique. Notably, most observers mistakenly identified the instrument most used with the PAT technique as "new," which demonstrates effective structural preservation, although not perceptible to the naked eye.

It is concluded that the PAT technique can significantly reduce operational friction, favoring the clinical longevity of the instrument.

Keywords: MACHINED INSTRUMENTS- FRICTIONAL STRESS-ENDODONTICS-SEM.



2. INTRODUCCIÓN

Prevenir o curar la periodontitis apical son objetivos del tratamiento endodóntico, objetivos que se busca cumplir con la preparación quimiomecánica del sistema de conductos, razón por la cual esta fase suele ser considerada como una fase importante del tratamiento endodóntico, pero a la vez la más difícil de los procedimientos del tratamiento, cuando se preparan conductos calcificados y curvos.

Ante este tipo de anatomías, no solo la integridad de las paredes de dentina del conducto se ve comprometida con la transportación del trayecto original del conducto radicular, también la flexibilidad, eficacia corte y vida útil del instrumento se compromete, ante las repetidas cargas de flexión y torsión, deformación la estructura y superficie de corte de las limas, y mayor riesgo de separación del instrumento al interior del conducto.

Estudios relacionados con la eficacia de corte y seguridad de los instrumentos NiTi, se han centrado en evaluar varias modificaciones dadas a la manufactura de los instrumentos tanto en su estructura como superficie de corte con la finalidad de mejorar la resistencia a la fatiga cíclica, flexibilidad y eficiencia de corte los instrumentos con preparaciones más centrada al conducto.

A pesar de estas importantes ventajas clínicas, la preparación endodóntica con instrumentos NiTi puede complicarse, por la repentina e inesperada fractura de un instrumento (1), con el consiguiente estrés del clínico al intentar eliminar o sobrepasar el instrumento separado, afectando el pronóstico final del tratamiento endodóntico.

Se han descrito dos mecanismos por los cuales las limas pueden separarse; la fractura por torsión, en donde la superficie del instrumento suele presentar una deformación plástica macroscópica (2) y la fractura por fatiga cíclica sin un patrón macroscópico específico visible en la superficie del instrumento (3).

La fractura por torsión, suele ocurrir cuando la punta o cualquier parte del instrumento queda atascado en las irregularidades presentes en las paredes del conducto, o al inicio de la curvatura del conducto, donde la punta del instrumento queda atascada a las paredes



del conducto, mientras que el resto de la lima continúa girando por la acción mecánica del contra ángulo, hasta que el giro excede el límite elástico de la aleación, terminado con la separación del instrumento. La fractura por torsión, también se ha asociado a la aplicación de cargas de corte excesivas hacia apical durante la instrumentación. En los casos de una separación por fatiga cíclica, se reporta que el instrumento no queda atasca en las irregularidades de las paredes del conducto, por el contrario el instrumento gira libremente hasta ocurrir de manera repentina la fractura, generalmente en el punto de máxima flexión de la curvatura del conducto (4).

Un factor anatómico importante que pone en riesgo la integridad del instrumento con este tipo de fracturas es un arco pronunciado de la curvatura del conducto radicular (5).

Además de la relación que existe entre la anatomía del conducto, las propiedades físicas de la aleación, el tipo de aleación y proceso de manufactura de las limas NiTi, se ha descrito que imperfecciones en la superficie del instrumento debilitan la resistencia del instrumento a su fractura.

Las limas pueden presentar como resultado del proceso de manufactura, residuos o inclusiones no metálicas de carbono y oxígeno de diferentes tamaños, cavidades, restos de metal, rayones longitudinales y ranuras que resultan de fresado de la lima (6).

Estas imperfecciones en la superficie externa de las limas, también pueden encontrarse después del uso clínico. Se ha reportado la presencia de cavidades o huecos en la superficie con debris y corrosión metálica, lo cual pueden afectar la resistencia de las limas a la fractura (7).

La previa preparación de una vía de acceso libre de obstáculos, con limas de acero inoxidable antes del uso de instrumentos NiTi, es crucial para reducir el estrés en la superficie y estructura de limas NiTi durante el corte de dentina y la posibilidad de que el instrumento NiTi se fracture como resultado de la formación y propagación de grietas que inician en la superficie externa y corren hacia la estructura interna de la aleación, como resultado de cargas repetidas de compresión, flexión, torsión y tracción del instrumento (8) que ocurre especialmente al preparar conductos calcificados o curvos.



Este abordaje previo además de ensanchar el conducto y reducir las irregularidades, deja un conducto con paredes lisas (9), lo que reduce la fricción del instrumento y fatiga de la aleación.

Durante la interacción entre la acción de corte del instrumento y la reacción al corte de la dentina se generan fuerzas de fricción, de las que no solo resulta el desprendimiento de viruta dentinaria, también la alteración de los átomos cristalinos de la aleación, causada por el desgaste y alteración de la superficie de corte del instrumento, que a diferencia de la viruta dentinaria, estas deformaciones no es visibles, pasa desapercibidas y manifestándose en el momento clínico de la fractura del instrumento.

El objetivo de este estudio es analizar la influencia de dos técnicas de instrumentación endodóntica sobre el desgaste estructural de limas rotatorias de aleación NiTi, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis perceptual por observadores con distintos niveles de experiencia clínica.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES

El tratamiento endodóntico no quirúrgico se realiza en los órganos dentales en las que existe un daño pulpar irreversible. La Asociación Americana de Endodoncia define la endodoncia como la rama de la odontología que se ocupa de la morfología, la fisiología y las patologías de la pulpa humana y los tejidos periodontales.

Incluye ciencias básicas y clínicas como; la histología y fisiología pulpar y periapical, la etiología, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de las enfermedades pulpares y los tejidos periodontales asociados. (10) La preparación biomecánica del conducto radicular es el conjunto de procedimientos clínicos que tienen como objetivo la limpieza, desinfección y conformación del conducto radicular. El objetivo de la preparación es siempre eliminar el contenido del conducto radicular, es decir, el tejido nervioso irreversiblemente dañado en la unidad pulpar y el material necrótico en caso de necrosis pulpar. (11)

Schilder afirma que deben cumplirse dos criterios: el aspecto mecánico -sellado tridimensional del sistema de conductos radiculares- y el aspecto biológico -eliminación de bacterias y toxinas que degradan las proteínas del conducto radicular-. Ambos criterios se consiguen con una preparación adecuada del sistema radicular. (12)

3.1.1 ÁNGULO Y GRADO DE CURVATURA

Los cambios en la morfología interna y el manejo de conductos curvos son algunos de los retos que pueden influir en el pronóstico del tratamiento. En anatomías como la del primer molar inferior la cual posee dos raíces diferenciadas, aplanadas en sentido mesiodistal y amplias en sentido vestibulolingual. Tiene una curvatura acentuada en la raíz mesial.

Se describe que todas las raíces dentarias presentan algún grado de curvatura considerándose parte de la anatomía normal. Las curvaturas presentan un grado en el ángulo y radio, la medición de estos es necesaria para establecer parámetros relativos a



la seguridad con la que determinado tipo y tamaño de instrumentos puede abordarla. En conductos curvos la capacidad del instrumento de resistir a la fatiga es proporcional al cuadrado de su diámetro. (13)

Abou- Rass y cols. Describe una técnica de instrumentación anticurvatura que mantiene la integridad del conducto y reduce la posibilidad de perforación. (14)

Roig-Cayon y cols. (1997) consideran que el método propuesto por Schneider en 1971 y luego por Jungman, está basado en el ángulo y radio del círculo, superpuesto en el conducto radicular. (15)

El primero en describir un método fiable para determinar la curvatura de los conductos, bajo radiografías fue Schneider. En la radiografía se marcó una línea paralela al eje longitudinal del canal y una segunda línea desde el agujero apical para cruzarse con la primera en el punto donde el canal sale del eje longitudinal del diente. El ángulo agudo se midió con un transportador e hizo una clasificación basada en el grado de curvatura: Rectos 5° o menos, moderada de 10° a 20° y severa de 25 a 70° . (16)

3.1.1.1 Accidentes operatorios que pueden ocurrir durante la preparación biomecánica de los conductos curvos

Los accidentes durante la terapia endodóntica pueden definirse como aquellos sucesos infortunados que ocurren durante el tratamiento, algunos de ellos por falta de una atención debida a los detalles y otros por ser totalmente imprevisibles. (17)

3.1.1.1.1 Creación de escalones

Es un pequeño desvío que ocurre en el trayecto del canal, principalmente en conductos curvos, al inicio de la curvatura, afectando el trayecto del instrumento hasta la longitud de trabajo. (18) Fig. 1^a

3.1.1.1.2. Falso conducto, sin y con perforación

Si no observamos la presencia de un escalón, se puede acentuar en dirección a la dentina creando un falso conducto. (18) Fig. 1b y c

3.1.1.1.3 Desvío apical “Zip”

Es el transporte del trayecto del canal en su porción más apical, sin exteriorizarse. (18) Fig. 1d

3.1.1.1.4 Deformación del foramen

Sucede cuando el instrumento sobrepasa el foramen en canales curvos y altera la forma por acción del limado, ya que por el limado la tensión se concentra contra el lado opuesto a la curvatura, deformando el foramen. (18) Fig. 1e

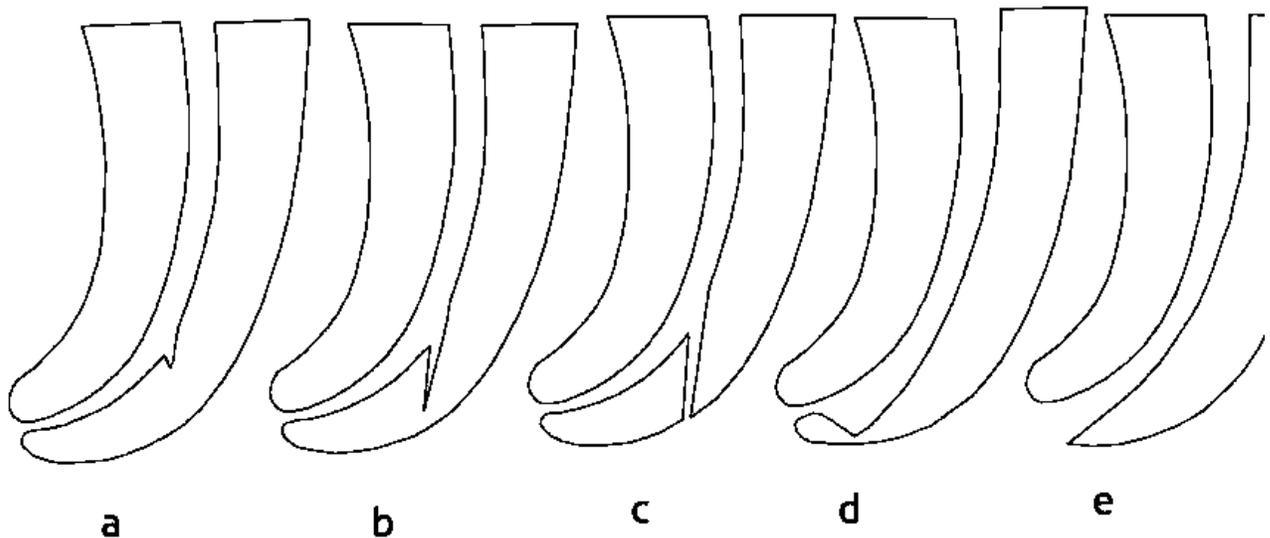


Figura. 1.- Accidentes operatorios

Imagen tomada de (13)

3.1.2 PRINCIPIOS BÁSICOS EN LA INSTRUMENTACIÓN

El modelado de los conductos radiculares se realiza mediante limas manuales de acero inoxidable y rotatorias de Níquel Titanio, estos últimos se han desarrollado en fase martensítica que, al ser más flexibles, proporciona mayor seguridad en el manejo de anatomías complejas. (19)



3.1.2.1 Técnicas de instrumentación

La instrumentación en endodoncia es un proceso clave que consiste en limpiar y dar forma al sistema de conductos radiculares para eliminar tejidos infectados, restos necróticos y microorganismos. Se realiza utilizando instrumentos manuales o rotatorios, y su objetivo es preparar el conducto para su desinfección y posterior obturación, asegurando así el éxito del tratamiento. Las técnicas de instrumentación varían según la anatomía del conducto, pero todas buscan conservar la estructura dentaria y garantizar un sellado eficaz.

3.1.2.1.1 Técnicas Corono Apical

Las técnicas corono-apicales, son aquellas en donde se inicia por el tercio coronario y avanza de manera gradual hasta nivel deseado en el tercio apical. (20)

Con el método corono-apical o crown-down, el clínico inserta de forma pasiva un instrumento de gran calibre en el conducto hasta una profundidad que permita el progreso fácil. Después se usa el siguiente instrumento menor para avanzar a más profundidad en el conducto; a continuación, sigue el tercer instrumento, y el proceso continúa hasta que se llega a la terminación del conducto. Se pueden usar instrumentos tanto manuales como rotatorios con este método corono-apical. Sin embargo, los juegos de instrumentos de varios diámetros de punta y conicidades permiten el uso de una conicidad o un diámetro menores para facilitar el avance en sentido apical.

Una de estas técnicas es la técnica estandarizada, que adopta la misma definición de longitud de trabajo para todos los instrumentos introducidos en el conducto, y por tanto se basa en la forma de los instrumentos para conferir la forma final de conducto. Estas limas se avanzan hasta la longitud de trabajo y funcionan en el mismo movimiento con giro de 1/4 hasta que pueda utilizarse el siguiente instrumento.

La técnica Step Down propone conformar primero la cara coronal antes de empezar con instrumentación apical, pretendiendo eliminar los residuos necróticos que podrían extruirse en el foramen apical durante la instrumentación, además, al ensanchar primero los 2/3 coronales del conducto. Los instrumentos apicales no encuentran obstáculo en



gran parte de su longitud, lo que facilita el control y una menor posibilidad de compresión cerca de la construcción apical.

La técnica corono de doble ensanchamiento, consistía en una exploración con una lima pequeña, una porción corona apical con limas K de tamaño decrecientes y un agrandamiento apical hasta un tamaño 40 o similar, la técnica original incluía paso atrás en incrementos de 1 mm, buscando recapitular con limas pequeñas irrigación continua.

(21)

3.1.2.1.2 Técnicas Apico Coronal

Las técnicas apicoronarias, después de la preparación del tercio apical el instrumento retrocede de manera gradual, hasta alcanzar el tercio cervical.

La técnica escalonada (telescópica o stepback) es el procedimiento de elección para la conformación de conductos curvos para disminuir el riesgo de accidentes. Se basa en la reducción gradual y progresiva de la longitud de trabajo para la conformación, a medida que el instrumento aumenta de calibre. Este retroceso permite establecer o mantener la conicidad del conducto radicular, con el menor diámetro en la porción apical y mayor en el tercio coronario. (20)

La técnica Step Back incorpora una reducción gradual de la longitud de trabajo para las limas más grandes, normalmente en pasos de 1 o 0,5 mm, dando lugar a formas ensanchadas con conicidad, buscando reducir la incidencia de errores de preparación, con los años esta técnica ha sufrido varias modificaciones, una de ellas es avanzar los instrumentos manuales, progresivamente más grandes tan profundamente como puedan ir pasivamente para examinar y ensanchar antes de alcanzar la longitud de trabajo.

El objetivo del ensanchamiento apical es preparar completamente el tercio apical del conducto para conseguir la irrigación óptima y potenciar la actividad antimicrobiana. El ensanchamiento apical ha sido clasificado en tres fases: pre-ensanchamiento, ensanchamiento apical y acabado apical. (21)



3.1.2.1.3 Técnicas híbridas Enfoque

Las técnicas mixtas se preparan al inicio el tercio cervical y la secuencia prosigue con la conformación de los tercios apical y medio respectivamente. (20)

Esta técnica está dirigida principalmente a aquellos conductos estrechos en los cuales la ampliación previa de los tercios coronario y medio facilita mucho la instrumentación del tercio apical. Además, esta técnica cumple con el concepto de instrumentación en sentido coronario apical (crown-down) por lo que es aplicable para los dientes con pulpa necrótica. (22)

Movimientos de Corte.- En cuanto a los movimientos manuales, existe aquel de fuerzas equilibradas que crea menos aberraciones en los conductos con las limas K, algunos investigadores descubrieron esta técnica como una serie de movimiento rotatorios con limas Flex R, pero también pueden utilizarse con limas K y otros instrumentos manuales. se han dado explicaciones diferentes para comprobar la eficacia de este método, pero hay un acuerdo general de qué tiene la capacidad excelente de centrado en el conducto, superior a otros movimientos con limas manuales. Consta de tres o cuatro pasos, el primero es la inserción pasiva de instrumento en el conducto en sentido horario de unos 90° para enganchar la dentina, el segundo, el instrumento se mantiene en el conducto con una fuerza axial adecuada y se rote en sentido antihorario para liberar las esquirlas de la dentina, enganchadas de la pared del conducto, lo que produce un clic característico y el tercer paso, retira la lima en sentido horario para limpiar. (21) (23)

3.1.2.1.3.1 Utilización de Glide Path

Negociar y asegurar los canales con limas manuales de pequeño tamaño requiere una estrategia mecánica, un tacto hábil, paciencia y una vez que el conducto se puede trabajar manualmente, se puede utilizar una lima de deslizamiento mecánica específica para ampliar la anchura de trabajo y preformar un conducto como preparación para los procedimientos de conformación. (24)



Algunos principios estratégicos generales para ayudar al profesional a utilizar los instrumentos mecanizados NiTi de forma segura y exitosa son:

1. - Preparación del acceso: Un acceso deficiente genera errores de procedimiento. Aunque en general es importante preparación del conducto radicular, un acceso adecuado permite crear un acceso recto al tercio coronal o medio del conducto radicular antes de utilizar el instrumento rotatorio.
2. No forzar las limas: Las limas mecanizadas de NiTi requieren una carga pasiva. Si encuentra resistencia es mejor detenerse, aumentar la conicidad coronal y recapitular utilizando limas manuales de acero inoxidable de calibre más pequeño.
3. Anatomía de canal difícil: Los canales que representan anatomía difícil deben analizarse e instrumentarse de manera cuidadosa con limas manuales antes de introducir el sistema mecanizado.
4. No abuse de los usos de las limas: Las limas pueden utilizarse en más de un conducto, pero hay que revisarlas antes de introducirlas principalmente en conductos difíciles.
5. Antes de utilizar cualquier rotatorio: Crear un acceso recto o una vía con limas K.
6. Evitar introducir toda la longitud de la lima: Cuanta más lima se introduzca en el conducto radicular, mayor será la posibilidad de fractura del instrumento. Esto debido a la fricción del ajuste total provocando un bloqueo cónico y la fractura.
7. Deben evitarse los cambios bruscos en la dirección de un rotatorio: Los instrumentos deben introducirse y retirarse del conducto mientras giran. (25-26)

3.2 INSTRUMENTOS MECANIZADOS EN ENDODONCIA

El primer instrumento de endodoncia fue fabricado en Washington en 1838 por Edward Maynard, que utilizó una cuerda de reloj para aumentar gradualmente el diámetro del conducto con el fin de ensanchar y limpiar el conducto radicular.

En 1962, John Ingle y Levine contribuyeron a la estandarización de los instrumentos endodónticos para la Asociación Americana de Endodoncia, de los cuales las limas K fueron las primeras producidas por Kerr. En los años setenta, los instrumentos se hicieron más flexibles y rígidos a la torsión gracias al descubrimiento de Cvjan introduciendo el Niti.



La idea de utilizar un motor para controlar mecánicamente un instrumento, nació en 1958 con la introducción del cabezal oscilante longitudinal de Limas Racer y en 1964 con el contrángulo oscilante Giromatic. (10)

Las limas de titanio Nique están diseñadas para motores eléctricos, que proporcionan una velocidad constante que no fluctúa entre 150 y 350 rpm. Algunas también ofrecen control automático de torque, una función que permite accionar la herramienta en el sentido de las agujas del reloj y detenerla automáticamente cuando se alcanza el límite de resistencia. (27)

Las limas mecanizadas no se fabrican bajo ninguna norma, ni son estandarizadas por las normas ISO, por ello los fabricantes tienen la libertad a cambiar sus diseños y características físicas metalúrgicas. (28)

3.2.1 VENTAJAS DE LOS INSTRUMENTOS MECANIZADOS

Los instrumentos de limpieza endodóntico creados con las aleaciones de NiTi mejoran gracias a su diseño, la seguridad y resistencia a la flexión, manteniendo la eficacia de corte. (29)

Tienen alta flexibilidad y capacidad de mantener las curvaturas dentro del conducto radicular, mejorando la resistencia a la fatiga cíclica. Es posible realizar preparaciones mínimamente invasivas conservando mayor cantidad de dentina radicular. (30-32)

También permiten eliminar la gutapercha en casos de retratamientos sin necesidad de solventes de gutapercha, al no utilizar el solvente evita se forme una biopelícula que provoca que el material de obturación se adhiera a las paredes del conducto. También proporciona un conducto radicular cónico con mínimo riesgo de irregularidades y transportaciones, requiriendo menos tiempo de trabajo, al ser más fácil y eficaz lograrlo. (33)



Otras de sus ventajas son su resistencia a la corrosión y el uso de menos instrumentos al momento de la preparación del conducto como fresas Gates Glidden, al trabajar mayores conicidad existe mayor espacio disponible para la irrigación del conducto radicular y son resistentes a diferentes patrones de deterioro.

3.2.2 DISEÑO DE LOS INSTRUMENTOS ROTATORIOS

Cuentan con un diseño longitudinal y una sección transversal. Los surcos en la superficie de trabajo que recogen los tejidos blandos y las esquirlas de dentina que se eliminan de las paredes del conducto son conocidos como **estrías**. Su eficacia dependerá de la profundidad, anchura, configuración y acabado superficial.

El apoyo radial: Es la zona de contacto mayor con la pared radicular, se encuentra entre el eje central y el borde cortante, se piensa que este apoyo reduce la tendencia de la lima a enroscarse en el conducto. Para reducir esta resistencia de rozamiento, se puede también reducir parte del área superficial del apoyo que gira en contra del conducto para formar el **alivio de la superficie radial**. Este alivio está representado por la intersección de las superficies de ataque, y se puede observar en la sección transversal.

Mientras tanto el ángulo que forma el borde cortante con el eje longitudinal de la lima se conoce como **ángulo helicoidal**. Cuanto mayor es el ángulo helicoidal, más rápido es el desgaste dentinario. Mientras que, con un ángulo más pequeño a la misma velocidad, más tiempo se tomará actuar para tener la misma eficacia de desgaste.

El paso de la lima es distancia entre un borde guía y otro, en otras palabras, la distancia entre una vuelta en espiral y la siguiente, en las limas NiTi presentan un paso variable que cambia a lo largo de la superficie de trabajo a diferencia de las limas K que su paso es constante de 1 mm. Cuando el paso es variable, las espirales más estrechas están cerca de la punta del instrumento y en la parte coronal se disponen a mayor distancia.

Conicidad: Si realizamos un corte longitudinal a través de la lima se puede observar el núcleo. Este se encuentra de manera cónica del ápice a la parte coronal, pero puede

deferir de la conicidad externa que dan las estrías ya que estas serán proporcionalmente más profundas. (21) Fig.2 y 3.

Se fabrican con diferentes conicidades, como: 0,03 0,04 0,05 0,06 0,08 0,09 0,010 y 0,12 mm, gracias a sus propiedades de super elasticidad lo que permite que el instrumento se deslice por la pared y proporcione una extensión en lugar de limar. Entre más pequeña es la conicidad es mejor su capacidad de flexión. En cuanto al **diseño de la punta**, la mayoría de los instrumentos rotatorios tienen una punta inactiva, pero también existen instrumentos con una punta activa para acceder a zonas calcificadas y conductos muy estrechos y curvos. Tienen área de escape que sirve para recibir las limallas dentinarias que se producen durante la instrumentación. (34-35)



Figura . 2.- Diseño de los instrumentos mecanizados

Imagen tomada de (36)

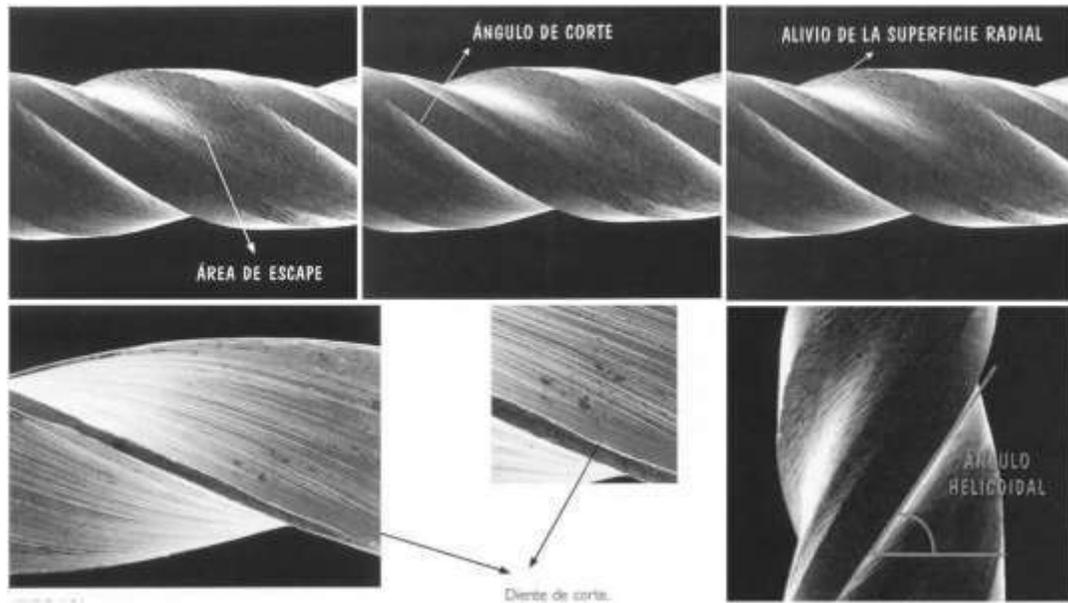


Figura. 3.- Diseño microscopico de los instrumentos mecanizados

Imagen tomada de (27)

3.3 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ALEACIÓN DE NÍQUEL TITANIO (NITI)

El descubrimiento del efecto de memoria de forma fue uno de los descubrimientos más importantes de 1962, cuando Buehler y sus colaboradores desarrollaron una aleación de Níquel y Titanio (NiTi), en el Naval Ordnance Laboratory. Este descubrimiento abrió las puertas a la investigación en la búsqueda de nuevas aleaciones con la capacidad de recuperar su forma, estudiar su comportamiento mecánico y sus aplicaciones. (37)

En 1963, Gould estudió las propiedades de corte de las aleaciones de níquel y titanio y descubrió que el desgaste rápido del instrumento, la velocidad de corte, el avance del instrumento, la geometría y el tipo de agua de refrigeración afectan al rendimiento de las aleaciones de níquel y titanio.

Esta aleación fue utilizada por primera vez en ortodoncia en 1971 por Andreasen y Hilemam, que observaron una diferencia en las propiedades físicas de los arcos de NiTi para ortodoncia en comparación a los de acero inoxidable. Permiten fuerzas más pequeñas, menos cambios de arcos de apoyo para completar el tratamiento, la rotación

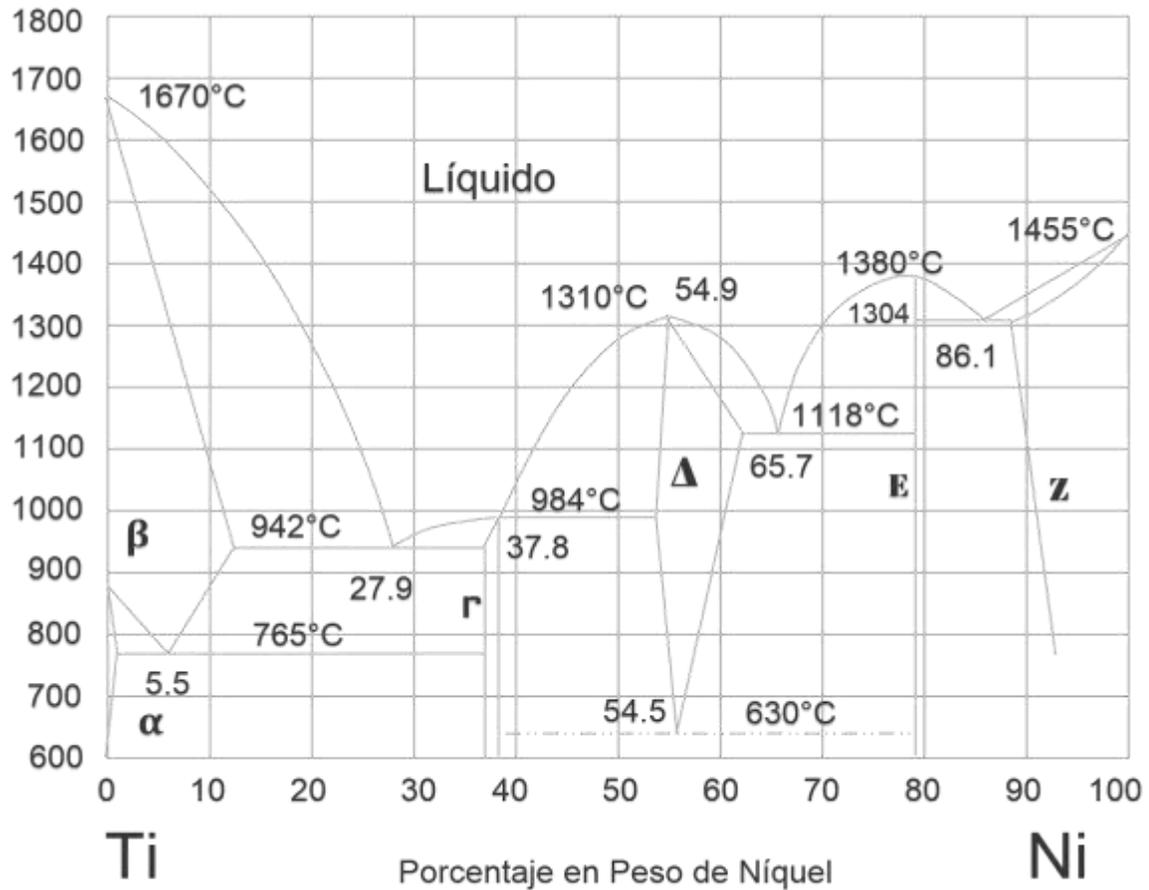


de los dientes se puede completar en menos tiempo y menos corrosión, lo que sufrieron que las hace más adecuadas para aplicaciones intraorales.

En 1978 Andersen y Morrow observaron ductilidad y memoria de forma, en 1980 Burstone y Goldberg observaron una combinación de alta resistencia a la tracción. En 1986 Miura y colegas probaron una aleación japonesa y la compararon con alambre de acero inoxidable, la aleación japonesa tenía propiedades super elásticas y no era propenso a la deformación permanente. En 1987 Kusy y Stush observaron una diferencia de dimensioe entre 10 alambres de níquel-titanio y 7 alambres de beta-titanio, siendo los alambres de níquel-titanio más flexibles. 1992, Yoneyama evaluó el comportamiento térmico de 20 alambres de ortodoncia comerciales, mediante calorimetría diferencial de barrido para determinar la diferencia debida a la transformación de fase de la aleación. En 1996, Evans y Durning describieron las diferencias en las fórmulas de las aleaciones de níquel-titanio y su uso en la tecnología de arcos de alambre. (38)

3.4 DIAGRAMA DE FASES DE ALEACIÓN DE NIQUEL TITANIO

El compuesto de Nitinol posee un nivel de equilibrio muy estrecho a una temperatura específica, ya que al modificarse la cantidad de cada compuesto de aleación y temperatura se puede crear: Ni_3Ti , $NiTi_2$ y Ni_3Ti_4 , las cuales no tienen la misma transformación de fases. Estas se llaman transformaciones atérmicas, dado que la fase depende solo de la temperatura y no de la cantidad de tiempo a esa temperatura. No existe una determinada temperatura para la transformación de fases cristalográficas, sino un rango de temperaturas en el que se produce la transformación, de nominadas Temperaturas características o temperaturas de transformación. (39) (37) Gráfica 1



Gráfica 1.- Porcentaje en peso y temperatura del NiTi

3.5 FASES CRISTALOGRÁFICAS DE LAS ALEACIONES NITI

Las transformaciones de estado de los sólidos son de dos tipos: De difusión y desplazamiento. Por difusión son las que se forman a una nueva fase moviendo los átomos aleatoriamente y el resultado es una composición química diferente a la de la matriz que lo forma. Por desplazamiento es aquella en la que los átomos se reordenan para llegar a una estructura más estable sin cambiar la naturaleza química de la matriz.

(37)



3.5.1 AUSTENITA

También conocida como fase madre. La formación de la fase austenita comienza a medida que la aleación, en el proceso de calentamiento alcanza la temperatura inicial (A_s), se comienza a formar una estructura cristalina cubica centrada en las caras, rígida y dura que se termina de formar en la Austenita final (A_f), cuando se calienta más allá de la A_f , la deformación se recupera obteniendo control de memoria de forma, haciendo evidente el cambio de fase de austenita a martensita y viceversa. Microscópicamente la Histéresis se asocia al rozamiento debido al movimiento, se define como pico de Austenita (A_p) y pico de martensita (M_p) a aquella temperatura donde el 50% del material ya se transformó, esto depende de la aleación. (37)

3.5.2 MARTENSITA

Se forma generalmente enfriando desde una fase a alta temperatura llamada fase madre o austenita, se va enfriando y reduciendo con una fracción de volumen independientemente del tiempo y manteniendo la composición y orden atómico de la fase madre debido a la ausencia de difusión.

En el proceso de enfriamiento es la temperatura de inicio de la transformación martensítica (M_s) a partir de la cual se comienza a formar la fase martensita por temperatura. La transformación termina a medida que decrece la temperatura cercana a la temperatura final de la transformación martensítica (M_f) Desde el punto de vista cristalográfico, la transformación de austenita a martensita está separada en dos partes: Deformación de la red cristalina y cizalladura invariante de la red, la primera parte consisten en los movimientos atómicos necesarios para producir a partir de la antigua estructura, una nueva. Y la cizalladura invariante de la red es una etapa de acomodación, creando un cambio de forma. Al ocurrir esto, se genera un nuevo proceso llamado maclado, el cual acomoda los cambios de forma de manera reversible, siendo un proceso de acomodación predominante. Las martensita de NiTi requiere tres variantes martensíticas para la acomodación completa. Desde el punto de vista macroscópico, las propiedades físicas de austenita y martensita son diferentes. (37)



3.5.3 FASE R

Es una fase romboédrica, que es intermedia a la fase austenita y martensita, se produce al momento de un intercambio estrecho de temperaturas. (40)

3.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSTRUMENTOS DE NÍQUEL TITANIO

3.6.1 SUPERELASTICIDAD

La súper elasticidad es la propiedad de algunas aleaciones de volver a su forma original tras liberarse de la acción de la deformación. La deformación plástica se caracteriza por la capacidad de deformarse permanentemente sin fracturarse. Las aleaciones de níquel-titanio presentan dos fases cristalinas que se deforman: la fase austenítica en reposo y la fase martensítica durante el movimiento de rotación. (34)

3.6.2 MEMORIA DE FORMA

Es la capacidad de formar enlaces de electrones enérgicos, fuertes y direccionales que atraen a los átomos desplazados de regreso a su posición original. (40)

Es la capacidad de un material para deformarse y volver a su forma originalmente definida bajo el efecto de una descarga eléctrica o un calentamiento térmico. La supermemoria está relacionada con la aplicación de cambios de tensión o temperatura inducidos mecánicamente. Las aleaciones tienen la capacidad de absorber hasta un 8% más de energía que el acero inoxidable cambiando la posición de sus átomos, un proceso conocido como cristalización por cambio de fase o cristalización de austenita y martensita en fase gráfica. (10)

3.6.3 MICRODUREZA

La reducción de micro dureza por los métodos de fabricación compromete la eficacia de corte, aunque es **significativamente** considerando que la dentina humana sana tiene de 57 a 62 de número de dureza Vickers. (40)

Influye en la eficacia de corte, las nuevas limas endodónticas con memoria de forma tienen valores de dureza más bajos en comparación con las limas NiTi superelásticas. (41)



3.6.4 RESISTENCIA MECÁNICA

Capacidad de un material para resistir esfuerzos de tracción, compresión, torsión y flexión sin deformarse ni romperse.

3.6.4.1 RESISTENCIA A LA FATIGA CICLICA

Se produce cuando esta es sometida a sucesiones recurrentes de compresión seguidas de una tensión que provoca la transgresión de su estructura y finalmente su fractura. (19)

3.6.4.2 RESISTENCIA A LA FATIGA TORSIONAL

Se define como el enrollamiento del metal sobre su eje longitudinal en la parte superior mientras la punta está clavada. (19)

3.6.4.3 RESISTENCIA AL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

El coeficiente de fricción es representado por el signo griego (μ) mu. Se define como la relación de dos fuerzas que actúan, perpendicular y paralelamente en una interfaz entre dos cuerpos en movimiento, en donde se deslizan uno sobre otro. Los factores dependientes de este fundamento son tiempo y condición de los coeficientes de fricción asociados con las superficies en cuanto a limpieza y lubricación.

Los dos principios de las leyes de fricción según Amontons, dice:

I.- La fuerza de fricción es directamente proporcional a la carga aplicada.

II.- La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto

Existen dos tipos de coeficiente de fricción: Uno que representa la fricción que se opone al inicio del movimiento relativo (movimiento inminente o Coeficiente de fricción estático) y el que se opone a la continuación del movimiento una vez que este ha comenzado (Coeficiente de fricción cinético). La Norma ASTM G-40 regulan la terminología del coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción en este caso hablando del tratamiento de conductos, se traduce como la fuerza que opone resistencia al movimiento de corte del instrumento y esta determinada por las irregularidades y rugosidades de las paredes del conducto, sí



alisamos previamente las paredes del conducto reducimos el coeficiente de fricción que ocurre durante el movimiento de corte del instrumento, su desgaste, alteraciones en la estructura superficial de la superficie de corte del instrumento, fatiga y la posible fractura del instrumento. (42)

3.6.5 DEFORMACIÓN

Se define como la variación de la dimensión en la dirección donde se aplica la carga respecto de la inicial. (43)

3.6.5.1 ELÁSTICA

Es reversible, se define como aquella en la que el cuerpo recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación. (44)

Las fuerzas externas aplicadas modifican la distancia entre los átomos dentro de la estructura cristalina del material, al retirar las cargas, se elimina la razón del cambio en la distancia interatómica, permitiendo que los átomos regresen a sus posiciones originales, lo que resulta la desaparición de la deformación. (45)

3.6.5.2 PLÁSTICA

Es Irreversible, definida como aquella en la que el cuerpo no recupera su forma original al retirar la fuerza que le provoca la deformación. Ocurre mediante la formación y movimiento de dislocaciones, esto es un mecanismo de deformación secundario como el maclado (formación de maclas). (44)

Una parte de la estructura cristalina se desplaza con respecto a la otra. Si se retira la carga, la parte desplazada del cristal no retorna a la posición inicial, conservando la deformación. Además, va acompañada de división de bloques del mosaico dentro de los granos que forman el material, y si los grados de deformación son considerables, se observa un cambio notable en la forma de los granos y su distribución en el espacio, produciendo grietas. (45)



3.7 PROCEDIMIENTOS PARA AUMENTAR LA RESISTENCIA DE LOS INSTRUMENTOS

Se han implementado procedimientos para mejorar las características superficiales de la aleación y fabricación de los instrumentos. (40)

3.7.1 TRATAMIENTO TÉRMICO

El trabajo en frío, como el tratamiento térmico, puede producir cambios significativos al igual que la alteración de la relación NiTi con mayor peso en el Níquel o la sustitución del Níquel por Cobalto. (38)

Aplicarle un tratamiento térmico adicional para la elaboración de los instrumentos de NiTi, puede aumentar la flexibilidad de estos. (46) (35)

3.7.2 IMPLANTACIÓN DE IONES

La implantación de iones, es el bombardeo de átomos gaseosos ionizados acelerados por voltaje en donde quedan estos iones enterrados debajo de la superficie del sustrato, aumentando la resistencia al desgaste, mejorando la eficacia de corte. (40)

3.7.2.1 IMPLANTACIÓN DE IONES DE INMERSIÓN DE PLASMA

Otro método es la implantación de iones de inmersión de plasma, se aplica un alto voltaje pulsante negativo en donde los iones se extraen del plasma, se aceleran y bombardean sobre la superficie, modificando las características de la superficie al formar una capa de Nitruro de Titanio (TiN) dando como resultado una apariencia dorada. (40)

3.7.3 ELECTROPULIDO: ELECTRIC DISCHARGE MACHINIG (EDM)

Las limas de Níquel Titanio se micropulen y se moldean mediante descarga eléctrica (Electric Discharge Machinig: EDM) para lograr formas complejas. El electropulido es un proceso electroquímico que busca eliminar las irregularidades superficiales. La lima es colocada en un baño de electrolitos a temperatura controlada, con un cátodo o corriente continua que pasa a través de la solución resultante en la disolución, formando una capa de óxido superficial actuando como una película protectora que reduce la tensión superficial, mejorando la fatiga cíclica y resistencia a la corrosión. (40)



3.7.4 NITRURACIÓN TÉRMICA

Es otra modificación superficial que busca mejorar la dureza de la superficie y resistencia al desgaste, sometiendo a un procesamiento térmico en un entorno a altas temperaturas (200-500°C) lo que crea una capa superficial de TiN, aunque en comparación con la implantación de iones esta última tiene mayor eficiencia de corte. (40)

3.7.5 DEPOSICIÓN FÍSICA O QUÍMICA DE VAPOR (PDV)

La deposición física o química de vapor (PDV), existen tres formas de tecnología PDV: recubrimiento iónico, pulverización catódica y evaporación por arco. Crea una película densa que forma resistencia a la corrosión, mejora la dureza y biocompatibilidad.

La deposición de vapor químico (CVD) se deposita de manera de capa superficial a altas temperaturas de 300°C, la superficie puede quedar expuesta a medida que se desgastan los bordes cortantes de la lima y pueden quedarse los fragmentos de la lima, puede provocar toxicidad. (40)

3.7.6 ELECTROEROSIÓN

Produce una superficie caracterizada que no compromete la integridad del instrumento, incluso después de múltiples aplicaciones clínicas. Tanto el instrumento como la pieza de trabajo deben ser conductores de la electricidad y estar inmersos en un fluido dieléctrico para que el voltaje pueda ionizar el fluido dieléctrico y la chispa pueda vaporizar las pequeñas partículas de la pieza de trabajo. (47)

3.7.7 DESOXIDANTE (DEOX)

En las aleaciones con fase R la superficie es acondicionada a través de un proceso llamado DEOX, que consiste en una capa de óxido de la superficie y elimina impurezas sin afectar el material de base que transforma nuevamente a su fase austenítica. Su objetivo es maximizar la resistencia de la aleación, sellando puntos de microfractura. (40)

3.8 DEFECTOS EN EL ACABADO DE SUPERFICIE DURANTE LA FABRICACIÓN

El proceso de fabricación genera irregularidades superficiales, entre ellos influye en la resistencia, la nucleación de grietas y también influye en la reducción de Microdureza. (40)

3.8.1 MERMAS

Es un defecto de fabricación que corta la superficie causando una fina lámina que sobresale, siendo resultado del desperdicio de la materia prima al manufacturar el producto.

Son áreas de desgaste en la superficie del instrumento, creando irregularidades o superficies menos uniformes, se observan como zonas erosionadas o de distinto grosor en comparación con las áreas circundantes, con bordes que pueden ser irregulares y poco definidos, como si hubieran “desgastado” parte del metal. (48-49) Fig 4

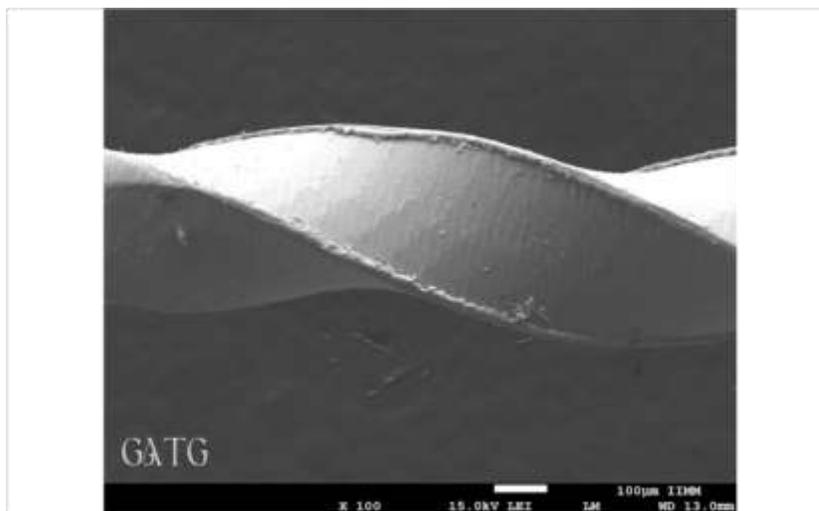


Figura 4.- Mermas en la superficie de corte de instrumento mecanizado.

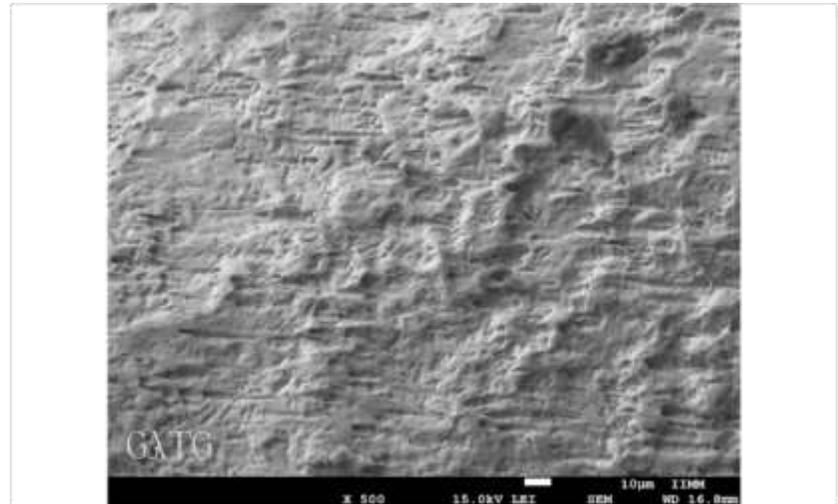
Imagen propia

3.8.2 POROSIDADES

La porosidad es un defecto que se genera cuando se liberan gases que son absorbidos por el metal fundido. A medida que el metal se enfría, los gases se liberan del metal, formando poros. Pueden ser: Visibles (1) o No visibles (2) a la superficie.

Se presenta como pequeños orificios o vacíos en la superficie del instrumento, los poros se observan como cavidades de diferentes tamaños, distribuidas de manera irregular en la superficie del instrumento, dando una apariencia "esponjosa" o perforada. (48-49) Fig 5

Figura 5.- Porosidad en la superficie de instrumento mecanizado
Imagen propia



3.8.3 MATERIAL EXTRAÑO LAMINADO

Es un defecto que se produce durante el proceso de fabricación en el que el material forzado queda atrapado bajo un rodillo mecánico e incrustado en la superficie de la aleación. Se manifiesta como capas delgadas y adheridas a la superficie del instrumento. Este material aparece como capas finas o parches adheridos sobre la superficie del instrumento. Puede tener una textura o coloración distinta al material base, lo que indica que es un contaminante. (48-49) Fig 6

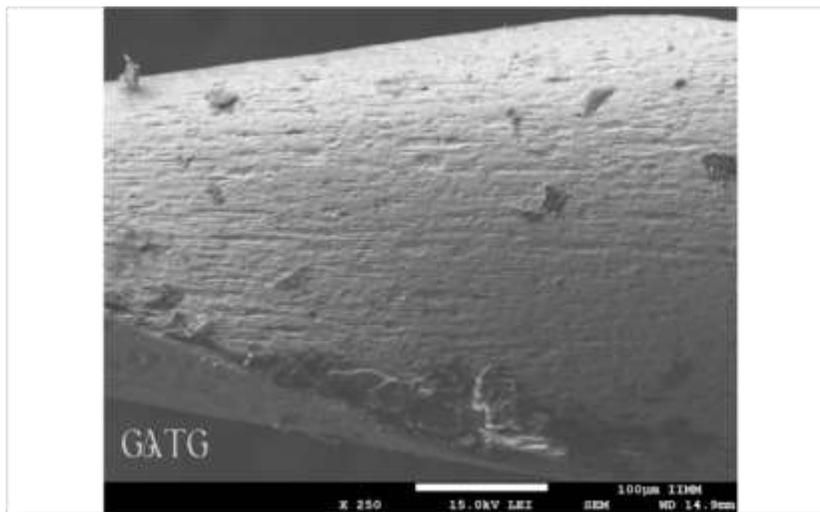


Figura 6.- Material extraño laminado de la superficie en el instrumento mecanizado
Imagen propia

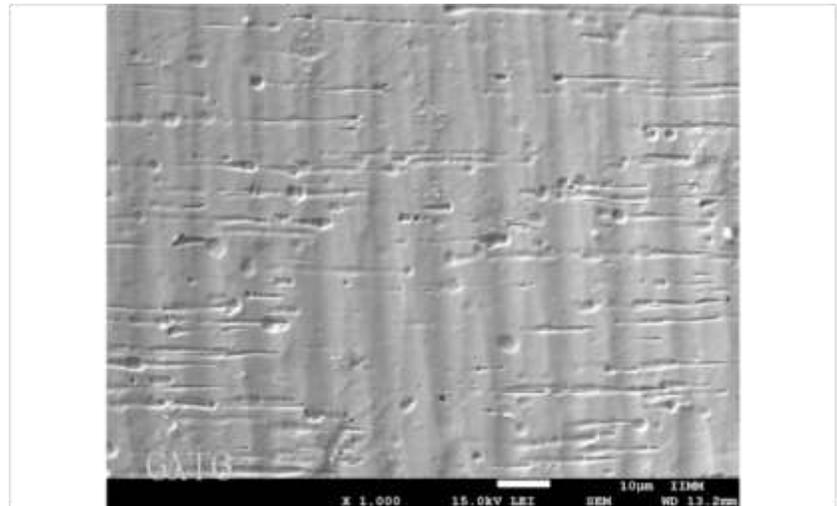
3.8.4 CRÁTERES

Es una concavidad o hundimiento que suele tener forma circular. Es formada por pequeñas perforaciones en el sustrato de la aleación.

Los cráteres aparecen como depresiones circulares o irregulares en la superficie del instrumento. Son similares a pequeños hoyos y pueden variar en tamaño y profundidad, se observan claramente como áreas hundidas con bordes definidos, a menudo causadas por impactos, desgaste o corrosión. (48-49) Fig 7

Figura 7.- Cráteres en la superficie de instrumento mecanizado

Imagen propia



3.8.5 MARCAS DE TREFILADO

Se entiende por trefilar a la operación de conformación en la reducción de sección de un alambre o varilla. El proceso de trefilado en distintos materiales aporta una serie de ventajas. Estas, son propias específicamente del conformado en frío. Son las siguientes:

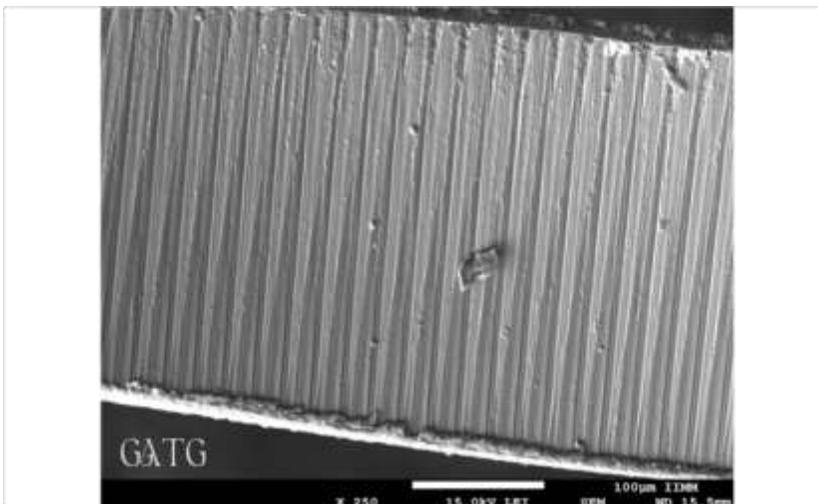


Figura 8.- Marcas de trefilado resultado del proceso de fabricación

Imagen propia



Mayor precisión dimensional, mejor calidad superficial, aumento sustancial en la dureza, aumento sustancial en la resistencia, capacidad de producir secciones que son muy finas. Son líneas paralelas y surcos presentes en la superficie del instrumento, resultado del proceso de fabricación en el que el metal se estira o moldea, estas marcas se ven como ranuras rectas y uniformes que recorren la longitud del instrumento, evidenciando la dirección del trefilado. (48-49) Fig 8

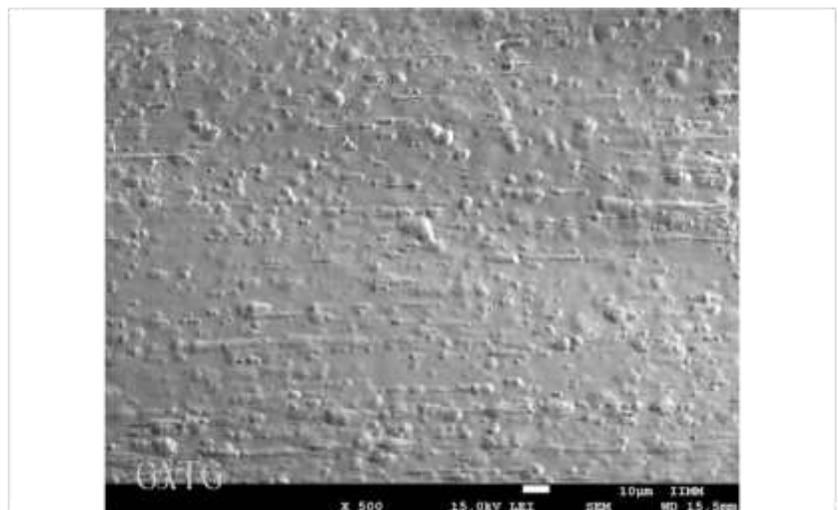
3.8.6 RUGOSIDAD

La rugosidad de la superficie se define como pequeñas desviaciones locales de la superficie con respecto a su forma nominal. Las desviaciones pueden ocurrir debido a procesos de fabricación (mecanizado, fundición, etc.), o pueden ocurrir naturalmente (oxidación, corrosión, etc.). Estas irregularidades superficiales locales pueden tener un impacto importante en la función y el rendimiento de las superficies de ingeniería. Por ejemplo, la rugosidad de la superficie puede provocar un aumento de la fricción y el desgaste, una vida útil reducida y una menor resistencia a la corrosión. Aparece como irregularidades y pequeñas protuberancias en la superficie del instrumento, se observa como un relieve tridimensional con picos y valles, lo que refleja la textura creada. Las áreas más rugosas muestran múltiples crestas y depresiones con patrón irregular, y su severidad puede variar según el desgaste del instrumento. Estas zonas pueden interferir con la capacidad de corte y limpieza del instrumento. (49-50) Fig 9

Figura 9.- Rugosidad de la superficie del instrumento

mecanizado

Imagen propia



3.9 DEFECTOS EN EL ACABADO DE SUPERFICIE DESPÚES DE SU USO

También puede incluirse rugosidad.

3.9.1 GRIETAS

Las grietas son consideradas como la discontinuidad más crítica; debido a su forma alargada pueden generar grandes problemas en la unión soldada que puede terminar en una liberación de energía generando la separación del instrumento. La grieta se inicia cuando la carga o el esfuerzo aplicados sobre una pieza exceden su resistencia. En otras palabras, hay una condición de sobrecarga, mientras la carga aplicada puede no exceder la capacidad de soportar la estructura. En tal caso, la fisuración puede ocurrir en estos puntos concentradores de esfuerzos. Se muestra cambios en la textura y el brillo de la superficie circundante, indicando zonas donde el instrumento ha experimentado deformación plástica antes de la formación de microgrietas que no son visibles a simple vista y que representan zonas de debilidad en el instrumento. (51) Fig 10

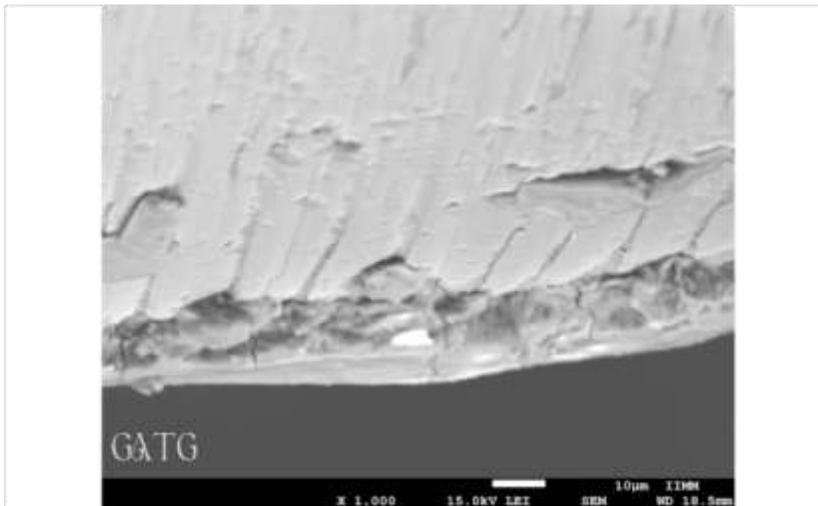


Figura 10.- Grietas en el borde del instrumento mecanizado

Imagen propia

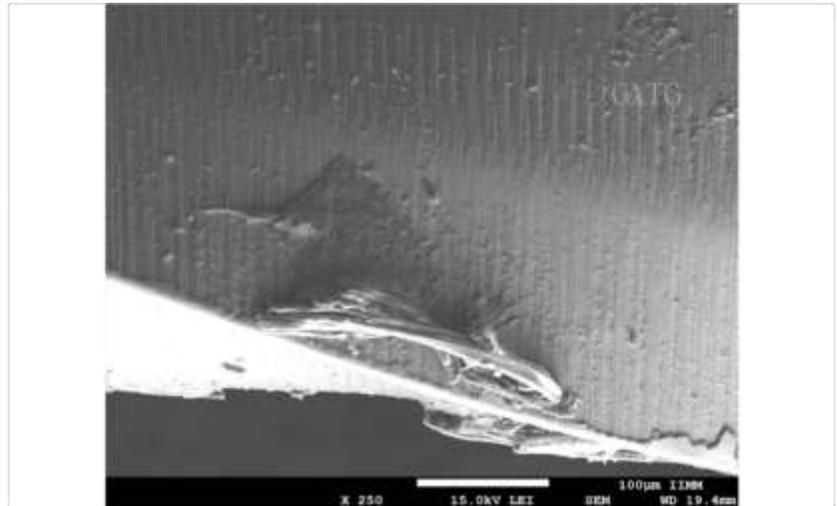
3.9.2 DESECHOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Son residuos que se adhieren a los instrumentos después de su uso en el conducto radicular. Los restos orgánicos incluyen tejidos pulpares, dentina, sangre y biofilm bacteriano, mientras que los restos inorgánicos suelen ser partículas de dentina o materiales del conducto. Estos desechos pueden afectar la eficacia de la instrumentación y el riesgo de contaminación cruzada si no se eliminan adecuadamente durante la limpieza y esterilización de los instrumentos. Los restos orgánicos aparecen como estructuras

amorfas, pegajosas o fibrosas que se adhieren a la superficie del instrumento, pueden formar capas delgadas, cubriendo las ranuras o superficies de corte, y mostrar un aspecto más suave y menos definido en comparación con los residuos inorgánicos, estos últimos se observan como partículas sólidas, con formas más definidas y bordes angulares o irregulares, a menudo son más brillantes y contrastan con los residuos orgánicos en las imágenes del SEM, debido a su composición mineral, como la dentina o los depósitos de calcio. (52) Fig 11

Figura 11.- Desechos orgánicos

Imagen propia



3.9.3 APLANADO DE LOS BORDES CORTANTES

Es el desgaste o la pérdida de filo que ocurre en las hojas de corte de estos instrumentos después de su uso repetido en la preparación de los conductos radiculares. Esto sucede debido a la fricción constante contra las paredes dentinarias y la presencia de restos duros dentro del conducto. El aplanado reduce la eficacia de corte del instrumento, haciéndolo menos eficiente y aumentando el riesgo de fractura o deformación durante el procedimiento. Por ello, es fundamental monitorear el estado de los instrumentos y reemplazarlos cuando muestran signos de desgaste significativo. Esto se detecta como una falta de nitidez en las áreas que originalmente eran afiladas y la aparición de superficies lisas o desgastadas en las hojas de corte. El filo estará “aplastado”. (52) Fig 12

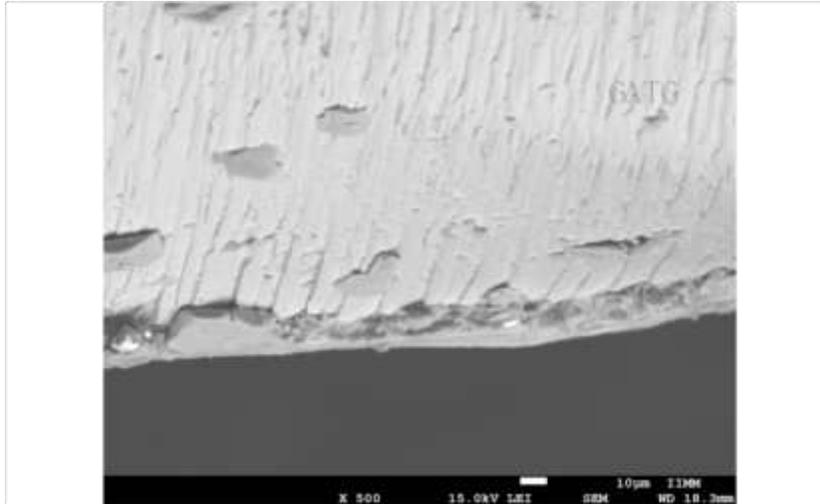


Figura 12.- Aplanado de los
bordes cortantes

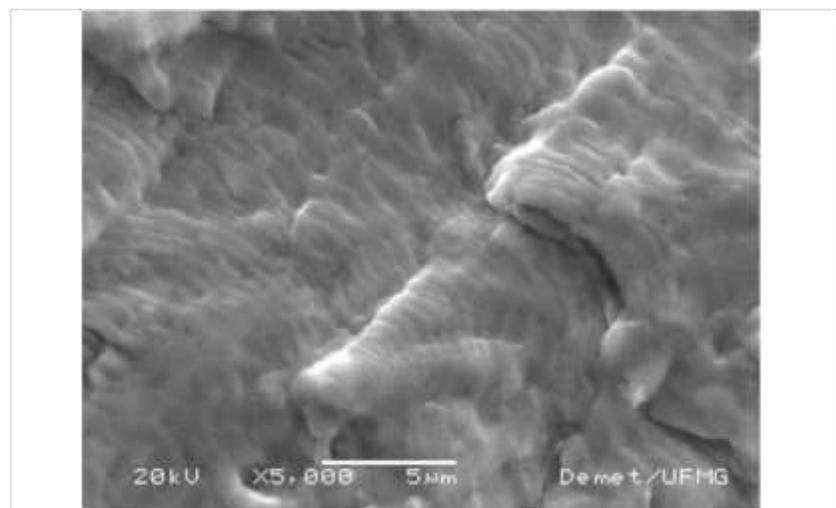
Imagen propia

3.9.4 DEFORMACIÓN PLÁSTICA

La deformación plástica en los instrumentos mecanizados de endodoncia es un cambio permanente en la forma o estructura del instrumento que ocurre cuando se somete a fuerzas excesivas durante su uso en el conducto radicular. A diferencia de la deformación elástica, donde el instrumento recupera su forma original, la deformación plástica implica que el instrumento se dobla, tuerce o alarga de manera irreversible. Esta deformación suele ser una señal de que el instrumento está perdiendo su integridad y puede aumentar el riesgo de fractura, lo que compromete la seguridad y eficacia del procedimiento endodóntico.

Figura 13.- Estrías por fatiga

Imagen tomada de (53)





La deformación plástica se puede identificar al examinar la estructura del instrumento bajo SEM, ya que se evidencian áreas que han sufrido un cambio permanente en su forma, con superficies que muestran alargamiento, torsión o doblez. También se pueden observar microgrietas o irregularidades que indican estrés excesivo en el material. (52-53) Fig 13

3.9.5 FRACTURA DEL INSTRUMENTO

La fractura del instrumento mecanizado de endodoncia es la rotura o separación del instrumento en una o varias partes durante o después de su uso en la preparación de los conductos radiculares. Esta fractura puede ocurrir debido a la fatiga del metal, torsión excesiva o desgaste acumulado por el uso repetido.

Se pueden distinguir características como las líneas de fatiga que muestran la propagación de la grieta, la superficie rugosa y las marcas de estrías que indican la dirección de la fractura. También se aprecian áreas de fractura dúctil, con bordes que muestran elongación y deformación, y zonas de fractura frágil, que presentan una superficie más quebradiza y granulada. (52) Fig 14

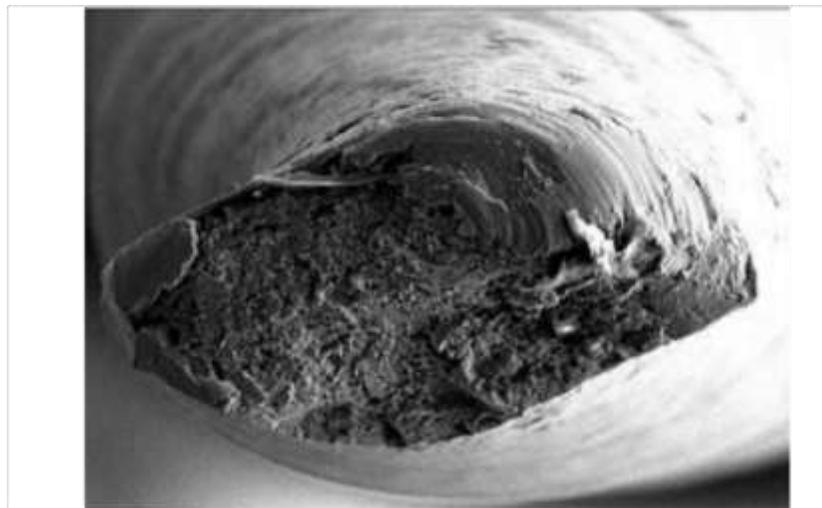


Figura 14.- Sección transversal de separación del instrumento

Imagen tomada de (52)

3.10 INSTRUMENTO TG6 PERFECENDO

Dental Perfect, también llamado Perfect Endo, es un proveedor de instrumentos dentales que crea herramientas dentales profesionales. En un taller de 25.000 metros cuadrados, producen 45.000 limas diariamente mediante producción automatizada. (54) Fig 15 y 16

Material: NiTi

Esterilización: $\leq 126^{\circ}\text{C}$

Paquete: 6 unidades por caja/blíster Surtido/tamaño único.

Longitud (opcional): 21 mm/25 mm/31 mm

Color: Oro

Sección de corte: Triangular

Estándar: CE/ISO/FDA/FSC

Longitudes:

V0: 0.19mm

V1: 0.18mm

V2: 0.20mm

T1: 0.20mm

T2: 0.25mm

T3: 0.30mm

Taper: 04-08

Torque: 5.0 N/CM; 1.5 N/CM; 3.0 N/CM (T2,T3 y T4).

RPM: 260 - 350.



Figura 15.- Blíster Nuevo TG6 de Perfecendo®

Imagen tomada de (54)



Figura 16.- Limas mecanizadas TG6 de Perfecendo®

Imagen tomada de (54)



3.11 MICROSCOPIO ELECTRONICO DE BARRIDO DE EMISIÓN DE CAMPO (MEB)

Modelo: Jeol JSM 7600F. Es un Microscopio de alta resolución (1nm), estado del arte, equipado con haz atenuante (Gentle Beam) especial para muestras no conductoras, Si se colocara una muestra no conductora a analizar habría un acumulo de iones y se observaría un destello de luz. Electroscopía EDS Bruker. (55)

Este modelo minimiza el daño del haz en muestras sensibles al calor. Tiene una pistola de emisión de campo térmico en la lente. Para optimizar el ángulo de apertura patentada, es capaz de analizar cualquier condición operativa. Además del instrumento analítico de alto rendimiento que combina imágenes de alta resolución y de alta velocidad, utiliza el haz de electrones finamente enfocado. Admite la adquisición simultanea de cuatro tipos diferentes de imágenes. (56)

4. ANTECEDENTES

4.1 ANTECEDENTES DE METODOLOGÍA

Este estudio realizado por Hanan et al, consistió en preparar el conducto radicular de 26 conductos mesiales mandibulares, analizando los instrumentos antes y después de su uso. Se calculó el ángulo y radio de la curvatura en los conductos de acuerdo al método propuesto por Schneider, mediante radiografías ortoradiales con 0.5 de exposición a 10 cm de exposición, las radiografías fueron digitalizadas e importadas en AutoCad 2012. Se estandarizó la longitud de los dientes y si la corona media más de 16 mm se cortó con disco de diamante, luego se realizó el acceso camenal con fresa redonda de diamante nº 1015 con pieza de alta velocidad, se realizó desgaste compensatorio en la pared mesial, se realizó con fresa de acero inoxidable Endo Z bajo refrigeración constante. Para determinar la longitud de trabajo se utilizó lima tipo K, se introdujo hasta apical y fuera visible, se retiró 1mm de la longitud obtenida, posteriormente se introdujo lima 15.



Posteriormente los ápices se cubrieron con cera para que la resina acrílica no obstruyera el agujero apical, luego se colocó la resina acrílica autopolimerizable incolora en un molde de silicona, se colocaron los dientes y se distribuyeron de manera aleatoria en dos grupos de 13 cada uno.

Un grupo se instrumentó con Wave One y 13 con reciproc nuevos, primero se analizaron bajo microscopio electrónico de barrido (Fei Quanta 250, Toronto Canadá), para meterlos al microscopio se tuvo cuidado de solo tocarlos del vástago para no interferir en los resultados del experimento. Después de ser analizados los instrumentos visualmente a un aumento de 150X todas las microfotografías fueron grabadas en CD ROM e insertado en power point para observación de los examinadores.

En la instrumentación todos fueron utilizados con el motor de VDW con contrángulo 6:1 y limitado el esfuerzo de torsión, cada lima fue utilizada según las instrucciones del fabricante, después de la introducción y eliminación de cada instrumento los canales fueron irrigados con una jeringa de plástico y NaviTip calibre 29.

Los instrumentos Wave One fueron utilizados con trayectoria de planeo con limas tipo K 10 seguido con lima 15 y Wave One primario 25.08 introducido pasivamente usando movimiento de picoteo hacia dentro y hacia afuera de acuerdo al sistema predefinido del programa Wave One. con un alcance máximo de 3 a 4 mm, después de llegar a 3 mm, se retiró y se extrajo su punta activa, se limpió el instrumento con una gasa embebida en NaOCL al 2,5% e igualmente con el conducto, el canal fue aspirado e inundado nuevamente con la solución, la cinemática fue realizado al menos tres veces hasta alcanza la longitud de trabajo. Se permeo con lima K 10.

Las muestras en donde se utilizó Reciproc también fue según el criterio del fabricante, inicialmente se creó una trayectoria de planeo con lima K 15, seguido de la lima R25 usando el motor de VDW con el sistema predefinido, el instrumentos e introdujo pasivamente usando movimiento de picoteo hacia adentro y afuera con alcance máximo de 3 a 4 mm, después de llegar a 3mm se retiró el instrumento y se extrajo su punta activa, limpiando el instrumento con una gasa embebida en NaOCl al 2,5% e igual en el conducto, se aspiró el conducto y de nuevo se inundó con la solución, la cinemática fue realizada al menos tres veces hasta alcanzar la LT, se utilizó lima tipo K 10 para verificar la permeabilidad de la longitud de trabajo.



Después de utilizarlos se limpiaron mediante baño ultrasónico, utilizando sistema de calefacción para 10 min con agua y detergente enzimático, a una solución de 5 ml por litro de agua, después se secaron y almacenados en un tubo de polipropileno cerrados en ambiente libre de polvo y suciedad antes del análisis SEM según el protocolo descrito anteriormente.

En el segundo análisis se buscó la presencia de bordes irregulares, ranuras, micro porosidades, rebabas utilizando 4 puntuaciones de la siguiente manera:

- 1.- Eje largo del expediente sin defectos superficiales.
- 2.- Eje largo con limaduras de una a tres áreas de superficie.
- 3.- Eje largo de la lima con aproximadamente cuatro a cinco áreas de defecto superficial.
- 4.- Eje con más de cinco áreas de defectos superficiales.

Los resultados se analizaron mediante la prueba de Mann- Whitney para el análisis de escombros superficiales y Kruskal- Wallis para comparar las variables entre los grupos. El valor de significancia se estableció al 5% para todos los análisis. El resultado fue que las limas Reciproc mostraron más rebabas antes y después del uso, los instrumentos Wave One mostro más defectos y deformaciones que el Reciproc en las dos primeras longitudes. (57)

Este estudio de Tripi et al, realizado en el 2001, tuvo como objetivo analizar el aspecto de la punta, hojas y superficies de los instrumentos de Níquel Titanio en el microscopio electrónico de barrido antes y después de preparar los conductos radiculares en molares inferiores. Utilizaron 20 instrumentos nuevos, adquiridos al azar con un proveedor local, fueron 5 GT Rotary (Dentsply) tamaño 35, conicidad 1,2. 5 20.1, 5 20.08 y 5 20.06. Dividieron los instrumentos en cinco grupos de cuatro instrumentos cada uno, construyeron soportes a la medida para posición los instrumentos en el microscopio los cuales fueron analizados en aumentos de 260 y 12,000x. Posteriormente cada instrumento preparo 12 conductos radiculares en cuatro molares mandibulares que habían sido conservados en timol al 0,1%. Después del acceso radicular se utilizó lima K flexo 10 o 15 para entrar a los conductos radiculares, se utilizó Rotary 1,2 cónico tamaño 35 para ampliar los primeros 4 mm de los conductos coronalmente, se registraron las longitudes de trabajo con lima 10, posteriormente se introdujo Rotary 20.01, seguido de 20.06 y 08 a



la longitud de trabajo, irrigando con NaOCl después de cada instrumento, realizado por la misma persona para evitar errores interpersonales. Antes de la observación al microscopio todos los instrumentos se limpiaron en tina ultrasónica para eliminar residuos, ninguno se esterilizo en autoclave.

Se realizan microfotografías en el microscopio a 260 y 670x, en las hojas del instrumento, 800x en la geometría de los bordes, 12000x en la superficie y estas imágenes fueron evaluadas por una persona que no sabía sobre cual instrumento estaba siendo analizado ni bajo qué condiciones y fueron valoradas según los siguientes criterios: a) micro fracturas sin una separación completa del instrumento, b) separación el instrumento durante las pruebas (fractura completa), c) Tiras visibles de metal en la superficie del instrumento, d) presencia de varias picaduras pequeñas, e) pérdida de la forma continua regular de las hojas que se clasifico como disposición de los filos de corte, f) corrosión observable en forma de muescas e incisiones en la superficie (fretting), g) deformaciones plásticas que determinaban la pérdida de la geometría regular del instrumento, h) presencia de grandes cráteres, i) restos de materiales extraños extraídos de las capas más externas de los instrumentos o de las paredes del canal, j) pérdida de la nitidez de los filos de corte que dan lugar a cuchillas romas y k) zonas raspadas visibles. Las superficies de todos los instrumentos analizados en este estudio presentaron pocos defectos antes de su uso, las tiras metálicas fueron el defecto más encontrado, Después de su uso las picaduras, raspaduras y cortes romos aumento en todos los instrumentos. En conclusión, las limas que presentan deformaciones plásticas deben desecharse inmediatamente, dado que estos defectos a simple vista no es posible visualizar la profundidad de defecto lo cual puede provocar la separación del instrumento. Se recomienda examinar los instrumentos al menos a 10x. (58)

En la presente investigación por Altufayli en 2022, utilizaron 30 dientes extraídos con grado de curvatura de 25-56 grados, la raíz se separó con fresas de diamante en la parte coronal a una longitud de 12 mm para todos los canales, con lima 10. Se preparó una trayectoria de deslizamiento manual hasta el tamaño ISO 15, después de cada instrumento se irrigó con 3ml de solución NaOCl al 5,25% y al finalizar la instrumentación con 5 ml.



Para la instrumentación rotatoria utilizaron dos instrumentos; por lo cual las muestras se dividieron en dos grupos: El Reciproc 25 y One Curve.

El Reciproc R25 hasta la lima 25.08 y longitud de 25mm, con velocidad de 300 rpm, ángulos de rotación de 30° en sentido de las agujas del reloj y 150° en sentido contrahorario. Irrigando con EDTA usando movimiento cada 3 segundos hasta alcanzad la LT. One Curve hasta 25.06 y 25mm, suministrado por Micromega a 300rpm y torque de 2,5 Ncm, irrigando con EDTA al 17%. Tomaron imágenes CBCT antes y después de la preparación para evaluar los cambios morfológicos. Utilizaron un software (BlueSkyPlan) para medir la LT y ángulo de curvatura.

El punto inicial de la raíz fue el primer punto, el segundo fue el punto de la curvatura y tercer punto fue el final del conducto curvo. El radio de curvatura se calculó mediante la ecuación: $R=C/2 (\text{Coseno } S)$, aquí C era la línea recta entre A y B, el ángulo S es igual a $(90-a)$. Un examinador completó la instrumentación del conducto radicular curvo y un segundo examinado evaluó los resultados mediante CBCT, se utilizó VATECH CBCT para evaluar los resultados. Utilizaron la prueba de Kruskal- Wallis con Bonferroni para evaluar las diferencias entre la longitud de trabajo, el ángulo y radio de curvatura, para el análisis estadístico utilizaron SPSS 20.0. Los resultados fueron que todas las curvaturas de los conductos oscilaron entre 25 y 56°, el radio osciló entre 0,98 mm y 2,90mm, durante la instrumentación no se observó ni deformación ni fractura de ningún instrumento. Hubo diferencia significativa en el ángulo y radio de curvatura después de la instrumentación para los grupos One Curve y Reciproc Blue, no hubo diferencias significativas en el cambio de longitud de trabajo después de la instrumentación de ambos grupos, el Reciproc blue mostró mejor conservación de la forma original del conducto radicular curvo. (59)

4.2 ANTECEDENTES DE DEFECTOS DE SUPERFICIE

El objetivo de esta investigación realizada por Caballero et al, en 2015, fue evaluar el uso y defectos superficiales de limas twisted file 25.08. y R25. Utilizaron 120 molares mandibulares con curvatura del conducto radicular de 15 a 30 ° y radio de 4-5 mm, siendo divididos aleatoriamente. Los molares fueron instrumentados y los instrumentos fueron



evaluados nuevos y después de 3, 6, 9 y 12 usos en microscopio electrónico de barrido a 260x y 1200x. Se evaluó la presencia de defectos superficiales como deformación plástica, microfisuras, cráteres, rotura de bordes cortantes y bordes romos, a través de fotografías previas y posteriores al uso. Utilizaron la prueba ANOVA para analizar la diferencia entre los dos grupos. El resultado fue que se encontraron defectos superficiales después de la instrumentación de seis conductos radiculares en el grupo y después de la instrumentación de nueve conductos radiculares del grupo R25. La deformación plástica y alteración de los bordes cortantes fueron predominante en el grupo TF y los cráteres y bordes romos en limas R25. La presencia de defectos aumento en ambos grupos, se observaron restos de dentina en todos los instrumentos. (60)

4.3 ANTECEDENTES DE INSTRUMENTOS MECANIZADOS

El Dr. Walia en 1988 investigó la viabilidad de la fabricación de las limas de NiTiNOL y evalúa las propiedades de flexión y torsión de estos instrumentos, lo que en ese momento propondría una nueva generación de limas endodónticas. Para este estudio se fabricaron limas experimentales de NiTiNOL, se sección transversal triangular, evaluaron estas limas recién fabricadas con las de acero inoxidable mediante un ensayo mecánico de flexión en sentido contrario de las agujas del reloj, midieron la fuerza con un torquímetro sensible y carga manual. Las limas de NiTiNOL mostraron mayor resistencia a la fractura torsional, soportaron más revoluciones por minuto. Ambos grupos de limas tuvieron deformación torsional permanente antes de fracturarse. Veían como obstáculo la dificultad de recrear formas exactas de deflexión angular, ya que las limas que crearon eran basadas en los arcos de ortodoncia, torcieron el alambre esmerilado y lo formaron de manera cónica. Concluyeron que es una opción factible de limas con control de memoria, ya que no eran tan rígidos que los de acero inoxidable y que el clínico puede considerar que ya no sea necesario precurvar el instrumento en conductos radiculares curvos. En conclusión, observaron que las limas de NiTiNOL eran do o tres veces más flexibles, elásticas y con mayor resistencia a la torsión en sentido horaria y antihoraria. (61)

En este artículo el autor Alpati et al. Utilizan varias técnicas metalúrgicas como calorimetría diferencial de barrido con modulación de temperatura TMDSC, difracción de micro rayos X micro-XRD, microscopía electrónica de transmisión de barrido STEM y



microscopía electrónica de barrido SEM con análisis de espectrometría de energía dispersa, para comparar las micro estructuras y fases de alambre M Wire súper elástico y el convencional, con el objetivo de determinar el origen de la mejora de las propiedades mecánicas de M Wire. Realizaron el análisis TMDSC en muestras de ensayo compuestas por cuatro segmentos de alambre con longitudes comprendidas entre 4-5 milímetros, cada instrumento se enfrió hasta $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$, se calentó a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se volvieron a enfriar a $-125\text{ }^{\circ}\text{C}$. En los resultados encontraron que las aleaciones con M Wire proporcionan una estructura de martensita y las proporciones de NiTi son dependientes de la forma en que fue procesado el instrumento. Como conclusión el TiO_2 en las características superficiales de cada instrumento confirma que son mayormente fabricados con Titanio. (62)

En el 2017 se realizó el presente estudio por Nieto, para el cual se evaluaron dos sistemas rotatorios termo-tratados muy flexibles, Reciproc (VDW) con aleación M- Wire, para lograr esta aleación es modificada la matriz cristalográfica del NiTi y Wave One Gold (Dentstply) con aleación Gold. El objetivo de esta investigación fue determinar la cantidad de veces que un instrumento puede ser utilizado. Se llevó a cabo en molares extraídos, instrumentaron y usaron hipoclorito sódico al 5,25%, las limas se limpiaron y desinfectaron después de 3, 6 y 9 usos utilizando un movimiento alternativo con la técnica de corona apical. Las muestras del estudio se llevaron a un microscopio electrónico y se fotografió la porción apical de la lima a X500 y los tercios medio y cervical a X200. Encontraron diferencias significativas en la Lima Wave One Gold entre 0 y 3 usos y entre 0 y 9 usos que en la lima Reciproc, la lima que más se fracturó fue la Reciproc, se sugiere limitar hasta 3 usos. (28)

El siguiente estudio a cargo de Zinelis et al. Tuvieron como objetivo caracterizar la composición elemental, microestructura y dureza de los instrumentos. Seleccionaron diez marcas comerciales, se incrustaron a lo largo de su eje longitudinal en resina epoxi y los cortaron, dieron un pulido, colocaron pasta de diamante, limpiaron con ultrasonido y recubrieron por pulverización con carbón conductor y examinaron en SEM. Las mismas muestras se utilizaron para evaluar la dureza Vickers, tomaron la parte central y analizaron los resultados de la composición elemental cuantitativo y se clasificaron en cuatro grupos: ProTaper, Liberator, ProFile y K3. Los resultados de dureza Vickers se clasificaron en tres



grupos: ProFile, Liberator, Hyflex, Hero y Ergoflex. Los resultados concluyeron que los instrumentos fabricados con NiTi tenían de 54,2 y 56,2%, son parte del rango de composición nominal. Los valores de dureza oscilaron entre 312 y 376 VHN. La forma típica de hacer instrumentos de Níquel Titanio incluye la fundición al vacío de un lingote forjado en caliente, laminado y trefilado para reducir el diámetro. Posteriormente se lleva un proceso en frío hasta un 30- 50% para lograr el diámetro final, para lograr el segundo estado el instrumento es sometido a tratamiento térmico de 450 a 550°C. (63)

En este estudio dirigido por Martins et al, fue requerida una muestra de 5 sistemas rotatorios: ProTaper Gold, ProTaper Universal, Premium Taper Gold, Go-Taper Flex y U-File. En los cuales se comparó su diseño geométrico en general y acabado de superficie, por medio del microscopio electrónico de barrido, así como la relación de Níquel Titanio por medio de espectroscopia de dispersión de energía, las temperaturas de sus fases de transformación por colorimetría diferencial de barrido, su fatiga cíclica y torsional, y área del conducto trabajada. Como resultados obtuvieron una diferencia del 5%. En cuanto a su superficie radial, la simetría de sus espirales, y la relación casi equiatómica de Níquel Titanio, todos los instrumentos presentaron similitud. La diferencia fue en su tratamiento de acabado superficial y la anatomía de sus puntas. En temperaturas de 20% por examen de DSC, ProTaper Gold and Pro-Taper Flex, mostraron estar en fase martensítica, mientras que Premium Taper Gold, Protaper Universal y U-Files mostraron características de martensítica. Llegaron a la conclusión de que las diferencias influyeron en cuanto a sus resistencias, pero la superficie trabajada del conducto fue equivalente entre todos los sistemas. (64)

Este estudio fue una continuación de la investigación anterior a cargo de Martins et al, en donde ahora se realizó una comparación de 6 sistemas recíprocos: Reciproc, Reciproc Blue, One Files, One Files Blue, Reverso Silver, and Wave One Gold. Se evaluó por medio de microscopio electrónico de barrido, el número de hojas de corte y ángulo helicoidal, también se realizó una evaluación de acabado de superficie, corte transversal; La composición de Níquel Titanio, temperatura de fase de transformación, fatiga cíclica, torsional, entre otras características. En los cuales obtuvieron una diferencia de 5%. Los instrumentos presentaron similitudes en su composición metálica, pero la diferencia estuvo



en la temperatura de su fase de transformación y su diseño, con los cuales concluyeron que el Reciproc Blue tiene mayor resistencia y es más flexible. (65)

Seracchiani et al, realizaron este estudio en donde se hace una comparación de las propiedades mecánicas y metalúrgicas de 5 instrumentos reciprocantes, entre ellos: Reciproc (VDW, Germany), Reciproc Blue (VDW), EdgeOne Fire (EdgeEndo, NM), and WaveOne Gold (Dentsply Maillefer,). En cuanto al análisis metalúrgico se analizó la composición de la aleación Níquel Titanio, y la temperatura de fase de transformación, por medio de espectroscopia de rayo x de energía dispersa y escáner calorimétrico. Obteniendo como resultado en todos los instrumentos un porcentaje de níquel de 52% - 53% y 47%-48% de titanio, y como fase, martensítica. La diferencia estuvo en las temperaturas de transformación de fase. En este estudio llegaron a la conclusión de que la recientemente introducida lima OneRECI (Coltene) con una composición equiatómica de Níquel Titanio en fase martensítica, mostro mejores avances mecánicos en comparación con los otros instrumentos estudiados. (66)

En esta investigación Alexandru et al. tuvieron como objetivo analizar la superficie y microestructura de dos sistemas y después de esterilización en seco. Examinaron sesenta y seis instrumentos rotatorios de NiTi, treinta y tres limas eran ProFile y treinta y tres limas Flexmaster. Se dividieron en subgrupos de tres, después de cero, uno, seis y once esterilizaciones. Las muestras se limpiaron en ultrasonido durante 15 minutos antes de la esterilización, se recubrieron con una capa de carbono conductor y se estudió bajo SEM. Se clasificó la rugosidad en puntuación de cuatro apariciones. Observaron aumento de rugosidad en las muestras expuestas a esterilización. La presencia del material adherente se produjo por descomposición y oxidación del aceite lubricante, agregando carbonitruros de titanio, óxidos de NiTi. Algunos autores sostienen que las irregularidades superficiales de los instrumentos se han mejorado principalmente por la implantación de iones. A medida que se esterilizaron los instrumentos se produjo un aumento de la rugosidad superficial en comparación con las muestras que no se esterilizaron, concluyendo en el engrosamiento de la capa de TiO₂ que lo recubre. (67)



5. JUSTIFICACIÓN

Con la finalidad de mejorar la resistencia a la fatiga torsional y cíclica, se han creado los tratamientos térmicos a la aleación durante el proceso de fabricación de estos instrumentos mecanizados en endodoncia, procesos que ha demostrado mejorar las propiedades mecánicas y funcionales durante su uso clínico. A pesar de las numerosas ventajas sobre uso de las limas de níquel titanio en endodoncia, aún persiste en el clínico la preocupación de la posible separación de instrumentos de Níquel Titanio durante la preparación del sistema de conductos, se ha reportado que la separación de instrumentos puede resultar de la fatiga torsional, cíclica o la combinación de ambas, cuando el instrumento es sometido a la anatomía estrecha del sistema de conductos, en el momento que el conducto no es preparado para recibir el aumento de conicidad, es cuando el instrumento puede estar muy estrecho y primero ocurre el estrés friccional, ocasionando desgaste y erosión en la superficie del instrumento.

Al analizar en el microscopio electrónico de barrido la superficie de los instrumentos mecanizados antes y después de distintos usos, utilizando dos técnicas de instrumentación distintas, se aportará al clínico una pauta del desgaste friccional de los instrumentos dependiendo de la forma de uso, y los cambios morfológicos que sufre la lima desde que son sacadas del blíster, al primer, tercer y sexto uso, sometiéndose al mismo grado de estrés. Este estudio ayudará a tomar decisiones en cuestión del cuidado de los instrumentos al momento de su uso y así evitar la separación del instrumento.

6. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las innovaciones en la manufactura de limas endodónticas de NiTi y los procesos de fabricación patentados que mejoran las propiedades mecánicas de la aleación NiTi han sido motivo de estudio. Estas innovaciones en la manufactura, busca optimizar las propiedades físicas y mecánicas de las limas en cuanto a su flexibilidad, eficacia de corte y resistencia a la fractura (68), con menores errores de procedimiento como bloqueos, escalones, transportaciones y perforaciones durante la preparación del conducto radicular.(1)



Las novedades en la manufactura de la aleación NiTi incluyen; la obtención del estriado de corte por el torcido o desgaste mecánico del vástago metálico, descargas eléctricas, electropulido y tratamientos térmicos a la aleación NiTi.

El tratamiento térmico a la aleación, ha despertado el interés de análisis y estudio, ya que esté si bien han mejorado el desempeño mecánico de los instrumentos, también pueden afectar la eficiencia de corte y seguridad de las limas durante el trabajo clínico. (69-70)

El amplio uso del NiTi en los procedimientos endodónticos, ha propiciado la introducción al mercado de una gran variedad de marcas, diseños y formas de instrumentos. Ante tanta variedad, surgen preguntas y desafíos clínicos; ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas que aporta los procesos de manufactura al instrumento? ¿Cómo incorporo a mi práctica clínica un nuevo instrumento? y, ¿Cuál es la técnica de preparación a utilizar de la que resulten pocos o nulos errores de procedimiento?

La fabricación de instrumentos se ha centrado en mejorar la eficiencia de corte y seguridad de los instrumentos. Esto puede observarse por la variedad de cambios y procesos metalúrgicos empleados en la manufactura de las limas NiTi.

Uno de estos cambios es el tratamiento térmico de la aleación, mediante el cual se altera la superficie del instrumento o la microestructura de la aleación (71), con la finalidad mejorar la eficacia de corte y resistencia del instrumento a la fatiga cíclica y torsional (72). Sin embargo, el tratamiento térmico también puede ser responsable de aumentar el estrés en la aleación por la concentración de escombros en la superficie del instrumento, generar micro cavidades, agujeros, rebabas metálicas, que afecta la eficiencia de corte del instrumento y la integridad del instrumento (73).

Otro cambio, es al diseño geométrico de las limas; la introducción de limas NiTi con sección transversal excéntrica, de conicidad constante o variable, regresiva o progresiva y variaciones en los ángulos helicoidales, número de estrías y cambios al diseño de punta, tienen como objetivo reducir el contacto del instrumento con las paredes del conducto y la



tendencia a la fractura (74). Sin embargo, se ha reportado la reducción de las cargas de tensión en las limas cuando de preparan conductos curvos puede lograrse mejor con instrumentos de diseño rectangular, conicidad reducida, sección transversal centrada y técnica corono apical (75). Las ventajas mecánicas y clínicas de una sección transversal excéntrica no está relacionada con el aumento de la flexibilidad sino con optimizar el diámetro final de la preparación apical del conducto radicular y que las limas descentradas presentan menor flexibilidad en comparación las centradas (76).

A pesar que estas innovaciones han mejorado el desempeño mecánico de las limas NiTi, siempre existe el riesgo de que un instrumento se fracture durante la preparación del conducto radicular, por lo que es importante evaluar el desempeño clínico de nuevas marcas de instrumentos, no solo por sus propiedades físicas y características de la fractura, relacionados con la práctica clínica y evalué el desempeño del instrumento bajo una metodología de preparación específica que garantice la mejor reproducibilidad y estandarización posible, para que de los resultados obtenidos in vitro se logren conclusiones sólidas que puedan extrapolar a la práctica clínica y considerar que pequeñas modificaciones a la técnica de instrumentación, pueden mejorar la eficacia del instrumento, la calidad de la preparación y seguridad de las limas NiTi.

7. HIPÓTESIS

Se plantea que el uso de la técnica de Preparación Apical Temprana preserva de manera más eficaz la integridad superficial de los instrumentos endodónticos de aleación NiTi frente a la técnica convencional, incluso tras someterlos a múltiples usos, al disminuir el estrés friccional durante el tratamiento.



8. OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS

8.1 OBJETIVO GENERAL:

Analizar la influencia de dos técnicas de instrumentación endodóntica sobre el desgaste estructural de limas mecanizadas de aleación NiTi, mediante microscopía electrónica de barrido.

8.2 OBJETIVO ESPECIFICO:

1. Identificar y clasificar los defectos superficiales más frecuentes en instrumentos endodónticos mecanizados de NiTi tras 1, 3 y 6 usos, mediante microscopía electrónica de barrido.
2. Comparar el grado de deterioro superficial entre las técnicas de Preparación Apical Temprana y la técnica convencional del fabricante.
3. Evaluar la capacidad diagnóstica de especialistas en endodoncia, estudiantes y expertos en metalurgia para reconocer defectos superficiales bajo condiciones controladas de observación.

9. PROPUESTA METODOLÓGICA

9.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Este estudio es Mixto (cualitativo- cuantitativo), de tipo prospectivo, transversal, comparativo y analítico.

9.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Conductos mesiales molares con 20° a 35° de angulación.

Conductos mesiales permeables, con el conducto radicular intacto.

Limas de endodoncia mecanizadas, TG6 de Perfecendo nuevas.

9.3 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN

Conductos mesiales con tratamiento previo, reabsorción radicular externa, con caries, con destrucción completa, con conductos calcificados, con más de 35° de angulación.

Limas de endodoncia TG6 de Perfecendo usadas.

9.4 TÉCNICA DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Prueba de Chi cuadrada (χ^2) y análisis por capas.

9.5 MUESTRA. -

7 Instrumentos del sistema TG6 de Perfecendo:

- Con preparación apical temprana
- Como indica el fabricante
- 1 Sin uso para analizar nuevos

Se analizarán a 1,3 y 6 usos.

9.6 METODOLOGÍA

Primera Etapa. -

Para este estudio se utilizó veinte conductos mesiales de primeros molares inferiores extraídos, almacenados en agua con glicerina, se les tomó radiografía para verificar la existencia de conducto. Fig. 17



Figura 17.- Radiografía inicial para verificar la existencia de conductos.

Posteriormente los órganos dentales seleccionados que pasaron el primer filtro se cortaron por la mitad con disco de diamante, para solo dejar los con conductos mesiales. Fig. 18



Figura 18.- Los órganos dentarios seleccionados fueron seccionados por mitad. Fueron tomadas radiografías para tener una vista mesio- distal de la distribución de los conductos. Fig. 19



Figura 19.- Se estandarizó la distancia en la que fueron tomadas las radiografías.

Con la ayuda de la aplicación Geogebra se midió el radio y grado de curvatura en dos posiciones para estandarizar las muestras a una media de curvaturas moderadas de 20° a 35° y con radios de entre 4 – 8 mm. Fig. 20

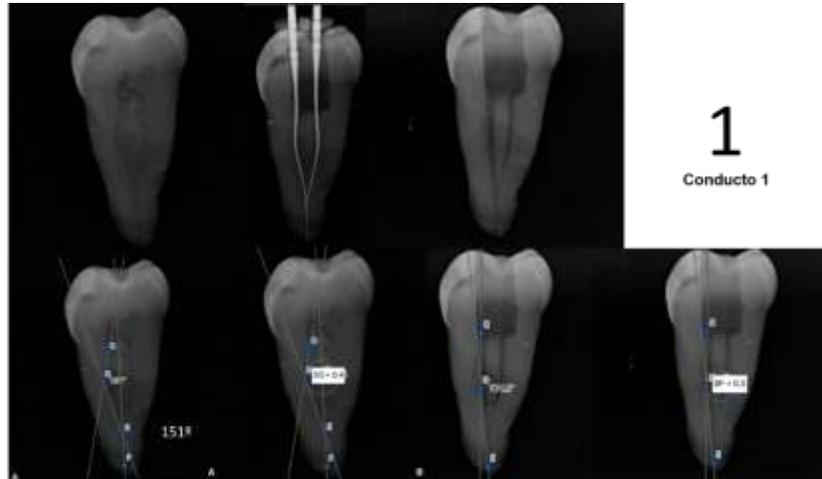


Figura 20.- Se midió el grado y radio de curvatura de cada conducto, antes y después de la instrumentación.

Posteriormente se realizó una base con material de impresión para sujetar las muestras.

Fig. 21



Figura 21.- Realización de la base para instrumentar los órganos dentales.

El acceso cameral fue creado comenzando una fresa de bola de diamante número 4, la ampliación del acceso se realizó con fresa endoZ, y se retiraron interferencias con ultrasonido. Se verificó la permeabilidad del conducto con lima K número 10 y se tomó radiografía para comprobar la longitud de trabajo. Fig. 22



Figura 22.- Verificación de la permeabilidad del conducto y toma de longitud de trabajo. Los órganos dentarios se distribuyeron de manera aleatoria en dos grupos (n:10), el grupo A y grupo B. El grupo A se instrumentó con la técnica de preparación apical temprana y el grupo B como indica el fabricante. Fig. 23



Figura 23.- Distribución aleatoria de los órganos dentarios.

Instrumentación del grupo A:

- Una vez verificada la longitud radiográfica, se buscó permear el conducto hasta la longitud de trabajo con lima 10 y la lima 10 a 5mm menos de la longitud total, utilizando el movimiento de fuerzas balanceadas y se irrigó con NaOCl al 5%, manteniendo lubricado el conducto en todo momento.
- La lima 15 se instrumentó con los mismos movimientos a 5mm menos, de la longitud anterior, se irrigó y se patentó con lima 10.

- Se llevó 5 mm menos la lima 20, manteniendo la humedad del conducto, irrigando constantemente entre limas y patentando con la lima 10.
- Se utilizó el abridor V0 para eliminar interferencias en el tercio cervical.
- Posteriormente se utilizó la instrumentación rotatoria de conformación a 1mm menos de la longitud radiográfica, el instrumento S1 (18.02) a 300 rpm y 3 de torque, a la misma longitud se continuó la secuencia hasta el instrumento F3 manteniendo permeable entre cada instrumento con lima 10, utilizando irrigante y limpiando los instrumentos durante la instrumentación con una gasa húmeda para eliminar el debris dentinario. Fig. 24



Figura 24.- Grupo A se instrumentó utilizando limas manuales y posteriormente las limas mecanizadas.

Instrumentación grupo B:

Secuencia de operación

Se exploró pasivamente los 2/3 coroneales con limas manuales de 10# y 15# y se trabajó suavemente estos instrumentos. Se irrigó con NaOCl al 5%.

Antes de encontrar una ligera resistencia, se utilizó movimiento de “cepillado” lateralmente y corte la dentina en el trazo exterior para mejorar el acceso en línea recta y la progresión apical. Se continuó dando forma con V1 hasta alcanzar la profundidad de la lima manual de 15#. Fue utilizado el V2, exactamente como se describe para el S1. Se utilizó la lima de acabado T1 en una acción “sin cepillar”, con cada inserción más profunda que la inserción anterior hasta alcanzar la longitud de trabajo. Se utilizó lima manual #20 cuando se sintió suelto, se procedió a la T2, a la T3 y T4. (54) Fig. 25



Figura 25.- Grupo B se instrumentó como indica el fabricante.

Segunda Etapa. -

El instrumento nuevo y los instrumentos del primer, tercer y sexto uso, se analizarán bajo el microscopio electrónico de barrido de emisión de campo, realizado en el Instituto de Investigación en metalurgia y materiales UMSNH. Fig. 26



Figura 26.- Instituto de Investigación e n Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

1) Fue colocada cinta de carbono conductora eléctrica de doble cara sobre el porta muestras de forma que cubra la superficie sobre la que se colocara el instrumento a evaluar. Fig. 27



Figura 27.- Colocación de cinta doble cara en el porta muestras.

2) Los instrumentos fueron manipulados con cuidado para evitar contaminación, del tipo pelusas, suciedad de las manos, etc. Cada tope de goma se cortó y retiró del instrumento con herramientas de corte de precisión, para evitar el desplazamiento a lo largo de la muestra para que la composición registrada por el microscopio no se modifique. Fig. 28

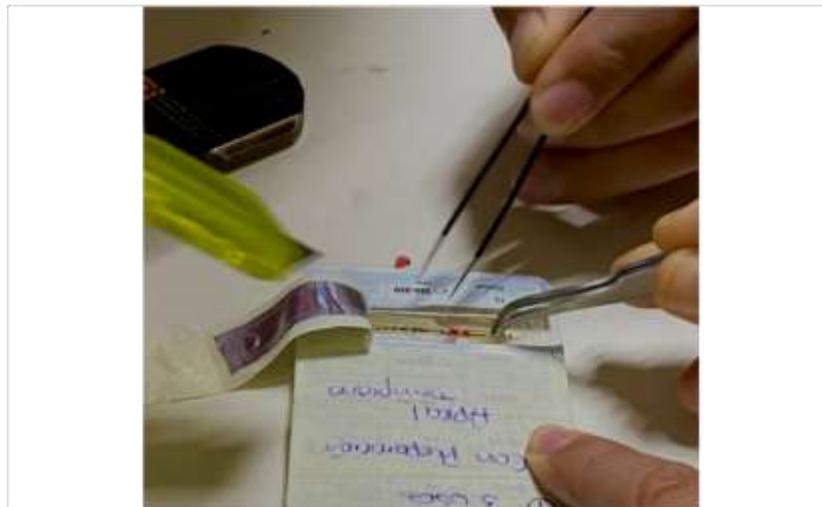


Figura 28.- Retiro del tope de goma para evitar interferencias en el MEB.

3) Se colocaron las limas en el porta muestras cuidando seguir un orden para su registro y facilitar lograr su ubicación.

4) La platina con los instrumentos se introdujo a la bomba de vacío (cámara) del Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo JEOL JMS 7600F® para comenzar la carga de aire de ultra pureza con gas Nitrógeno, esperando a que el microscopio cargara a -5 Pascales (Pa). Fig. 29

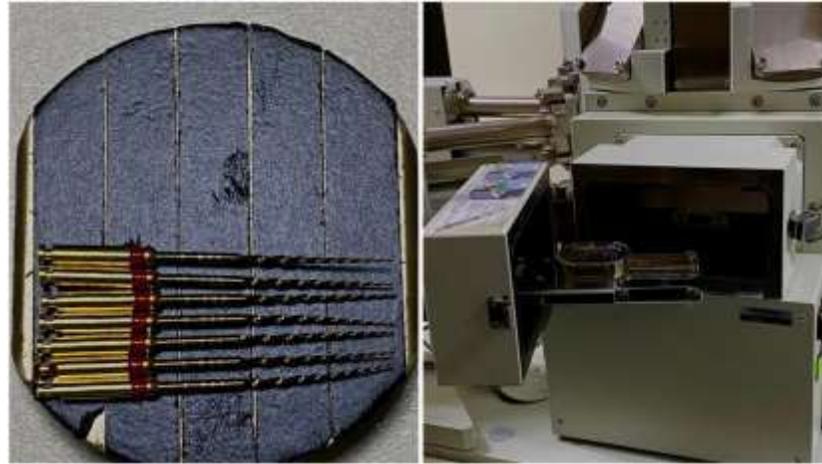


Figura 29.- Instrumentos en el portamuestras y en el Microscopio Electronico de Barrido.

7) Para valorar el acabado de la superficie de cada instrumento, se tomaron capturas de imágenes a 25X, 50X, 100X, 250X, 500X y 1000X con Lower Secondary Electron Detector (LEI) y 1000X Secondary Electron Images (SEI) Fig. 30

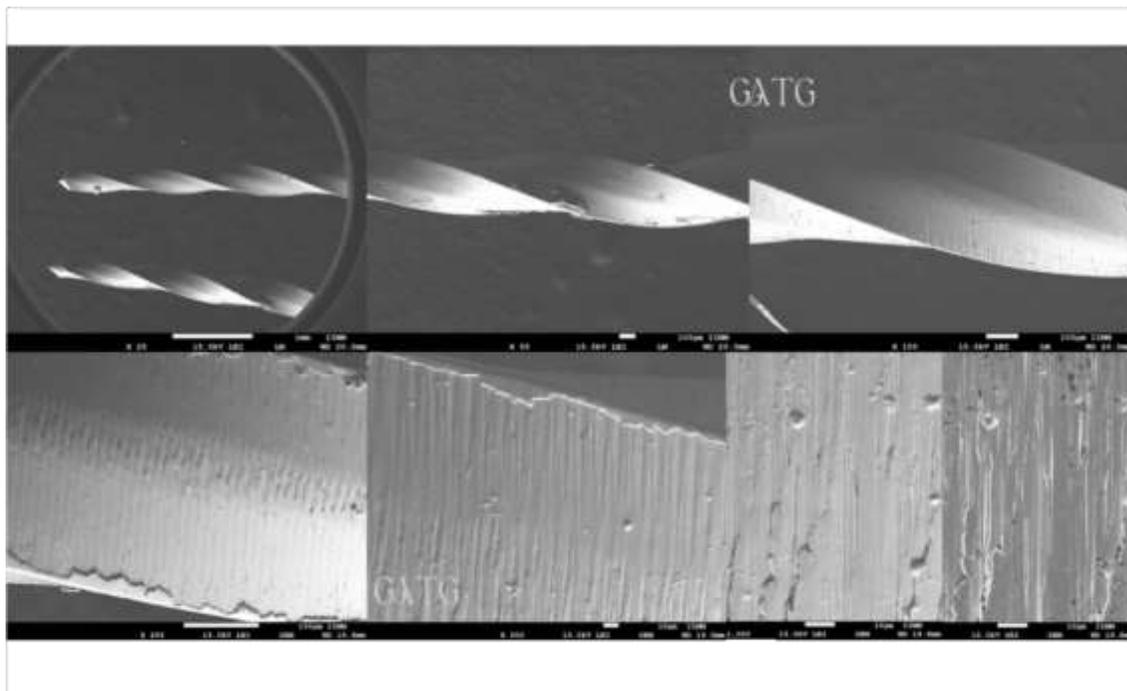


Figura 30.- Imágenes obtenidas al MEB.



Tercer Etapa.-

Una vez obtenidas las micrografías mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), se procedió a un análisis exploratorio visual inicial, con base en la literatura científica sobre alteraciones estructurales asociadas a la fatiga cíclica, torsional y procesos de manufactura. Este análisis permitió identificar patrones de alteración superficial repetitivos en los instrumentos analizados tras el primer, tercer y sexto uso, con dos técnicas de instrumentación distintas.

Entre las características más frecuentemente observadas se encontraron:

- Mermas (estriaciones lineales superficiales).
- Grietas (fisuras finas asociadas a fatiga mecánica).
- Material orgánico adherido (residuos biológicos postuso).
- Marcas de trefilado o manufactura (líneas asociadas al proceso de fabricación).

Estas cuatro categorías fueron seleccionadas por su prevalencia y relevancia clínica y metalúrgica. A partir de ellas, se diseñó un instrumento de evaluación perceptual (encuesta estructurada, mixta y cerrada), con el objetivo de validar si dichas alteraciones eran identificables por otros profesionales con diferente formación y grado de experiencia.

La encuesta constó de 14 ítems, en los que se pedía a los participantes reconocer el tipo de alteración presente en diversas imágenes tomadas con MEB. Se diseñó para ser aplicada en línea. Previo a la aplicación de la encuesta, se presentó a los participantes un video introductorio de 2:30 minutos, en el que se explicaba brevemente que ciertos errores clínicos pueden estar relacionados con alteraciones que no son visibles a simple vista. El video no contenía información sobre el número de usos, las técnicas instrumentales empleadas ni la metodología del estudio, para no inducir sesgos. Su propósito fue sensibilizar la percepción visual del participante sin condicionar sus respuestas, brindando un marco conceptual general sobre defectos microscópicos.

La encuesta fue enviada a tres grupos de expertos:

1. Profesionales clínicos en endodoncia.
2. Estudiantes de posgrado en endodoncia.
3. Especialistas en metalurgia.

Este abordaje mixto permitió comparar la interpretación visual de diferentes perfiles profesionales y contribuir al análisis multidimensional del desgaste instrumental.

A continuación, se presentan capturas de pantalla del formulario creado en google forms.

Fig. 31

DEFECTOS EN EL ACABADO DE SUPERFICIE DE LOS INSTRUMENTOS MECANIZADOS VISTOS EN MEB.

Es un breve formulario para evaluar los principales defectos superficiales de instrumentos analizados bajo el MEB.

1

¿Es usted Estudiante o Especialista (Equivalente) en Endodoncia? *

Estudiante

Especialista o Equivalente

Otro

2

¿Desde hace cuánto tiempo realiza tratamientos de conductos? *

- 5 años

5 a 10 años

+ 10 años

3

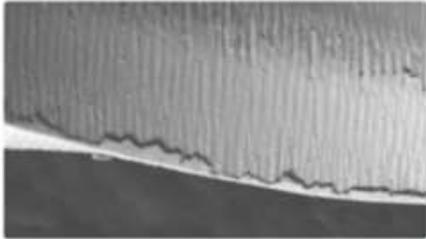
¿Utiliza instrumentos mecanizados? *

Si

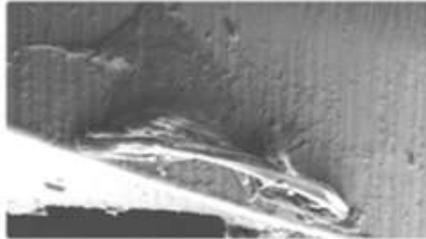
No

4

Elija la imagen que corresponde a la siguiente descripción. Los mermas son áreas de desgaste en los bordes de los extremos cortantes, estos pueden ser irregulares y poco definidos. *



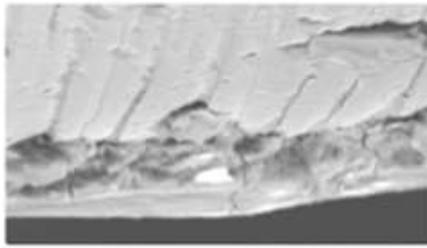
Opción 1



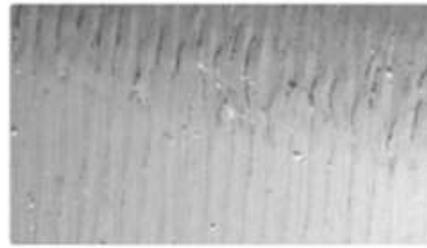
Opción 2

5

Elija la imagen que corresponde a la siguiente descripción. Las marcas de trefilado son líneas paralelas y surcos presentes en la superficie del instrumento, resultado del proceso de fabricación. *



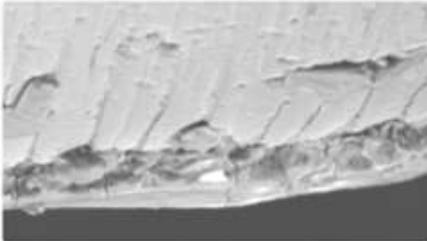
Opción 1



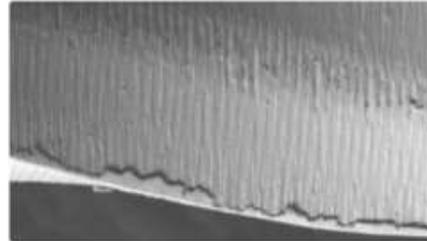
Opción 2

6

Elija la imagen que corresponde a la siguiente descripción. Las grietas son consideradas como la discontinuidad más crítica, se muestra cambios en la textura y el brillo de la superficie circundante, indicando zonas donde el instrumento ha experimentado deformación plástica antes de la formación de microfisuras. *



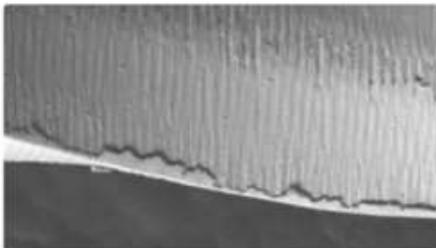
Opción 1



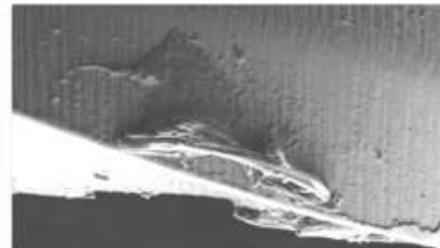
Opción 2

7

Elija la imagen que corresponde a la siguiente descripción. Los desechos orgánicos e inorgánicos son residuos que se adhieren a los instrumentos después de su uso, aparecen como estructuras amorfas, pegajosas o fibrosas que se adhieren a la superficie del instrumento. *



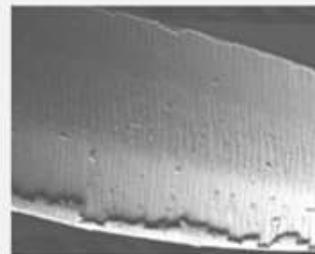
Opción 1



Opción 2

8

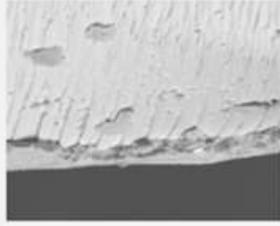
Seleccione las opciones de los defectos que observe en esta imagen. *



- Mermas
- Grietas
- Marcas de Trefilado

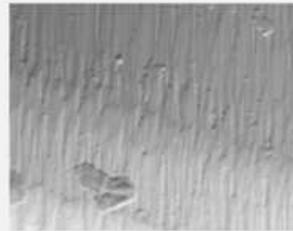


9
Seleccione las opciones de los defectos que observe en esta imagen. *



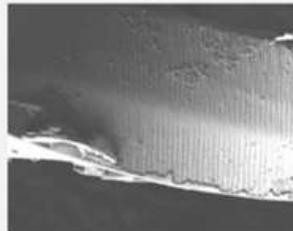
- Desechos orgánicos e inorgánicos
- Marcas de Trefilado
- Grietas

10
Seleccione las opciones de los defectos que observe en esta imagen. *



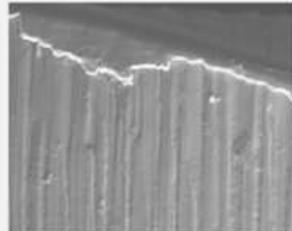
- Mermas
- Marcas de Trefilado
- Desechos orgánicos e inorgánicos

11
Seleccione las opciones de los defectos que observe en esta imagen. *



- Grietas
- Desechos orgánicos e inorgánicos
- Marcas de Trefilado

12
Seleccione las opciones de los defectos que observe en esta imagen. *



- Grietas
- Mermas
- Marcas de Trefilado

13
Seleccione la imagen que considere correspondiente al instrumento nuevo. *

Opción 1 Opción 2 Opción 3

14
Agradeceríamos que calificara la siguiente encuesta en función del nivel de dificultad percibido en el tema, utilizando una escala del 1 al 5, donde 1 indica 'muy complicado' y 5 indica 'muy fácil'. Su evaluación será de gran ayuda para mejorar. **Gracias por tomarse el tiempo para contestar.** *

☆☆☆☆☆

Figura 31.- Formulario creado para la evaluación de las imágenes

Análisis estadístico

Los datos cuantitativos obtenidos a partir de las respuestas de opción múltiple fueron analizados mediante el software SPSS versión XX.

- Se utilizó una prueba de Chi cuadrada (χ^2) para analizar la relación entre el tipo de perfil profesional y la frecuencia de identificación correcta de cada tipo de alteración superficial.
- Se estableció un nivel de significancia estadística de $p < 0.05$.
- Se aplicó un análisis por capas (thematic layering) basado en categorías emergentes, que permitió agrupar respuestas por similitud semántica.

Este análisis mixto (cuantitativo–cualitativo) buscó identificar tendencias de percepción visual según nivel de formación, así como patrones comunes de interpretación clínica sobre las imágenes, lo cual representa una contribución al entendimiento de la percepción diagnóstica basada en imágenes microscópicas.



10. RESULTADOS

En este apartado se presentan los hallazgos derivados del análisis de las alteraciones microscópicas en instrumentos endodónticos, bajo condiciones controladas de exposición visual, la selección de defectos y percepción del uso en los instrumentos. El estudio se sustentó en una serie de micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), seleccionadas para representar patrones recurrentes de deterioro clínicamente relevantes: mermas, líneas de fractura, residuos orgánicos adheridos y marcas de entrefilado.

A través de un instrumento de evaluación perceptual, se exploró la capacidad de identificación de dichas alteraciones por parte de 145 profesionales con distintos niveles de formación y experiencia clínica. **Tabla 1**

El análisis combinó datos cuantitativos e interpretaciones cualitativas, con el objetivo de comprender no sólo el grado de precisión diagnóstica, sino también la manera en que el juicio clínico, la experiencia y la percepción influyen en la lectura visual de evidencias microestructurales.

		Grado	Experiencia
N	Válidos	145	145
	Péridos	0	0

Tabla 1. Distribución de participantes por grupo profesional.

10.1 Perfil de los participantes

Se obtuvo una muestra de N = 145 participantes, distribuidos en tres grupos principales:

Tabla 2

- Especialistas en endodoncia: n = 67
- Estudiantes de posgrado en endodoncia: n = 63
- Especialistas en metalurgia o áreas afines: n = 15.



	Frecuencia	Porcentaje
Válido		
Especialista/Equivalente	67	46.2
Estudiante	63	43.4
Otro	15	10.3
Total	145	100.0

Tabla 2. Distribución de participantes por grado profesional.

10.1.1 Tiempo de experiencia profesional en Endodoncia

Con el objetivo de contextualizar la interpretación visual de las micrografías, se exploró el nivel de experiencia clínica de los participantes en el área de Endodoncia. Esta variable se recolectó mediante una pregunta cerrada de opción múltiple, cuyos intervalos fueron:

- Menos de 5 años
- De 5 a 10 años
- Más de 10 años
- Otro (participantes no clínicos)

La categoría “Otro” fue incluida intencionalmente para permitir la participación de profesionales en ciencias de los materiales y metalurgia, quienes contribuyeron con una mirada técnica complementaria, sin alterar los análisis clínicos. **Tabla 3**

	Frecuencia	Porcentaje
Válido		
-5 años	80	55.2
+10 años	42	29.0
5 a 10 años	8	5.5
Otro	15	10.3
Total	145	100.0

Tabla 3. Distribución de participantes por tiempo de experiencia profesional.



10.2 Análisis de pruebas cruzadas con chi cuadrada

Con el objetivo de explorar posibles asociaciones entre el tiempo de experiencia profesional en Endodoncia y la capacidad de identificación de defectos microscópicos, se aplicó un análisis de contingencia mediante la prueba estadística de Chi cuadrada (χ^2).

El análisis se estructuró por capas, considerando las distintas categorías de experiencia, para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en la percepción e identificación de las alteraciones superficiales según la trayectoria profesional de los participantes. **Tabla 4**

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	porcentaje	N	Porcentaje
Experiencia* IDDefectos1* Grado	145	100.0%	0	0.0%	145	100.0%
Experiencia* IDDefectos2* Grado	145	100.0%	0	0.0%	145	100.0%
Experiencia* IDDefectos3* Grado	145	100.0%	0	0.0%	145	100.0%
Experiencia* IDDefectos4* Grado	145	100.0%	0	0.0%	145	100.0%
Experiencia* IDDefectos* Grado	145	100.0%	0	0.0%	145	100.0%

Tabla 4.- Resumen del procesamiento de los casos

10.2.1 Interpretación de resultados cruzados según formación y experiencia en Endodoncia

El análisis de las tablas cruzadas entre formación profesional (especialista o estudiante) y tiempo de experiencia clínica evidenció diferencias relevantes en la capacidad de identificación perceptual de defectos microscópicos en instrumentos endodónticos. **Tabla 5**



Grado			IDDefectos				
			Grietas	Mermas	Marcas de Trefilado	Desechos Orgánicos	Total
Especialista o Equivalente	Experiencia	- 5 años	20	19	20	20	20
		+10 años	39	40	40	40	41
		5 a 10 años	5	6	6	6	6
Total			64	65	66	66	67
Estudiante	Experiencia	- 5 años	58	58	53	59	60
		+10 años	1	1	1	1	1
		5 a 10 años	2	2	2	2	2
Total			61	61	59	62	63
Otros	Total		15	15	15	15	15
TOTAL			140	141	140	143	145

Tabla 5.- Interpretación de resultados cruzados según formación, experiencia en Endodoncia y en la identificación de grietas, mermas, marcas de trefilado y residuos orgánicos.

- Los especialistas con más de 10 años de experiencia fueron particularmente precisos en la detección de mermas, marcas de trefilado y residuos orgánicos, defectos que requieren una lectura técnica refinada.
- Los estudiantes con menos de 5 años de experiencia mostraron una tasa alta de aciertos en la identificación de residuos orgánicos, grietas y mermas, posiblemente debido a una familiaridad más reciente con literatura científica del tema. Sin embargo, su desempeño fue menos consistente en categorías más sutiles como marcas de trefilado.



- El grupo “otros” integrado por profesionales con formación específica en metalurgia fue incluido como grupo control, dado que se les proporcionó una clave de referencia para evitar sesgos interpretativos en las pruebas perceptuales. Como era de esperarse, identificaron correctamente todos los defectos, por lo que sus resultados no fueron considerados dentro del análisis comparativo clínico, pero sí se utilizaron como parámetro de validación interna del instrumento de evaluación.

10.2.2 Interpretación estadística del análisis de chi cuadrada

Se aplicó una prueba de chi cuadrada de Pearson y razón de verosimilitud para explorar la posible asociación entre la capacidad de identificación de defectos microscópicos y el grado de formación profesional (especialista, estudiante u otros), así como su tiempo de experiencia en Endodoncia.

Por grupos:

- Especialistas o equivalentes
- Chi cuadrado = 6.300 (gl = 12; p = .900)
- Razón de verosimilitud = 6.889 (gl = 12; p = .865)

La alta significación asintótica ($p > .05$) indica que no hay asociación estadísticamente significativa entre la formación como especialista y la identificación perceptual de los defectos microscópicos. Es decir, dentro de este grupo, las respuestas parecen distribuidas de manera aleatoria, sin patrón claro asociado a la formación.

- Estudiantes
- Chi cuadrado = 2.520 (gl = 12; p = .998)
- Razón de verosimilitud = 3.646 (gl = 12; p = .989)

Al igual que en el grupo anterior, no se observó una relación significativa entre el grado de estudiante y la identificación de defectos. La dispersión en las respuestas también sugiere variabilidad individual más que efecto por el grado formativo.

- Otros (grupo control - profesionales en metalurgia)

En este grupo, los estadísticos no fueron calculados debido a que el tiempo de experiencia fue constante en todos los casos, lo que imposibilita el análisis comparativo (es una variable fija).



Total combinado:

- Chi cuadrado total = 33.962 (gl = 21; p = .037)
- Razón de verosimilitud total = 38.020 (gl = 21; p = .013)

Aquí, sí se identifica una diferencia estadísticamente significativa, con un valor de p menor a .05 en ambas pruebas. Esto sugiere que al considerar el total de los grupos, sí existe una asociación entre el perfil del participante (grado formativo + experiencia) y la forma en que identifican las alteraciones microscópicas. Es decir, cuando se analiza el conjunto completo de respuestas, sí se detecta un patrón de interpretación relacionado con la formación y experiencia profesional. **Tabla 6**

Grado		Valor	gl	Significación asintónica (Bilateral)
Especialista o Equivalente	Chi- cuadrado de Pearson	6.307b	12	.900
	Razón de verosimilitud	6.889	12	.865
	N de casos válidos	67		
Estudiante	Chi- cuadrado de Pearson	2.520c	12	.998
	Razón de verosimilitud	3.646	12	.989
	N de casos válidos	63		
Otro	Chi- cuadrado de Pearson	d		
	N de casos válidos	15		
Total	Chi- cuadrado de Pearson	33.962a	21	.037
	Razón de verosimilitud	38.020	21	.013
	N de casos válidos	145		

Tabla 6.- Interpretación estadística del análisis de chi cuadrada.



Notas técnicas:

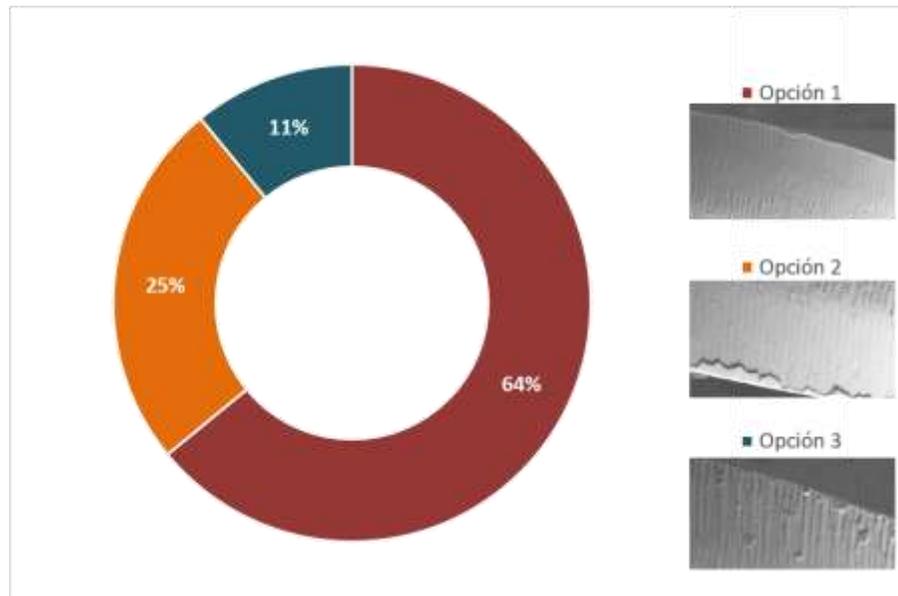
- En el total combinado (letra a), el 71.9% de las casillas tuvieron un recuento esperado menor de 5, y el mínimo fue de 0.06, lo cual puede afectar levemente la robustez del estadístico chi cuadrado, pero no invalida su interpretación.
- Los porcentajes de casillas con recuento bajo también fueron altos en los análisis por grupo (letras b y c), lo que sugiere que el tamaño de muestra en subgrupos puede limitar el poder estadístico.
- En el grupo “otro” (letra d), no se calculó chi cuadrado porque la experiencia era una constante, es decir, todos compartían el mismo valor en esa variable, por lo cual no hay variación a analizar.

10.3 Evaluación Diagnóstica visual mediante imágenes: Selección de defectos y percepción del uso en los instrumentos.

Con el objetivo de profundizar en la evaluación perceptual y diagnóstica de los participantes, se incorporó una segunda fase en el formulario en la que se presentaron imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). En esta sección, se solicitó a los encuestados identificar visualmente diversos defectos estructurales presentes en instrumentos endodónticos, tales como grietas, restos orgánicos e inorgánicos, marcas de trefilado y mermas. A diferencia del bloque anterior —enfocado en el reconocimiento de descripciones técnicas—, esta etapa apeló directamente a la capacidad de observación, interpretación visual y juicio clínico proyectado a partir de evidencias microscópicas.

Este ejercicio permitió aproximarse al grado de agudeza diagnóstica visual que poseen distintos perfiles profesionales ante imágenes de desgaste instrumental, simulando una situación clínica en la que la inspección del instrumento constituye un factor clave para la toma de decisiones terapéuticas.

Asimismo, se incluyó una imagen adicional diseñada para evaluar la percepción sobre el estado de uso de una lima tratada con una técnica instrumental modificada, lo cual aportó evidencia sobre cómo la experiencia previa, la formación, la técnica y los sesgos perceptuales pueden influir en la identificación de patrones estructurales. Puesto que el 64% de los encuestados eligieron como nueva la imagen del instrumento que en realidad tenía 6 usos utilizando la técnica de instrumentación del grupo A. **Grafica 2**



Grafica 2.- Percepción diagnóstica del instrumento nuevo según imagen SEM

Representación porcentual de las respuestas obtenidas tras la evaluación de tres imágenes SEM de limas endodónticas (1,2 y 3) con diferente número de usos y técnicas de instrumentación. La opción 1, correspondiente a un instrumento con seis usos bajo la técnica modificada (Preparación Apical Temprana), fue identificada como “nueva” por la mayoría de los participantes, destacando el impacto perceptual positivo de dicha técnica.



11. DISCUSIÓN

Los hallazgos derivados de este análisis, realizado bajo condiciones controladas de observación, confirman que la capacidad para identificar alteraciones estructurales en instrumentos endodónticos es un entramado complejo de factores perceptivos, cognitivos, formativos y técnicos. Tanto la sección de selección de descripciones como la fase de análisis visual mediante imágenes obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM), aportaron evidencia complementaria sobre las competencias diagnósticas relacionadas con el reconocimiento del desgaste del instrumento, habilidades que resultan fundamentales para lograr una técnica endodóntica segura y sustentada en criterios de integridad estructural.

Un hallazgo particularmente significativo fue que un alto porcentaje de los participantes identificó como “nuevo” a un instrumento que, en realidad, había sido sometido al mayor número de usos. No obstante, este instrumento había sido manipulado bajo un protocolo de instrumentación específicamente diseñado para reducir el estrés friccional y preservar la superficie de corte (grupo A). Este resultado pone en evidencia el valor clínico de las técnicas que minimizan la fatiga cíclica y el deterioro progresivo del instrumento, ya que no solo mejoran la percepción visual de integridad, sino que también contribuyen a reducir el riesgo de accidentes clínicos, como la separación de instrumentos dentro del conducto radicular. (77 y 46)

Esta observación refuerza la noción de que la percepción del uso no siempre se corresponde con la realidad funcional o estructural del instrumento. La superficie puede mantenerse visualmente intacta si se aplican técnicas conservadoras y protocolos de irrigación adecuados. Esto conlleva una doble implicación: por un lado, la necesidad de entrenar al clínico en la lectura fina de signos microscópicos reales de deterioro; y por otro, la conveniencia de emplear estrategias de instrumentación que reduzcan al mínimo la fricción acumulada sobre el instrumento, especialmente en aquellos fabricados con aleaciones de níquel-titanio (NiTi), materiales que son particularmente susceptibles a deformaciones invisibles a simple vista pero clínicamente relevantes (78).



En términos pedagógicos, los resultados respaldan la importancia de introducir entrenamientos estructurados en percepción visual dentro del currículo odontológico, particularmente en la enseñanza de Endodoncia, para comprender con mayor claridad y conciencia lo que sucede cuando el instrumento es sometido a estrés. La capacidad para interpretar imágenes microscópicas, discernir entre defectos de origen mecánico o de manufactura, y juzgar con precisión el estado funcional del instrumento puede desarrollarse mediante el uso de métodos como la simulación visual, el análisis de patrones morfológicos y la retroalimentación guiada (79). La incorporación de ejercicios que integren observación clínica, razonamiento simbólico y entrenamiento visual ha demostrado ser eficaz en el desarrollo de competencias expertas en contextos médicos complejos (80).

Asimismo, los datos obtenidos refuerzan la necesidad de establecer protocolos estandarizados para la inspección y el reemplazo de instrumentos, que contemplen no solo criterios técnicos medibles, sino también límites de uso definidos conforme al tipo de técnica aplicada, al nivel de estrés al que fue sometido el instrumento y a la respuesta visual observable durante el procedimiento. La utilización prolongada sin una evaluación perceptual adecuada puede dar lugar a errores diagnósticos, separación instrumental o sobreinstrumentación, con consecuencias clínicas y legales considerables (81 y 13).

Finalmente, el hecho de que los encuestados evaluaran el nivel de dificultad de la prueba con una media de 4.17 sugiere una comprensión satisfactoria del ejercicio, a pesar de tratarse de un tema altamente especializado.



12. CONCLUSIONES

El presente estudio permitió evidenciar que la capacidad para identificar alteraciones estructurales en instrumentos endodónticos puede desarrollarse eficazmente mediante metodologías de observación controlada. La integración de un enfoque metodológico mixto que combinó el análisis morfológico por microscopía electrónica de barrido (SEM), la categorización estandarizada de defectos superficiales y la evaluación diagnóstica por parte de profesionales, especialistas y estudiantes puso de manifiesto que el juicio perceptual está determinado por una interacción compleja entre habilidades cognitivas, perceptuales y técnicas.

Uno de los hallazgos más significativos fue la identificación errónea, por parte de la mayoría de los participantes, de un instrumento altamente utilizado como si fuera nuevo. Este fenómeno se presentó en el grupo que empleó la técnica de Preparación Apical Temprana (grupo A), lo cual sugiere que dicho protocolo clínico, al disminuir de forma sustancial el estrés friccional, favorece una mayor conservación de la superficie instrumental. Esta técnica permitió no solo un trayecto más seguro y eficiente del instrumento dentro del conducto radicular, sino también una preservación notable de su apariencia y funcionalidad. En contraste, los instrumentos tratados bajo la técnica convencional del grupo B, aunque sometidos al mismo número de usos, evidenciaron mayor deterioro superficial.

Tales resultados subrayan la relevancia de incorporar técnicas de instrumentación que mitiguen la fatiga cíclica, reduzcan el riesgo de fractura y prolonguen la vida útil de los instrumentos, particularmente aquellos fabricados con aleaciones de níquel-titanio (NiTi), cuyos signos de desgaste pueden pasar desapercibidos sin herramientas diagnósticas especializadas.



Finalmente, este estudio contribuye a la comprensión del impacto que tienen las decisiones clínicas sobre la longevidad de los instrumentos y la percepción diagnóstica asociada. Se propone, para investigaciones futuras, ampliar la muestra y diversificar los protocolos de instrumentación, así como evaluar el efecto de variables adicionales como la anatomía del conducto, el tipo de irrigación empleada o la influencia del entrenamiento previo en inspección visual. La integración de estos enfoques permitirá fortalecer los criterios de conservación instrumental y elevar los estándares de seguridad y eficacia en la práctica endodóntica contemporánea.



13. ANEXOS

13.1 GLOSARIO

Análisis morfológico: Estudio de la forma y estructura de un objeto.

Imágenes de alta resolución: Fotografías detalladas obtenidas con un SEM.

Análisis de superficie: Estudio de las características de la superficie de un material.

Afilado: Proceso de crear un borde cortante agudo en instrumentos.

Aleación: Mezcla de dos o más metales, en este caso, níquel y titanio.

Ciclos de carga: Repetición de esfuerzos aplicados a un material.

Ciclos de esterilización: Procesos utilizados para eliminar contaminantes de los instrumentos.

Conducto radicular: Espacio dentro de la raíz dental donde se encuentra la pulpa.

Contaminación superficial: Presencia de materiales no deseados en la superficie del instrumento.

Corrosión: Degradación del material debido a reacciones químicas con el entorno.

Cristalización: Proceso en el que los átomos se organizan en un patrón estructural regular.

Deslaminado: Pérdida de capas de material de la superficie.

Deformación plástica: Cambio permanente en la forma de un material bajo tensión.

Desgaste: Pérdida de material debido a fricción o abrasión.

Desechos orgánicos: Residuos biológicos, como tejidos y fluidos.

Desechos inorgánicos: Restos no biológicos, como partículas de dentina.

Durabilidad: Capacidad de un instrumento para mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo.

EDS (Espectroscopía de Energía Dispersiva de Rayos X): Técnica analítica que identifica la composición elemental de los materiales.

Estrés: Fuerza aplicada por unidad de área en un material.

Espesor del material: Medida de la profundidad del instrumento en su sección transversal.

Endodoncia: Rama de la odontología que trata la pulpa dental y los tejidos periapicales.

Fatiga del material: Degradación del material por ciclos repetidos de carga.



- Fatiga de contacto:** Degradación por el contacto repetido entre superficies.
- Fractura:** Ruptura del material debido a estrés mecánico.
- Fractura dúctil:** Ruptura que ocurre con una deformación significativa antes de la fractura.
- Fractura frágil:** Ruptura que ocurre sin deformación previa significativa.
- Fricción:** Resistencia al movimiento entre superficies en contacto.
- Grietas:** Fisuras que se forman en la superficie del material.
- Homogeneidad:** Uniformidad de la composición y estructura de un material.
- Interacción mecánica:** Forma en que dos o más materiales interactúan bajo esfuerzo.
- Instrumento mecanizado:** Herramienta utilizada en endodoncia para la preparación de conductos radiculares.
- Microestructura:** Estructura interna de un material a escala microscópica.
- Microgrietas:** Grietas muy pequeñas, a menudo invisibles a simple vista.
- Morfología:** Estudio de la forma y estructura de los objetos.
- Nanotecnología:** Manipulación de la materia a escala nanométrica.
- Oxidación:** Reacción química que implica la pérdida de electrones, que puede afectar la superficie del instrumento.
- Porosidad:** Presencia de pequeños poros o vacíos en un material.
- Propiedades mecánicas:** Características físicas de un material que determinan su comportamiento bajo cargas.
- Patrón de fractura:** Características visibles de la superficie donde ocurrió la fractura.
- Recubrimiento:** Material adicional aplicado a la superficie para mejorar propiedades.
- Rendimiento:** Eficiencia con la que un instrumento realiza su función.
- Rugosidad:** Irregularidad de la superficie de un material.
- Resistencia al desgaste:** Capacidad de un material para resistir la pérdida de material por fricción.
- Superficie de corte:** Área del instrumento que realiza la acción de corte.
- SEM (Microscopio Electrónico de Barrido):** Instrumento que utiliza electrones para formar imágenes de alta resolución de la superficie de los materiales.
- Superficie laminada:** Capas delgadas de material que se adhieren a la superficie del instrumento.
- Strain (Deformación):** Cambio en la forma de un material en respuesta al estrés.



Trefilado: Proceso de estiramiento y conformado de metal.

Tratamiento térmico: Proceso de calentamiento y enfriamiento para modificar las propiedades del material.

Temperatura de operación: Rango de temperatura en el cual se utiliza el instrumento.

Tensil: Relacionado con la tensión o el esfuerzo aplicado a un material.

Tensile strength (Resistencia a la tracción): Máxima tensión que un material puede soportar antes de romperse.

Termomecánica: Estudio de la interacción entre las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales.

Tratamiento superficial: Procesos aplicados a la superficie de un material para mejorar sus propiedades.

Uniformidad: Consistencia en la estructura y composición de un material a lo largo de su extensión.

Utilización: Manera en que un instrumento es empleado durante un procedimiento.

Visibilidad: Capacidad de observar características de la superficie bajo el microscopio.

Wear (Desgaste): Pérdida de material de la superficie debido a fricción o abrasión.

Zonas de fatiga: Áreas donde el material ha sido debilitado por ciclos de carga repetidos.



14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Kosa DA, Marshall G, Baumgartner JC. An analysis of canal centering using mechanical instrumentation techniques. *Journal of Endodontics* 1999;25(6):441-445.
2. Zelada G, Varela P, Martín B, Bahílllo JG, Magán F, Ahn S. The effect of rotational speed and the curvature of root canals on the breakage of rotary endodontic instruments. *Journal of endodontics* 2002;28(7):540-542.
3. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *Journal of endodontics* 2000;26(3):161-165.
4. Sattapan B, Palamara JE, Messer HH. Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files. *Journal of endodontics* 2000;26(3):156-160.
5. Pruett JP, Clement DJ, Carnes Jr DL. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *Journal of endodontics* 1997;23(2):77-85.
6. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, Micele L, Ruggeri O, Prati C. Cyclic Fatigue Testing and Metallographic Analysis of Nickel-Titanium Rotary Instruments. *Journal of Endodontics* 2011;37(7):1013-1016.
7. Jovanović-Medojević M, Zdravković A, Medojević M, Stratimirović Đ. Evaluation of surface characteristics of new rotary nickel-titanium instruments-SEM-EDS analysis. *Stomatoloski glasnik Srbije* 2021;68(1):19-30.
8. Peters OA, Peters CI. *Cleaning and shaping of the root canal system*. 2010
9. Lopes HP, Elias CN, Amaral G, Vieira VT, Moreira EJ, Mangelli M, et al. Torsional properties of pathfinding instruments. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 2011;112(5):667-670
10. Moreno, D.M. *Avances en la metalúrgia de las limas endodónticas mecanizadas en la era actual, Revisión bibliográfica. Tesis para optar el grado de Especialista en Endodoncia*. Venezuela, Universidad de carabobo. 2019.
11. Ortiz Coba DC, Guillén Guillén RE, Hidalgo Moya VM, Terán Ayala SB. Defectos superficiales de las limas mecanizadas después de la instrumentación de conductos curvos. *MetroCiencia* [Internet]. 29 de diciembre de 2023 [citado 30 de septiembre de 2024];31(4):29-34. Disponible en: <https://www.revistametrociencia.com.ec/index.php/revista/article/view/61>



12. West española Asunción Varela Patiño 2005 influencia del Glidepath Factores que influyen en la fractura de los instrumentos Martin
13. Szwom, Ruben Jaime, Esp María de los Ángeles Guardiola, and Carlos Daniel De La Vega Elena. "Evaluación de la curvatura radicular de la raíz mesio vestibular del primer molar inferior." *Revista Expressão Católica Saúde* 5.1 (2020): 48-56.
14. Abou-Rass M, Jastrab RJ. The use of rotary instruments as auxiliary aids to root canal preparation of molars. *J Endod.* 1982 Feb;8(2):78-82. doi: 10.1016/S0099-2399(82)80262-8. PMID: 6950019.
15. Roig-Cayón M, Basilio-Monné J, Abós-Herrándiz R, Brau-Aguadé E, Canalda-Sahli C. A comparison of molar root canal preparations using six instruments and instrumentation techniques. *J Endod.* 1997 Jun;23(6):383-6. doi: 10.1016/S0099-2399(97)80188-4. PMID: 9545948.
16. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971 Aug;32(2):271-5. doi: 10.1016/0030-4220(71)90230-1. PMID: 5284110.
17. Marcano, M. (2000). *Prevención y tratamiento de los accidentes durante la terapia endodóntica.* Venezuela: Melibea.
18. BRAMANTE, C. M. et al. *Acidentes y complicações na instrumentação.* In: *Acidentes e complicações no tratamento endodôntico.* 2. ed. São Paulo: Santos; 2004. p 59 – 106.
19. Martina, Stefano, et al. "Modern rotary files in minimally invasive endodontics: A case report." *Frontiers in Bioscience-Elite* 13.2 (2021): 299-304. DOI:10.52586/E886]
20. Soares, Ilson José, and Fernando Goldberg. *Endodoncia. Técnica y fundamentos.* Ed. Médica Panamericana, 2002.
21. Berman, Louis H., and Kenneth M. Hargreaves. Cohen. *Vías de la pulpa.* Elsevier Health Sciences, 2022.
22. Flores, S. "Manual de prácticas: Endodoncia clínica." Chihuahua, México: Universitaria UACJ 2.4 (2004).
23. West, John. "Ni-Ti goes gold: "Ten clinical distinctions". " *Dent Today* 34.4 (2015): 66-71.
24. Ruddle, Clifford J., Pierre Machtou, and John D. West. "Endodontic canal preparation: new innovations in glide path management and shaping canals." *Dent today* 33.6 (2014): 118-23.



25. Peters, Ove A. "Rotary Instrumentation: An Endodontic Perspective." (2008).
26. West, John D. "The endodontic Glidepath: Secret to rotary safety." *Dentistry today* 29.9 (2010): 86-88.
27. Leonardo M.R. y Leonardo R.T. Sistemas rotatorios en endodoncia: Instrumentos de Níquel- Titanio. Brasil. Artes médicas Latinoamerica; 2002.
28. Nieto C, Mendoza D. Estudio comparativo de los defectos superficiales de las limas Reciproc y Wave One Gold después de la instrumentación de conductos radiculares en molares extraídos mediante el uso de microscopía electrónica de barrido. *Odonto Investigación*. 2017.
29. De Toledo LR, García PC, Jaime A, Jent C. Mechanized Instrumentation of Root Canals Oscillating Systems. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. 2013; 14 (1): 149-152.
30. Unno H, Ebihara A, Hirano K, Kasuga Y, Omori S, Nakatsukasa T et al. Mechanical Properties and Root Canal Shaping Ability of a Nickel-Titanium Rotary System for Minimally Invasive Endodontic Treatment: A Comparative In Vitro Study. *Materials*. 2022;15(7929).
31. Nasseh, Allen Ali, Martin Trope, and John West. "Minimally invasive endodontics: finding the right balance between "too much" and "not enough"." *Compendium* 37.1 (2016): 12.
32. Gluskin, Alan H., Christine I. Peters, and Ove A. Peters. "Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms." *British dental journal* 216.6 (2014): 347-353.
33. Fariniuk LF, Westphalen VPD, Silva- Neto UX, Carneiro E, Barato FF et al. Efficacy of Five Rotary Systems Versus Manual Instrumentation During Endodontic Retreatment. *Braz Dent J*. 2011;22(4): 294-298.
34. Fernández Ponce de León, Y. F. y Mendiola A.C. Evolución de los sistemas rotatorios en endodoncia: propiedades y diseño. *Revista Estomatológica Herediana*. 2011; vol. 21(núm. 1): 51-54.
35. Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;105(6):798-800.



36. Todo lo que debes saber sobre las limas de endodoncia: (I) Limas manuales [Internet]. Dentaltix - Depósito Dental Online. [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.dentaltix.com/es/blog/todo-lo-que-debes-saber-las-limas-endodoncia-i-limas-manuales>
37. Flor, Silvia de la. Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma. Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
38. Thompson, S.A. An overview of nickel- titanium alloys used in dentistry. International Endodontic Journal. 2000; 33, 297-310.
39. Duerig, Thomas W., K. N. Melton, and D. W. C. M. Stöckel. Engineering aspects of shape memory alloys. Butterworth-heinemann, 2013.
40. Chan WS, Gulati K, Peters OA. Advancing Nitinol: From Heat Treatment to Surface Functionalization for Nickel-Titanium (Niti) Instruments in Endodontics. Bioactive Materials. 2023; 22: 91-111
41. Ninan E, Zapf A, Berzins DW. Hardness And Microstructure Of Nickel-Titanium Endodontic Instruments. In: International Association for Dental Reseach. 2012.
42. Blau, Peter J. "The significance and use of the friction coefficient." *Tribology International* 34.9 (2001): 585-591.
43. Martín, Marta María Martín. Estudio de factores tecnológicos en procesos de compresión por deformación plástica de materiales metálicos dúctiles por el método de los elementos finitos. Diss. UNED. Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2011.
44. Schafer, Julio Alberto Aguilar. *Deformación elástica, plástica y fatiga*. Descargado 2022-03-30, de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Libros/2013/cml/5-Deformacion.pdf>.
45. Rodríguez Y. Deformaciones plásticas y elásticas de los materiales [Internet]. ESingeniería Pro. 2022 [cited 2024 Jul 30]. Available from: <https://esingenieria.pro/deformaciones-plasticas-y-elasticas-de-los-materiales/>
46. 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; 39(2):163-72.



47. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schafer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *International Endodontic Journal*. 2018;51:1088–103.
48. Detección e identificación de defectos en el acero durante la preparación de superficies [Internet]. Graco.com. [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.graco.com/es/es/contractor/solutions/articles/detecting-defects-in-steel-during-surface-preparation.html>
49. ¿Qué significa RMS? [Internet]. Radver.com. [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.radver.com/articulos-fundicion-metales/12-la-fundicion-de-metales/54-%C2%BFqu%C3%A9-significa-rms.html>
50. Leo G. Todo lo que necesitas saber sobre la rugosidad de las superficies [Internet]. Aria | Online Manufacturing For On-Demand Custom Services. Aria Manufacturing Limited; 2023 [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: <https://www.madearia.com/es/blog/surface-roughness-chart/>
51. LAS GRIETAS EN SOLDADURA, ¿POR QUE SE PRESENTAN? [Internet]. Doctorwelding. 2020 [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: <https://doctorwelding.com/las-grietas-en-soldadura-por-que-se-presentan/>
52. Rios Carreño, Daniela Nathaly. Evaluación a microscopía electrónica de barrido de la superficie de instrumentos Recipro[®] posterior al uso. Diss. 2012.
53. Castro R, Lopes V, Bahia M. Características físicas, estruturais e mecânicas de instrumentos endodônticos de NiTi ProTaper. [Sede Web]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil. 2008. Tesis de Doctorado [Fecha de acceso 23 de mayo 2012] Disponible en: <http://hdl.handle.net/1843/MAPO-7REMS5>
54. Products [Internet]. Dental-perfect.com. [citado el 7 de julio de 2024]. Disponible en: https://www.dental-perfect.com/doctor/pro_detail.html#/29
55. JEOL USA Press Releases | JEOL Introduces New Thermal FE-SEM at M&M 2008 [Internet]. www.jeolusa.com. [cited 2023 Mar 10]. Available from: <https://www.jeolusa.com/NEWS-EVENTS/Press-Releases/jeol-introduces-new-thermal-fe-sem-at-mm-2008>
56. Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Microscopia [Internet]. www.iim.umich.mx. [cited 2023 Mar 7]. Available from: <https://www.iim.umich.mx/laboratorios/microscopia>



57. Hanan, A. R. A., Meireles, D. A. D., Sponchiado Júnior, E. C., Hanan, S., Kuga, M. C., & Bonetti Filho, I. (2015). Surface characteristics of reciprocating instruments before and after use-A SEM analysis. *Brazilian Dental Journal*, 26, 121-127.
58. Tripi, T. R., Bonaccorso, A., Tripi, V., Condorelli, G. G., & Rapisarda, E. (2001). Defects in GT rotary instruments after use: an SEM study. *Journal of endodontics*, 27(12), 782-785.
59. Altufayli, Mohammad Daher, et al. "Shaping ability of reciproc blue versus one curve in curved canal: an In-Vitro study." *Cureus* 14.4 (2022).
60. Caballero, H., Rivera, F., & Salas, H. (2015). Scanning electron microscopy of superficial defects in T wisted files and Reciproc nickel–titanium files after use in extracted molars. *International endodontic journal*, 48(3), 229-235.
61. Walia H, Brantley WA, Gerstein H. An Initial Investigation of the Bending and Torsional Properties of Nitinol Root Canal Files. *JOE*. 1988;14(7):346–51.
62. Alapati S.B., Brantley W.A., Clark W.A.T., Kovarik L., Buie C., Liu J. and Johnson W.B. Metallurgical Characterization of a New Nickel-Titanium Wire for Rotary Endodontic Instruments. *JOE*. 2009; 35(11): 1589-1593.
63. Zinelis S, Eliades T, Eliades G. A metallurgical characterization of ten endodontic NiTi instruments: assessing the clinical relevance of shape memory and superelastic properties of NiTi endodontic instruments. *IEJ*. 2010; 43: 125- 134.
64. Martins JNR, Silva EJNL, Marques D, Belladonna FG, Simões-Carvalho M, da Costa RP, Ginjeira A, Braz Fernandes FM, Versiani MA. Comparison of five rotary systems regarding design, metallurgy, mechanical performance, and canal preparation-a multimethod research. *Clin Oral Investig*. 2022;26(3):3299-3310.
65. Martins JNR, Silva EJNL, Marques D, Belladonna F, Simões-Carvalho M, Vieira VTL, Antunes HS, Braz Fernandes FMB, Versiani MA. Design, metallurgical features, mechanical performance and canal preparation of six reciprocating instruments. *Int Endod J*. 2021;54(9):1623-1637.
66. Seracchiani M, Reda R, Zanza A, D'Angelo M, Russo P, Luca T. Mechanical Performance and Metallurgical Characteristics of 5 Different Single-file Reciprocating Instruments: A Comparative In Vitro and Laboratory Study. *Journal of Endodontics*. 2022; 48(8): 1073-1080.



67. Alexandru G, Chrissafis K, Vasiliadis L, Pavlidou E, Polychroniadis E. SEM Observations and diferencial scannin calorimetric studies of new and sterilized Nickel-Titanium rotary endodontic Instruments. Basic Research. 2006; 32 (7): 675- 679.
68. McCormick PG, Liu Y. Thermodynamic analysis of the martensitic transformation in NiTi—II. Effect of transformation cycling. Acta Metallurgica et Materialia 1994;42(7):2407-2413.
69. Gavini G, Santos Md, Caldeira CL, Machado MEdL, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel–titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. Brazilian oral research 2018;32:e67.
70. AbdAllah D, Elddamony E, Abdelgawad R. Surface topography and chemical characteristics of rotary ni ti files of different manufacturing techniques after multiple use. Egyptian Dental Journal 2020;66(1-January (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)):633-643.
71. Gutmann JL, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel–titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. International Endodontic Journal 2012;45(2):113-128.
72. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. Journal of endodontics 2011;37(7):997-1001.
73. Martins R, Bahia M, Buono V. Surface analysis of ProFile instruments by scanning electron microscopy and X-ray energy-dispersive spectroscopy: a preliminary study. International endodontic journal 2002;35(10).
74. Ha J-H, Kwak SW, Versluis A, Lee C-J, Park S-H, Kim H-C. The geometric effect of an off-centered cross-section on nickel–titanium rotary instruments: A finite element analysis study. Journal of Dental Sciences 2017;12(2):173-178.
75. Galal M, Hamdy TM. Evaluation of stress distribution in nickel-titanium rotary instruments with different geometrical designs subjected to bending and torsional load: a finite element study. Bulletin of the National Research Centre 2020;44(1):121.
76. Martins SCS, Garcia PR, Viana ACD, Buono VTL, Santos LA. Off-Centered Geometry and Influence on NiTi Endodontic File Performance Evaluated by Finite Element Analysis. Journal of Materials Engineering and Performance 2020;29(4):2095-2102.



77. 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):1469-76. doi: 10.1016/j.joen.2009.06.015. Epub 2009 Sep 1. PMID: 19840633.
78. Pedullà E, Plotino G, Grande NM, Scibilia M, Pappalardo A, Malagnino VA, Rapisarda E. Influence of rotational speed on the cyclic fatigue of Mtwo instruments. *Int Endod J.* 2014 Jun;47(6):514-9. doi: 10.1111/iej.12178. Epub 2013 Aug 31. PMID: 23992374.
79. Norman KA, Polyn SM, Detre GJ, Haxby JV. Beyond mind-reading: multi-voxel pattern analysis of fMRI data. *Trends Cogn Sci.* 2006 Sep;10(9):424-30. doi: 10.1016/j.tics.2006.07.005. Epub 2006 Aug 8. PMID: 16899397.
80. Ericsson KA. Deliberate practice and acquisition of expert performance: a general overview. *Acad Emerg Med.* 2008 Nov;15(11):988-94. doi: 10.1111/j.1553-2712.2008.00227.x. Epub 2008 Sep 5. PMID: 18778378.
81. Berutti E, Chiandussi G, Gaviglio I, Ibba A. Comparative analysis of torsional and bending stresses in two mathematical models of nickel-titanium rotary instruments: ProTaper versus ProFile. *J Endod.* 2003 Jan;29(1):15-9. doi: 10.1097/00004770-200301000-00005. PMID: 12540212.

Gloria Angélica Torres García

Efecto de la fricción sobre la superficie de corte de las limas NiTi evaluadas al microscopio electr

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:467462378

Fecha de entrega

16 jun 2025, 7:18 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

16 jun 2025, 7:24 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

Efecto de la fricción sobre la superficie de corte de las limas NiTi evaluadas al microscopio electr....pdf

Tamaño de archivo

2.0 MB

90 Páginas

24.389 Palabras

139.017 Caracteres

32% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 31%  Fuentes de Internet
- 14%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Especialidad en Endocrinología	
Título del trabajo	Efecto de la fricción sobre la superficie de corte de los limas Niti evaluadas al NEB: estudio piloto de dos protocolos de instrumentación.	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Gloria Angelica Torres Garcia	158096sd@umich.mx
Director	Martin Alberto Loeza Ramirez	martin.loeza@umich.mx
Codirector	Luis Alberto Pantaja Villa	luis.pantaja@umich.mx
Coordinador del programa	Martin Alberto Loeza Ramirez	martin.loeza@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	NO	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	no	
Traducción a otra lengua	si	Uso del traductor a inglés (abstrac)
Revisión y corrección de estilo	no	
Análisis de datos	no	
Búsqueda y organización de información	no	
Formateo de las referencias bibliográficas	no	
Generación de contenido multimedia	no	
Otro		

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Gloria Angélica Torres 
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán 25 Junio 2025