

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

POSTGRADO DE ENDODONCIA

EVALUACIÓN BAJO MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA
SUPERFICIE DE INSTRUMENTOS RECIPROC® POSTERIOR AL USO

Trabajo especial de grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela por la Odontóloga
Daniela Nathaly Ríos Carreño,
para optar al Título de
Especialista en Endodoncia.

Caracas, Octubre de 2012

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

POSTGRADO DE ENDODONCIA

EVALUACIÓN BAJO MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA
SUPERFICIE DE INSTRUMENTOS RECIPROC® POSTERIOR AL USO

Autor: Od. Daniela Nathaly Ríos Carreño

Tutor: Od. Alba Villalobos

Caracas, Octubre de 2012

VEREDICTO APROBRATORIO

Aprobado en nombre de la
Universidad Central de Venezuela
por el siguiente jurado examinador

(Coordinador) Nombre y apellido	Firma
---------------------------------	-------

C.I:

Nombre y apellido	Firma
-------------------	-------

C.I:

Nombre y apellido	Firma
-------------------	-------

C.I:

Observaciones _____

Caracas, Septiembre de 2012

RESUMEN

En el presente estudio se realizó una observación bajo microscopía electrónica de barrido al aspecto morfológico de la superficie de instrumentos oscilatorios compuestos por aleación de NiTi M-wire antes y después de su uso. Se analizaron 12 instrumentos Reciproc® R25 (VDW, Múnich, Alemania) nuevos y se utilizaron 43 molares inferiores humanos extraídos. Se determinó la longitud de trabajo a los conductos, y el ángulo de curvatura la cual fue en promedio de 40,3°. La preparación de los conductos fue realizada siguiendo las instrucciones del fabricante por un solo operador. Se evaluaron defectos, imperfecciones y características producto de la fabricación en instrumentos nuevos, y cambios en la superficie y defectos como oquedades, microfracturas, achatamientos, deformación plástica y fractura de los instrumentos usados. Los instrumentos nuevos presentaron las marcas usuales de maquinado, así como presencia de desechos en la superficie, imperfecciones en la punta de dos instrumentos y exceso de metal sobre los bordes cortantes. Luego del primer uso la muestra se dividió en dos grupos, Grupo 1 y Grupo 2. En los instrumentos usados se observaron fracturas en el segundo y cuarto uso, y una deformación plástica en el tercer uso. El defecto observado en todos los instrumentos desde el primer uso fueron las oquedades, y el más predominante fue el achatamiento sobre la punta. Se observaron microfracturas desde el cuarto uso en Grupo 1 y desde el primer uso en Grupo 2. También se evaluaron las características fractográficas del área fracturada.

DEDICATORIA

A mi madre, Raiza Carreño

Mi motivación y mis ganas de seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

A mi *Alma mater*, la Universidad Central de Venezuela, por acogerme una vez más y permitirme ser la persona que soy actualmente.

A mi tutora, la Profesora Alba Villalobos, por su guía, ayuda y consejos en el desarrollo de esta investigación

Al Profesor Juan Saavedra, por haberme dado la motivación, ayuda desinteresada y sincera, por sus consejos de vida, enseñarme la constancia y por haber prestado sus equipos en el desarrollo de esta investigación. Porque más que un profesor es un amigo, y un ejemplo a seguir.

Al Profesor Carlos García Puente, quien sin conocerme, me brindó ayuda y conocimientos sobre el instrumental rotatorio y oscilatorio.

A las Profesoras Aurora Lasala, Mariela Fajardo y a nuestra madrina Beatriz Millán, a quienes les tengo mucho afecto y respeto, gracias por el apoyo y los consejos en los momentos más oportunos.

A los Profesores de Postgrado, al Profesor Miguel Ángel Aznar, coordinador del postgrado, por ser pilar de nuestra formación; a la Profesora Eliana Burguera, al Profesor Juan Goncalves, a la Profesora Elsa

DiGiusseppe, a la Profesora Adriana Restifo, al Profesor Andrés Alam, por tantas experiencias y conocimientos impartidos.

A Samuel García, Técnico del Centro de Microscopía, cuya pasión, conocimiento y horas de trabajo durante meses va impresa en esta investigación, por tomar en cuenta todos los detalles para hacer fotografías de la mejor calidad posible.

Al personal del Centro de Microscopía de la Facultad de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los materiales, por haberme brindado la ayuda necesaria y haber exonerado en varias ocasiones el costo de las sesiones de microscopía de manera desinteresada.

A mis compañeras de postgrado, Susana Papadakis, Nathaly Olivo, Fariosca Caballero, Marie Mora y Faride Szemat. Por todos los momentos que vivimos juntas, más buenos que malos, por la constancia y perseverancia.

A mis amigas, quienes me ayudaron en este largo viaje, que estuvieron allí siempre presentes y nunca me dejaron caer.

LISTA DE CONTENIDO

VEREDICTO APROBRATORIO	iii
RESUMEN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE GRAFICOS.....	xiv
LISTA DE TABLAS.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	3
1.1 Objetivo general	3
1.2 Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
1. Estudios previos de evaluación de instrumental rotatorio bajo MEB....	5
2. Aleación de Níquel Titanio (NiTi).....	11
3. Estructura del Níquel-Titanio	12
4. Aleación de Níquel-Titanio M-Wire.....	18
5. Características morfológicas de los instrumentos rotatorios de NiTi..	21

6.	Fabricación del instrumento	22
7.	Sistemas mecanizados oscilatorios - recíprocos	24
7.1	Reciproc®	31
7.1.1	Características generales	31
7.1.2	Diseño	32
7.	Técnica de uso	36
7.1.3.1.	Frecuencia de uso	36
7.1.3.2.	Selección del instrumento Reciproc® Adecuado	37
7.1.3.3	Preparación paso a paso	38
8.	Desgastes y deformaciones que pueden ser observadas sobre la superficie de los instrumentos de NiTi.....	39
8.1	Sobre la superficie de instrumentos nuevos	39
8.2	Sobre la superficie de instrumentos usados	40
8.2.1	Oquedades	42
8.2.2	Deformación plástica	42
8.2.3	Microfracturas	44
8.2.4	Fractura	45
8.2.4.1	Fractura frágil.....	46
8.2.4.2	Fractura dúctil	47

8.2.4.3	Fractura por torsión	48
8.2.4.4	Fractura por fatiga	49
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	53
1.	Observación de la muestra bajo microscopía electrónica de barrido .	54
2.	Manejo del material biológico (dientes humanos extraídos)	56
2.1	Los criterios de inclusión	57
2.2	Los criterios de exclusión	57
3.	Estandarización de los dientes utilizados	58
4.	Preparación de la muestra	58
5.	Ciclo de observación.....	60
6.	Criterios para la evaluación.....	61
IV.	RESULTADOS.....	66
1.	Evaluación de instrumentos nuevos.....	66
2.	Grupo 1.....	72
2.1	Tiempo 1 (T1).....	72
2.2	Tiempo 2 (T2).....	73
2.2.1	Análisis de fractura del instrumento N°8.....	75
2.2.2	Análisis de fractura del instrumento N°10.....	77

2.3 Tiempo 3 (T3).....	79
2.4 Tiempo 4 (T4).....	80
3. Grupo 2.....	85
3.1 Tiempo 1 (T1).....	87
3.2 Tiempo 2 (T2).....	88
3.3 Tiempo 3 (T3).....	89
3.4 Tiempo 4 (T4).....	90
3.4.1 Análisis del instrumento fracturado N° 12	93
V. DISCUSIÓN	95
VI. CONCLUSIONES	104
VI. RECOMENDACIONES	107
Vii. REFERENCIAS	108
VIII. ANEXOS	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación de la transformación austenita- martensita y efecto de memoria de forma de la aleación de NiTi. Tomado de Thompson (19) 2000.....	13
Figura 2. Muestra de forma esquemática, las temperaturas de inicio y final de la formación de martensita durante el enfriamiento, y las temperaturas de inicio y fin de la transformación martensita a austenita por calentamiento. El intervalo entre las temperaturas de transformación M_f y A_f define el comportamiento y la aplicabilidad de la aleación con memoria de forma, pues en este intervalo es que el efecto de memoria de forma opera, en cuanto a que la superelasticidad ocurre a temperaturas justo por encima de A_f . Tomado de Martins y col (5) 2008.....	15
Figura 3. Representación del efecto de superelasticidad de las aleaciones de NiTi. Tomado de Thompson (19) 2000.....	17
Figura 4. Transformación de las fases de NiTi. Tomado de Thompson (19).....	18
FIGURA N°5. Imágenes de electrones secundarios obtenida mediante MEB bajo la misma magnificación de estructuras macladas. (A) Alambre súper elástico Maillefer y (B) M-wire. La estructura martensítica de (B) es más fina y muestra mucho mas maclado, causado por el tratamiento térmico extenso. Ambas aleaciones tenían composiciones cercanamente equiatómicas (nitinol tipo 55). Tomado de Alapati y col (24), 2009.....	21
Figura 6. Características morfológicas de un instrumento rotatorio de NiTi. Tomado de Renato y Toledo. 2012 (26).....	22
Figura 7. Representación de los diferentes movimientos mecánicos. Tomada de Renato y Toledo 2012 (26).....	27
Figura 8. Representación gráfica de la cinemática de la rotación continua y la oscilación. Tomado de Leonardo y Toledo 2012 (28).....	28
Figura 9. Descripción las reacciones que ocurren a lo largo de los ángulos de las hojas de corte de una lima tipo K durante la rotación hacia y en contra de las agujas del reloj. Tomado de Roane y Sabala 1985 (30).....	29

Figura 10. a) Reciproc con rosca izquierda y b) Mtwo con rosca derecha. Tomado de Leonardo y Toledo 2012 (28).....	30
Figura 11. Vista transversal del instrumento Reciproc ® R25. Obtenida de Yared (32) 2011.....	32
Figura 12. Imagen de las hojas de corte, sin superficie radial. Tomada de Yared (32) 2011.....	32
Figura 13. Imagen mostrando la punta del instrumento. Tomada de Reciproc® Brochure (33) 2011.....	33
Figura 14. Mango del instrumento Reciproc ® R25. Tomada y modificada de Reciproc® Brochure (33) 2011.....	34
Figura 15. Conicidad del instrumento Reciproc® R25, R40 y R50 Tomado de Reciproc® Brochure (33).....	34
Figura 16. Motor VDW Silver®. Tomado de Reciproc® Brochure (33).....	35
Figura 17. Instrucciones del fabricante acerca de la selección del Reciproc ® adecuado y preparación. Tomado de Reciproc® brochure(33).....	35
Figura 18. Instrucciones del fabricante acerca de la preparación con Reciproc ®. Tomado de Reciproc® brochure (33).....	38
Figura 19. Defectos de fabricación. a. desechos, b. líneas de maquinado, c. áreas planas, d. exceso de metal. Tomado de Tripi y col (3) 2001, Lui (18) 2009.	40
Figura 20. Defectos y/o deformaciones encontradas en instrumentos de NiTi usados. a. Desechos. Tomado de Martins y col (5) b Oquedades. Tomado de Alapati y col (6) c. Raspaduras. Tomado de Liu (18) d. Achatamiento de bordes cortantes. e. Microfracturas. f. Deformación plástica y Fractura. d,e y f Tomado de Pires (10).	41
Figura 21. Fuerzas que pueden aplicarse sobre un sólido. Tomado de Askeland (36) 2004.....	42

Figura 22. Representación gráfica del tipo de angulación que se evidencia según el esfuerzo aplicado en fractura. Tomado de Querales y Caballero (35) 1995.....	45
Figura 23. Patrón de Chevron. Tomado de Askeland y Phulé (36), 2004.....	46
Figura 24. Microhoyuelos o “dimples”. Tomado de de Castro y col (11) 2008.....	48
Figura 25. “Estrías de fatiga”. Tomado de de Castro y col (11) 2008.....	52
Figura 26. Registro fotográfico del empaque sellado de instrumentos Reciproc® utilizado para el estudio.....	53
Figura 27. Registro fotográfico del microscopio electrónico de barrido ubicado en el Centro de Microscopía Electrónica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la U.C.V utilizado en el estudio.....	55
Figura 28. Registro fotográfico de las muestras sobre el dispositivo de silicona elaborado y el momento en el cual se le colocaba la pintura de grafito (Colloidal Graphitie/Ladd Research Industries).....	56
Figura 29. Registro fotográfico del manejo de los molares humanos extraídos en agua destilada.....	56
Figura 30. Registro fotográfico de la preparación de los dientes humanos extraídos con los instrumentos oscilatorios.....	59
Figura 31. Registro fotográfico de la batea ultrasónica donde fueron colocados los instrumentos una vez lavados con agua corriente y jabón.....	60
Figura 32. Imágenes a 500X bajo MEB. A. imagen de la punta mostrando el número de superficies analizadas, del 1 al 10, representando cada una el 10% de la superficie. b. Imagen del cuerpo mostrando el número de superficies analizadas, del 1 al 12, representando el 8,33% de superficie...	62
Figura 33. Línea de microfractura que se muestra en el borde cortante del instrumento, obtenida mediante MEB a 500X.....	63

Figura 34. Imagen donde se observa la división realizada para la evaluación de las líneas de maquinado.....	64
Figura 35. Achatamiento de la superficie que se muestra en borde cercano a la punta del instrumento. Obtenida mediante MEB a 500X.....	64
Figura 36. Imagen obtenida mediante MEB a 150X mostrando la deformación en la parte activa del instrumento.....	65
Figura 37. Instrumento fracturado. Imagen tomada bajo MEB a 500X.....	65
Figura 38. Sección transversal de instrumento Reciproc®.....	67
Figura 39. Imagen tomada con MEB a 150x del cuerpo del instrumento Reciproc® R25 mostrando la ausencia de superficies radiales.....	67
Figura 40. Imagen tomada con MEB a 20X. a. Ángulo helicoidal del instrumento Reciproc® R25 a lo largo de toda la parte activa instrumento, el cual es variable a lo largo de la longitud (representado mediante las líneas rojas). b. Distancia entre los bordes cortantes (pitch), la cual se muestra menor en la punta, aumentando en tercio medio y coronal (representada con las flechas blancas).....	68
Figura 41. Imágenes de la punta no cortante del instrumento Reciproc® R25 obtenidas mediante MEB. a. A 400X vista frontal con inclinación de 60°, b. Imagen a 150X vista lateral, c. A 500X vista frontal perpendicular al eje largo del instrumento.....	69
Figura 42. Marcas usuales de maquinado observadas en instrumentos sin uso. Magnificación a. 150 X, b. 500X.....	70
Figura 43. Líneas excesivamente marcadas observado sobre la superficie de un instrumento sin usar, marcado con flechas. Magnificación 500X.....	71
Figura 44. 1. Defecto de forma de la punta, 2. Presencia de excesos metálicos. Instrumento sin uso. Magnificación 500X.....	71
Figura 45. Presencia de desechos en la superficie, instrumento sin uso. Magnificación a. 500X, b. 150X.....	71

Figura 45. 500X. Variación morfológica entre las puntas de los instrumentos nuevos observados.....	72
Figura 47. Achatamiento sobre la superficie de la punta del instrumento (flecha). Magnificación 500X.....	73
Figura 48.A 500X. Achatamiento sobre la superficie del instrumento 2. Señalado con flechas blancas.....	75
Figura 49. Imagen a 500X. Presencia de microfracturas transversales, señaladas con flechas de color blanco.....	76
Figura 50. Imagen a 500X de oquedades observadas.....	76
Figura 51. Fragmento fracturado del instrumento N°8 donde se evidencia a. a 150X, fractura en ángulo de 0°, evidenciando falla de material dúctil por torsión y b. a 500X, numerosas líneas de microfractura transversales y longitudinales y deformación del borde cortante.....	77
Figura 52. Sección transversal de la superficie fracturada, donde se observa una línea de microfractura como inicio, y zonas de microhoyuelos en el centro de la imagen	77
Figura 53. a 3000X, línea de microfractura perpendicular.....	78
Figura 54. a 500X, fragmento fracturado del instrumento N°10 donde se evidencia una fractura a 45° o fractura de “copa-cono” y numerosas microfracturas longitudinales.....	78
Figura 55. a 500X, sección transversal de la superficie fracturada donde se observa la irregularidad en la superficie y la carencia de una superficie plana. Además de numerosos microhoyuelos (dimples) en la zona central de fractura final.....	79
Figura 56. a 5000X se observa el detalle de una línea de microfractura en la periferia del instrumento, que posiblemente dio inicio a la fractura, además de marcas de fatiga muy incipientes.....	79
Figura 57. Achatamiento sobre la punta del instrumento 1 y reducción del aspecto de las líneas de maquinado. Con flechas. Magnificación 500X.....	79

Figura 58. a 500X presencia de achatamiento evidente sobre la superficie	.81
Figura 59. a 2000X, línea de microfractura.....	82
Figura 60. a 2000X Marcas de fatiga sobre el área achatada del instrumento1.....	82
Figura 61. Imagen en microscopio óptico a 10X de la unión del mango del instrumento con la parte activa del mismo.....	82
Figura 62. Representación de la rotación ocurrida del mismo instrumento a lo largo de los 4 usos.....	87
Figura 63. a 2000X se observa la presencia de una microfractura perpendicular en el borde cortante.....	87
Figura 64. Achatamiento observado sobre el instrumento 3, con flechas.....	89
Figura 65. a. Microfractura apreciable a 150X. b. Imagen ampliada a 800X donde se observa en detalle el aspecto de vibración que presentan las líneas de maquinado.....	90
Figura 66. a. a 150X, deformación plástica observada en el instrumento N°5, b. a 500X, líneas de maquinado con aspecto de vibración, uso N°3.....	91
Figura 67. Imagen de microfracturas sobre el borde cortante del instrumento 3. Magnificación 3000X.....	92
Figura 68. Achatamiento de la superficie de la punta claramente evidente, a. a 500X instrumento N°3, b. a 150X instrumento N°7.....	93
Figura 69. Líneas de maquinado con poco desgaste en 3 instrumentos al uso N°4.....	93
Figura 70. a 400X donde se observa la sección transversal de la porción fracturada, la cual tiene aspecto de fractura “copa – cono”.....	94
Figura 71. a 500X donde se observa la presencia de marcas de fatiga y microhoyuelos en la superficie de fractura.....	95

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de achatamiento observado en el cuerpo de los instrumentos que no rotaron (excluyendo 2 que se fracturaron).....84

Gráfico 2. Porcentaje de achatamiento en punta observado en los instrumentos que no rotaron (excluyendo 2 que se fracturaron).....84

Gráfico 3. Valores obtenidos de las líneas de maquinado (en micrómetros) del cuerpo del instrumento, a lo largo de los usos.....85

Gráfico 4. Valores obtenidos de las líneas de maquinado (en micrómetros) de la punta del instrumento, a lo largo de los usos.....85

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Resumen de los sistemas disponibles para la preparación mediante movimiento oscilatorio o recíprocante. Tomado de Hullsmann y col (27).....	26
Tabla II. Representación de los ángulos que se producen en cada tipo de fractura y dependiendo del esfuerzo aplicado. Tomado de Querales y Caballero (35) 1995.....	46
Tabla III. Promedio de valores de ángulo de curvatura.....	67
Tabla IV. Resumen de los desgastes y deformaciones observados en los instrumentos sin rotación.....	74
Tabla V. Resumen de defectos y deformaciones observadas en las los instrumentos que sufrieron rotación.....	87
Tabla VI. Resumen de los instrumentos que sufrieron fractura, longitud del fragmento fracturado y número de usos hasta fractura.....	95

I. INTRODUCCIÓN

La efectiva limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares es esencial para alcanzar los objetivos del tratamiento de conducto, los cuales son la remoción del tejido pulpar, las bacterias y sus productos, mientras se crea una forma adecuada para su obturación.

Tradicionalmente, esta conformación se realizaba con instrumentos manuales de acero inoxidable, pero en la actualidad se ha incrementado el uso de instrumentos rotatorios de Níquel-Titanio (NiTi), que le ofrece a la práctica diversas ventajas, como su flexibilidad, permitiendo así mantener la anatomía original del conducto, además de tener mayor capacidad de corte, que en su conjunto coadyuva a disminuir el tiempo operatorio.

Recientemente se introdujo al mercado un conjunto de 3 instrumentos de NiTi llamado Reciproc® (VDW, Múnich, Alemania), el cual es descrito por el fabricante no sólo como un instrumento, sino como una herramienta que posee la capacidad de preparar completamente el sistema de conductos radiculares, sin existir algún otro instrumento para tal fin dentro de su protocolo de conformación, en pocas palabras se habla de un instrumento único de preparación.

Esto resulta en la simplificación de la técnica, donde se suele usar de 4 a 5 instrumentos rotatorios por cada diente (dependiendo del sistema usado y de la anatomía dentaria), lo que reduciría el tiempo operatorio y los costos involucrados, además de disminuir los riesgos de una posible contaminación cruzada. No obstante, al realizar la conformación de los conductos radiculares con solo un instrumento, éste estará sometido a grandes niveles de estrés, por lo que debe tener una buena resistencia a la fractura.

Al ser la fractura una de las mayores preocupaciones al usar estos instrumentos, diversos estudios como los de Eggert y col en 1999, Sattapan y col en 2000, Tripi y col en 2001, entre otros, han analizado el deterioro de los instrumentos rotatorios de NiTi bajo microscopía electrónica de barrido (MEB). La fractura causa preocupación ya que se ha reportado que puede suceder de manera inadvertida, sin defectos visibles de deformación permanente, por lo que la inspección visual no es un método fiable para evaluar los instrumentos de NiTi usados.

Se conoce que un instrumento visiblemente deformado o fracturado debe ser descartado, pero hasta los momentos se desconoce el grado de desgaste y la deformación que puedan tener estos nuevos instrumentos luego de su uso clínico, especialmente por lo novedoso del sistema y por la ausencia de estudios científicos que evidencien su desempeño.

Ante el acelerado incremento en el uso de los sistemas rotatorios en la actualidad, se ha hecho importante la existencia de un análisis objetivo sobre su desempeño, de modo que ante la problemática expuesta, se refleja la necesidad de iniciar un estudio formal bajo la metodología de la investigación científica, a fin de mostrar de manera coherente y controlada, aquellos cambios que se reflejen en las observaciones realizadas en el microscopio electrónico de barrido, de cada uno de los instrumentos Reciproc® a utilizar.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Evaluar los cambios superficiales de instrumentos oscilatorios Reciproc® después de múltiples usos, en dientes humanos extraídos bajo condiciones clínicas simuladas.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar la apariencia de la punta, parte activa y superficies del instrumento Reciproc® nuevo y luego del uso, limpieza y esterilización en autoclave.
- Determinar el tipo de defectos de superficie encontrados con frecuencia en cada instrumento Reciproc® relacionado a cada uso.

- Determinar la localización de los defectos de la superficie de cada instrumento Reciproc®.
- Relacionar la presencia de fracturas y el número de usos del instrumento.
- Evaluar el tipo, localización y características de la fractura que ocurra en cada caso

En este sentido los instrumentos de medición y análisis que se emplearán además de proporcionar evidencia científica, podrán servir de referencia para otras investigaciones vinculadas, contribuyendo al fortalecimiento del acervo documental, que sirve de plataforma para el diseño de nuevos estudios y métodos de evaluación sobre las actuales y nuevas tecnologías de la especialidad Endodóntica.

Este estudio se encuentra vinculado al área de conocimiento de las ciencias de la salud, concretamente a la línea de investigación orientada a la tecnología y medicina bucal.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

1. Estudios previos de evaluación de instrumental rotatorio bajo MEB

Diversos estudios han sido realizados acerca de la evaluación de instrumental rotatorio de NiTi nuevos y luego del uso.

Eggert y col (1) evaluaron los defectos de las puntas de instrumentos Lightspeed® antes y luego del uso, bajo MEB, observando que todos los instrumentos nuevos tenían uno o más defectos, siendo las oquedades el defecto más frecuente. Determinaron la dificultad que existe de fabricar un instrumento de NiTi libre de imperfecciones. Luego del uso encontraron microfracturas, desechos, rayas de metal, corrosión y bordes romos entre otros.

Sattapan y col (2) analizaron el tipo y frecuencia de de los defectos luego del uso clínico de rutina. Evaluaron instrumentos Quantec Series 2000 ®. Al menos 50% de los instrumentos mostraron algún defecto visible, 21% se fracturaron y 28% se mostraron deformados pero sin fractura. De acuerdo a las características observadas en fractura, se dividieron los instrumentos en dos grupos: fracturados por fatiga o por torsión.

Tripi y col (3), evaluaron la apariencia de la punta, hojas y superficies de 20 instrumentos GT Rotary ®, bajo MEB, antes y luego de su uso en molares

mandibulares humanos extraídos. Cada instrumento fue usado para preparar 12 conductos. Las superficies nuevas demostraron pocos defectos, siendo el más frecuente las rayas metálicas. Luego de tres conductos, los defectos se incrementaron en todos los instrumentos. Luego de 12 conductos, la punta del instrumento mostró evidentes modificaciones de superficie (picaduras y oquedades), así como signos de discontinuidad y redondeo de las hojas de corte. No observaron fracturas ni deformación plástica.

Svec y Powers (4) evaluaron el deterioro de instrumentos rotatorios Profile® bajo condiciones controladas. Dichos instrumentos fueron evaluados bajo MEB antes y después de cada uso en un total de 5 conductos. Solo un instrumento mostró defectos de fabricación, observando que el mismo no afectó el desempeño del instrumento. Indicaron que todos los instrumentos mostraron signos de deterioro con un solo uso.

Martins y col (5) analizaron las irregularidades de la superficie de instrumentos Profile® antes y después del uso, después de la esterilización por dos métodos diferentes y luego de la instrumentación de 6 molares. En instrumentos nuevos encontraron variaciones morfológicas como puntas afiladas, redondeadas o aplanadas, desechos, rayas de metal y marcas de maquinado profundas. Luego del uso, dichos instrumentos mostraban marcas de uso y reducción de las zonas con desechos, sin embargo, había

una tendencia a la acumulación de más desechos sobre el material remanente adherido, los cuales eran de origen dentario.

Alapati y col (6), evaluaron bajo MEB numerosos instrumentos de NiTi que habían sido descartados luego de su uso clínico, con el motivo de obtener conocimiento del mecanismo de fractura de estos instrumentos. Encontraron diversos tipos de evidencias de fractura (dúctil y por fatiga), siguiendo las interpretaciones en referencia a la fractografía del metal.

Herold y col (7), evaluaron el desarrollo de las microfracturas bajo MEB, de Endosequence NTR ® a 300 y a 600 rpm, y Profile NTR ® a 300 rpm en 66 molares extraídos. Evaluaron la presencia de microfracturas luego de la preparación de 7 y 14 conductos, además de la deformación y separación. Un total de 36 instrumentos se deformaron o separaron durante preparación de 126 conductos, lo que incluía 13 fracturas y 23 deformaciones plásticas.

Chianello y col (8), evaluaron bajo MEB, la calidad de acabado de la superficie de 3 sistemas rotatorios endodónticos nuevos. Evaluaron la presencia de surcos, desechos, raspaduras, microcavidades, forma y posición de la punta y bordes cortantes. Encontraron que ningún instrumento nuevo estaba libre de imperfecciones y la mayoría presentaba 2 a 7 tipos de defectos de superficie.

Marsicovetere y col (9) evaluaron microscópicamente 216 instrumentos Lightspeed® nuevos, encontrando porosidades y restos de metal en la superficie, adicional a esto, observaron variaciones morfológicas entre instrumentos del mismo tipo y tamaño.

Pires (10), evaluó la vida remanente en fatiga, y comparó el daño a la superficie debido a la fatiga en instrumentos de NiTi Protaper®, luego del uso en 5 a 8 molares. Observó los instrumentos bajo MEB, seleccionados de manera aleatoria, encontrando una gran cantidad de microfracturas perpendiculares en todos los instrumentos, menor número de microfracturas longitudinales, además de deformación plástica y fractura durante la preparación.

De Castro y col (11), evaluaron las características estructurales, físicas y mecánicas de los instrumentos endodónticos de NiTi Protaper®. Encontraron buenas características de acabado superficial en instrumentos nuevos, luego del uso clínico múltiple, no encontraron microfracturas, pero sí achatamientos y virutas de metal en los bordes cortantes, y desechos en la superficie. Ellos además realizaron ensayos de fractura por torsión y por fatiga y analizaron la superficie de fractura.

Shen y col (12), analizaron el tipo y localización de los defectos de una gran colección de instrumentos de NiTi usados clínicamente. Incluían tres sistemas: ProTaper ® rotatorio, ProTaper ® manual y K3 ®. Cualquier

defecto o deformación plástica, fue clasificada en categorías: (a) intacta sin distorsión distinguible, (b) intacta pero con distorsión, y (c) fracturada. De los 1,682 instrumentos de NiTi recolectados, 126 (8%) fallaron: 47 (3%) estaban deformados, y 79 (5%) estaban fracturados. Cerca de 0,5% de los instrumentos nuevos fallaron en el primer uso.

Shen y col (13) evaluaron la incidencia de las deformaciones en tres sistemas rotatorios de NiTi luego de un uso único. Recolectaron 1071 instrumentos ProFile .04® (PF), 432 ProFile Series 29® (PFS) y 1895 ProTaper® (PT) usados durante un período de 12 meses. En los instrumentos PF y PFS no se observó fractura en ninguno de ellos y solo 8 instrumentos PF desarrollaron deformación sin fractura. En los instrumentos PT, 60 estaban deformados, 55 revelaban deformación sin fractura y 5 estaban fracturados. La mayoría de los instrumentos deformados (95%), tenían deformación plástica macroscópica, 36,67% estaban doblados y 48,33% mostraban desenrollamiento. 10% revelaban enrollamiento y desenrollamiento en el mismo instrumento.

Hasta la fecha, se han reportado los siguientes estudios acerca del instrumento Reciproc®:

Burklein y col (14), evaluaron usando dientes extraídos, la capacidad de preparación de Reciproc ® en cuanto al mantenimiento de la anatomía radicular original, tiempo de preparación e incidencia de fractura. El tiempo

de la preparación se redujo hasta en un 60% y ningún instrumento resultó fracturado.

Kim y col (15), evaluaron la resistencia a la torsión y la fatiga de Reciproc® y WaveOne®, ambos instrumentos difieren en el diseño. Encontraron que Reciproc® tenía la mejor resistencia a la fatiga pero menor resistencia torsional que WaveOne®; también analizaron bajo microscopio electrónico de barrido las apariencias fractográficas de los instrumentos considerándolas típicas de las fracturas por torsión y por fatiga. Dichos autores consideran que Reciproc® sería más adecuado para preparar conductos con curvaturas mas abruptas debido a su alta resistencia a la fatiga.

Plotino y col (16), evaluaron la fatiga de los instrumentos Reciproc® y WaveOne®, en conductos artificiales de acero inoxidable. Ambos instrumentos fueron utilizados siguiendo las instrucciones del fabricante y utilizados hasta que ocurriera la fractura, y la longitud de la punta fracturada fue medida. El instrumento Reciproc® tuvo un tiempo de fractura en fatiga significativamente mayor que el instrumento WaveOne®.

Gavini y col (17), evaluaron la resistencia a la fatiga de instrumentos Reciproc® R25 bajo movimiento rotatorio y oscilatorio. Los instrumentos utilizados bajo movimientos oscilatorios, alcanzaron altos números de ciclos antes de la fractura (1787,78 ciclos) cuando se compararon con los instrumentos utilizados en rotación (816,39 ciclos).

2. Aleación de Níquel Titanio (NiTi)

Los instrumentos de NiTi han estado disponibles en endodoncia por más de 15 años. La aleación fue desarrollada en la década de 1960 por W.F. Buehler y col. Llamada Nitinol, un acrónimo de los elementos de los que está compuesta (Ni por Níquel, Ti por Titanio, Nol por Naval Ordnance Laboratory) (18,19).

El nitinol tiene una mayor resistencia y menor módulo de elasticidad al compararse con el acero inoxidable, por lo que su uso puede ser ventajoso durante la preparación de conductos curvos, ya que los instrumentos no se deformarían de manera permanente como ocurriría fácilmente con aleaciones tradicionales (19).

La aleación usada en la fabricación de los instrumentos de NiTi utilizados en endodoncia, contiene aproximadamente en peso: 56% de níquel y 44% de titanio (el término genérico para estas aleaciones es 55-Nitinol). En algunas aleaciones, un pequeño porcentaje (<2% de peso) de níquel puede ser sustituido por cobalto. La combinación resultante es un radio atómico uno a uno (equiatómico) de los componentes mayores (19).

Los instrumentos de NiTi tienen una habilidad inherente de alterar su tipo de estructura cristalina, dando lugar a cambios significativos en sus propiedades mecánicas. Estos cambios de forma se producen en función a la

temperatura y al estrés, y ocurren como resultado de la transición de austenita a martensita en la aleación de NiTi, estas características son denominadas: memoria de forma y superelasticidad (11,19,20).

El efecto de memoria de forma se presenta al alcanzar las temperaturas de transformación austenita → martensita y viceversa. Mientras que la superelasticidad se presenta por la transformación austenita→martensita y martensita→austenita, en ciclos de carga y descarga del material. La magnitud de las cargas para la transformación es función también de la temperatura a la cual se realice esta acción. La transformación entre estas dos fases ocurre por un proceso de maclado el cual es reversible (19,20).

El maclado es el mecanismo de deformación dúctil que opera cambiando la orientación de partes enteras de un cristal, formando maclas. Un cristal maclado se considera un sólo elemento cristalino con varios elementos. Las maclas se pueden crear durante la formación del cristal, sin ninguna relación con esfuerzos ni procesos deformativos, pero a menudo se forman durante la deformación (21).

3. Estructura del Níquel-Titanio

La estructura de NiTi en rangos de altas temperaturas (100°C) es de estructura cristalina cúbica centrada en las caras, la cual se refiere como fase Austenita. El Nitinol tiene la característica particular de que cuando es

enfriado en un rango de temperatura de transformación crítico, la aleación muestra dramáticos cambios en su módulo de elasticidad (rigidez), límite elástico y resistencia eléctrica como resultado de cambios en la unión de electrones (18,19).

Al reducir la temperatura o enfriar en este rango, se produce un cambio en el cristal de la estructura que se conoce como transformación martensítica. La cantidad de esta transformación es en función de la temperatura inicial (M_s) y final (M_f). El fenómeno provoca un cambio en las propiedades físicas de la aleación y da lugar a la **memoria de forma** (18,19).

La transformación inducida en la aleación ocurre por un tipo proceso de cizalladura a una fase denominada martensítica que da lugar a una martensita maclada, que forma la estructura de un enrejado hexagonal estrechamente empaquetado (ver Figura 1).

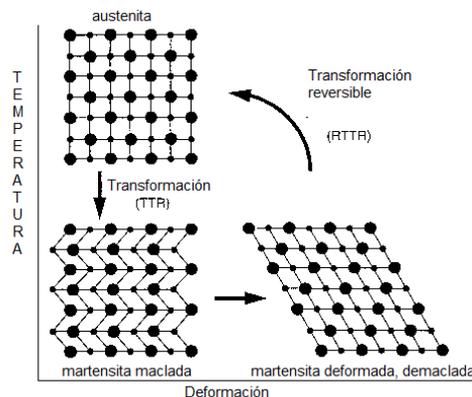


Figura 1. Representación de la transformación austenita- martensita y efecto de memoria de forma de la aleación de NiTi. Tomado de Thompson (19) 2000.

No se detecta casi ningún cambio de forma macroscópica en esta transformación a menos que haya una aplicación de una fuerza externa. La forma de la martensita puede ser deformada fácilmente a una sola orientación por un proceso conocido como martensita de-maclada, cuando hay un cambio en el tipo de cizalladura. La aleación de NiTi es más dúctil en la fase martensita que en la fase austenita (19).

La deformación puede ser revertida calentando la aleación por encima del rango de temperatura de transformación reversible, lo cual resulta en que las propiedades de la aleación de NiTi vuelvan a los valores de su temperatura anterior más alta. La aleación se reanuda a su matriz original de estructura y orientación (austenita) con una condición de energía estable. El movimiento atómico total entre los planos adyacentes, es menor que una distancia interatómica completa cuando se basa en la disposición normal de la red atómica, esto da lugar a la memoria de forma, y la aleación regresa a su forma previa, el efecto de esta transformación es instantánea (11,19).

Al calentar la martensita, se da inicio a la formación de austenita en un punto denominado temperatura de inicio de austenita (A_s), y cuando finaliza lo hace a una temperatura A_f o temperatura de finalización de la transformación de la austenita (20).

La transformación martensítica de las aleaciones con efecto de memoria de forma, es usualmente termoelástica, es decir, es reversible debido a que

el calentamiento y enfriamiento se produce en un intervalo estrecho de temperatura. Al enfriar la austenita, estable a altas temperaturas, la martensita comienza a formar la temperatura M_s , y el material se vuelve completamente martensítico por debajo de la temperatura final de transformación M_f . Durante el calentamiento de la martensita, estable a bajas temperaturas, el material permanecerá martensítico hasta la temperatura de formación de austenita, A_s . Entre A_s y A_f , ambas fases, están presentes martensita y austenita. Por encima de A_f , la aleación es completamente austenítica (ver Figura 2) (11).

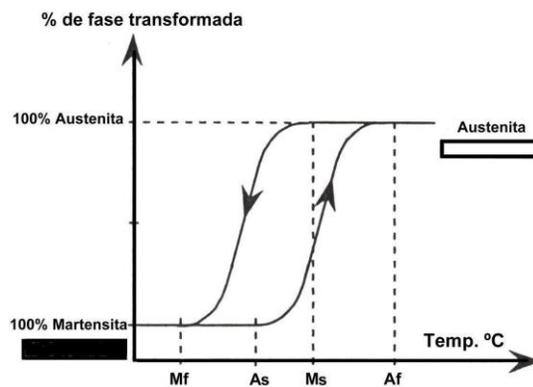


Figura 2. Muestra de forma esquemática, las temperaturas de inicio y final de la formación de martensita durante el enfriamiento, y las temperaturas de inicio y fin de la transformación martensita a austenita por calentamiento. El intervalo entre las temperaturas de transformación M_f y A_f define el comportamiento y la aplicabilidad de la aleación con memoria de forma, pues en este intervalo es que el efecto de memoria de forma opera, en cuanto a que la superelasticidad ocurre a temperaturas justo por encima de A_f . Tomado de Martins y col (5) 2008.

También existe otro tipo de estructura martensítica que puede aparecer en la transformación Austenita \rightarrow Martensita, conocida como fase-R-

ortorrómbica, la cual también tiene temperaturas de transformación para el inicio (R_s) y final (R_f) (18,20).

La transición de la fase austenítica a martensítica, también puede ocurrir como resultado de la aplicación de estrés, lo cual suele ocurrir durante la preparación del conducto radicular. En la mayoría de los metales, cuando una fuerza externa supera una cantidad dada de deslizamiento mecánico se causa una deformación permanente (19)

A diferencia del efecto de memoria de forma, la superelasticidad (ver Figura 3), se manifiesta sin que ocurran cambios en la temperatura. La transformación de austenita a martensita se obtiene por aplicación de una carga y la recuperación de la forma original se consigue con la descarga después de alcanzar un determinado porcentaje de deformación (19,20).

La superelasticidad de las aleaciones de NiTi, permite deformaciones de hasta un 8% a ser plenamente recuperables, en comparación con un máximo de menos del 1% con otras aleaciones (19,20).



Figura 3. Representación del efecto de superelasticidad de las aleaciones de NiTi. Tomado de Thompson (19) 2000.

Esta superelasticidad sólo puede ocurrir para un rango de temperatura comprendido entre Af y Md (temperatura más alta a la que se puede inducir el proceso por deformación). Para temperaturas mayores a Af el material es completamente austenítico y así la transformación puede ocurrir. Sin embargo, a temperaturas superiores a Md la transformación se dificulta, porque simultáneamente con ella surgen mecanismos de deformación plástica que no permiten que el material recupere su forma completamente (20).

Las aleaciones superelásticas pueden ser sometidas a tensión diez veces más que los materiales ordinarios sin sufrir deformación plástica (ver Figura 4) (2).

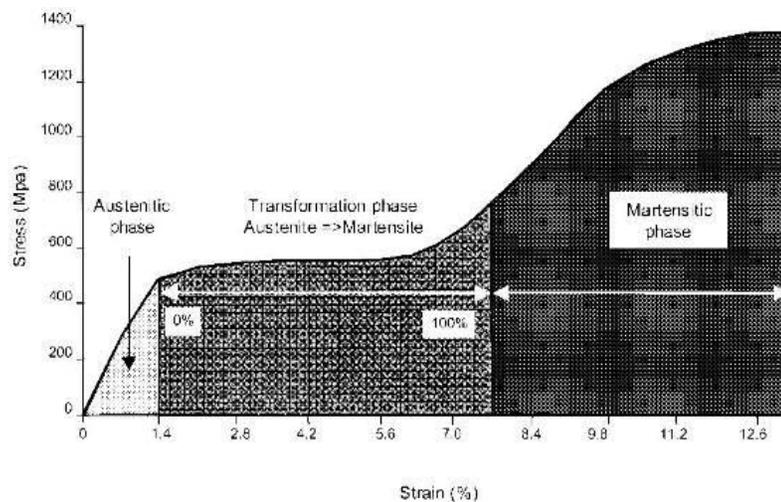


Figura 4. Transformación de las fases de NiTi. Tomado de Thompson (19) 2000.

Algunos investigadores, han planteado que durante la formación de la martensita y su cambio reversible, esta no se transforma totalmente a austenita dejando pequeñas zonas de martensita que dan lugar a la presencia de deformaciones residuales en la aleación, las cuales afectan la superelasticidad del Nitinol. Otras variables que afectan su comportamiento mecánico son la temperatura, los tratamientos térmicos y los procesos de fabricación de la aleación (20).

Debido al estrecho rango del campo de fase equiatómico de NiTi en el diagrama de fase de Níquel-Titanio, se pueden formar precipitados de Ti_2Ni y Ni_3Ti , en aleaciones ricas en Ti y Ni respectivamente, durante el enfriamiento de temperaturas elevadas. Thompson (19) sugirió, que se forman partículas de óxido durante el proceso de fabricación de las aleaciones de NiTi, las cuales reaccionan con el oxígeno del ambiente. Los óxidos de níquel titanio, se sugirieron como la principal razón de la aparición de hoyos en la superficie (oquedades).

4. Aleación de Níquel-Titanio M-Wire

El rendimiento mecánico de las aleaciones de NiTi es extremadamente sensible a su microestructura y a los efectos del tratamiento térmico-mecánicos realizados como parte del proceso de manufactura (19,18,23).

En 2007, se desarrolló una nueva aleación llamada M-Wire (Dentsply Tulsa-Dental Specialties, Tulsa, OK), la cual fue usada para la fabricación de instrumentos GT serie X® y Profile Vortex®. El fabricante declara que debido a un nuevo proceso térmico que se usa para hacer esta aleación, le provee al instrumento mayor flexibilidad y un incremento a la resistencia a la fatiga, al compararse con instrumentos de NiTi convencionales (22,23,24). Esta aleación procesada mediante un extenso procedimiento térmico-mecánico, ha mejorado mucho la resistencia a la fractura comparado con el alambre superelástico convencional, junto con una mayor proporción de resistencia a la tracción (18,23).

Este tratamiento térmico-mecánico patentado (Sportswire LLC, Langley, Oklahoma) ha sido desarrollado con el objetivo de producir piezas de alambre superelástico que contenga martensita estable bajo condiciones clínicas (25).

El efecto del tratamiento térmico en las propiedades mecánicas de los instrumentos rotatorios de NiTi ha sido evaluado en los últimos años. Se ha encontrado que el calentamiento a temperaturas alrededor de los 400°C, produce una microestructura superior (ver Figura 5), lo que resulta en una flexibilidad superior del instrumento y en una menor fragilidad. Sin embargo, al utilizar temperaturas mayores de 600°C, se observó un aumento de la fragilidad de los instrumentos, lo que puede ser causado por la

recristalización de la microestructura. Además de esto, se ha observado una disminución en la dureza de la superficie térmicamente tratada (18).

De acuerdo a la caracterización metalúrgica de M-Wire realizada por Alapati et al (24), en micro difracción de rayos X, el M-Wire contiene 3 fases cristalinas, incluyendo martensita deformada y micromaclada, fase-R y austenita. También realizaron una calorimetría diferencial de barrido modulada con temperatura, encontrando que a 37°C la aleación superelástica convencional de NiTi tiene la estructura de austenita, mientras que M-Wire es una mezcla de casi cantidades iguales de fase-R y austenita.

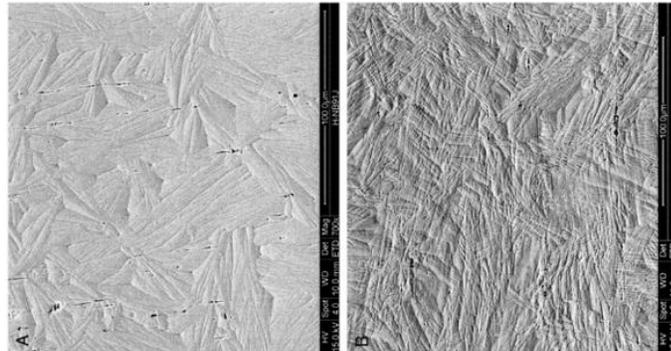


FIGURA N°5. Imágenes de electrones secundarios obtenida mediante MEB (A) Alambre súper elástico Maillefer y (B) M-wire. La estructura martensítica de (B) es más fina y muestra mucho mas maclado,. Ambas aleaciones tenían composiciones cercanamente equiatómicas (nitinol tipo 55). Tomado de Alapati y col (24), 2009

Gambarini et al, compararon instrumentos fabricados con aleación NiTi M-Wire (GT Series X, Dentsply Tulsa-Dental Specialties, Tulsa, OK) e instrumentos fabricados con aleación convencional (K3, SybronEndo, Orange, CA) usando dos tamaños diferentes (25. 06 y 20. 06). Encontraron

que la resistencia a la fatiga de los instrumentos de M-wire no era mejor que la de los instrumentos de NiTi convencional (25).

También se ha encontrado bajo microscopía electrónica de transmisión presencia de martensita y quizás de fase-R en la sección transversal de M-wire (18). Alapati et al (24), encontraron en MEB estructuras macladas, y en microscopía electrónica de transmisión evidencia de martensita deformada y micromaclada, estructuras especiales de martensita ausentes en la microestructura del alambre de NiTi convencional.

5. Características morfológicas de los instrumentos rotatorios de NiTi

Las características estructurales de los instrumentos de NiTi están representadas en la Figura 6.

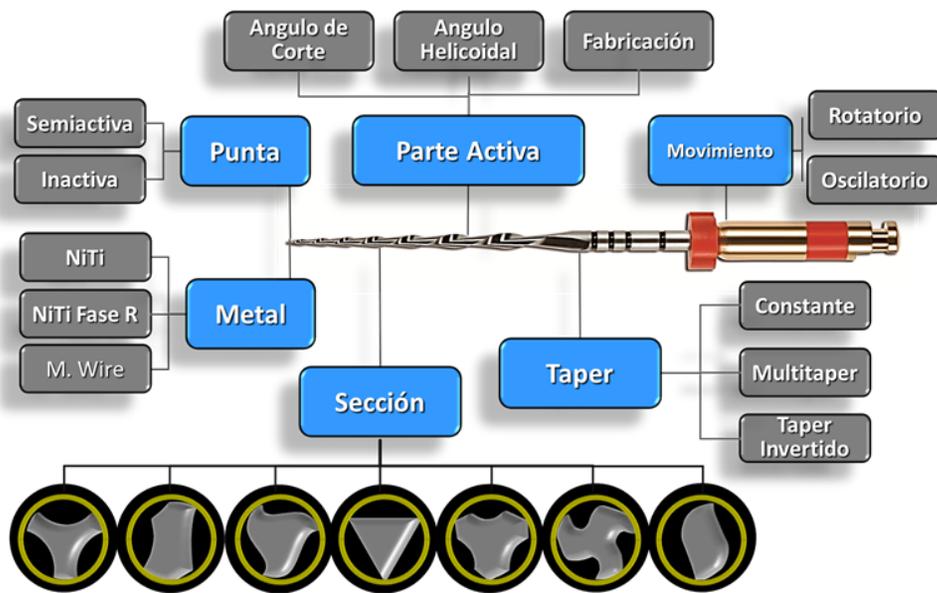


Figura 6. Características morfológicas de un instrumento rotatorio de NiTi. Tomado de Renato y Toledo. 2012 (26).

6. Fabricación del instrumento

La fabricación de instrumentos de NiTi es más compleja que la de los instrumentos de acero inoxidable, ya que las limas deben ser maquinadas en lugar de torsionadas. La superelasticidad de la aleación hace que no pueda mantener un espiral ya que no se puede someter a deformación permanente (19,26).

El maquinado de las limas endodónticas es un procedimiento complejo, que generalmente resulta en superficies con una alta concentración de defectos. También han sido observadas variaciones morfológicas entre

instrumentos del mismo tamaño (5)

Algunas fallas que ocurren durante la producción, incluyen la creación de irregularidades en la superficie (marcas del fresado), bandas de metal, oquedades y residuos de metal en los bordes cortantes que pueden comprometer su habilidad de corte (5,19).

Es posible variar la composición de aleaciones de NiTi con el fin de darles a los alambres dos características diferentes: ya sea para ser una aleación superelástica o para tener la propiedad de memoria de forma (19).

Las propiedades finales del NiTi (propiedades mecánicas como ductilidad, resistencia a la fractura, efecto de memoria de forma y superelasticidad) son determinadas por la combinación de cantidad de trabajo en frío, del tiempo y de la temperatura usada en el tratamiento térmico. Estas aleaciones deben someterse a un tratamiento térmico-mecánico a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 350° C) con el fin de promover la recuperación parcial de la microestructura deformada y la precipitación de la fase intermedia Ti_3Ni_4 , que favorece la formación de la fase R, cuya presencia en la aleación aumenta la superelasticidad (11).

Las aleaciones de NiTi se pueden trabajar en calor y en frío, pero por debajo de la temperatura de cristalización. La composición de la aleación es

importante en el proceso de manufactura y al parecer el 55-Nitinol puede ser procesado por todas las formas de trabajo térmico y de manera más fácil que el 60-Nitinol (19).

7. Sistemas mecanizados oscilatorios - recíprocos

La primera pieza endodóntica manual oscilatoria fue reportada en 1964, actuando con rotación recíproca de 90°. Giromatic® (MicroMega, Besançon, France) que trabajaba con instrumentos de acero inoxidable, y el operador solo podía influenciar la velocidad rotacional de la pieza de mano y la amplitud vertical del movimiento del instrumento (27), diversos sistemas oscilatorios y recíprocos comercializados a partir de ese momento, se reportan en la Tabla I.

En el año 2010 son introducidos nuevamente los sistemas de movimiento recíproco, que combinan el concepto de fuerzas balanceadas con nuevos metales y diseños (28). La primera publicación hecha en el 2008, por Ghassan Yared (29), quien presentó una nueva técnica de preparación con un solo instrumento.

En este estudio describió el uso de un instrumento F2 de la marca ProTaper ® (Dentsply, Maillefer) con movimientos oscilatorios. La preparación se realizó con un motor ATR ® (ATR, Pistoia, Italia) y los movimientos consistían en rotaciones en dirección hacia las agujas del reloj

(0,4 partes de una circunferencia, 144°) y en contra de las agujas del reloj (0,2 partes de una circunferencia, 72°) a una velocidad de 400 rpm, completando un ciclo completo de rotación (360°) en cinco movimientos (29).

A partir de esto, dos compañías dentales, VDW GmbH, (Munich, Alemania) y Dentsply Maillefer, (Ballaigues, Suiza), han lanzado al mercado dos nuevos sistemas instrumentos de movimiento oscilatorio (Reciproc® y WaveOne®) respectivamente (28).

El tipo de movimiento que se aplica a estos nuevos instrumentos, surge hoy como una variable que merece ser analizada y sobre todo revisada respecto a la seguridad y eficacia de su función (28,30).

Los movimientos mecanizados que han sido utilizados están esquematizados en la Figura 7 (28).

Tabla I. Resumen de los sistemas disponibles para la preparación mediante movimiento oscilatorio o recíprocante. Tomado de Hullsmann y col (27)

Pieza de Mano	Fabricante	Modo de acción
Giromatic ®	MicroMega, Besancon, Francia	Rotación recíprocante (90°)
Endo-Gripper ®	Moyco Union Broach, Montgomeryville, PA, USA	Rotación recíprocante (90°)
Endolift ®	Sybron Endo, Orange, CA, USA	Movimiento vertical + rotación recíprocante (90°)
Endolift M 4 ®	Sybron Endo	Rotación recíprocante (30°)
Intra-Endo 3 LD ®	KaVo, Biberach, Germany	Rotación recíprocante (90°)
Alternator ®	Desconocido	Rotación recíprocante (90°)
Dynatrak ®	Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany	Rotación recíprocante (90°)
Excalibur ®	W&H	Oscilaciones laterales (200 Hertz, 1.4-2mm amplitud)
Canal-Leader 2000 ®	S.E.T	Movimiento Vertical (0,4-0,8 mm) + rotación parcial (20-30°)
ATRC® Vision	ATR, Pistoia, Italia	Movimiento rotatorio y oscilatorio Contraángulo 16:1
VDW.Silver y VDW.Gold Reciproc ®	VDW, GmbH, Munich,Alemania	Movimiento rotatorio y oscilatorio
WaveOne ® Motor	Dentsply, Maillefer. Ballaigues,Suiza	Movimiento rotatorio y oscilatorio

El Movimiento Rotatorio Continuo (MRC), es el que se ha utilizado en todos los sistemas hasta el momento, variando la velocidad entre 280 rpm (Mtwo) y 500 rpm (RaCe) según parámetros como capacidad de corte y superficie de contacto del instrumento con la pared dentinaria.(28)

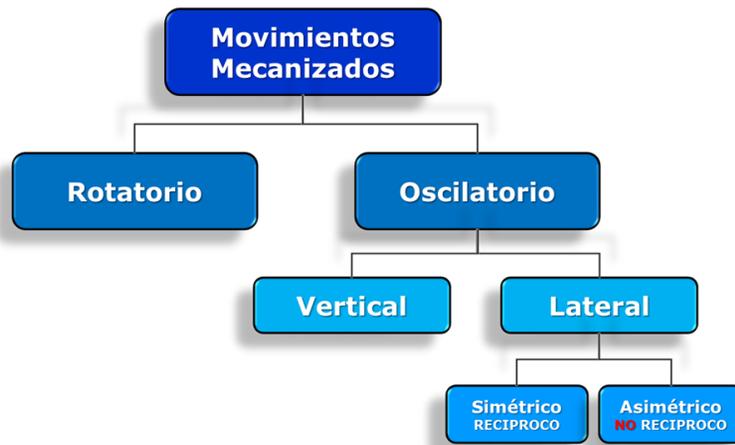


Figura 7. Representación de los diferentes movimientos mecánicos. Tomada de Leonardo y Toledo 2012 (28)

Al Movimiento Oscilatorio, lo podemos clasificar en: Oscilatorio Vertical (MOV) por ejemplo SAF, Endo Pulse y Oscilatorio Lateral. Y este puede ser subdividido en Movimiento Oscilatorio Simétrico (MOS) y Movimiento Oscilatorio Asimétrico (MOA) (28),

En el MOS el instrumento oscila lateralmente los mismos grados en un sentido y en el otro, volviendo siempre al mismo punto de partida. El instrumento solo tiene ciclos de oscilación en un sentido y el otro sin completar una rotación (28).

Sin embargo en el MOA el instrumento oscila más en un sentido que el otro volviendo a un punto de partida diferente en cada ciclo. De esta forma, puede completar una rotación completa con la suma de varios ciclos de oscilación. (Ver Figura 8) Este movimiento ha sido introducido recientemente para una nueva generación de instrumentos mecanizados (28).

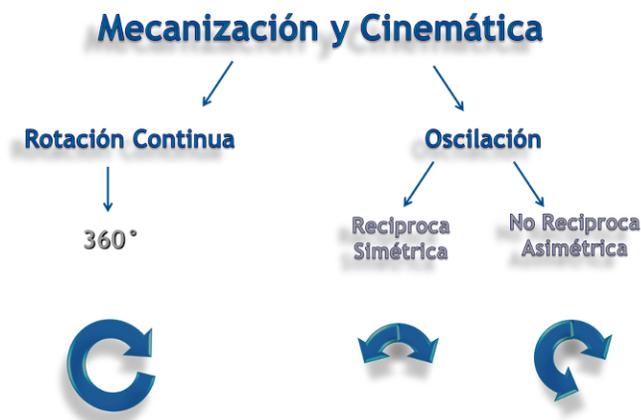


Figura 8. Representación gráfica de la cinemática de la rotación continua y la oscilación. Tomado de Leonardo y Toledo 2012 (28)

La primera propuesta de movimientos oscilatorios con instrumentos manuales fue hecha por Roane y Sabala en 1985 (29). Conocida como la "Técnica de fuerzas balanceadas", fue originalmente asociada con instrumentos de acero inoxidable diseñados especialmente o instrumentos de NiTi Tipo-K (Flex R Files), con puntas modificadas, en una manera escalonada (27,31).

Dicho concepto se deriva de la ley física que establece: para cada acción hay una reacción igual y opuesta (27)

Los instrumentos son introducidos al conducto radicular con un movimiento hacia las agujas del reloj de máximo 180° y un avance apical (fase de colocación), seguido de una rotación en contra de las agujas del reloj de máximo 120° con una adecuada presión apical (fase de corte). La fase final de remoción es realizada con una rotación hacia las agujas del reloj realizando un retiro del instrumento del conducto (ver figura 9) (27,31).

Los instrumentos para estos sistemas oscilatorios, han sido diseñados con un ángulo helicoidal reverso (rosca izquierda) aparentemente con el objetivo que no sean confundidos con los instrumentos de uso rotatorio (29). (Ver figura 10)

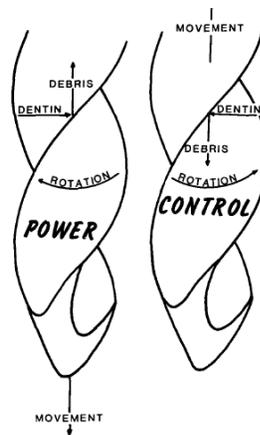


Figura 9. Descripción las reacciones que ocurren a lo largo de los ángulos de las hojas de corte de una lima tipo K durante la rotación hacia y en contra de las agujas del reloj. Tomado de Roane y Sabala 1985 (30).



Figura 10. a) Reciproc con rosca izquierda y b) Mtwo con rosca derecha. Tomado de Leonardo y Toledo 2012 (28)

Por lo tanto, todo lo expresado por Roane en su concepto de Fuerza Balanceada, en estos instrumentos ocurre de igual forma, pero en sentido opuesto (28,31).

En cuanto a los motores suministrados para la utilización de estos instrumentos, son los mismos que los utilizados para algunos sistemas rotatorios, pero además poseen un software específicamente para cada uno de los sistemas oscilatorios (42). VDW.Silver Reciproc ®, VDW.Gold Reciproc ®, y WaveOne ® Motor. Tienen básicamente las mismas cualidades; poseen un contra ángulo 6:1, es capaz de producir movimientos

rotatorios y oscilatorios pre programados y con la opción de modificarlos en caso de los movimientos rotatorios (32,33).

Varela-Patiño y col (34), evaluaron los diferentes riesgos de deformación o fractura de instrumentos de NiTi usando movimientos rotatorios continuos o alternados. Los resultados indicaron que los instrumentos usados con rotación alternada, resisten un mayor número de usos (14 usos), en comparación al grupo de rotación continua (10,05 usos) (34).

7.1 Reciproc ®

7.1.1 Características generales

El sistema Reciproc ® (VDW GmbH, Munich, Germany) incluye un conjunto tres instrumentos (R25, R40 y R50), un motor (VDW.SILVER RECIPROC), puntas de papel y conos de gutapercha a la medida. Solo se usa un solo instrumento Reciproc ® para la preparación del conducto dependiendo del tamaño inicial del conducto (32).

Los instrumentos están hechos de Níquel-Titanio M-Wire que ofrece gran flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica en comparación a instrumentos tradicionales de níquel titanio (32).

7.1.2 Diseño

Tiene una sección transversal en forma de S itálica (Figura N°11), y se trata de un instrumento de rosca inversa. Esta sección transversal le confiere un contacto con la superficie dentinaria mínimo, aumentando la eficacia del corte al disminuir la resistencia por fricción, además de tener un área de escape máxima para la remoción de virutas dentinarias (26,32,33).



Figura 11. Vista transversal del instrumento Reciproc ® R25. Obtenida de Yared (32) 2011

Las hojas de corte carecen de superficie radial, lo que proporciona una mayor capacidad de corte (26,32,33) (ver Figura 12). La punta, no cortante, permite que el instrumento sea guiado por la trayectoria del conducto, evitando errores iatrogénicos (26,32,33) (ver Figura 13).



Figura 12. Imagen de las hojas de corte, sin superficie radial. Tomada de Yared (32) 2011

Las longitudes de trabajo del instrumento pueden ser de 21 mm, 25 mm y 31 mm, y posee marcas de profundidad en 18, 19, 20, 22 y 24 mm dependiendo de su longitud. El mango del instrumento mide 11mm (ver Figura 14) (32,33).

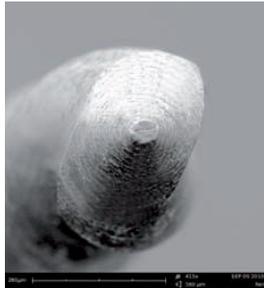


Figura 13. Imagen mostrando la punta del instrumento. Tomada de ReciproC® Brochure (33) 2011.

Los tres instrumentos (R25, R40 y R50) tienen una conicidad regresiva (32).

El R25 tiene un diámetro de 0,25mm en la punta y un 8% (0,08 mm/mm) de conicidad sobre los primeros 3mm desde la punta (ver Figura 15). El diámetro en D16 es de 1,05mm (32).

El R40 tienen un diámetro de 0,40mm en la punta y un 6% (0,06 mm/mm) de conicidad sobre los primeros 3mm desde la punta (ver Figura 15). El diámetro en D16 es de 1,10mm (32).

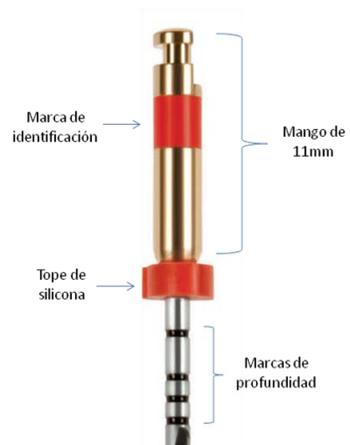


Figura 14. Mango del instrumento Reciproc® R25. Tomada y modificada de Reciproc® Brochure (33) 2011.

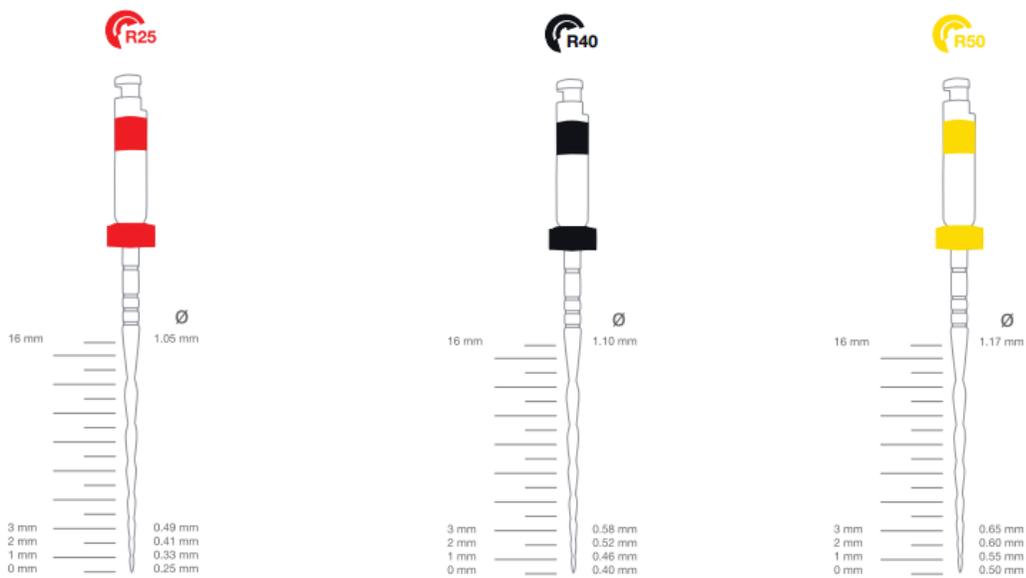


Figura 15. Conicidad del instrumento Reciproc® R25, R40 y R50 Tomado de Reciproc® Brochure (33)

El R50 tienen un diámetro de 0,50mm en la punta y un 5% (0,05 mm/mm) de conicidad sobre los primeros 3mm desde la punta (ver Figura 15). El diámetro en D16 es de 1,17mm (32).

Este movimiento completa, un giro de 360° luego de 3 a 5 ciclos aproximadamente según sus ángulos de oscilación y a 400 rpm (28).



Figura 16. Motor VDW Silver®. Tomado de Reciproc® Brochure (33)

El motor está programado con ángulos de reciprocación y velocidad para los tres instrumentos. El valor de la rotación hacia y en contra de las agujas del reloj es diferente, y han sido calculados en 150° en contra de las agujas del reloj y 30° hacia las agujas del reloj . Ver figura 16 (15,32).

Cuando el instrumento rota en la dirección de corte este avanzará en el conducto y enganchara dentina para cortarla. Cuando rota en la dirección opuesta (rotación más pequeña), el instrumento será inmediatamente

desenganchado (32,33). El resultado final, relacionado a ambas rotaciones, es un avance del instrumento dentro del conducto. Consecuentemente, solo debe ser aplicada una ligera presión apical sobre el instrumento, ya que su avance debe ser casi automático (32,33).

7. Técnica de uso

7.1.3.1. Frecuencia de uso

El fabricante indica que el instrumento está diseñado para un uso único, máximo en un molar. Indica además que este debe ser examinado durante el tratamiento y descartado si se observan signos de deformación plástica. Si un instrumento parece estar doblado luego del uso en un conducto con una curvatura fuerte, este también debe ser descartado (32,33).

En la mayoría de los conductos solo se usa un instrumento Reciproc® para completar la preparación del conducto y no hay necesidad de preparación manual. Los requerimientos de apertura de cámara, acceso en línea recta hacia los conductos y protocolo de irrigación son los mismos para técnicas de preparación estándar. No es necesario pre-ensanchar la entrada de los conductos con fresas Gates Glidden o con un instrumento de tipo “orifice opener“(32).

7.1.3.2. Selección del instrumento Reciproc® Adecuado

Se basa en una adecuada radiografía preoperatoria. Si el conducto esta parcial o completamente invisible en la radiografía, se considera estrecho y se selecciona un instrumento R25. Cuando la radiografía muestra el conducto de manera clara desde la cavidad de acceso al ápice, el conducto es considerado medio o amplio. Si se inserta un instrumento manual N° 30 pasivamente hacia la longitud de trabajo, y la alcanza, se considera un conducto grande, entonces se selecciona el instrumento R50. Si el instrumento N° 30 no alcanza pasivamente la longitud de trabajo, se intenta alcanzarla con un instrumento N° 20, si lo logra, el conducto se considera medio y el instrumento R40 se selecciona para la preparación. Si el instrumento manual N° 20 no alcanza la longitud de trabajo de manera pasiva, se selecciona el R25 (32).



Figura 17. Instrucciones del fabricante acerca de la selección del instrumento Reciproc® adecuado y preparación. Tomado de Reciproc® brochure (33)

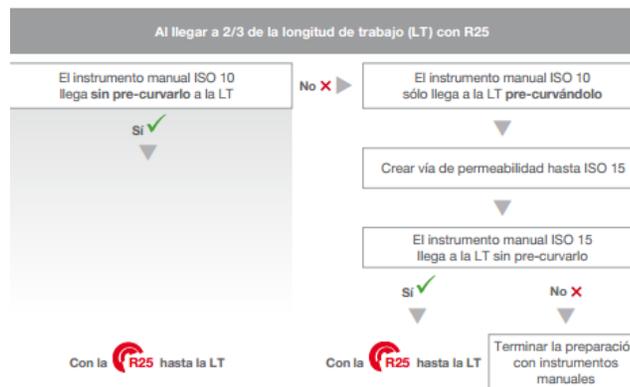


Figura 18. Instrucciones del fabricante acerca de la preparación con Reciproc®. Tomado de Reciproc® brochure (33)

7.1.3.3 Preparación paso a paso

Antes de comenzar la preparación, se estima la longitud del conducto con la ayuda de una radiografía preoperatoria adecuada. Se debe usar con movimientos lentos de picoteo aplicando ligera presión (sin exceder los 3 a 4 mm y sin sacarlo completamente del conducto), colocando el tope de goma del instrumento a 2/3 de la longitud de trabajo, el instrumento avanzará en dirección apical (32).

Luego de 3 movimientos de picoteo, cuando se necesite más presión para avanzar hacia apical o cuando se encuentre una interferencia, el instrumento se retira del conducto para limpiar las hojas de corte. Se utiliza un instrumento número 10 para chequear la permeabilidad del conducto a la longitud de trabajo estimada. Se irriga el conducto copiosamente. El instrumento se sigue usando en la misma manera hasta que se alcance la

longitud de trabajo. Luego se puede usar en movimientos de barrido contra las paredes laterales para ampliar los conductos (32).

Se puede realizar pre-instrumentación en algunos conductos cuando el instrumento Reciproc® no avanza en el conducto o cuando el avance se vuelve difícil. No se debe ejercer presión sobre el instrumento. Instrumentos manuales número 10 y 15 deben ser usados para crear una guía hasta la longitud de trabajo (32).

8. Desgastes y deformaciones que pueden ser observadas sobre la superficie de los instrumentos de NiTi

8.1 Sobre la superficie de instrumentos nuevos

La figura 19, muestra imágenes representativas de defectos de fabricación, producto del maquinado del metal, que pueden ser observados en los instrumentos de NiTi nuevos (3,4,18). Siendo los siguientes:

- a) Desechos orgánicos / inorgánicos
- b) Surcos / líneas de maquinado
- c) Áreas planas
- d) Partículas / excesos metálicos sobre la superficie o el borde cortante

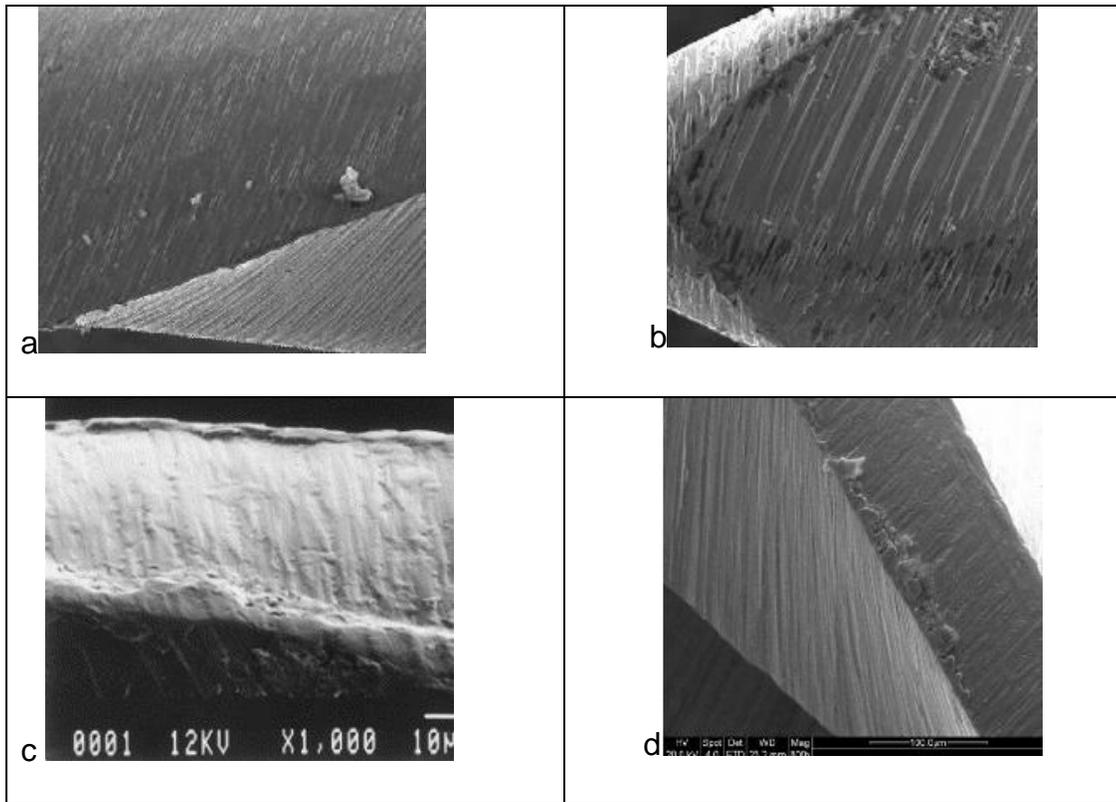


Figura 19. Defectos de fabricación. a. desechos, b. líneas de maquinado, c. áreas planas, d. exceso de metal sobre el borde cortante. Tomado de Tripi y col (3) 2001, Lui (18) 2009.

8.2 Sobre la superficie de instrumentos usados

En un instrumento de NiTi usado es posible observar los siguientes defectos o deformaciones, ver Figura N°20 (3,4,18):

- a. Desechos orgánicos / inorgánicos
- b. Oquedades
- c. Raspaduras / Achatamientos

d. Achatamiento de los bordes cortantes

e. Microfracturas

f. Deformación plástica

g. Fractura completa

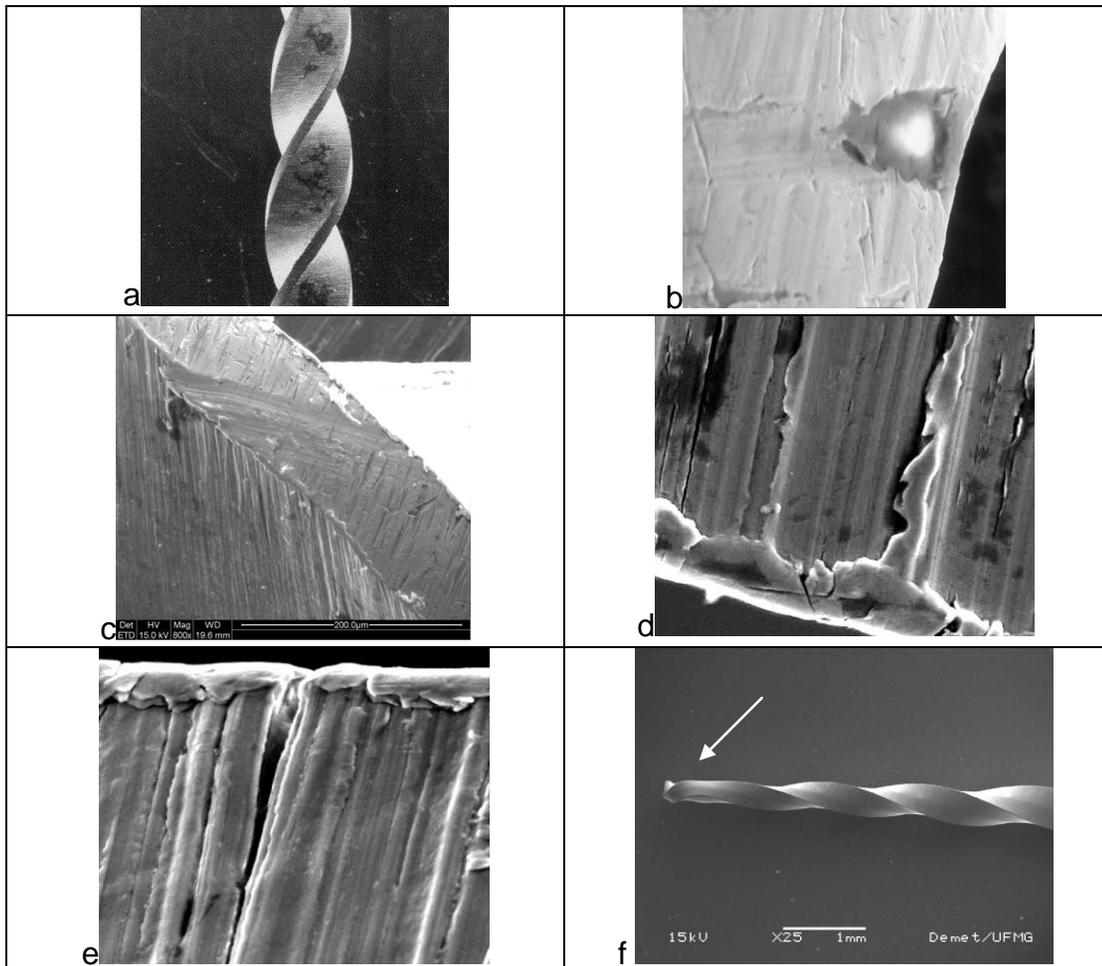


Figura 20. Defectos y/o deformaciones encontradas en instrumentos de NiTi usados. a. Desechos. Tomado de Martins y col (5) b Oquedades. Tomado de Alapati y col (6) c. Raspaduras. Tomado de Liu (18) d. Achatamiento de bordes cortantes. e. Microfracturas. f. Deformación plástica y Fractura. d,e y f Tomado de Pires (10).

8.2.1 Oquedades

Proceso localizado que resulta formándose agujeros en el metal. Pueden ser pequeños o largos en diámetro. Pueden estar aisladas o juntarse coalesciendo entre sí dando aspecto rugoso a la superficie atacada (35,36).

8.2.2 Deformación plástica

En un sólido se pueden aplicar diversos esfuerzos externos, los cuales a su vez resultan en esfuerzo resultantes internos (36). Dentro del sólido existe un conjunto de planos para el cual se cumple:

- Un esfuerzo resultante normal que es MÁXIMO
- Un esfuerzo cizallante resultante es NULO

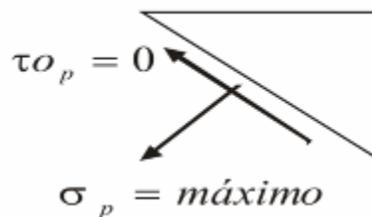


Figura 21. Fuerzas que pueden aplicarse sobre un sólido. Tomado de Askeland y Phulé (36)

Es la deformación relativa de un objeto sometido a una tensión. Puede ser elástica o plástica. La primera es reversible, el objeto recupera totalmente su forma al dejar de aplicar la fuerza. La deformación plástica representa el

estado de deformación permanente de un material, que no se recupera cuando cesa el esfuerzo (21,37)

Sin embargo, algunos factores pueden inhibir el proceso de deformación plástica y por lo tanto el material no podrá transformar el esfuerzo aplicado en deformación plástica, el material se fragiliza. Esto puede ocurrir debido a bajas temperaturas, corrosión, a la velocidad de aplicación de esfuerzos y a fragilización por hidrógeno (21,37).

En un material dúctil, como la aleación de NiTi con estructura de policristal, el responsable de la deformación plástica es el esfuerzo cizallante máximo (plano para el cual el esfuerzo cizallante resultante es máximo), pudiendo existir además esfuerzos normales asociados, ver Figura 22. (21,37).

La capacidad de un material para deformarse es determinante. En los materiales dúctiles, el material cercano a la punta de la imperfección se puede deformar, haciendo que la punta de cualquier grieta se redondee y se reduzca el factor de intensidad de esfuerzo, evitando así el crecimiento de la grieta (16).

8.2.3 Microfracturas

Las microgrietas o microfracturas son fisuras muy pequeñas no detectables a menos de 10 aumentos. Frecuentemente requieren una magnificación de 100 X o mayor para hacerlas visibles. Pueden ocasionarse en frío (transgranulares) o en caliente (intergranulares) (35).

Las fisuras son separaciones presentes en cualquier metal comercial, muy pequeñas que no se consideran críticas para la vida en servicio y generalmente no se propagan bajo condiciones de operación normales (35).

Las grietas representan rupturas lineales de metal bajo esfuerzos. Aunque algunas veces largas, las grietas frecuentemente son separaciones muy estrechas (35).

El sitio de iniciación de una grieta bajo tensiones, puede ser submicroscópico y determinado por diferencias locales en la composición del metal, espesor de la capa protectora, concentración de productos corrosivos, concentradores de tensión. Cualquier grieta mecánica preexistente o algún tipo de discontinuidad superficial, tal como una oquedad, puede actuar como un concentrador de tensiones y como un sitio propicio para la nucleación de una grieta. Muy frecuentemente estas grietas siguen caminos intergranulares y se propagan en una dirección perpendicular a los esfuerzos de tensión que

contribuyeron a su propagación / iniciación (35). Se pueden presentar en dos posiciones: perpendiculares o longitudinales al eje largo del instrumento (10).

8.2.4 Fractura

En general la fractura de los metales puede ser clasificada en frágil o dúctil. Dúctil se refiere a la habilidad de un material de someterse a una deformación plástica antes de fracturarse, mientras que una fractura frágil está asociada con poca o ninguna deformación plástica y ocurre usualmente en metales con poca ductilidad (36,38).

Existe un inicio de grietas en la superficie del metal, y la concentración de las fuerzas en la base de la grieta resulta en la propagación a lo largo de los límites del gránulo o entre planos cristalográficos específicos (38). Dependiendo del esfuerzo aplicado, y del tipo de metal se pueden observar diferentes ángulos al momento de la fractura. Ver Tabla II y ver Figura 22.

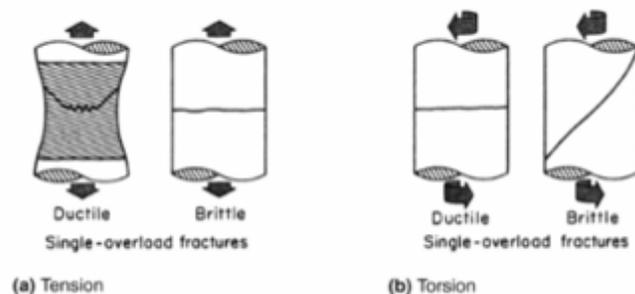


Figura 22. Representación gráfica del tipo de angulación que se evidencia según el esfuerzo aplicado en fractura. Tomado de Querales y Caballero (35) 1995

8.2.4.1 Fractura frágil

En una fractura frágil toda grieta o imperfección limita la capacidad de un material cerámico para resistir un esfuerzo a la tensión. Esto se debe a que una grieta concentra y amplifica el esfuerzo aplicado. Se produce por clivaje (35,36).

	Tensión	Torsión
Dúctil	45°	0°
Frágil	0°	45°

TABLA II. Representación de los ángulos que se producen en cada tipo de fractura y dependiendo del esfuerzo aplicado. . Tomado de Querales y Caballero (35) 1995

El examen de la superficie de fractura, usando el MEB, usualmente revela ciertas características que ayudan a identificar el mecanismo de fractura involucrado. En fracturas frágiles, las fisuras crean surcos que se extienden a lo largo de diferentes planos dentro de la aleación y generalmente se irradian desde el origen de la fisura, produciendo un llamado “patrón de Chevron”, ver Figura 23. (35,38).

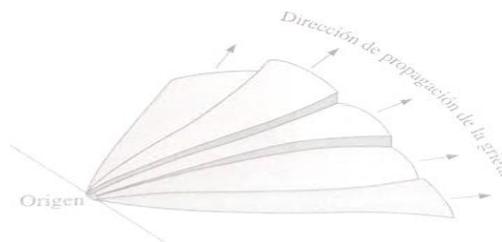


Figura 23. Patrón de Chevron. Tomado de Askeland y Phulé (36), 2004

8.2.4.2 Fractura dúctil

La fractura dúctil se suele producir en forma transgranular (a través de los granos) en los metales con buena ductilidad y tenacidad. Con frecuencia se observa una deformación apreciable, incluyendo la formación de un cuello, un entallamiento localizado, en el componente que falló (35,36). También la deformación por deslizamiento contribuye a la fractura dúctil de un metal. Se sabe que el deslizamiento tiene lugar cuando el esfuerzo cortante resuelto llega a su valor crítico, y los esfuerzos cortantes resueltos son máximos en un ángulo de 45° respecto al esfuerzo de tensión aplicado (35).

En secciones metálicas gruesas, se evidencia la formación de cuello (ver Figura 22), con una parte apreciable de la superficie de fractura teniendo una cara plana donde primero se nuclearon y coalescieron los microhuecos y un labio menor de cortante, donde la superficie de fractura forma un ángulo de 45° con el esfuerzo aplicado. El labio de corte indica que sucedió deslizamiento, y da a la fractura un aspecto de copa y cono, este es el tipo de fractura dúctil más conocido, producido bajo sobrecarga en tensión (35).

Al examen de superficie de fractura, se producen microhoyos dentro del metal (ver Figura 24), creciendo, y la unión de todos estos microhoyuelos, debilita el material y resultan en fractura. La forma e inclinación de los dimples pueden indicar el tipo de carga aplicada y también el origen de la fractura. Por ejemplo, dimples redondos indican una ruptura normal causada

por tensiones de tracción, mientras que dimples ovoides y alargados sugieren desgarro o fuerzas de cizallamiento. Los dimples ovoides generalmente apuntan hacia el origen de fractura (38).

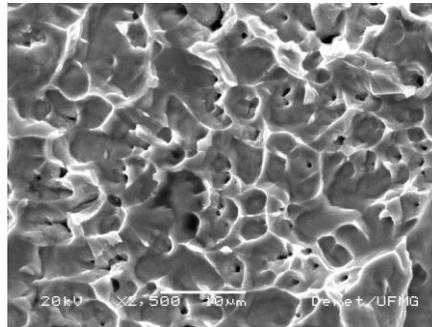


Figura 24. Microhoyuelos o “dimples”. Tomado de de Castro y col (11) 2008.

En instrumentos endodónticos de NiTi, han sido identificadas características de fracturas frágiles y fracturas dúctiles, sin embargo la fractura de los instrumentos rotatorios de NiTi, ha sido clasificada dependiendo del modo en que estos fallan, llamándolas fractura por fatiga, fractura por torsión, o la combinación de ambas (38).

8.2.4.3 Fractura por torsión

La fractura por torsión, ocurre cuando la punta o cualquier otra parte del instrumento se bloquean en el conducto mientras que el resto del instrumento sigue rotando, el instrumento excede el límite elástico del metal y muestra deformación plástica seguida de una fractura (2,26).

Los instrumentos que se fracturan como resultado de sobrecargas torsionales, demuestran deformaciones variables como desenrollamiento del instrumento, enderezamiento, enrollamiento reverso y torsión del mismo (26,38).

8.2.4.4 Fractura por fatiga

Conocida como fatiga, es el resultado de tensiones (tensión y compresión) repetidas que varían con el tiempo (cíclicas) y que son mucho menores a aquellas necesarias para causar fracturas en una aplicación única de carga. En este tipo de fractura, el instrumento es rotado libremente en un conducto curvo y en el punto de curvatura, el instrumento se flexiona hasta que la fractura ocurre en el punto de máxima flexión (2,15,30,36,40).

La fatiga puede producir cambios acumulativos e irreversibles dentro del metal llevando a la fractura de un instrumento luego de cierto periodo de uso. La principal característica de fractura por fatiga es que sucede sin presentar cualquier defecto aparente como deformación permanente, o cambio en la estructura del material (30,38).

La fatiga del metal puede ser causada por fuerzas de tensión, compresión, flexión, vibración, dilatación térmica, fuerzas de cizallamiento y también por corrosión. Un instrumento de NiTi rotando a lo largo de una curvatura por un periodo prolongado de tiempo está sujeto a fuerzas de

tensión y compresión, por lo que durante cada rotación, la superficie interna del instrumento está siendo comprimida y la superficie externa se encuentra bajo tensión (35,38).

En los metales, la fractura por fatiga involucra tres etapas: nucleación de las grietas, su crecimiento lento y progresivo y la fractura final. Primero se inicia o nuclea una grieta diminuta, comúnmente en la superficie, con frecuencia mucho después de que comienza la carga. En todos los materiales existen regiones no homogéneas, resultando en defectos de superficie como rayas o picaduras que funcionan como concentradores locales de tensión (Etapa I) (30,35)

Durante el proceso de crecimiento lento (Etapa II), la velocidad de avance de la grieta está influenciada por la frecuencia y amplitud del ciclo de tensión-deformación, a medida que la carga continúa cíclicamente. El lento crecimiento de la grieta es detenido por la fractura rápida final (Etapa III), cuando la grieta alcanza un tamaño crítico, cuando su sección transversal restante es demasiado pequeña para sostener la carga aplicada. La tasa de propagación de la grieta está íntimamente relacionada con la variación de la tensión en cada ciclo, cuanto mayor sea la variación de la tensión, mayor es la tasa de avance de la grieta. Así la zona de fractura final depende de las tensiones aplicadas y de la tenacidad del material (30,35).

A pesar de que las fracturas de fatiga parecían ser macroscópicamente “frágiles”, es decir, sin deformación macroscópicas, la deformación plástica localizada está presente, porque en cualquier tipo de fractura de metales, la grieta por fatiga tiene nucleación y se propaga por deformación plástica (30).

Las superficies de fractura de los metales que fallan por fatiga presentan características que pueden ayudar a la identificación de la misma como causa probable de falla. En el aspecto macroscópico, una característica es la presencia de una superficie lisa que puede o no tener marcas en forma de anillos, conocidas como “marcas de playa” que corresponde a una región de crecimiento lento e intermitente de grietas. Otra característica es la presencia de una región fibrosa, característica de fractura dúctil, correspondiente al proceso de fractura final (30,35).

Las marcas de playa usualmente son concéntricas con un origen de fractura. Como las fracturas por fatiga ocurren normalmente luego de varios ciclos, una grieta durante su crecimiento lento avanza solamente distancias microscópicas en cada ciclo. Al examen microscópico de la superficie de fractura se pueden observar una serie de marcas paralela, normalmente curvas, llamadas “estrías de fatiga”, y las distancias entre ellas representan una medida de avance lento de la grieta, (30,35), ver Figura 25.

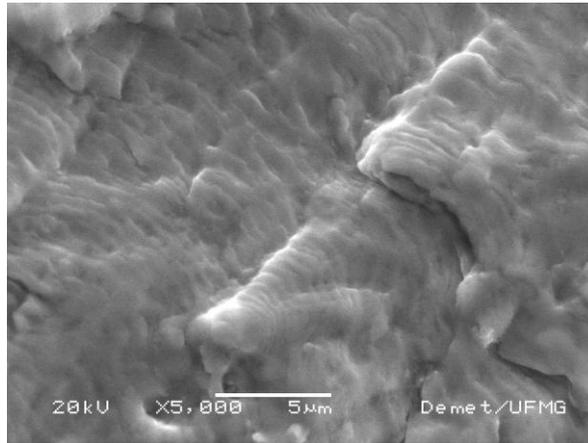


Figura 25. "Estrías de fatiga". Tomado de de Castro y col (11) 2008.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra consistió de 12 instrumentos de NiTi Reciproc ® (VDW, Munich Alemania) R25, de 25 mm de longitud (diámetro de 0,25 mm en la punta y una conicidad .08). Dichos instrumentos fueron obtenidos mediante la compra a un distribuidor dental local, presentándose en empaques estériles de 6 instrumentos cada uno (ver Figura 26), con las siguientes especificaciones

Empaque N°1 Referencia V 04 0212 025 025 / LOT 1102002290, con 6 instrumentos y con fecha de caducidad 03/2013

Empaque N°1 Referencia V 04 0212 025 025 / LOT 1104000221, con 6 instrumentos y con fecha de caducidad 03/2016



Figura 26. Registro fotográfico del empaque sellado de instrumentos Reciproc ® utilizado para el estudio

Para la preparación, se usaron 43 molares inferiores humanos extraídos que han sido almacenados en agua destilada, específicamente raíces mesiales de molares inferiores, que comprendan dos conductos, para un total de 86 conductos.

Dicha muestra de dientes fue obtenida de los pacientes atendidos en el Post-Grado y Pre-Grado de Cirugía de la Facultad de Odontología de la UCV del período de Enero-Mayo 2012, a los cuales se les presentó y explicó el motivo del estudio mediante un consentimiento informado aprobado por el comité de Bioética de la Facultad de Odontología de la UCV (Anexo 1 y 2).

1. Observación de la muestra bajo microscopía electrónica de barrido

La observación se hizo bajo microscopía electrónica de barrido (Microscopio Electrónico de Barrido *Hitachi S 2400*, Departamento de microscopia electrónica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Metalurgia y Ciencia de los Materiales, Universidad Central de Venezuela) ver Figura 27.

Se realizó una marca en el mango de cada instrumento, identificando su numeración. Todos los instrumentos nuevos y usados fueron observados a magnificaciones de 20X / 150X / 300X / y 500X, colocándolos sobre un dispositivo de silicona elaborado a la medida, garantizando así la evaluación de la misma superficie en cada ciclo de observación.

Las observaciones se realizaron en la punta del instrumento a 150X y a 500X, en el cuerpo del instrumento (a 3-4mm de la punta) igualmente en 150X y 500X y una observación de 20X en la total longitud del instrumento.

El mango de cada instrumento fue ubicado en un dispositivo construido y se fijaron con resina a un porta muestras de aluminio, ver Figura 28. Adicionalmente se colocó pasta conductora de grafito (Colloidal Graphitie / Ladd Research Industries) lo que permitió que la muestra fuese altamente conductora al haz de electrones, permitiendo así la obtención de las imágenes de mayor definición.



Figura 27. Registro fotográfico del microscopio electrónico de barrido ubicado en el Centro de Microscopía Electrónica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica de la U.C.V utilizado en el estudio.



Figura 28. Registro fotográfico de las muestras sobre el dispositivo de silicona elaborado y el momento en el cual se le colocaba la pintura de grafito (Colloidal Graphitie/Ladd Research Industries)

2. Manejo del material biológico (dientes humanos extraídos)

Los dientes obtenidos fueron manejados en con agua destilada, a cargo de un odontólogo general, estudiante de la especialidad de Endodoncia, bajo normas generales de bioseguridad. Se les realizó una limpieza con un instrumento ultrasónico para eliminar restos de tejidos periodontales y/o cálculo y se colocaron en una solución de agua destilada con hipoclorito de sodio por 10 minutos, ver Figura 29.



Figura 29. Registro fotográfico del manejo de los molares humanos extraídos en agua destilada

Se realizaron radiografías vestibulo-linguales iniciales de todos los dientes, realizando así la selección dentaria inicial, la cual consiste en un descarte de los dientes que no puedan ser usados en el estudio. Esto permitió una correcta estandarización de los dientes a utilizar y para dicha selección se usaron los siguientes criterios:

2.1 Los criterios de inclusión

- Molares inferiores (primeros, segundos o terceros molares) que contengan raíz mesial con conductos mesiales separados
- La edad de los pacientes debió comprender el rango de 25 a 45 años
- Dientes con ángulos de curvatura comprendidos entre 30° y 50°

2.2 Los criterios de exclusión

- Pacientes menores de 25 años y mayores de 45 años
- Dientes con la raíz mesial fracturada
- Dientes con resorciones apicales
- Dientes incompletamente formados
- Dientes con curvas muy abruptas
- Dientes con calcificaciones totales evidentes

3. Estandarización de los dientes utilizados

Se realizó la cavidad de acceso desde la superficie oclusal con una fresa redonda de carburo N°4 y fresas Endo-Z® (Dentsply / Maillefer - Ballaigues, Suiza). El plano oclusal fue achatado con una piedra de diamante cilíndrica, para producir un punto de referencia confiable en la determinación de la longitud de trabajo, y todos los dientes fueron llevados a una longitud estándar de 20 mm.

Se verificó que todos los dientes utilizados tuviesen permeabilidad apical con un instrumento ISO N°10, el cual debe pasar a lo largo de toda su longitud. Si esto no era posible, el diente fue descartado. Dicho instrumento será introducido hasta que se visualice en el foramen apical, y a esta medida se le restó 1 mm, obteniendo así la longitud de trabajo.

El ángulo de curvatura de cada conducto fue determinado usando el método de Schneider (36), mediante radiografías en sentido vestíbulo-lingual con un instrumento en cada conducto, molares con curvaturas radiculares extremadamente abruptas fueron descartados.

4. Preparación de los dientes

Los instrumentos Reciproc® (VDW GmbH, Munich, Alemania) fueron operados en el motor VDW.SILVER® (VDW), en el modo "RECIPROC ALL".

Los dientes se colocaron en una prensa para así mantener una posición constante durante la preparación, ver Figura 30.

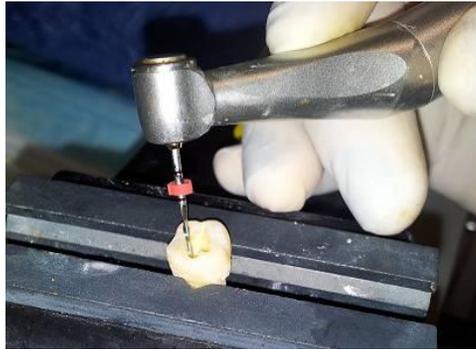


Figura 30. Registro fotográfico de la preparación de los dientes humanos extraídos con los instrumentos oscilatorios

Cada instrumento Reciproc® se usó con movimiento de picoteo lento, realizando tres movimientos en cada inserción, de acuerdo a las instrucciones del fabricante (1). Las superficies del instrumento fueron limpiadas luego de cada inserción con una gasa estéril, y se volvió a colocar en el conducto repitiendo su uso, hasta alcanzar la longitud de trabajo. Una vez alcanzada, el instrumento no fue insertado de nuevo en el conducto. La irrigación se hará mediante el uso de una cantidad de 5 ml de hipoclorito de sodio al 3,25% por cada conducto, en jeringas de 5 cc con agujas Endo-Eze® 27G (Ultradent Products Inc, USA).

Al culminar la preparación, cada instrumento fue lavado y cepillado con agua corriente y jabón, colocado dentro de una batea ultrasónica (BioSonic

uc100, Whaledent ®) por 15 minutos (ver Figura 31) con una dilución de agua y Líquido Limpiador Enzimático BioSonic, Whaledent ® y esterilizado en autoclave (Satelec Vela 165A®).



Figura 31. Registro fotográfico de la batea ultrasónica donde fueron colocados los instrumentos una vez lavados con agua corriente y jabón.

5. Ciclo de observación

El ciclo de observación de los 12 instrumentos consistió en:

- Tiempo 0: Observación del instrumento Reciproc ® nuevo
- Tiempo T1: Observación del instrumento luego de usado en una raíz mesial de un molar inferior, lavado y esterilizado en autoclave.

Se realizaron los Tiempos T1, T2, T3 y T4, incluyendo en cada uno a los instrumentos hasta que estos estuviesen deformados o fracturados. Toda la instrumentación fue realizada por un solo operador.

6. Criterios para la evaluación

En instrumentos nuevos, se evaluó la presencia de defectos de fabricación, aspecto de la superficie (punta, cuerpo, bordes cortantes, morfología, presencia de desechos, longitud y ancho de las líneas de maquinado). Estos parámetros se usaron para compararlos con los instrumentos una vez ya usados.

En los instrumentos usados, las características evaluadas fueron las siguientes:

a. Microfracturas

- Perpendiculares
- Longitudinales

b. Líneas de maquinado

- Longitud
- Ancho

c. Aplastamiento de la superficie (líneas de maquinado y borde cortante)

d. Oquedades

e. Deformación plástica

f. Fracturas

Para evaluar cada foto, la misma fue dividida en cuadrantes, tomando como referencia la medida en micrómetros mostrada en la imagen (ver Figura 32). Se utilizaron las imágenes a 500X para obtener los datos, tomadas en cuerpo de 3-4 mm de la punta y en punta y los cuadrantes eran de 25µm x 25µm. Esto fue realizado para simplificar la observación y mejorar la exactitud de los resultados.

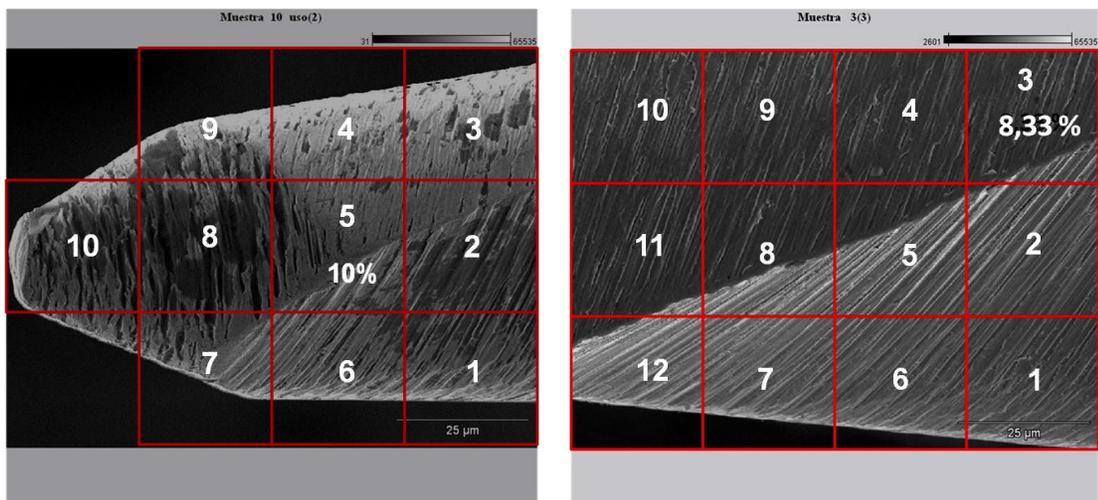


Figura 32. Imágenes a 500X bajo MEB. A. imagen de la punta mostrando el número de superficies analizadas, del 1 al 10, representando cada una el 10% de la superficie. b. Imagen del cuerpo mostrando el número de superficies analizadas, del 1 al 12, representando el 8,33% de la superficie

a. Microfracturas

Se consideraron microfracturas, a todas aquellas líneas observadas sin una completa separación del instrumento y que abarcaran el borde cortante.

ver Figura 33. Se contaron todas las líneas de microfractura observadas nuevas y en cada uso sobre la punta y el cuerpo de la lima a 500X. Se evaluó la presencia de microfracturas perpendiculares y longitudinales.

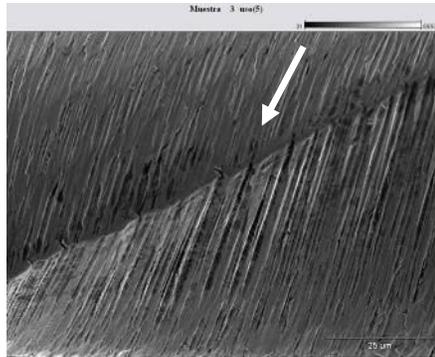


Figura 33. Línea de microfractura que se muestra en el borde cortante del instrumento, obtenida mediante MEB a 500X

b. Líneas de maquinado

Se realizó una evaluación de las líneas de maquinado antes y después de cada uso. Cada fotografía se dividió en tres tercios y se escogió una línea de maquinado de cada tercio observado, evaluando su longitud y ancho (ver Figura 34). Esto se realizó en cuerpo y punta a 500X.

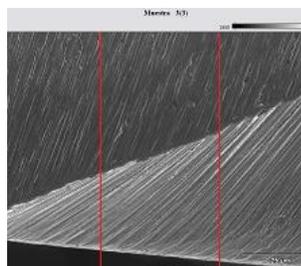


Figura 34. Imagen donde se observa la división realizada para la evaluación de las líneas de maquinado.

c. Achatamiento de la superficie

Se consideró dentro de este defecto o desgaste a toda superficie que tuviese una superficie lisa o achatada sobre superficies con líneas de maquinado antes definidas, bordes con pérdida del filo o romos. Cada superficie que poseía esta característica era anotada y luego representada en porcentaje de superficie observada. Se observó el cuerpo y punta a 500X (ver Figura 35).

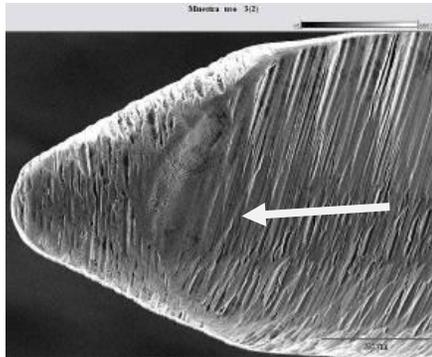


Figura 35. Achatamiento de la superficie que se muestra en borde cercano a la punta del instrumento. Obtenida mediante MEB a 500X

d. Oquedades

Se evaluó como la aparición de cualquier tipo de agujero en el metal.

e. Deformación plástica

Se consideró deformación a todo aquel cambio morfológico irreversible que se produjo sobre el instrumento, como cambios en la forma, desenrollamiento, enrollamiento inverso o enroscado. Ver Figura 36

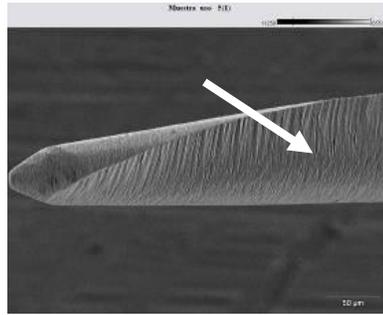


Figura 36. Imagen obtenida mediante MEB a 150X mostrando la deformación en la parte activa del instrumento

f. Fractura

Se consideró fractura a la completa separación del instrumento

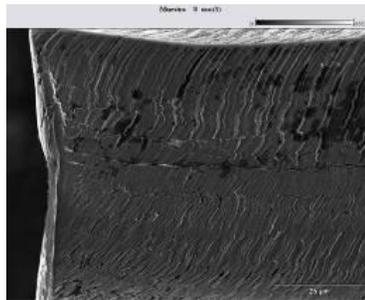


Figura 37. Instrumento fracturado a 500X. Imagen obtenida mediante MEB a 500X

Las observaciones se tabularon para luego ser representadas en tablas y gráficos donde se resumieron los datos obtenidos, esto con el fin de realizar un análisis descriptivo.

IV. RESULTADOS

La Tabla III, muestra el promedio de los valores de ángulo de curvatura observados en los dientes humanos extraídos utilizados en el estudio.

TABLA III. Promedio de valores de ángulo de curvatura

Numero de dientes	Promedio de ángulo
43	40.3°

1. Evaluación de instrumentos nuevos

Se observaron algunas características morfológicas de los instrumentos Reciproc® R25.

Se evaluó la apariencia de la punta, cuerpo y bordes cortantes (a 3-4 mm de la punta), así como la sección transversal, ángulo helicoidal y distancia entre cada hélice (paso o “pitch”). Ver Figuras 37-40.

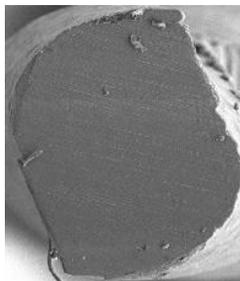


Figura 38. Sección transversal de un instrumento Reciproc® R25, en forma de S itálica. Imagen tomada en MEB a 400X

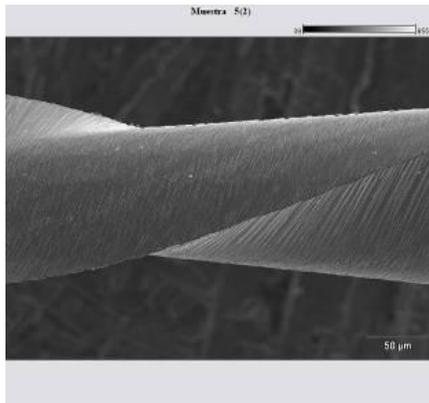
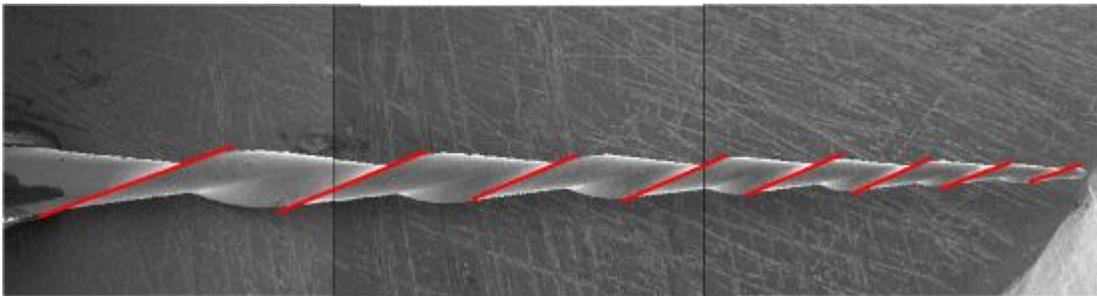


Figura 39. Imagen tomada con MEB a 150x del cuerpo del instrumento Reciproc® R25 mostrando la ausencia de superficies radiales.

a.



b.

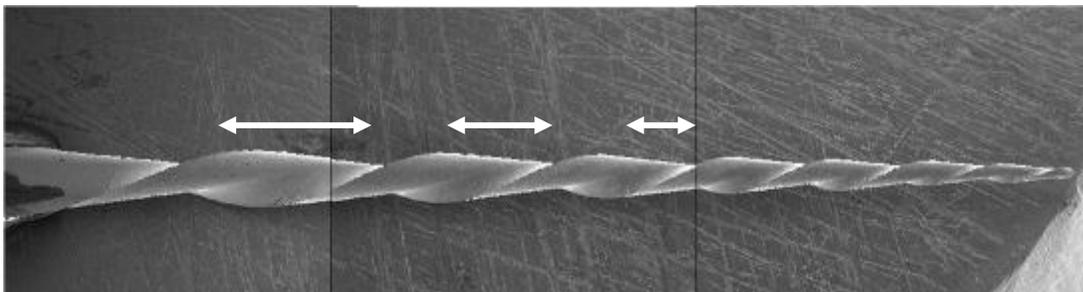


Figura 40. Imagen tomada con MEB a 20X. a. Ángulo helicoidal del instrumento Reciproc® R25 a lo largo de toda la parte activa instrumento, el cual es variable a lo largo de la longitud (representado mediante las líneas rojas). b. Distancia entre los bordes cortantes (pitch), la cual se muestra menor en la punta, aumentando en tercio medio y coronal (representada con las flechas blancas).

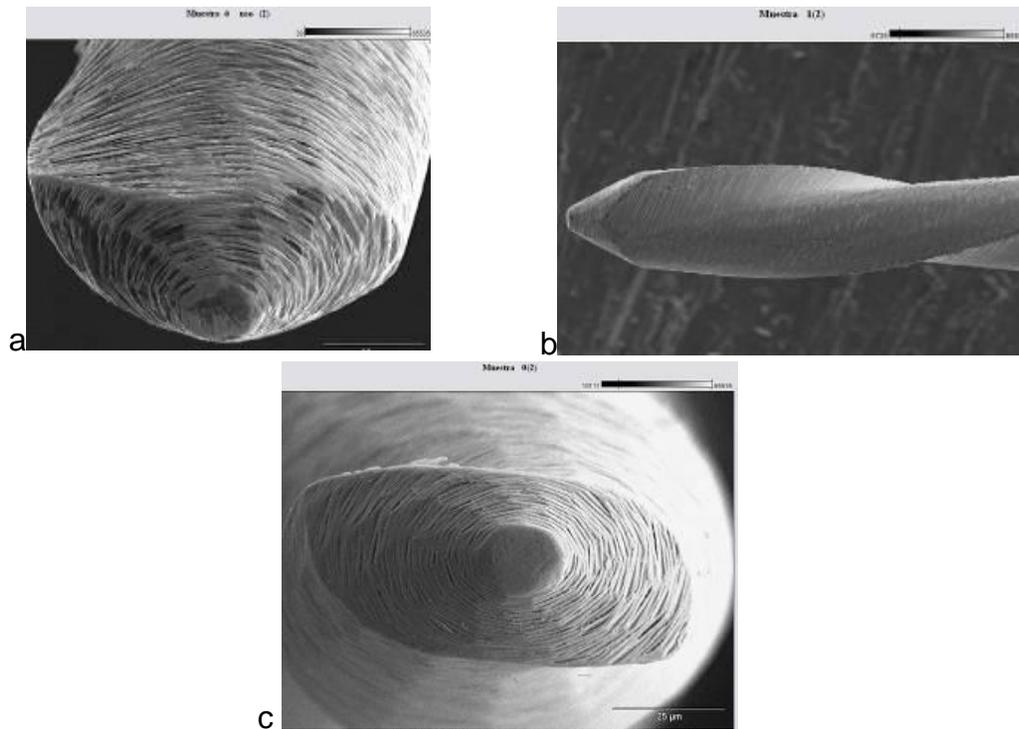


Figura 41. Imágenes de la punta no cortante del instrumento Reciproc® R25 obtenidas mediante MEB. a. A 400X vista frontal con inclinación de 60°, b. Imagen a 150X vista lateral, c. A 500X vista frontal perpendicular al eje largo del instrumento.

Los instrumentos nuevos, observados bajo MEB mostraron las marcas usuales de maquinado, ver Figura N°41, estando excesivamente marcadas en dos instrumentos. Figura N°42.

Un defecto observado de manera predominante fue el exceso de metal / presencia de partículas metálicas sobre la superficie y los bordes cortantes, en 5 instrumentos, representados con la Figura 43.

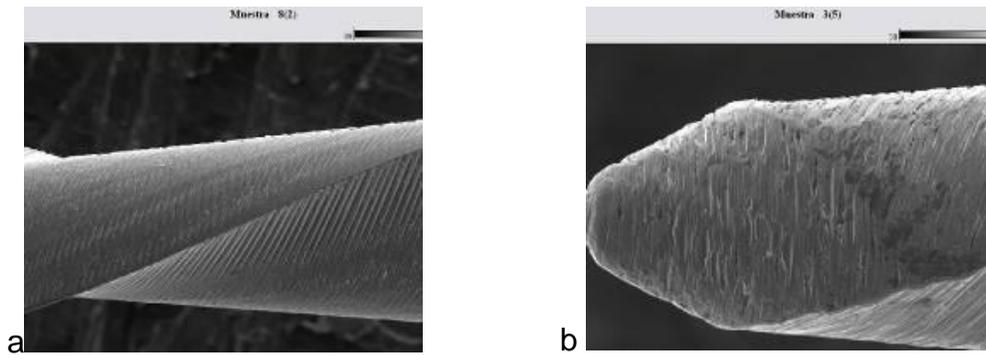


Figura 42. Marcas usuales de maquinado observadas en instrumentos sin uso
Magnificación a.150 X, b. 500X

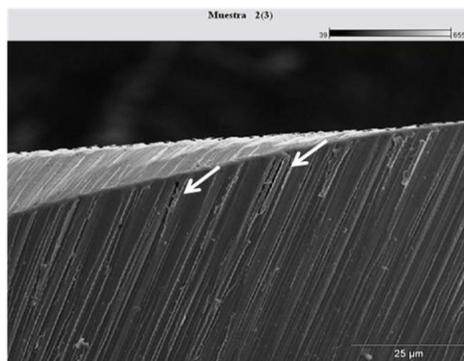


Figura 43. Líneas excesivamente marcadas observado sobre la superficie de un instrumento sin usar, marcado con flechas. Magnificación 500X.

También se observó la presencia de desechos en la superficie de 4 instrumentos nuevos, a pesar de que se trata de instrumentos que vienen sellados y esterilizados, representados en la Figura 44.

Dos instrumentos presentaron un defecto diferente, una deformidad en la punta, lo cual fue observado a 500X, ver Figura 44.

Ningún instrumento nuevo mostró áreas planas o con achatamientos.

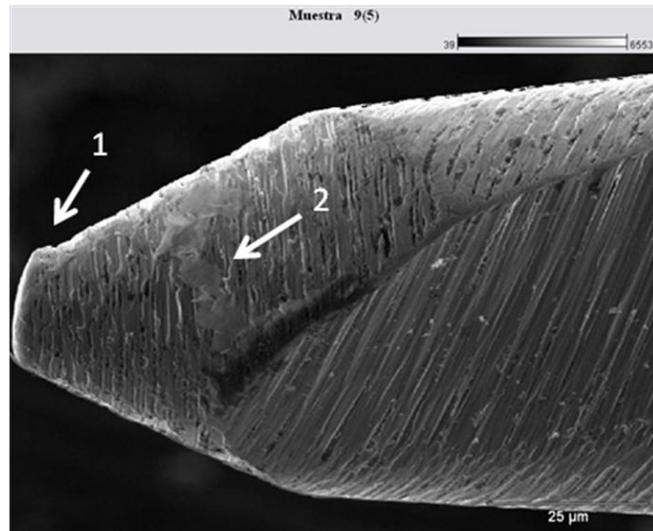


Figura 44. 1. Defecto de forma de la punta, 2. Presencia de excesos metálicos. Instrumento sin uso. Magnificación 500x

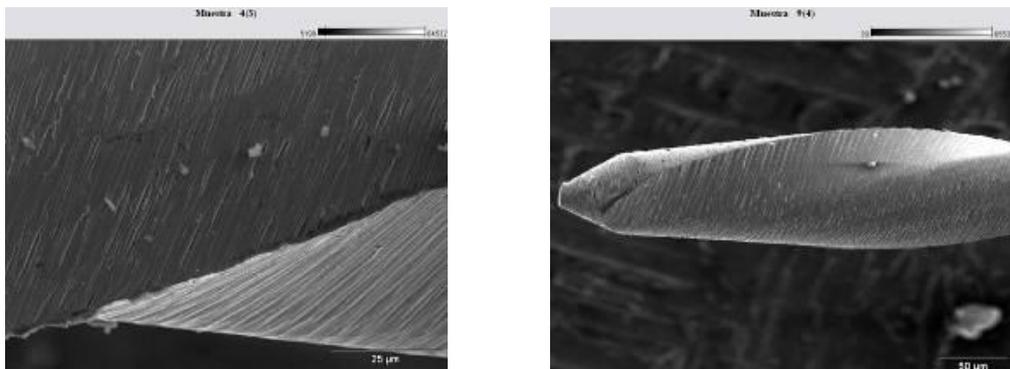


Figura 45. Presencia de desechos en la superficie, instrumento sin uso. Magnificación a.500X, b.150X.

Adicionalmente, se observó que la apariencia morfológica de la punta era muy variable entre los 12 instrumentos, ver Figura 45.

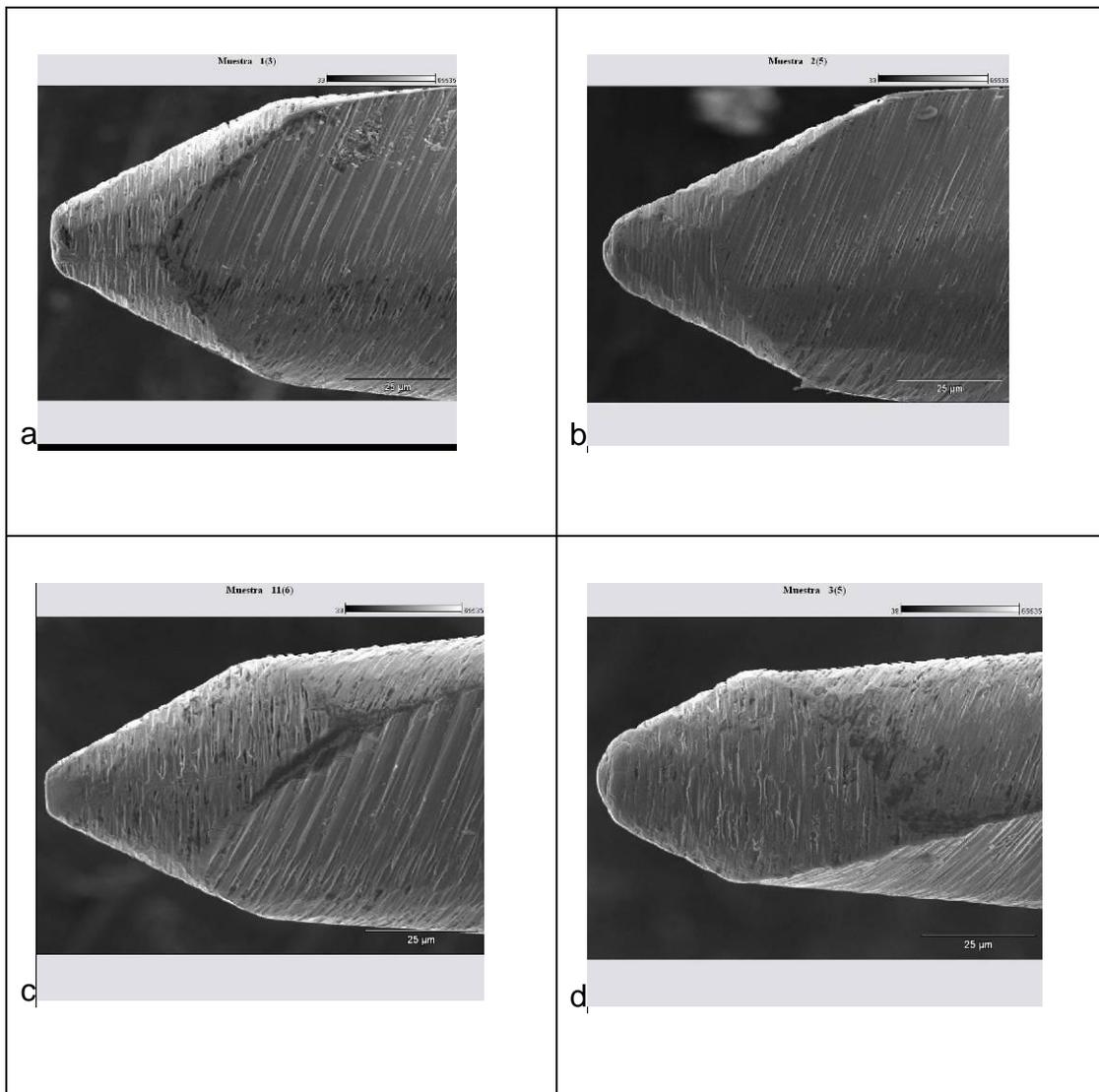


Figura 46. 500X. Variación morfológica entre las puntas de los instrumentos nuevos observados.

Al primer uso, en 7 de los 12 instrumentos observados, la punta no coincidía con la posición observada en el primer análisis.

Debido a esta modificación, la muestra se dividió en dos grupos: Grupo 1, Instrumentos Reciproc® R25, que mantuvieron su posición original a lo largo de todas las observaciones realizadas (T1, T2, T3, T4), y Grupo 2, instrumentos Reciproc® R25, que no mantuvieron su posición original a lo largo de todas las observaciones.

2. Grupo 1

Las observaciones realizadas se encuentran resumidas en la Tabla IV.

2.1 Tiempo 1 (T1)

Luego del primer uso sobre dientes extraídos, se comenzó a apreciar un cambio en las líneas de maquinado, se observó achatamiento de la punta de todos los instrumentos en los 4 usos, no se observó achatamiento en el cuerpo de los instrumentos, Figura 46.

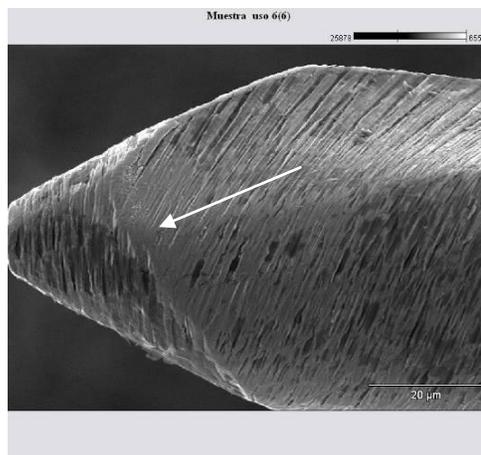


Figura 47. Achatamiento sobre la superficie de la punta del instrumento (flecha). Magnificación 500X.

No se observaron microfracturas perpendiculares ni longitudinales, así como ninguno de los instrumentos resultó deformado ni con oquedades.

Ningún instrumento sufrió fractura durante el primer uso y se observó la presencia de desechos orgánicos / inorgánicos en 3 instrumentos.

Tabla IV. Resumen de los desgastes y deformaciones observados en los instrumentos sin rotación.

NO ROTADAS		T1	T2	T3	T4
ACHATAMIENTO	CUERPO	0/5	1/5	2/3	2/3
	PUNTA	5/5	3/5	3/3	3/3
OQUEDADES		0/5	5/5	3/3	3/3
FRACTURAS		0/5	2/5	0/3	0/3
MICROFRACTURAS PERPENDICULARES	CUERPO	0/5	0/5	0/3	2/3
	PUNTA	0/5	0/5	0/3	0/5
MICROFRACTURAS LONGITUDINALES		0/5	1/5	1/3	1/3
DEFORMACIONES		0/5	0/5	0/5	0/5
DESECHOS ORGÁNICOS / INORGÁNICOS		3/5	3/5	0/5	1/5

2.2 Tiempo 2 (T2)

Dos instrumentos sufrieron fractura durante este uso, por lo que la muestra de estudio se redujo a solo 3 instrumentos. Las características de fractura serán descritas más adelante.

Se observó achatamiento en la punta de 3 instrumentos, Figura 47. Solo se observó achatamiento en el cuerpo de un instrumento.

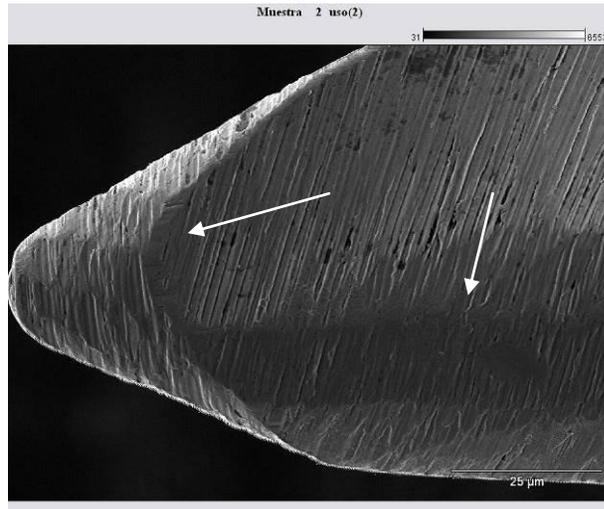


Figura 48. A 500X. Achatamiento sobre la superficie del instrumento 2. Señalado con flechas blancas.

No se observó la presencia de microfisuras perpendiculares, pero sí de microfisuras longitudinales en solo un instrumento a nivel del cuerpo, ver Figura 48.

Hubo presencia de oquedades en todos los instrumentos, ver Figura 49, ninguno sufrió deformación.

Se observó la presencia de desechos orgánicos / inorgánicos en 3 instrumentos.

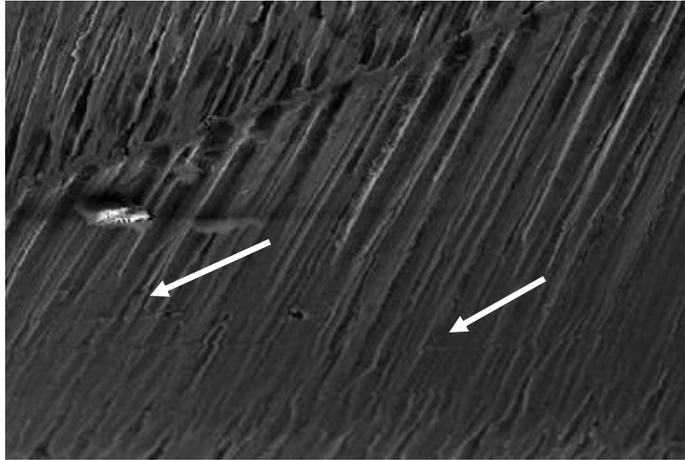


Figura 49. Imagen a 500X. Presencia de microfracturas longitudinales, señaladas con flechas de color blanco

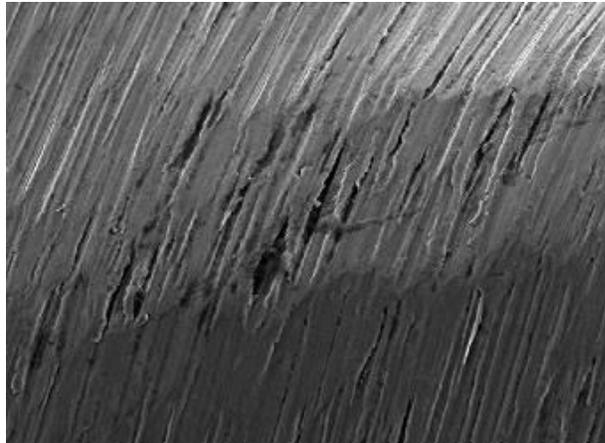


Figura 50. Imagen a 500X de oquedades observadas.

2.2.1 Análisis de fractura del instrumento N°8

La longitud del fragmento fracturado del instrumento N°8, midió 0,9 mm, y mediante el análisis de la superficie, se identificó la fractura de un material dúctil por torsión. Figura 50-53.

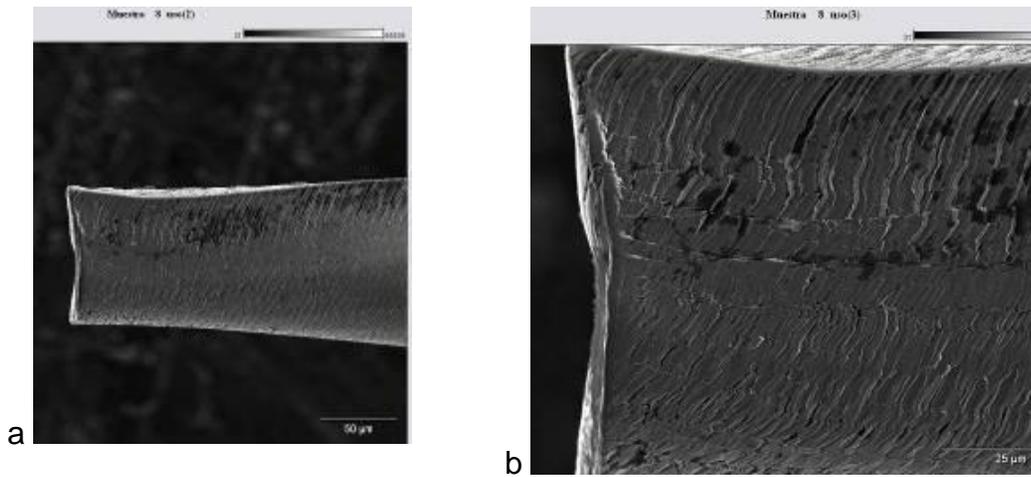


Figura 51. Fragmento fracturado del instrumento N°8 donde se evidencia a. a 150X, fractura en ángulo de 0°, evidenciando falla de material dúctil por torsión y b. a 500X, numerosas líneas de microfracturas perpendiculares y longitudinales y deformación del borde cortante

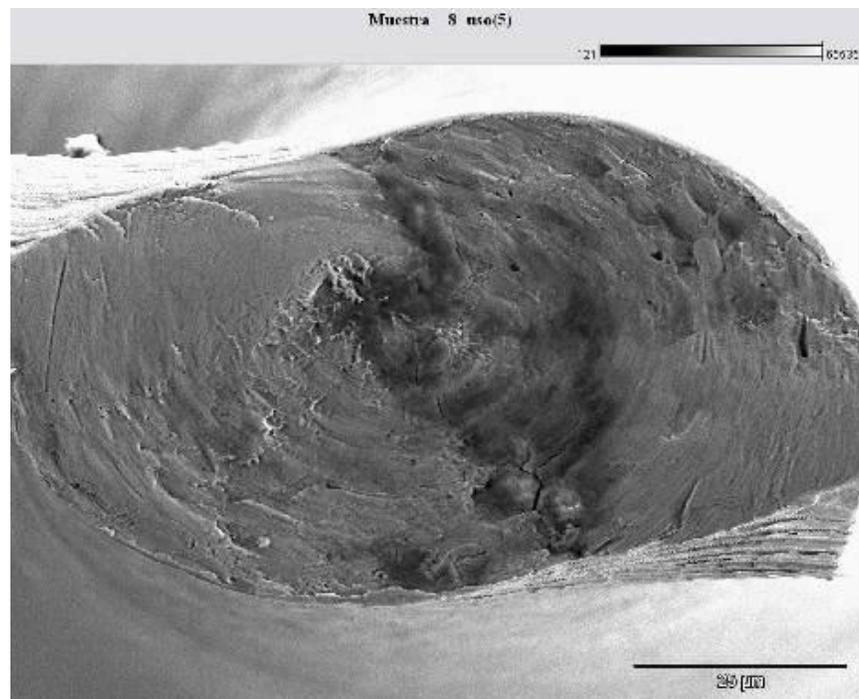


Figura 52. Sección transversal de la superficie fracturada, donde se observa una línea de microfractura como inicio, y zonas de microhoyuelos en el centro de la imagen

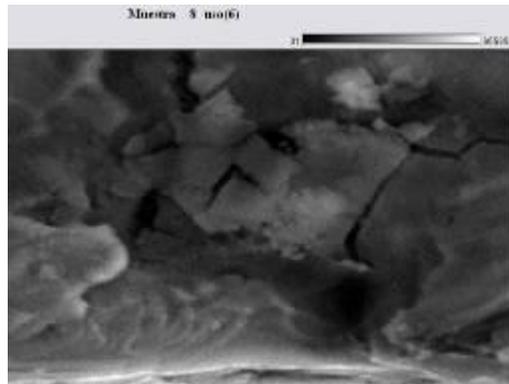


Figura 53. a 3000X, línea de microfractura perpendicular

2.2.2 Análisis de fractura del instrumento N°10

La longitud del fragmento fracturado del instrumento N° 10 midió 1mm, y mediante el análisis de la superficie, se identificó la fractura de un material dúctil por sobrecarga en tensión, lo cual pudo haber ocurrido por un trabamamiento del instrumento dentro del conducto o una fuerza vertical sobre-aplicada. Figura 54-56.

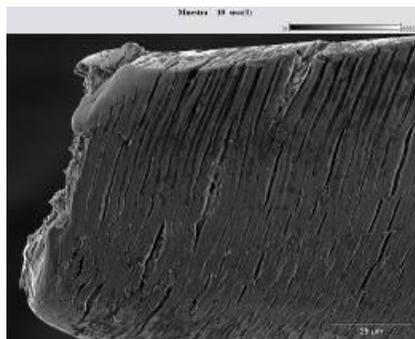


Figura 54. a 500X, fragmento fracturado del instrumento N°10 donde se evidencia una fractura a 45° o fractura de “copa-cono” y numerosas microfracturas.

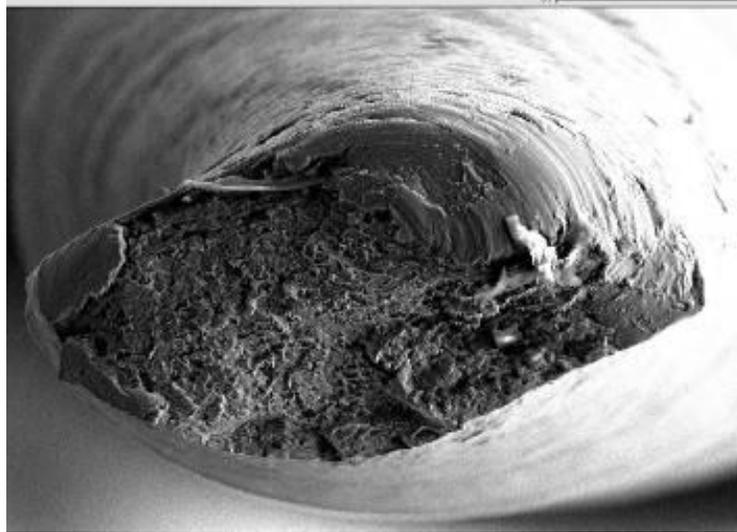


Figura 55. a 500X, sección transversal de la superficie fracturada donde se observa la irregularidad en la superficie y la carencia de una superficie plana. Además de numerosos microhoyuelos (dimples) en la zona central de fractura final.

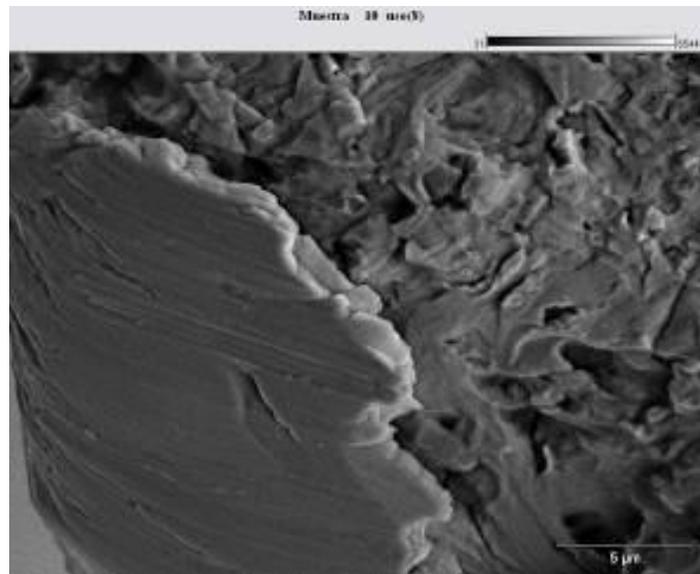


Figura 56. a 5000X se observa el detalle de una línea de microfractura en la periferia del instrumento, que posiblemente dio inicio a la fractura, además de marcas de fatiga muy incipientes

2.3 Tiempo 3 (T3)

Se observó achatamiento de la superficie de la punta en los tres instrumentos restantes, con aumento del porcentaje del área afectada, y solo en el cuerpo de 2 instrumentos, ver Gráfico 1 y 2.

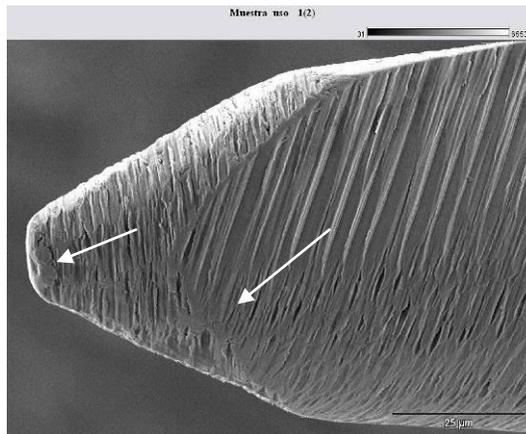


Figura 57. Achatamiento sobre la punta del instrumento 1 y reducción del aspecto de las líneas de maquinado. Con flechas. Magnificación 500X.

No se observaron microfracturas perpendiculares, solo microfracturas longitudinales en un solo instrumento (mismo instrumento del uso 2) a nivel del cuerpo.

Se observaron oquedades en todos los instrumentos y ninguno sufrió deformación ni se observaron desechos en la superficie.

2.4 Tiempo 4 (T4)

Se observó achatamiento en los mismos instrumentos que en T3, ver Figura 58, sin embargo el área de achatamiento aumentó en porcentaje del T3 al T4, ver Tabla IV.

Dos instrumentos presentaron microfracturas perpendiculares, y solo 1 instrumento presento microfracturas longitudinales (mismo instrumento en T2 y T3). Ver Figura 59

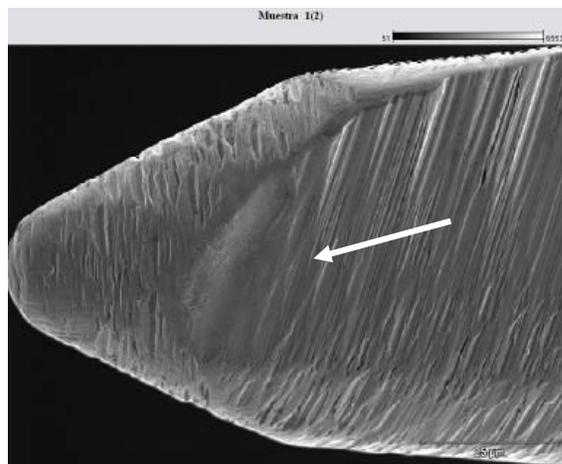


Figura 58. a 500X presencia de achatamiento evidente sobre la superficie

Todos los instrumentos presentaron oquedades, ninguno sufrió deformación.

Se pudieron observar marcas de fatiga sobre el área achatada del instrumento 1, ver Figura 60.

Se observó la presencia de desechos orgánicos / inorgánicos en 1 instrumento.

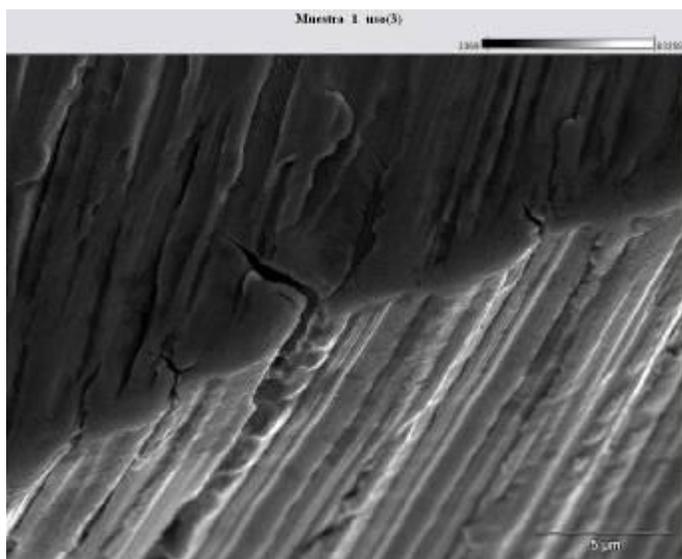


Figura 59. a 2000X, línea de microfractura

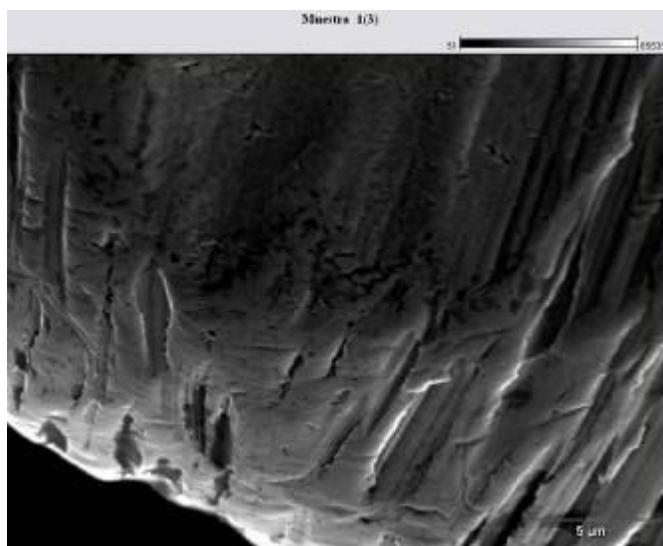


Figura 60. a 2000X Marcas de fatiga sobre el área achatada del instrumento 1

En cuanto a la longitud de las líneas de maquinado, pudieron ser evaluadas solo en 3 instrumentos del Grupo 1, que mantuvieron su posición, lo que nos permitió realizar una medición de las mismas durante los cuatro usos. Gráficos 3 y 4.

Se observó una tendencia al aumento de dichas líneas en el cuerpo a lo largo de todos los usos. El instrumento 6 presentó una disminución en la longitud en los usos T2 y T3 y el instrumento 1 en T3, sin embargo en T4 aumentó en todos los instrumentos.

En la punta, se mantuvo constante la longitud hasta T3, donde en T4 dos instrumentos disminuyeron la longitud de las líneas de maquinado considerablemente. Esta disminución puede ser explicada por el aplastamiento que ocurre en la superficie, sobretodo en la punta de estos instrumentos, lo que hace que las líneas de maquinado tiendan a desaparecer.

No hubo mucha variación en el ancho de las líneas de maquinado, representando diversos comportamientos en los tres instrumentos evaluados durante los 4 usos

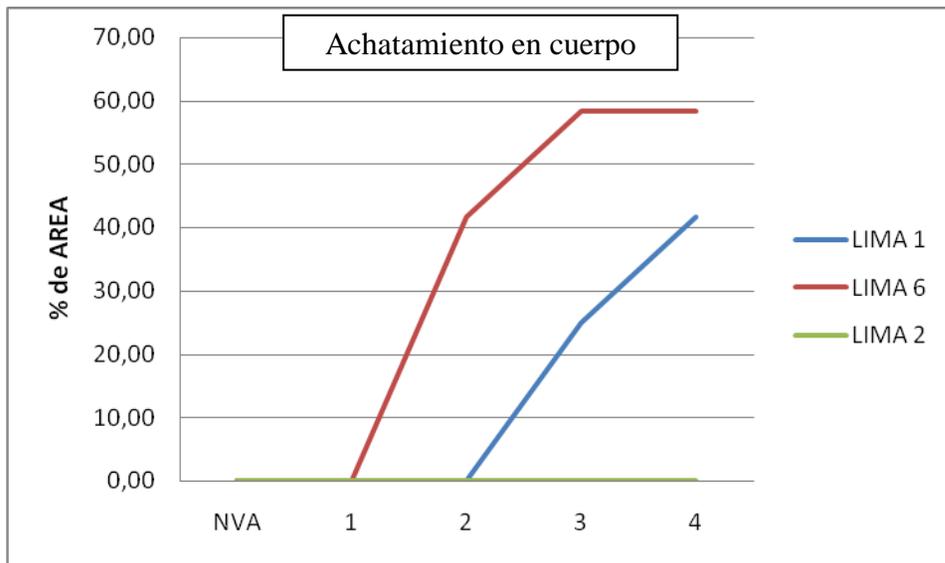


Gráfico 1. Porcentaje de achatamiento observado en el cuerpo de los instrumentos que no rotaron (excluyendo 2 que se fracturaron).

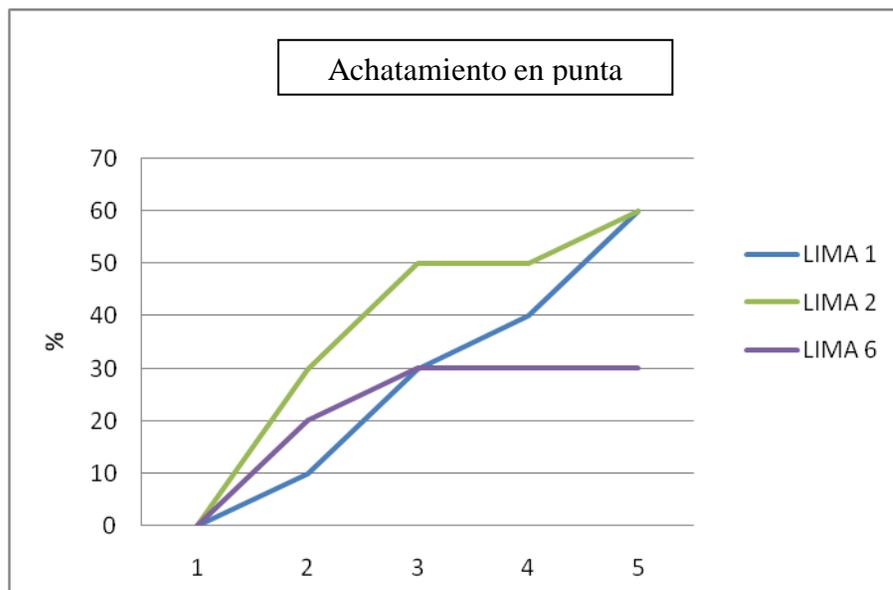


Gráfico 2. Porcentaje de achatamiento en punta observado en los instrumentos que no rotaron (excluyendo 2 que se fracturaron)

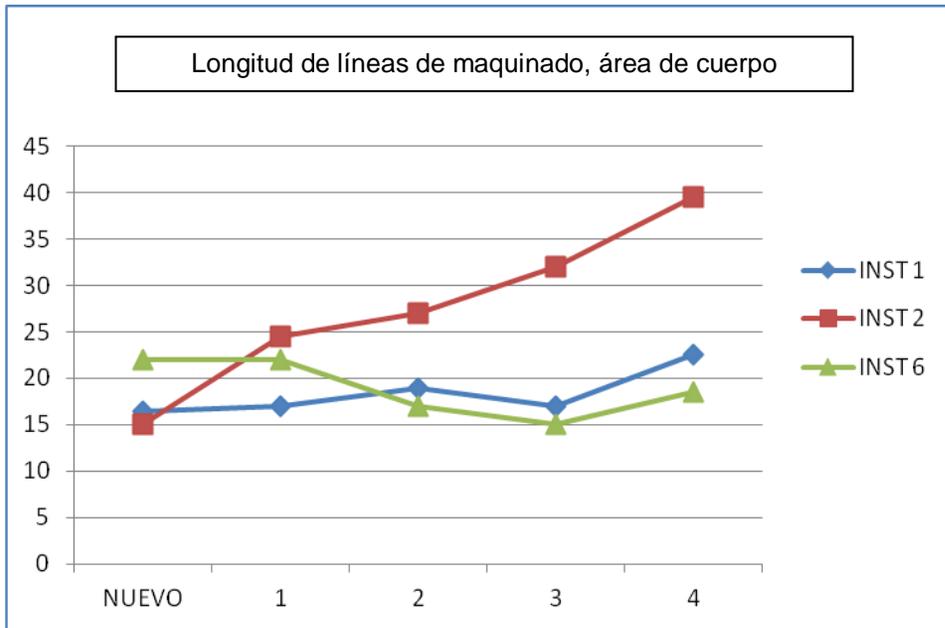


Gráfico 3. Valores obtenidos de las líneas de maquinado (en micrómetros) del cuerpo del instrumento, a lo largo de los usos

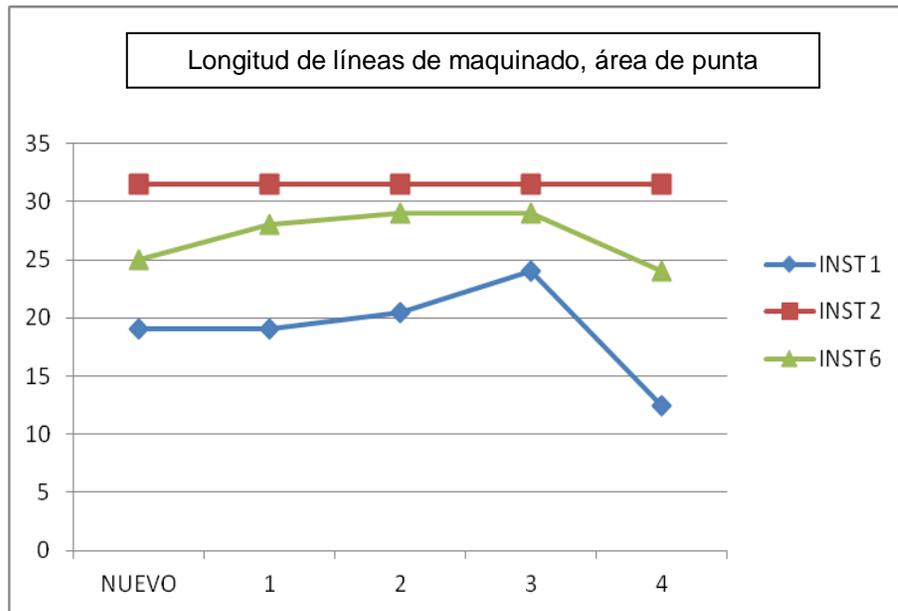


Gráfico 4. Valores obtenidos de las líneas de maquinado (en micrómetros) de la punta del instrumento, a lo largo de los usos.

3. Grupo 2

Los defectos y deformaciones observadas se encuentran resumidos en la Tabla V.

Dichos instrumentos presentaron en el primer uso un desgaste menos marcado en comparación a los no rotados, esto puede ser debido a que la parte activa del instrumento y el mango (ver Figura 61) pueden haberse separado durante el movimiento, haciendo que el instrumento gire sobre su propio eje dentro del conducto, por lo que la fuerza con la que el instrumento hace contacto con la superficie dentaria no es la misma y por ello no se desgasta de igual manera.

Es importante resaltar que todos estos instrumentos sufrieron varias rotaciones a lo largo de los usos, no se mantuvieron siempre en la misma posición. Ver Figura 62.



Figura 61. Imagen en microscopio óptico a 10X de la unión del mango del instrumento con la parte activa del mismo

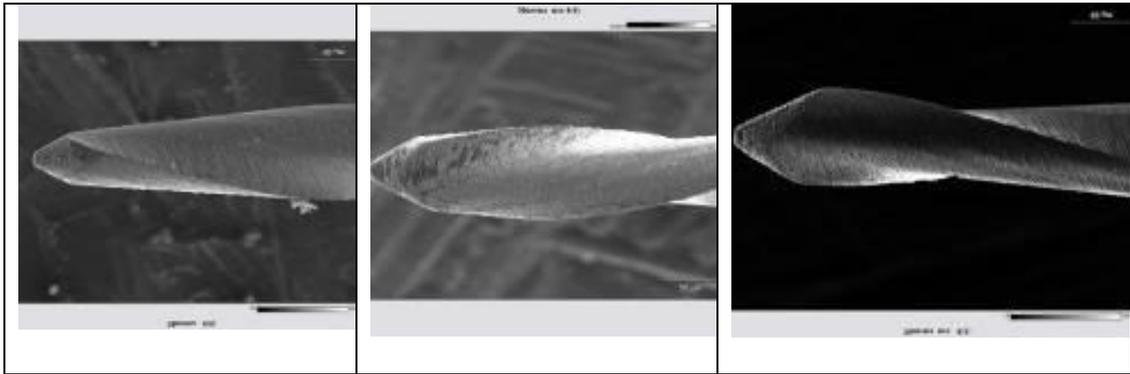


Figura 62. Representación de la rotación ocurrida del mismo instrumento a lo largo de los 4 usos.

Tabla V. Resumen de defectos y deformaciones observadas en las los instrumentos que sufrieron rotación.

ROTADAS		T1	T2	T3	T4
ACHATAMIENTO	CUERPO	0/7	0/7	2/7	1/6
	PUNTA	4/7	5/5	5/7	4/6
OQUEDADES		7/7	7/7	7/7	6/6
FRACTURAS		0/7	0/7	0/7	1/6
MICROFRACTURAS PERPENDICULARES	CUERPO	3/7	5/7	5/7	5/6
	PUNTA	0/7	1/7	0/7	0/6
MICROFRACTURAS LONGITUDINALES		0/7	1/7	1/7	1/6
DEFORMACIONES		0/7	0/7	1/7	0/6
DESECHOS ORGÁNICOS / INORGÁNICOS		3/7	4/7	2/7	1/6

3.1 Tiempo 1 (T1)

Se observaron microfracturas perpendiculares a nivel del cuerpo de 3 instrumentos, ver Figura 63, no se observaron microfracturas en la punta.

Se observó achatamiento a nivel de la punta de 4 instrumentos (Figura 64), mientras que el cuerpo se observó sin cambios a nivel de achatamientos.

No se observaron oquedades, fracturas ni deformaciones luego de este primer uso.

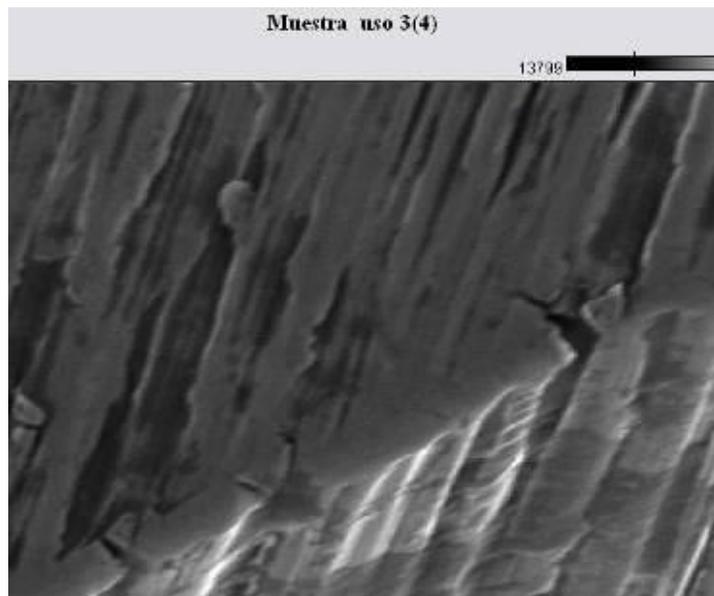


Figura 63. a 2000X se observa la presencia de una microfractura perpendicular en el borde cortante

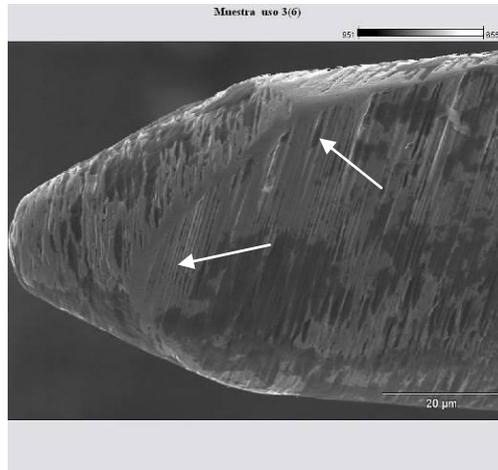


Figura 64. Achatamiento observado sobre el instrumento 3, con flechas

3.2 Tiempo 2 (T2)

Se observaron microfracturas perpendiculares a nivel del cuerpo de 5 de los 7 instrumentos, y solo se observaron microfracturas longitudinales en la punta de un instrumento. Se observó la presencia de microfracturas transversales en el cuerpo de 1 instrumento.

Luego de este uso, el instrumento N° 3 presentó una microfractura con resquebrajamiento que es claramente apreciable a 150X, y un aumento a 800X nos permite observar sobre la misma zona que presenta el defecto, un aspecto de vibración, con líneas de maquinado deformadas. Ver Figura 65.

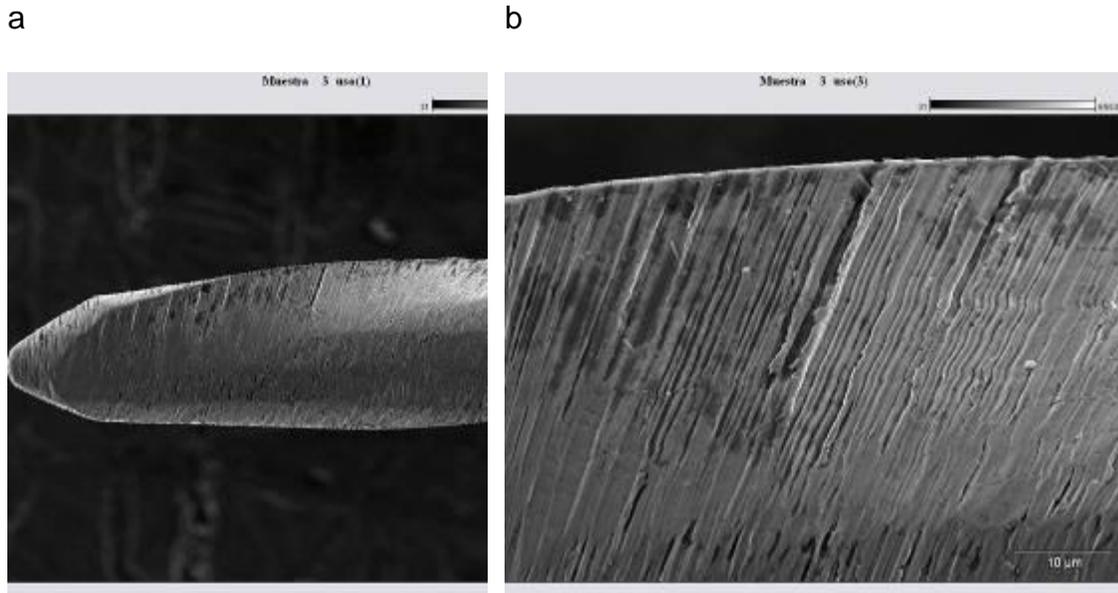


Figura 65. a. Microfractura apreciable a 150X. b. Imagen ampliada a 800X donde se observa en detalle el aspecto de vibración que presentan las líneas de maquinado.

La superficie aplastada aumentó en 5 instrumentos, la cual fue observada sólo en la punta, a nivel del cuerpo no hubo cambios.

Todos los instrumentos presentaron oquedades. Ninguno presentó deformación ni fractura.

3.3 Tiempo 3 (T3)

Durante este uso un instrumento sufrió deformación plástica (desenrollamiento a 1 mm de la punta del instrumento), ver Figura 66, por lo que este instrumento no podrá ser utilizado más, quedando 6 instrumentos.

Se observaron microfracturas perpendiculares a nivel del cuerpo de 5 instrumentos, no se observaron microfracturas en la punta.

Dos instrumentos presentaron achatamientos a nivel del cuerpo, y 5 presentaron achatamientos en la punta.

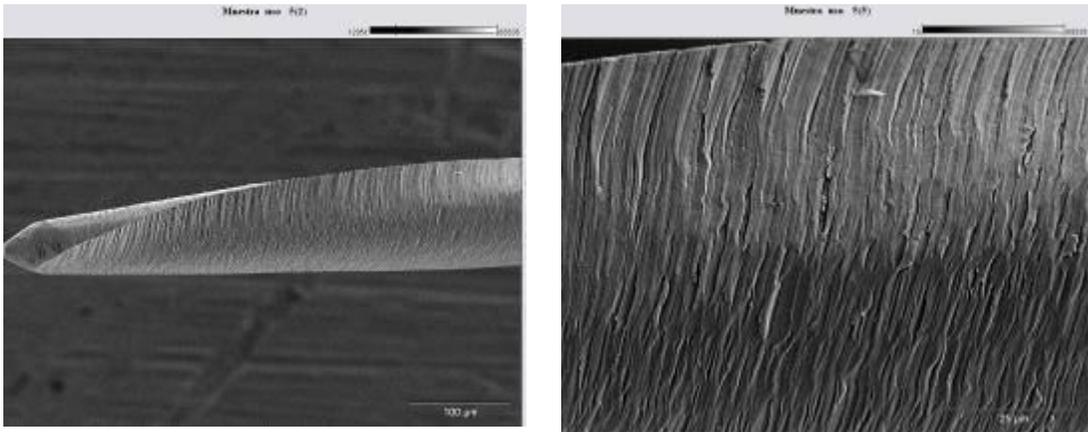


Figura 66. a. a 150X, deformación plástica observada en el instrumento N°5, b. a 500X, líneas de maquinado con aspecto de vibración, uso N°3

Todos los instrumentos presentaron oquedades y ninguno sufrió de fractura.

3.4 Tiempo 4 (T4)

Durante este uso, un instrumento sufrió fractura, y las características de dicha fractura serán descritas más adelante.

Se observaron microfracturas perpendiculares a nivel del cuerpo de 5 instrumentos (Ver Figura 67), no se observaron microfracturas en la punta.

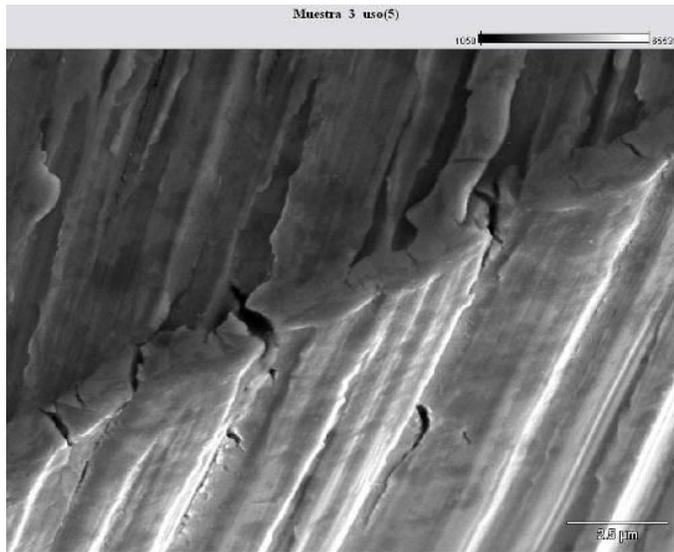


Figura 67. Imagen de microfracturas sobre el borde cortante del instrumento 3. Magnificación 3000X

Se observó achatamiento de la superficie de la punta de 4 instrumentos y de la superficie del cuerpo de solo 1 instrumento, ver Figura 68. Estos resultados disminuyen en comparación al T3 debido a que los instrumentos siguen sufriendo rotación por lo que no se puede observar siempre la misma superficie.

Se observaron oquedades en la superficie de todos los instrumentos, y ninguno sufrió deformación.

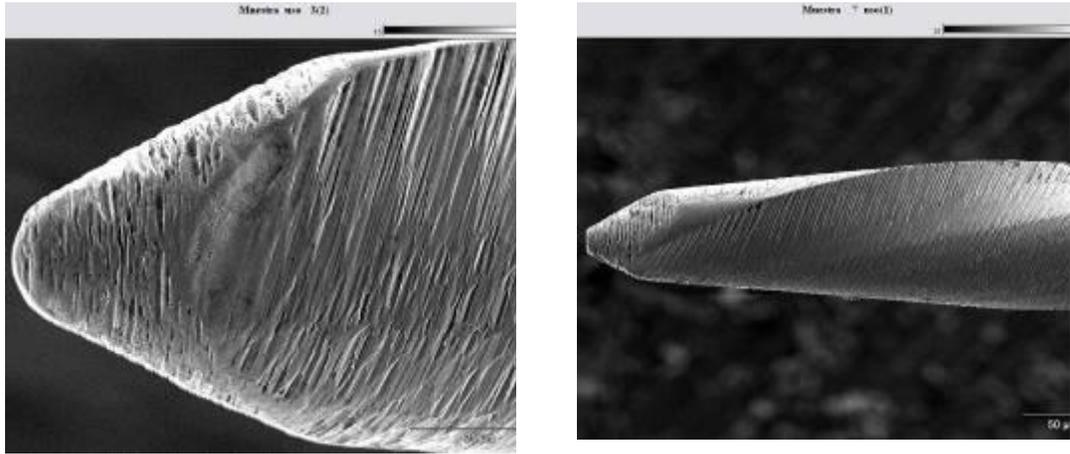


Figura 68. Achatamiento de la superficie de la punta claramente evidente, a. a 500X instrumento N°3, b. a 150X instrumento N°7.

Al finalizar este uso, aun 3 instrumentos presentaron las líneas de maquinado bastante marcadas y con poco desgaste en el cuerpo Figura N°69.

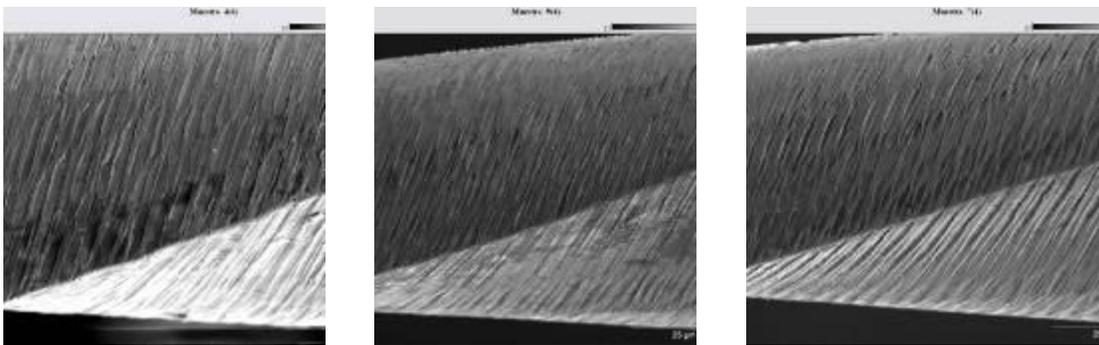


Figura 69. Líneas de maquinado con poco desgaste en 3 instrumentos al uso N°4.

3.4.1 Análisis del instrumento fracturado N° 12

La longitud del fragmento fracturado del instrumento N°12 midió 4 mm y el análisis de la superficie identificó la fractura de un material dúctil por sobrecarga en tensión, el tipo de fractura dúctil más frecuente. Ver Figura 70 y 71

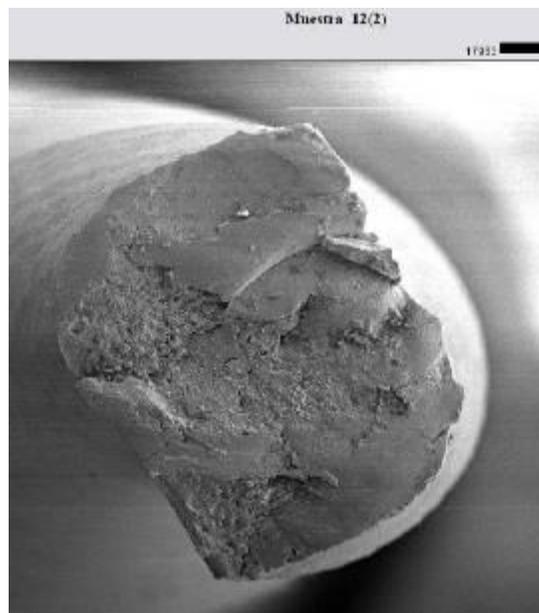


Figura 70. a 400X donde se observa la sección transversal de la porción fracturada, la cual tiene aspecto de fractura “copa – cono”

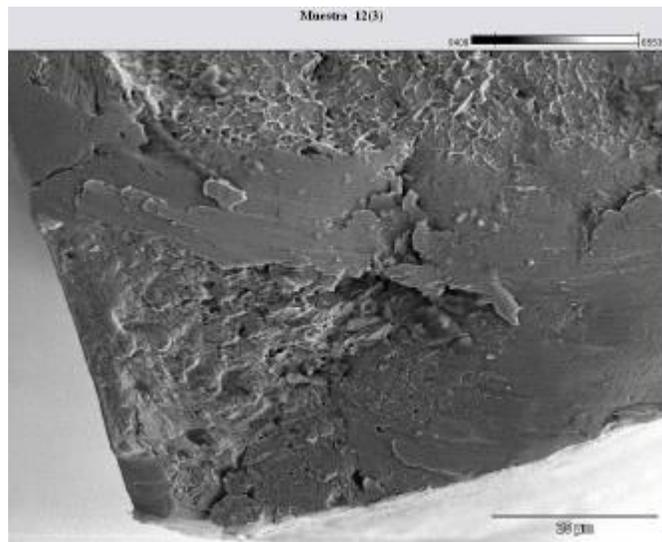


Figura 71. a 500X donde se observa la presencia de marcas de fatiga y microhoyuelos en la superficie de fractura.

La longitud de los fragmentos fracturados de grupo 1 y 2 se encuentran resumidos en la tabla VI.

Tabla VI. Resumen de los instrumentos que sufrieron fractura, longitud del fragmento fracturado y número de usos hasta fractura

Instrumento	N°8	N°10	N°12
Longitud del fragmento fracturado (en mm)	0,9	1	4
Número de usos (antes de la fractura)	2	2	4

V. DISCUSIÓN

En el movimiento oscilatorio, propuesto por Yared (29), el instrumento se engancha en el conducto cuando rota en dirección en contra de las agujas del reloj y se desengancha en el sentido contrario. Debido a que la primera rotación es mayor que la segunda, existe una reducción de las fuerzas compresivas, favoreciendo la ocurrencia de deformación elástica, disminución en la fatiga y fractura torsional (17).

Hasta la fecha, los instrumentos utilizados en este estudio son vendidos como un instrumento de uso único, característica que pudiera evitar el debilitamiento del metal producto del uso clínico prolongado, sin embargo el mismo instrumento puede ser usado en 2 a 4 conductos radiculares, los cuales pueden ser complejos y a veces tortuosos. Por lo que el uso único reduce pero no elimina el riesgo de acumulación de fatiga del metal y fractura (16).

El presente estudio observa el desgaste en múltiples usos clínicos, evaluando que dicho instrumento, no solo pueda ser utilizado una vez, sino múltiples veces, como ocurre con instrumentos convencionales de NiTi, cuyo uso ha sido reportado de manera segura en 5 a 8 molares (10,11). Estudios como los de Burklein y col (5), han usado instrumentos Reciproc® R25 como instrumento único en 4 conductos sin sufrir fractura, y Gavini y col (17),

reportan que dichos instrumentos resisten en promedio 1787,78 ciclos en movimiento oscilatorio hasta la fractura, lo que significó el doble de los ciclos que resistió el mismo instrumento bajo movimiento rotatorio. De los instrumentos analizados en este estudio, el 66,6% resistieron el uso en 4 molares inferiores, sin deformación plástica ni fractura.

Diversos autores (2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,13), han evaluado la superficie de los instrumentos de NiTi nuevos y usados bajo MEB. Tripi y col (3), evaluaron instrumentos luego de haberlos usado en 12 conductos. Alapati y col (6), evaluaron bajo MEB numerosos instrumentos de NiTi que habían sido descartados luego de su uso clínico, solo para evaluar el tipo de fracturas. Sattapan y col (2), examinaron los instrumentos luego de que habían sido usados por un desconocido número de veces. Sólo Svec y Powers (4), lo han hecho bajo condiciones controladas y evaluando el instrumento en MEB en cada uso, tal y como fue realizado en este estudio. El evaluar los instrumentos bajo esta metodología, permitió evaluar el deterioro progresivo sobre la superficie, y las características que pueden estar presentes de manera regular en todos los instrumentos como consecuencia del desgaste normal. Adicional a esto, se hizo mucho hincapié en las condiciones clínicas, las cuales debían ser lo más parecidas a las utilizadas a diario en la práctica de endodoncia. Este es probablemente el único estudio de este tipo reportado hasta la fecha, que se ha realizado utilizando instrumentos de NiTi Reciproc®.

La fabricación de los instrumentos endodónticos de NiTi, a diferencia del proceso convencional de manufactura mediante torsión de los instrumentos de acero inoxidable, es realizada mediante maquinado directamente sobre el alambre de NiTi, lo cual es muy complejo, ya que las fresas utilizadas en este proceso, se desafilan muy rápidamente, lo que causa imperfecciones sobre la superficie (1).

La presencia de excesos/partículas metálicas sobre la superficie y bordes cortantes de instrumentos nuevos producto del maquinado (6), así como defectos en la morfología, variación anatómica y presencia de desechos orgánicos/inorgánicos, han sido reportadas de manera similar por Martins y col en instrumentos ProFile® (5), Marsicovetere y col 1996 (9), en instrumentos Lightspeed® nuevos, Linsuwanont y col en 2004 (37) sobre diversos instrumentos de NiTi, Chianello y col (8), Svec y Powers (4), Tripi y col (3), Eggert y col (1), Martins y col (5). Chianello y col (8), encontraron que ningún instrumento nuevo de NiTi estaba libre de imperfecciones y la mayoría presentaba de 2 a 7 tipos de defectos de superficie, y Tripi y col (3), también reportaron haber encontrado defectos en instrumentos nuevos, pero no en todos.

Las imperfecciones encontradas sobre los instrumentos nuevos podrían ser las causantes de un pronto deterioro del instrumento, o pueden servir como inicio de mayores defectos (4,7,41) lo que se demuestra en este

estudio, ya que las líneas de maquinado bastante marcadas observadas en el instrumento Reciproc® R25, sufrieron cambios a lo largo de los usos sirviendo como sitio de nucleación de una microfractura, de hecho, las microfracturas perpendiculares encontradas, siempre siguieron la dirección de las líneas de maquinado. Pires en 2008 (10), observó la ampliación de las marcas o líneas de maquinado, así como el achatamiento de los bordes cortantes en instrumentos ProTaper®. Nosotros observamos el aumento en longitud de dichas marcas luego del uso, dichos cambios fueron medidos y analizados, pero debido a la ausencia de estudios que evalúen esta característica en instrumentos Reciproc® R25 después del uso, los resultados no pueden ser comparados.

Estudios previos realizados sobre instrumentos de NiTi (Eggert y col 1999 (1), Martins y col 2002 (5), Pires 2008 (10), Alapati y col 2003 (41)) reportan que el uso clínico de los mismos puede generar, como se observó en este estudio, una cantidad considerable de defectos de superficie adicionales como achatamiento de los bordes cortantes, oquedades y microfracturas. En este estudio observamos que ocurre con bastante frecuencia sobre la zona de la punta de instrumentos Reciproc® R25, un achatamiento de la superficie que ha sido mencionado en estudios como Svec y Powers en 2002 (4), Alapati y col 2003 y 2005 (6,41), y de Castro y col 2008 (11), donde se hace mención al achatamiento que ocurre sobre bordes cortantes y superficies radiales. Este achatamiento podría representar un desgaste

característico que ocurre en instrumentos Reciproc® R25 usados, posiblemente producto del roce que ocurre entre las paredes del conducto y el instrumento, aun más cuando el instrumento presenta un achatamiento de los bordes cortantes, disminuyendo su efectividad de corte. Debido a que no hay presencia de estudios anteriores que evalúen esta característica, los resultados obtenidos en este estudio sobre esto no podrán ser comparados.

Se ha sugerido además, que los defectos en el maquinado y el tratamiento de la superficie pueden acelerar la aparición de microfracturas (4, 6,41), debido a que las microfracturas perpendiculares encontradas sobre la superficie de instrumentos de NiTi, se forman a lo largo de las marcas de maquinado, producto de fuerzas de tensión asociadas con el movimiento del instrumento en la sección curva del conducto radicular (10). Herold y col (7), observaron bajo MEB microfracturas perpendiculares en todos los instrumentos evaluados luego de 7 conductos, aún en instrumentos con tratamiento de electropulido. Pires (10) encontró una tendencia de localización de dichas microfracturas de 2 a 3,5 mm de la punta del instrumento. En este estudio, las microfracturas se encontraron en mayor proporción en la zona del cuerpo del instrumento a nivel del borde cortante, a 2-3 mm de la punta, y estas seguían la dirección de las líneas de maquinado. Luego de 4 usos, se observó la mayor concentración de microfracturas perpendiculares en el cuerpo del 66,6% de los instrumentos observados del Grupo 1.

Pires (10) también observó la aparición de microfracturas longitudinales en instrumentos ProTaper®, en menor cantidad a las perpendiculares y con una localización de 2 a 3 mm de la punta del instrumento, sugiriendo que la orientación de estas microfracturas refleja la dirección de las fuerzas aplicadas sobre la superficie del instrumento bajo cargas torsionales. En este estudio se observa la aparición de pocas microfracturas longitudinales, a nivel del cuerpo del instrumento, sin embargo se evidencian en mayor cantidad en la superficie cercana a la fractura o al área de deformación del instrumento.

El defecto que se mantuvo presente en todos los instrumentos desde el primer uso fueron las oquedades, dicho desgaste ha sido reportado en estudios de Tripi y col (3) y Eggert y col (1), donde observaron este tipo de defecto en instrumentos de NiTi GT Rotary Files® y Lightspeed® respectivamente, evaluados luego de haber completado toda la preparación. La aparición de dichas oquedades sobre todos los instrumentos no puede ser comparada con instrumentos Reciproc® R25 por la ausencia de estudios que evalúen este tema.

Alapati y col 2005 (6), descartaron numerosos instrumentos rotatorios que habían experimentado una deformación torsional permanente, pero que no se habían separado completamente, con características locales de desenrollamiento de su parte activa. En este estudio, solo un instrumento

presentó estas características al tercer uso, lo cual se detectó de manera inmediata durante la preparación, por lo que el instrumento fue descartado.

Una de las ventajas que indica el fabricante sobre el uso único, es que se evita la contaminación cruzada, producto del paso de desechos infectados de un paciente a otro mediante los instrumentos. Martins y col (5), encontraron desechos sobre la superficie de instrumentos Profile® nuevos y usados luego del paso por ultrasonido y esterilización, Linsuwanont y col (40), evaluaron diferentes métodos de limpieza y esterilización en varios instrumentos de NiTi observando también desechos remanentes, nosotros obtuvimos resultados parecidos en instrumentos Reciproc® R25, por lo que la limpieza y esterilización pueden no ser suficientes, y un mayor énfasis se debe hacer en esta área en futuros estudios.

Kim y col en 2012 (15), evaluaron bajo MEB la superficie fracturada de los instrumentos Reciproc® R25. Indicaron haber encontrado apariencias fractográficas típicas de fracturas mediante fatiga y torsión, las cuales muestran en torsión marcas de abrasión concéntricas y microhoyuelos en la zona central de fractura, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en nuestro estudio, donde los fragmentos fracturados presentaron similares características de fracturas por torsión.

Sin embargo por el ángulo de fractura presentado en la aleación dúctil, dos de nuestros instrumentos estuvieron sometidos a fuerzas de tensión

antes de fracturarse. Esto puede ser debido a que dichos autores realizaron pruebas usando un torquímetro, donde la fuerza es aplicada de manera constante, mientras que nuestro estudio fue realizado sobre dientes humanos extraídos, con características morfológicas (curvaturas), la preparación fue realizada por un operador, y pueden haber diferencias en el procedimiento (fuerza vertical utilizada, trabamientos del instrumento dentro del conducto, inexperiencia al utilizar el sistema oscilatorio), lo que pudo ocasionar esta diferencia en las características observadas.

Kim y col en 2012 (15), también evaluaron la longitud del fragmento fracturado de instrumentos Reciproc® R25 luego de la prueba de fractura por torsión, siendo este en mm de $2,95 \pm 0,18$. Nosotros encontramos fragmentos fracturados de 0,9 / 1 y 4 mm. Un estudio realizado por Satappan y col en 2000 (2), evaluó instrumentos rotatorios, fracturados por torsión y por fatiga, encontrando que la distancia de fractura de los primeros siempre fue mucho menor, encontrándose más cerca de la punta (1 a 2 mm en promedio).

De Castro y col (10), encontraron gran cantidad microfracturas perpendiculares en la zona cercana a la fractura de los instrumentos pertenecientes a la muestra de fallo por torsión. Los instrumentos Reciproc® R25, presentaron también muchas microfracturas perpendiculares en esta zona de fractura a 2mm de la punta.

Uno de los hallazgos más interesantes encontrados en este estudio, fue la ocurrencia de una rotación en la posición de la parte activa en 7 instrumentos luego del primer uso (T1), esto fue comprobado debido a que el dispositivo de silicona, fue fabricado para que específicamente el área plana del mango del instrumento quedara siempre de la misma manera, y esto era siempre comprobado visualmente. Adicionalmente, se observó variación de la posición no solo en el primer uso sino en usos sucesivos, cosa que no fue observada en 5 instrumentos los cuales siempre mantuvieron la misma posición. Esto podría deberse a un defecto de fabricación, una separación del mango del instrumento con la parte activa durante el movimiento oscilatorio, o una unión inestable, lo cual no ha sido reportado en otros estudios, y sería de valor el que pueda ser evaluado en posteriores estudios.

VI. CONCLUSIONES

1. Todos los instrumentos nuevos presentaron marcas de superficie producto del maquinado del alambre de NiTi Mwire
2. El defecto mas predominante observado en el 41,6% de los instrumentos nuevos fue la presencia de excesos/virutas de metal sobre la superficie y los bordes cortantes.
3. La apariencia morfológica de la punta de los instrumentos Reciproc R25® observados, fue muy variable.
4. La rotación observada en el 58,33% de los instrumentos luego del primer uso, representa un defecto de fabricación que influye sobre el desgaste de la superficie y que debe ser evaluado de manera más extensa en posteriores estudios.
5. El hecho de que los instrumentos no presentaran rotación, tuvo influencia positiva en el retraso de aparición de microfracturas. Se observaron a partir de T4 en el 66,6% de los instrumentos que mantuvieron su posición y a partir de T1 en el 42,85% de los instrumentos que no mantuvieron su posición.
6. La mayor frecuencia de microfracturas se observó en la zona del cuerpo a 2-3 mm de la punta en todos los instrumentos observados, y estas siempre se encontraron sobre el borde cortante.
7. Las microfracturas perpendiculares siempre siguieron el recorrido de las líneas de maquinado creadas durante la fabricación de

instrumento, por lo que esta característica influye de manera positiva a la aparición de microfracturas.

8. El desgaste que se presentó en todos los instrumentos de manera constante desde el primer uso fueron las oquedades.
9. El área que presentó mayor desgaste de tipo achatamiento fue la punta del instrumento, observándose desde el primer uso en ambos grupos, lo que puede ser debido a que la preparación de los conductos se realizó sin un ensanchamiento previo, por lo que la punta del instrumento recibe grandes esfuerzos al entrar en contacto con las paredes del diente. Posteriores estudios deben ser realizados acerca del uso de técnicas de pre-ensanchado en el uso de instrumentos Reciproc® y su influencia en el desgaste que ocurre sobre la punta del instrumento
10. Se observaron desechos orgánicos/inorgánicos presentes en instrumentos nuevos y usados, a pesar de las técnicas de limpieza y esterilización utilizadas.
11. Los defectos o imperfecciones encontrados en la superficie de instrumentos nuevos, favorecen a la aparición de nuevos defectos o a su pronto deterioro. Por lo que la mejora del acabado de la superficie de este instrumento,, podría favorecer a disminuir su deterioro en usos múltiples.
12. La mayor cantidad de cambios y defectos de superficie, fueron observadas con más detalle bajo MEB en aumentos de 500X o más.

13. La fractura de los instrumentos Reciproc® R25, presenta características fractográficas de una fractura dúctil por torsión, sin embargo, la experiencia del operador y el tipo de fuerza aplicada de manera vertical, puede causar que fuerzas de tensión ayuden a la fractura del mismo.
14. Los fragmentos fracturados del Grupo 1, indican una tendencia a que la fractura dúctil por torsión se ubique en los primeros milímetros de la punta, siendo la longitud en promedio de 0,95 mm.
15. El instrumento Reciproc® R25 usado mediante la técnica propuesta por el fabricante, no es un instrumento seguro para usar de manera múltiple en la práctica clínica, como lo indican las fracturas que sucedieron en el Grupo 1 durante T2. Técnicas híbridas y protocolos de pre-ensanchado del tercio coronal y medio de la estructura dentaria, deben ser evaluadas con el objetivo de mejorar la vida útil del instrumento y disminuir el riesgo de fractura.

VI. RECOMENDACIONES

1. Aumentar el número de instrumentos observados en este estudio, para así poder definir patrones que definan el comportamiento de los instrumentos en múltiples usos.
2. Comparar los resultados del presente estudio con otros sistemas oscilatorios disponibles en el mercado.
3. Evaluar defectos que pueden ocurrir sobre la superficie de estos instrumentos al ser usados con técnicas híbridas o de pre-ensanchado y compararlos con los resultados del presente estudio.
4. Crear una línea de investigación que incluya estudiantes del Postgrado de Endodoncia y estudiantes de Pre y Postgrado de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales.

Vii. REFERENCIAS

1. Eggert C, Peters O, Barbakow F. Wear of nickel-titanium Lightspeed instruments evaluated by scanning electron microscope. J Endod. 1999;25:494-7
2. Sattapan B, Nervo G, Palamara J, Messer H. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. J Endod. 2000;26:161-165
3. Tripi T, Bonaccorso A, Tripi V, Condorelli G, Rapisarda E. Defects in GT rotary instruments after use: An SEM study. J Endod. 2001;27:782-785
4. Svec T, Powers J. The deterioration of rotary nickel-titanium files under controlled conditions. J Endod. 2002;28:105-107
5. Martins R, Bahia M, Buono V. Surface analysis of Profile instruments by scanning electron microscopy and X-ray energy-dispersive spectroscopy: a preliminary study. Int End J. 2002;35:848-853
6. Alapati S, Brantley W, Svec T, Powers J, Nusstein J, Daehn G. SEM observations of Nickel-Titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical use. J Endod. 2005;31:40-43
7. Herold K, Johnson B, Wenckus C. A scanning electron microscopy evaluation of microfractures, deformation, and separation in

endosequence and profile nickel-titanium rotary files using an extracted molar tooth model. J Endod. 2007;33:712-714

8. Chianello G, Specian V, Hardt L, Raldi D, Lage-Marues J, Habitante S. Surface Finishing of Unused Rotary Endodontic Instruments: A SEM Study. Braz Dent J. 2008;19:109-113
9. Marsicovetere E, Clement D, del Rio C. Morphometric video analysis of the rotary nickel-titanium Lightspeed instrument system. J Endod. 1996;22:231-235
10. Pires E. Avaliação da vida restante em fadiga de instrumentos rotatórios de NiTi ProTaper após uso clínico múltiplo. [Sede Web]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Brasil. 2007. Tesis de Maestria en Endodoncia [Fecha de acceso 23 de mayo 2012]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1843/ZMRO-77FLW3>
11. de 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>
12. Shen Y, Haapasalo M, Cheung G, Peng B. Defects in Nickel Titanium instruments after clinical use. Part 1: Relationship between observed

imperfections and factors leading to such defects in a cohort study. J Endod 2009; 35:129-132

13. Shen Y, Coil J, Mclean A, Hemerling D, Haapasalo M. Defects in Nickel-Titanium Instruments after Clinical Use. Part 5: Single Use From Endodontic Specialty Practices. J Endod. 2009;35:1363–1367
14. Burklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schafer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. Int Endod J. 2011
15. Kim H, Kwak S, Cheung G, Ko D, Chung S, Lee W. Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus Waveone. J Endod. 2012
16. Plotino G, Grande M, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instrument. Int Endod J. 2012;45:614-8
17. Gavini G, Caldeira C, Akisue E, de Miranda G, Sacaguti D. Resistance to flexural fatigue of reciproc r25 files under continuous rotation and reciprocating movement. J Endod 2012;:-1–4
18. Liu J. Characterization of new rotary endodontic instruments fabricated from special thermomechanically processed NiTi Wire. [Sede Web]

Columbus, OH: The Ohio State University. 2009. Tesis de Doctorado.
[Fecha de acceso 5 de marzo de 2012]. Disponible en:
http://etd.ohiolink.edu/view.cgi?acc_num=osu1244643081

19. Thompson S. An overview of nickel titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310
20. Vesga W, Forero L, Osorio F. Estudio experimental del efecto termomecánico de las transformaciones de fase en las aleaciones Ni-Ti “Nitinol”. *Scientia et Technica Año XIII.* 2007;36:631-6
21. De Saja J, Rodriguez M, Rodriguez M. *Materiales: estructura, propiedades y aplicaciones.* Thomson. 1era edición. 2005
22. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Fatigue testing of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011;37:997-1001
23. Ye J, Gao Y. Metallurgical Characterization of M-Wire Nickel-Titanium Shape Memory Alloy Used for Endodontic Rotary Instruments during Low-cycle Fatigue. *J Endod* 2012;38:105-107
24. Alapati S, Brantley W, Iijima M, Clark W, Kovarik L, Buie C, Liu J, Ben Johnson W. Metallurgical Characterization of a New Nickel-Titanium Wire for Rotary Endodontic Instruments. *J Endod.* 2009;35:1589–1593

25. Gambarini G, Grande N, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M, Testarelli L. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *Endod.* 2008;34:1003-1005
26. McSpadden J. *Mastering Endodontic Instrumentation*. Ramsey (EEUU) Arbor Books, Inc. 2006
27. Hullsmann M, Peters O, Dummer P. Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics.* 2005;10:30-76
28. Leonardo M y de Toledo R. *Tratamento de canais radiculares*. Cap 11. Ed Artes Medicas. Sao Paulo 2012
29. Yared G, Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J.* 2008;41:339-344
30. You S, Kim H, Bae K, Baek S, Kum K, Lee W. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *J Endod.* 2011;37:1296-300.
31. Roane J, Sabala C, Duncanson M. The "Balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11:203-211
32. Yared G. Canal preparation with only one reciprocating instrument without prior hand filing: A new concept. VDW. 2011

33. Reciproc ® Brochure.[Sede Web] [Fecha de acceso 15 de febrero 2012]. Disponible en <http://www.vdw-reciproc.de/en/print-material.html>
34. Valera-Patiño P, Ibañez-Pàrraga A, Rivas-Mundiña B, Cantatore G, Otero X, Martín-Biedma. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect in instrument life. *Journal of endodontics* 2010;36:157-159
35. Querales A, Caballero R. Análisis de fallas. Facultad de Ingeniería metalúrgica y ciencias de los materiales. Volumen 1. 1995
36. Askeland D, Phulé P. Cap 13. Aleaciones no ferrosas En: Ciencia e ingeniería de los materiales. Cuarta edición. 2004
37. Anusavice K. Cap 4. Propiedades mecánicas de los materiales dentales. En: Phillips La ciencia de los materiales dentales. 11ª Edición. Elsevier España. 2004.
38. Parashos P, Messer H. Rotary NiTi instrument fracture and its consequence. *J Endod.* 2006;32:1031-1043
39. Gunday M, Sazak H, Garip Y. A comparative study of three different root canal curvature measurement techniques and measuring the canal access angle in curved canals. *J Endod.* 2005;31:796-8
40. Linsuwanont P, Parashos P, Messer H. Cleaning of rotary nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J.* 2004;37:19-28

41. Alapati S, Brantley W, Svec T, Powers J, Mitchell J. Scanning electron microscope observations of new and used nickel titanium files. *J Endod.* 2003;29:667-669.
42. Park S, Cheung G, Yum J, Hur B, Park J, Cheol H. Dynamic Torsional Resistance of Nickel-Titanium Rotary Instruments. *J Endod.* 2010;36:1200–1204

VIII. ANEXOS

Anexo 1

COMITE
BiOÉTICA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA - UCV

Nº 0269-2012

Caracas, 24 de abril de 2012

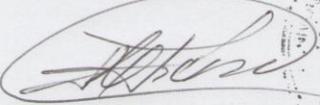
Ciudadana
Od. DANIELA NATHALY RIOS CARREÑO.

Nos dirigimos a usted en la oportunidad de informarle que el Comité de Bioética de esta Facultad, una vez analizado el proyecto de investigación, presentado por usted bajo el título: **"EVALUACIÓN A MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO DE LA SUPERFICIE DE INSTRUMENTOS RECIPROC ® POSTERIOR AL USO."**

Concluye que el mismo aprueba su protocolo de investigación, por lo tanto tiene una validez de un año a partir de la fecha 24-04-2012 al 25-04-2013. Se le informa que al cabo del año debe presentar un informe sobre los resultados parciales o finales de la investigación, ya que el aval es indispensable para defender su presentación o para publicarla. En caso de no concluirla, deberá consignar un informe con los resultados parciales antes mencionados, para prorrogar el aval o en el mejor de los casos un informe con los resultados finales de su investigación para concluir el seguimiento de la investigación por parte del Comité de Bioética.

Sin otro particular a que hacer referencia.

Atentamente.-


Prof. María J. Ferro de Farisato,
Coordinadora del Comité de Bioética



MJFF/mjff

Ciudad Universitaria de Caracas, Patrimonio Mundial de la Humanidad

Anexo 2

CONSENTIMIENTO INFORMADO SOBRE LA PARTICIPACIÓN EN UNA INVESTIGACIÓN BIOMÉDICA EN DIENTES HUMANOS EXTRAIDOS EN EL POSTGRADO DE ENDODONCIA DE LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA U.C.V

Yo, _____, de _____ edad, identificado con la cedula de identidad N° _____, domiciliado(a) en _____ declaro lo siguiente:

He sido informado(a) por parte de la odontóloga Daniela Ríos (estudiante de postgrado de Endodoncia de la UCV) que la atención brindada en esta institución es de tipo docente-asistencial-investigación, caracterizada por la atención odontológica a cargo de odontólogos bajo la supervisión clínica de docentes-especialistas.

Me han explicado en forma clara y suficiente, sobre la participación en una investigación que lleva el título de "Evaluación a microscopía electrónica de barrido de la superficie de instrumentos Reciproc® posterior al uso" realizada por la Odontóloga Daniela Ríos del postgrado de Endodoncia de dicha institución, que tiene como objetivo, Evaluar bajo Microscopio Electrónico de Barrido la presencia y el tipo defectos en los instrumentos Reciproc® antes y luego de cada uso, en la que se necesitará la recolección de molares inferiores extraídos por razones protésicas, periodontales, ortodóncicas o por medidas profilácticas (falta de espacio suficiente en la arcada correspondiente para su erupción), todo esto con la evaluación previa realizada por un especialista, mediante una radiografía panorámica de diagnóstico.

Dicho objetivo de estudio, no afectará el protocolo del tratamiento indicado, y solo se necesitará una cita para dicho procedimiento, no se requerirá participación o asistencia del paciente luego de la extracción dentaria. En caso de dudas o cualquier complicación, puedo comunicarme con la estudiante al número de teléfono 0412-627-09-84

He recibido información respecto al plan de tratamiento y autorizo al odontólogo _____ a extraer los dientes _____. Comprendo los riesgos que implica la extracción dentaria, entre los que se encuentran dolor, tumefacción, propagación de la infección, alveolos secos, senos descubiertos, pérdida la sensibilidad en los dientes, en los labios, en la lengua y en los tejidos circundantes (parestesia) que pueden durar por un período de tiempo indefinido. Entiendo que pudiera necesitar tratamiento adicional de un especialista u hospitalización si surgieran complicaciones durante o después del tratamiento y que yo seré responsable de su costo

Se me ha explicado que me darán las indicaciones postoperatorias, medicación ambulatoria, según sea el caso las cuales me comprometo a cumplir. Estoy al tanto y me comprometo a cancelar las tarifas de la institución; los costos están sujetos a posibles cambios sin previo aviso, pero notificado oportunamente.

Al ceder estos órganos dentarios a la investigación, el paciente, no obtendrá ningún beneficio individual, sin embargo, la importancia científica de la investigación se genera al causar un impacto en la odontología, especialmente en la endodoncia, sobre la posibilidad de realizar un análisis objetivo del desempeño de nuevos sistemas rotatorios, ya que dichos dientes nos permitirán realizar los estudios en condiciones clínicas simuladas, evaluando la viabilidad de su uso clínico de manera exitosa en seres humanos, lo que beneficiará posteriormente a un mayor número de pacientes y a los profesionales en la práctica de endodoncia.

Acepto la utilización y cedo a Daniela Ríos, el o los dientes que han sido extraídos de mi persona, y acepto la realización de las radiografías, fotografías, y otros medios diagnósticos que sean necesarios para documentar la investigación; garantizándome la confidencialidad, el resguardo de mi identidad o la de mi representado y la utilización de dichos record solo con fines académicos e investigativos. Adicionalmente estoy consciente de que esta investigación no contempla compensaciones ni indemnizaciones.

Se me ha descrito el proceso de manejo y desechos de los restos orgánicos o biológicos al culminar el estudio, el cual cumple con lo establecido en Decreto N° 2.218, de Gaceta Oficial N° 4.418; esto quiere decir que las piezas dentarias utilizadas se desecharán con el material biológico sobrante

Confirmando que luego que aclararon mis dudas, me siento informado, comprendo la información, libre, sin coacción ni manipulación, para decidir voluntariamente de acuerdo con mis valores e intereses y me declaro competente para tomar las decisiones que correspondan. En tal sentido DOY MI CONSENTIMIENTO AL FACULTATIVO A REALIZAR EL TRATAMIENTO PERTINENTE _____ o NO CONSIENTO _____, con el buen entendido que puedo retirar este consentimiento por escrito cuando así lo desee, sin represalia, ni penalidad alguna.

Nombre del paciente: _____ Edad: _____ C.I.: _____ Firma: _____

Nombre del profesional: Daniela Ríos Carreño. C.I.: 16.264.489 / C.O.V. N°: 24.812 / M.S.D.S: 24.288

Firma: _____

Nombre del testigo: _____ C.I.: _____ Firma: _____

Nombre de testigo: _____ C.I.: _____ Firma: _____

Caracas, _____ de _____ de _____

