



*ugr* | Universidad  
de Granada



**Universidad de Granada**  
**Facultad de Odontología**  
**Departamento de Estomatología**

**Eficacia de dos sistemas rotatorios  
en la preparación de conductos  
radiculares curvos**

**David Uroz Torres**  
**Granada 2011**

Editor: Editorial de la Universidad de Granada  
Autor: David Uroz Torres  
D.L.: GR 677-2012  
ISBN: 978-84-694-6362-8





ugr | Universidad  
de Granada



De acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 56/2005, de 21 de enero,

D.<sup>a</sup> CARMEN MARÍA FERRER LUQUE y D.<sup>a</sup> MARÍA PALOMA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Profesoras Titulares de la UNIDAD DOCENTE DE PATOLOGÍA Y TERAPÉUTICA DENTAL de la Universidad de Granada informan:

Que los trabajos efectuados en la elaboración de la Tesis Doctoral titulada: "**EFICACIA DE DOS SISTEMAS ROTATORIOS EN LA PREPARACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES CURVOS**", presentada por D. DAVID UROZ TORRES, han sido realizados bajo nuestra supervisión y dirección, y reúnen las condiciones académicas necesarias para optar al Título de Doctor, si así lo considera el Tribunal designado por la Universidad de Granada.

En Granada, a veinte de mayo de dos mil once.

Fdo.: Carmen María  
Ferrer Luque  
Profesora TITULAR

Fdo.: Dra. María Paloma  
González Rodríguez  
Profesora TITULAR

UNIDAD DOCENTE DE PATOLOGÍA Y TERAPÉUTICA DENTAL  
DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA  
UNIVERSIDAD DE GRANADA

El Doctorando  
**David Uroz Torres**





Esta Tesis Doctoral ha sido realizada en el Departamento de Estomatología de la Facultad de Odontología de la Universidad de Granada durante los años 2006-2011.



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer en esta Tesis Doctoral a todas aquellas personas que han ayudado de una manera u otra a su realización:

A las directoras de este trabajo, la Dra. Carmen M<sup>a</sup> Ferrer Luque y Dra. M<sup>a</sup> Paloma González Rodríguez, por su incalculable ayuda profesional y humana, tiempo y paciencia. Sin su dedicación no habría sido posible la realización de esta Tesis.

A la arquitecta Maria Del Mar Martínez García, por enseñarme a usar el software Autocad y ayudarme con las mediciones de las muestras.

Al personal técnico, muy especialmente a Yudi Gómez Villaescusa por su ayuda e instrucción con los procedimientos experimentales.



## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta Tesis Doctoral a Maria Del Mar,  
por su comprensión y apoyo.

A mis padres, porque gracias a la educación que me han proporcionado  
y a su generosidad he llegado hasta aquí.



# ÍNDICE

<b>1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>21</b>
2.1. PREPARACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES.....	21
2.1.1. Instrumentación manual.....	21
2.1.2. Instrumentación mecánica.....	25
2.3. NUEVOS SISTEMAS ROTATORIOS: MTWO® Y TWISTED FILES™ .....	38
2.3.1. Sistema rotatorio Mtwo (M2) .....	38
2.3.2. Sistema rotatorio Twisted Files (TF) .....	41
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
3.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS RADICULARES CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2. ....	47
3.1.1. Conservación y preparación de los especímenes.....	47
3.1.2. Preparación de los conductos radiculares.....	47
3.1.3. Medidas radiográficas.....	49
3.1.4. Tiempo de preparación.....	52
3.1.5. Fractura y deformación de los instrumentos .....	52
3.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF. ....	53
3.2.1. Conservación y preparación de los especímenes.....	53
3.2.2. Preparación de los conductos radiculares.....	54
3.2.3. Medidas radiográficas.....	56
3.2.4. Evaluación de las secciones transversales de los conductos radiculares.....	59
3.2.5. Medida del tiempo empleado en la instrumentación.....	62
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	62
3.3.1. Efectividad de una vía de deslizamiento manual en conductos radiculares curvos con el sistema rotatorio M2.....	62
3.3.2. Instrumentación rotatoria en conductos curvos con los sistemas M2 y TF. ....	63
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
4.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2. ....	67
4.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF. ....	68
4.2.1. Ángulo y radio inicial de la curvatura de los conductos radiculares.....	68
4.2.2. Tiempo empleado en la instrumentación.....	69
4.2.3. Análisis post-instrumentación de los especímenes en el plano longitudinal.....	69
4.2.4. Análisis post-instrumentación en el plano transversal.....	72
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	<b>81</b>
5.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2. ....	81
5.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF. ....	85
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>99</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>103</b>
<b>8. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA</b> .....	<b>113</b>
8.1. PUBLICACIONES .....	113
8.2. CONGRESOS.....	113
ANEXO.....	115





# **1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**



## 1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Desde que en 1988, Walia, Brantley y Gerstein<sup>1</sup> estudiaran las propiedades del níquel-titanio (NiTi) empleado en la fabricación de las limas endodónticas, existen numerosos sistemas rotatorios elaborados con esta aleación. A pesar de su uso no generalizado, comienzan a ser la alternativa de elección, incluso a nivel del odontólogo general. Estos instrumentos han alcanzado un nivel de perfeccionamiento que aportan al clínico una mejor capacidad para conformar los conductos radiculares, en menor tiempo y con técnicas más sencillas<sup>2,3</sup>, incluso en conductos curvos. La constante evolución de estos sistemas, con modificaciones en las técnicas de uso, en el diseño o en la aleación, hacen necesaria una evaluación continua de estas nuevas limas con el fin de determinar las mejoras que aportan respecto a las ya existentes.

Errores de procedimiento en la instrumentación manual con limas de acero inoxidable, tales como transporte apical, zips, codos, falsas vías o pérdida de longitud de trabajo se han relacionado con la periodontitis apical postratamiento<sup>4,5</sup>. La instrumentación con limas de NiTi ha disminuido considerablemente estos accidentes, mejorando la preparación de los conductos radiculares, sobre todo en conductos curvos donde se hacen más evidentes las insuficiencias de las aleaciones de acero inoxidable. Sin embargo, aunque los errores en la preparación se producen con menor frecuencia, obligan a los fabricantes a seguir perfeccionando los instrumentos rotatorios, haciéndolos más respetuosos con la anatomía original de los conductos radiculares.

Con independencia de las mejoras que aportan los instrumentos de NiTi, uno de los principales problemas de la instrumentación rotatoria sigue siendo la fractura del instrumento<sup>6</sup>. Este hecho impide el correcto acceso a la longitud de trabajo, comprometiendo la limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares y el éxito del tratamiento endodóntico, a corto o largo plazo<sup>7</sup>. En este sentido se han realizado distintas modificaciones en el diseño de la lima para evitar los errores de procedimiento. Cambios en la sección transversal del instrumento, la secuencia de instrumentación, la técnica de uso, el torque, la velocidad o el número de usos

---

<sup>1</sup> Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod.* 1988;14:346-51.

<sup>2</sup> Parashos P, Messer HH. The diffusion of innovation in dentistry: a review using rotary nickel-titanium technology as an example. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:395-401.

<sup>3</sup> Necchi S, Petrini L, Taschieri S, Migliavacca F. A comparative computational analysis of the mechanical behavior of two nickel-titanium rotary endodontic instruments. *J Endod.* 2010;36:1380-4.

<sup>4</sup> Pettiette MT, Delano EO, Trope M. Evaluation of success rate of endodontic treatment performed by students with stainless-steel K-files and nickel-titanium handv- files. *J Endod.* 2001;27:124-7.

<sup>5</sup> Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod.* 2004;30:1-4.

<sup>6</sup> Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-67.

<sup>7</sup> Roda RS, Bradley HG. Retratamiento no quirúrgico. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 1001.

han sido investigados y discutidos<sup>8,9</sup>. Entre otras mejoras también se incluyen los cambios en la aleación<sup>10</sup>, o en los tratamientos de superficie, con objeto de evitar la propagación de microfracturas, posible causa de la fractura total del instrumento<sup>11</sup>.

Una de las maniobras más recomendadas para prevenir la fractura de los instrumentos rotatorios de NiTi es la realización de una vía de deslizamiento<sup>12,13,14,15,16,17,18,19</sup>, para asegurar un espacio suficiente en el que puedan trabajar las limas rotatorias sin sufrir bloqueos o excesivo rozamiento con las paredes dentinarias. A pesar de haber sido demostrada la eficacia de esta vía de deslizamiento, no está claro si debe realizarse y hasta qué lima se debe realizar con cada sistema rotatorio<sup>20</sup>.

Mtwo (VDW, Munich, Alemania) y Twisted Files (SybronEndo, California, USA) son dos sistemas de limas rotatorias, de reciente introducción en el mercado, con características innovadoras en cuanto a diseño, técnica, número de limas y aleación de las mismas. Hasta la fecha, existen pocos trabajos que analicen estos dos sistemas y ninguno en el que se compare la capacidad de conformación de ambos sistemas en conductos radiculares con curvatura severa. Así pues, en base a los antecedentes mencionados, los objetivos del presente trabajo son:

1. Determinar la eficacia de una vía de deslizamiento manual con el sistema rotatorio Mtwo en la instrumentación de conductos radiculares con curvatura entre 25-76°.
2. Comparar la rectificación de la curvatura del conducto radicular y el transporte apical en conductos radiculares con curvaturas de 30 a 99°, instrumentados con los sistemas rotatorios Mtwo y Twisted Files.
3. Medir la pérdida de longitud de trabajo y el tiempo empleado en instrumentar conductos radiculares con curvaturas de 30 a 99°, con los sistemas rotatorios Mtwo y Twisted Files.

<sup>8</sup> Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J.* 2005;38:743-52.

<sup>9</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310.

<sup>10</sup> Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:401-3.

<sup>11</sup> Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;102:e106-14.

<sup>12</sup> Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28:543-5.

<sup>13</sup> Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J.* 2003;36:93-9.

<sup>14</sup> Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper instruments. *J Endod.* 2004;30: 228-30.

<sup>15</sup> Varela Patiño P, Biedma MB, Rodríguez Liebana C, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod.* 2005;31:114-6.

<sup>16</sup> Helmut W. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am* 2004;48:183-202.

<sup>17</sup> Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod.* 2003;29:567-75.

<sup>18</sup> Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G *et al.* Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod.* 2009;35:408-12. Erratum in: *J Endod.* 2009;35:1606.

<sup>19</sup> Ruddle CJ. The ProTaper endodontic system: geometries, features, and guidelines for use. *Dent Today.* 2001;20:60-7.

<sup>20</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

4. Comparar el transporte del conducto radicular y la capacidad de centrado de los sistemas rotatorios Mtwo y Twisted Files en conductos radiculares curvos de 30 a 99 grados.
5. Establecer la cantidad de dentina removida y la distancia a la zona furcal en conductos radiculares curvos de 30 a 99 grados, instrumentados con los sistemas rotatorios Mtwo y Twisted Files.



## **2. INTRODUCCIÓN**





## 2. INTRODUCCIÓN

La terapéutica endodóntica consiste en el tratamiento de la pulpa dental, vital o necrótica, para devolver al diente su integridad anatómica, funcional y estética.

De las distintas fases del tratamiento endodóntico, la instrumentación del conducto radicular, también llamada preparación biomecánica o limpieza y conformación de los conductos radiculares<sup>21</sup>, se considera primordial para obtener el éxito terapéutico. La fase de preparación tiene dos objetivos fundamentales<sup>22</sup>:

- La limpieza y desinfección del sistema de conductos radiculares, respetando al máximo la anatomía interna original.
- La conformación progresivamente cónica desde el orificio de entrada, a nivel de la cámara pulpar, hasta el ápice radicular, manteniendo la posición y el diámetro de la constricción y del orificio apical. Esta forma cónica facilitará la entrada de las soluciones irrigadoras, medicamentos y material de obturación.

### 2.1. PREPARACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES

#### 2.1.1. Instrumentación manual

Los instrumentos manuales llevan vigentes desde hace más de cien años y, en la actualidad, siguen formando parte del arsenal del que dispone el clínico para la limpieza y conformación de los conductos radiculares; a pesar del auge que están experimentando los instrumentos rotatorios. De los instrumentos manuales existentes, tales como los tiranervios, los ensanchadores, las limas Hedström (H), o los léntulos, son las limas K las que más se utilizan. Desde que, en 1958, Ingle y Levine<sup>23</sup> propusieron la fabricación estandarizada de instrumentos y, en 1962, la Asociación Americana de Endodoncia (AAE) apoyó la propuesta; la casa comercial Kerr comenzó a fabricarlas siguiendo las normas ISO y ANSI-ADA (nº 58 y nº 28). Entre sus características más importantes se encontraban: el aumento del diámetro de la punta en 0,05 mm ó 0,1 mm, en función del tamaño de instrumento; el aumento de la conicidad desde la punta de un 2% por milímetro de longitud, y una parte activa de 16mm<sup>24</sup>. Su proceso de fabricación consistía en la torsión de un alambre de acero inoxidable de sección cuadrada o

<sup>21</sup> Schidler H. Clearing and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18:269-96.

<sup>22</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 159.

<sup>23</sup> Ingle JL, Levine M. The need for uniformity of endodontic instruments, equipment, and filling materials, transactions. *Second International Conference of Endodontics.* Philadelphia: University of Pennsylvania. 1958.

<sup>24</sup> Leonardo MR. Perfeccionamiento y simplificación de técnicas endodónticas. En: Leonardo MR, Leonardo RT. *Instrumentos Rotatorios en Endodoncia, instrumentos de níquel-titanio.* Artes Médicas Latinoamérica; 2002. p.4-6.

triangular hasta obtener el perfil espiral característico. La diferencia entre limas o ensanchadores se establece en función del número de espiras que presentan<sup>25</sup>.

También se han fabricado limas K manuales mediante torneado para intentar mejorar las características metalúrgicas de la misma; sin embargo, las limas por torneado presentan menor resistencia a la torsión que las limas convencionales torsionadas, con menor deformación plástica antes de su rotura, la cual acontece sin previo aviso<sup>26</sup>.

Con el tiempo, las limas manuales han sido modificadas incrementando su flexibilidad mediante cambios en el perfil de la sección<sup>27</sup>. Roane y cols.<sup>28</sup> propusieron la eliminación de la punta cortante de las limas K, para suavizar el ángulo de transición entre la punta y el segmento cortante, minimizando así la deformación del conducto.

Aunque el material de elección para la fabricación de limas manuales sigue siendo el acero inoxidable, también existen limas fabricadas en acero al carbono, titanio-aluminio y níquel-titanio (NiTi). La principal ventaja de estas últimas reside en un módulo de elasticidad mucho más bajo que las limas de acero inoxidable, lo que les presupone un mejor comportamiento en conductos curvos. Sin embargo, la capacidad de corte es mucho menor que la del acero inoxidable<sup>29</sup>, aunque no existen diferencias significativas entre las limas K de acero inoxidable y las de níquel-titanio cuando la preparación del conducto se realiza con calibres moderados<sup>30,31</sup>. Al tener menor capacidad de corte, el tiempo de trabajo con limas de NiTi será mayor que con las de acero inoxidable, además la fabricación en níquel-titanio encarece el instrumento<sup>32</sup>. Así, la utilización de instrumentos de níquel-titanio queda reservada, casi exclusivamente, a la preparación del conducto mediante técnicas de rotación horaria continua.

### **a) Técnicas de instrumentación manual**

Las técnicas de instrumentación más representativas<sup>33</sup>:

#### TÉCNICAS APICOCORONALES

Estas técnicas instrumentan el tercio apical en primera lugar, para después conformar los tercios coronal y medio.

---

<sup>25</sup> Peters OA, Peters CI. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa*. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 308,309.

<sup>26</sup> Seto BG, Nicholls JI, Harrington GW. Torsional properties of twisted and machined endodontic files. *J Endod*. 1990;16:355-60.

<sup>27</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas*. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 161.

<sup>28</sup> Roane JB, Sabala CL, Duncanson M JR. The "Balanced Forced" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod*. 1985;11:203-211.

<sup>29</sup> Brau Aguadé E, Canalda Sahli C, Berástegui Jimeno E. Cutting efficiency of k-files manufactured with different metallic alloys. *Endod Dent Traumatol*. 1996;12:286-288.

<sup>30</sup> Espósito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel titanium and stainless steel instruments. *J Endod*. 1995;21:173-176.

<sup>31</sup> Samyn JA, Nicholls JI, Steiner JC. Comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. *J Endod*. 1996;22:177-181.

<sup>32</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas*. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 159-198.

<sup>33</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas*. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 176-180.

- I. Técnica tradicional o clásica<sup>34</sup>. Está indicada en conductos radiculares rectos o con curvatura suave. Consiste en la utilización secuencial de escariadores o limas Hedström hasta el calibre deseado.
- II. Técnica step-back. Propuesta por primera vez por Clem<sup>35</sup>. Esta técnica permite mantener un calibre apical pequeño y conicidad suficiente para la limpieza y desinfección de los conductos. El conducto radicular se ensancha 3 ó 4 calibres por encima de la lima inicial que encaja a longitud de trabajo (LT). La parte más coronal del conducto se instrumenta con limas de calibre progresivamente mayor, en retrocesos de 1 milímetro, creando una morfología cónica<sup>36</sup>.
- III. Técnica de limado anticurvatura. Propuesta para evitar la instrumentación de la pared cóncava del conducto. Consiste en limar sólo hacia la parte convexa de la raíz, de manera que se suaviza la curvatura, a la vez que se evita la zona de peligro, y se minimiza el transporte apical<sup>37</sup>.

#### TÉCNICAS CORONOAPICALES

Son aquellas que realizan la instrumentación del tercio coronal antes de preparar la zona apical del conducto. Su objetivo es evitar posibles interferencias de las limas en los dos tercios coronales del conducto, para acceder más libremente al tercio apical. Esta técnica permite la descontaminación progresiva del contenido radicular y facilita la posterior obturación<sup>38</sup>.

- I. Técnica step-down<sup>39</sup>. Se instrumenta la zona coronal y media con taladros Gates-Glidden hasta encontrar resistencia. Se alisan las paredes con limas Hedström para dar continuidad a la preparación, se determina la longitud de trabajo y se instrumenta el tercio apical con limas K. Por último se realiza un retroceso con limas K o H.
- II. Técnica de doble conicidad<sup>40</sup>. Para la preparación de conductos rectos o ligeramente curvos se propone instrumentar el tercio coronal con una lima de calibre grande ( $\cong$  #70) y progresar apicalmente en la instrumentación con limas de menor calibre hasta alcanzar la longitud de trabajo. Una vez alcanzada la LT se ensancha el conducto hasta el calibre deseado. A continuación se efectúa la técnica

<sup>34</sup> Soares Ilson J. Preparación del conducto radicular. Limpieza y conformación. En: Soares Ilson J. Endodoncia. Técnica y Fundamento. Argentina. Médica Panamericana. 2002. p. 78,86-114.

<sup>35</sup> Clem WH. Endodontics: the adolescent patient. Dent Clin North Am. 1969;13:482-93.

<sup>36</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguade E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 177.

<sup>37</sup> Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. J Am Dent Assoc. 1980;101:792-4.

<sup>38</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguade E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 178.

<sup>39</sup> Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. J Endod. 1982;8:550-4.

<sup>40</sup> Fava LR. The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. J Endod. 1983;9:76-80.

step-back en sentido apicocoronal, con los retrocesos necesarios para dar continuidad a la preparación.

- III. Técnica crown-down sin presión<sup>41</sup>. Se realiza la instrumentación del tercio coronal introduciendo en el conducto limas K de tamaño mediano (#35 ó #40) y rotándolas en sentido horario hasta obtener resistencia. A continuación se pasa a una lima de calibre inferior y se sigue progresando en el conducto hasta obtener resistencia, y siempre sin hacer presión. Se repite el procedimiento hasta llegar a longitud de trabajo y una vez alcanzada se repite la secuencia desde coronal, con un calibre inicial superior, y se vuelve a instrumentar en sentido coronodescendente hasta alcanzar el calibre apical correspondiente.

### **b) Accidentes iatrogénicos en la instrumentación manual**

A pesar de las diferentes técnicas de instrumentación ideadas para la preparación manual del conducto radicular, existen una serie de accidentes inherentes a la naturaleza de los instrumentos que pueden hacer peligrar la correcta conformación y desinfección del sistema de conductos radiculares. A continuación se detallan los más frecuentes<sup>42,43</sup>:

- Bloqueo de la zona apical. El conducto radicular se puede obliterar como consecuencia de un acúmulo de detritus dentinarios o por la compactación del tejido pulpar, impidiendo el paso de los instrumentos y de los materiales de obturación hasta la zona deseada.
- Disminución de la longitud de trabajo. La longitud de trabajo se verá disminuida como consecuencia de la aparición de bloqueos en el conducto radicular, o por un enderezamiento excesivo de los conductos curvos.
- Codo o escalón. Esta irregularidad se forma en un conducto que ya había sido permeabilizado, como consecuencia del uso incorrecto de un instrumento: presión apical excesiva, uso de puntas activas en los instrumentos, rigidez de la lima o calibres apicales excesivamente grandes.
- Transporte apical. El desvío de la trayectoria original en la zona apical puede causar una forma de cremallera, una falsa vía o un codo. La fuerte tendencia a enderezarse del acero inoxidable provoca este accidente con frecuencia.
- Rotura. La rotura del instrumento manual puede ocurrir si no se toman las precauciones adecuadas. Esta fractura ocasiona el taponamiento del conducto e

<sup>41</sup> Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. J Endod. 1984;10:491-8.

<sup>42</sup> Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. J Endod. 1975;1:255-62.

<sup>43</sup> Canalda Sahli C, Pumarola Suñé J. Retratamiento no quirúrgico de los fracasos endodóncicos. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 290.

impidiendo la correcta desinfección y conformación del tercio apical. Para evitar la fractura de los instrumentos es necesario utilizarlos el número de veces que recomienda el fabricante y revisarlos habitualmente, ya que macroscópicamente, antes de su rotura, presentan signos evidentes de deformación plástica: desespirado, deformación de las hojas de corte, etc.

### 2.1.2. Instrumentación mecánica

Desde hace décadas ha existido gran interés en instrumentar los conductos radiculares de forma mecánica, para facilitar las técnicas de preparación y disminuir la fatiga del operador y del paciente. En 1964 se fabricó un contraángulo endodóntico, el Giromatic de Micromega, que realizaba movimientos oscilantes. A partir de entonces se lanzaron al mercado una serie de piezas de mano, con diferentes movimientos oscilatorios, para ser utilizadas con limas manuales de acero inoxidable de diferentes diseños. Sin embargo, al igual que los instrumentos manuales de níquel-titanio, no tuvieron el éxito esperado; los instrumentos de acero inoxidable no están indicados para la preparación mecánica de los conductos radiculares, debido a su excesiva fatiga cíclica y su falta de flexibilidad<sup>44</sup>.

Los trépanos de Gates-Glidden son instrumentos de acero inoxidable o NiTi que se utilizan de forma mecánica, para facilitar el acceso al conducto radicular en coronas con cámaras pulpares profundas, mejorando la visibilidad y creando un acceso recto a la parte curva del conducto. Poseen un vástago no cortante, largo y fino, una cabeza pequeña con punta de seguridad inactiva y corte lateral que permiten ampliar la entrada a los conductos, con un mínimo riesgo de producir accidentes iatrogénicos. No obstante no deben emplearse más allá de la curvatura del conducto ya que el riesgo de perforación lateral es alto<sup>45</sup>.

### Aleaciones de níquel-titanio

En 1963, Buehler aplicó la aleación de níquel-titanio en un programa de investigación orientado a la utilización de metales de alta resistencia a la corrosión<sup>46</sup>. Se denominó Nitinol-55 (55% de níquel y 45% de titanio) como acrónimo de las palabras Níquel-titanio-NOL (Naval Ordnance Laboratory). En la actualidad, las aleaciones contienen un 50-56% de níquel y un 44-50% de titanio<sup>47</sup>.

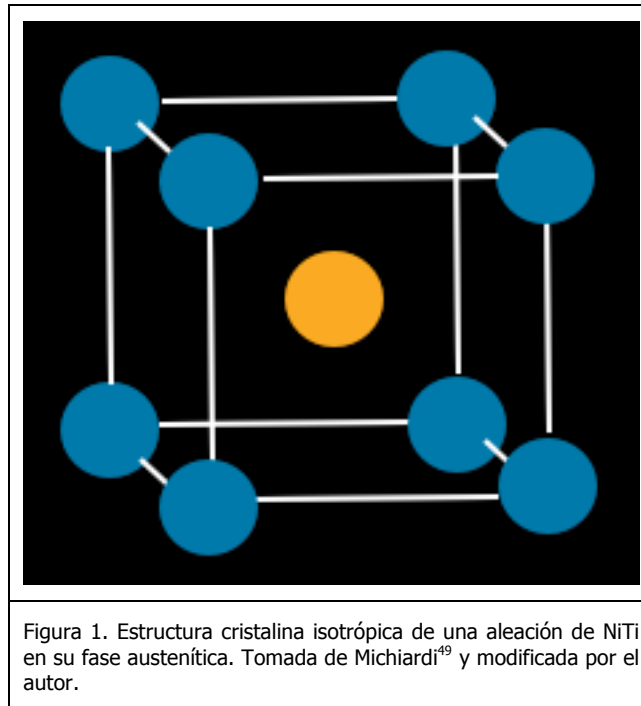
<sup>44</sup> Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 165.

<sup>45</sup> Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En: Cohen S, Hargreaves KM. Vías de la Pulpa. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 250.

<sup>46</sup> Buehler WJ, Gilfrich JW, Wiley RC. Effects of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. J Appl Phys. 1963;34:475.

<sup>47</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. Int Endod J. 2000;33:297-310.

Las aleaciones de NiTi deben sus propiedades a una transición de fase entre una estructura de tipo austenita a una de tipo martensita. El término austenita, o fase madre, se utiliza para denominar una estructura cristalina cúbica característica, centrada en el cuerpo, donde los átomos de Ni ocupan el centro de la red y los átomos de Ti están en la periferia<sup>48</sup> (Figura 1).

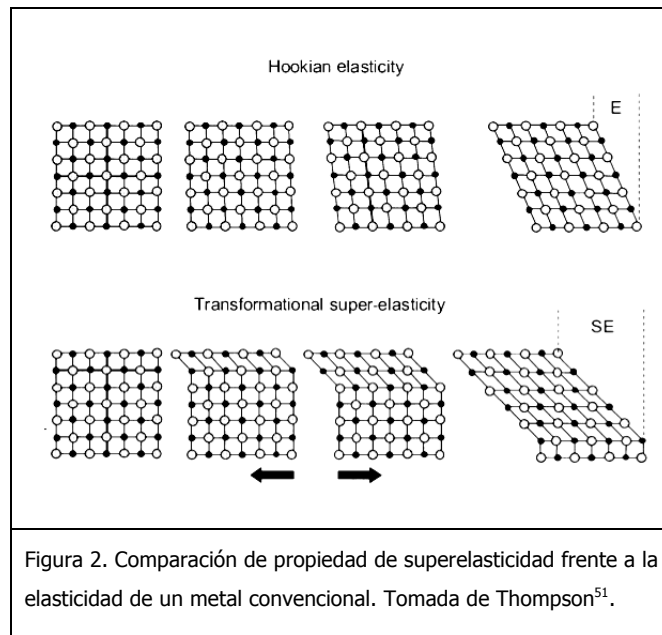


La transformación martensítica termoelástica es una transformación en estado sólido, sin fenómenos de dislocación atómica, en la que la austenita cambia su estructura atómica. No se requiere un movimiento de largo alcance de los átomos, sino que los átomos se redistribuyen conjuntamente en una red cristalina más estable. Es un desplazamiento colectivo y cooperativo, de pequeña distancia, de los átomos respecto a los parámetros de la red cristalina (Figura 2). No se cambia la composición química de la matriz y como no hay migración de átomos la evolución es, en la mayor parte de los casos, independiente del tiempo, realizándose instantáneamente<sup>50</sup>.

<sup>48</sup> Michiardi A. Nuevo tratamiento de oxidación en aleaciones de NiTi para aplicaciones biomédicas. Caracterización superficial y respuesta biológica *in vitro*. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2005.

<sup>49</sup> Michiardi A. Nuevo tratamiento de oxidación en aleaciones de NiTi para aplicaciones biomédicas. Caracterización superficial y respuesta biológica *in vitro*. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2005.

<sup>50</sup> Michiardi A. Nuevo tratamiento de oxidación en aleaciones de NiTi para aplicaciones biomédicas. Caracterización superficial y respuesta biológica *in vitro*. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2005.



Las principales propiedades del NiTi que le han conferido la denominación de “materiales inteligentes” son la memoria de forma y la superelasticidad. Ambas propiedades implican un cambio estructural de austenita a martensita, aunque por mecanismos diferentes. La memoria de forma surge como consecuencia de cambios térmicos, mientras que la superelasticidad es consecuencia de la aplicación de presión a la aleación<sup>52</sup>.

#### a) MEMORIA DE FORMA

La aleación equiatómica del NiTi es estable en su fase austenita en un rango de temperatura alto (100°C)<sup>53</sup>, aunque este rango es modificable en función de la concentración del níquel y de las impurezas que contenga la aleación; lo que obliga a los fabricantes a producirlo en estricto control de concentraciones, en condiciones de vacío<sup>54</sup>. La variación de la proporción dará a la aleación propiedades distintas en cuanto a flexibilidad y memoria de forma (Figura 3). Los fabricantes realizan modificaciones para poder aprovechar mejor dichas diferencias en las propiedades mecánicas; así, por ejemplo, para la fabricación de limas de calibre fino se utilizan aleaciones más resistentes, mientras que para las limas de mayor calibre y conicidad se emplean aleaciones con más flexibilidad<sup>55</sup>.

A partir de un descenso crítico en la temperatura (MS: martensita start), comienza el cambio estructural de austenita a martensita en el que la red cristalina cambia de forma; convirtiéndose en una red maclada o gemelar, sin que haya cambios macroscópicos en el metal. Esta estructura martensítica, que no ha perdido sus enlaces atómicos con los átomos vecinos, es

<sup>51</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310.

<sup>52</sup> De la Flor, S. Ensayos para la caracterización de aleaciones con memoria de forma NiTi. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2002.

<sup>53</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310.

<sup>54</sup> De la Flor, S. Ensayos para la caracterización de aleaciones con memoria de forma NiTi. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2002.

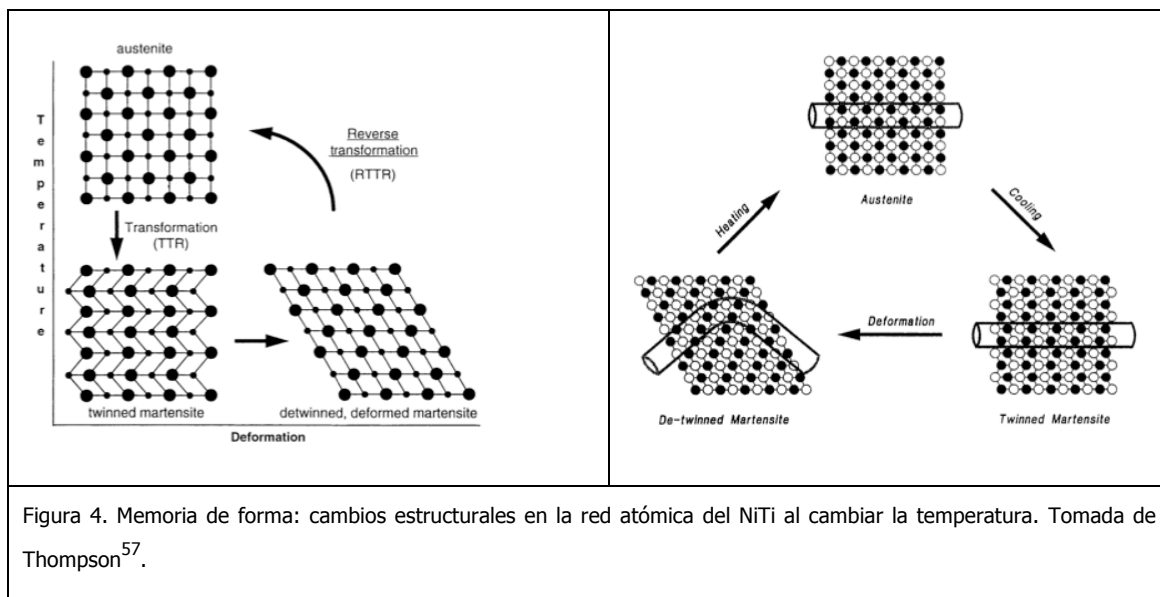
<sup>55</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310.



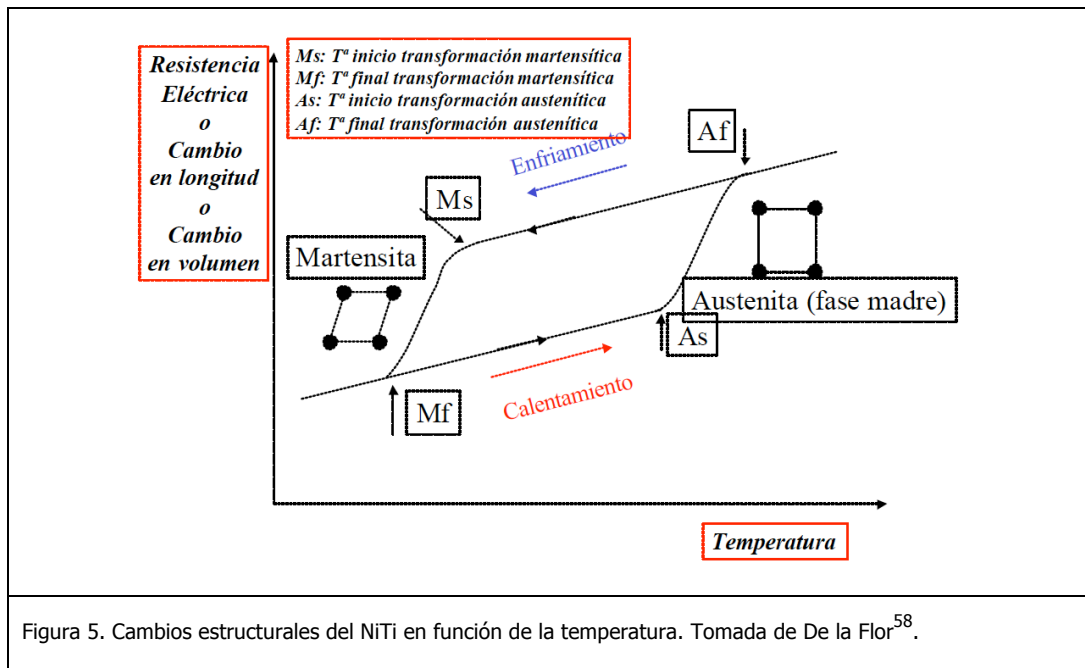
mucho más propensa a la ductilidad, pudiendo deformarse. Si la aleación es nuevamente calentada hasta llegar al punto crítico de transformación en austenita, la red maclada retornará a su organización original en forma cúbica cristalina y la aleación dejará de ser dúctil, recobrando su forma original (Figuras 4 y 5).

	Austenita	Martensita
Resistencia Máx a tracción (Mpa)	800-1500	103-1100
Límite elástico (Mpa)	100-800	50-300
Módulo elástico (Gpa)	70-110	21-69

Figura 3. Propiedades mecánicas de las aleaciones NiTi en función de su fase estructural. Tomada de Michiardi<sup>56</sup> y modificada por el autor.



<sup>56</sup> Michiardi A. Nuevo tratamiento de oxidación en aleaciones de NiTi para aplicaciones biomédicas. Caracterización superficial y respuesta biológica in vitro. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2005.  
<sup>57</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. Int Endod J. 2000;33:297-310.



La propiedad de memoria de forma es aplicable en muchos campos de la Medicina. En Odontología existe un ejemplo muy característico que son los arcos de Ortodoncia que son enfriados y deformados a conveniencia, recuperando su forma original al calentarse en boca<sup>59</sup>. En Endodoncia, este efecto no tiene aplicación práctica.

#### b) SUPERELASTICIDAD

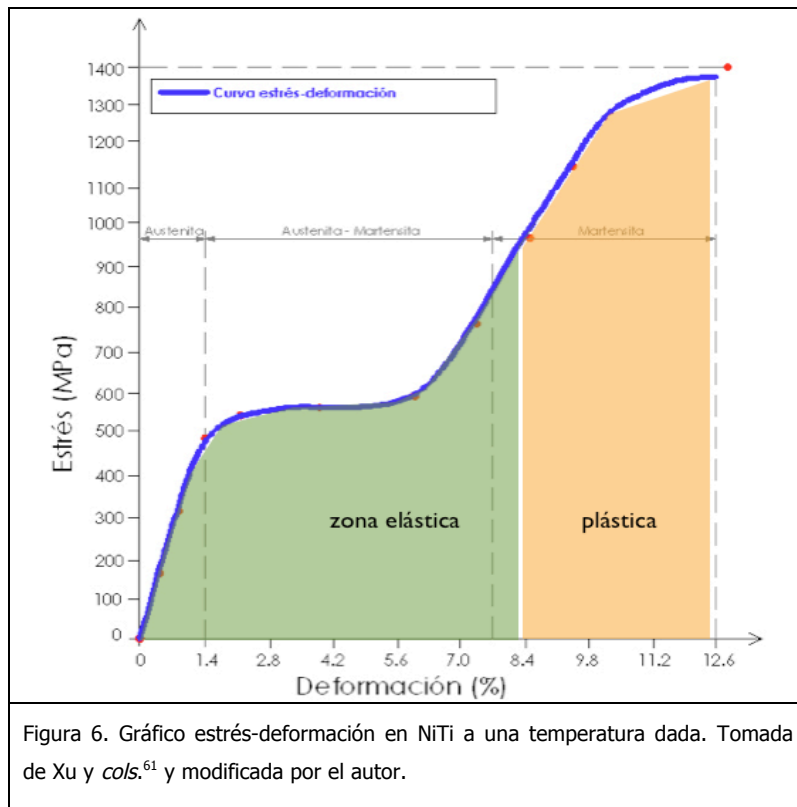
Según Thompson<sup>60</sup>, cuando ocurre la transformación de austenita a martensita, a consecuencia del estrés, se produce un cambio volumétrico asociado al cambio de fases. Una deformación progresiva en relación al incremento del estrés que tiende a estabilizarse a consecuencia del cambio de fases. Así, cuando el estrés cesa, la deformación producida retornará a su fase austenítica original, recuperando su forma.

El módulo elástico del NiTi es muy superior al del acero inoxidable, con completa recuperación del estado original en deformaciones de hasta un 8% (Figura 6).

<sup>58</sup> De la Flor, S. Ensayos para la caracterización de aleaciones con memoria de forma NiTi. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2002.

<sup>59</sup> Brantley W. Aleaciones para forjado. En: Phillips. Ciencia de los materiales dentales. 11ª edición. Elsevier; 2004. p. 648.

<sup>60</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. Int Endod J. 2000;33:297-310.



Los primeros intentos para fabricar limas de níquel-titanio (NiTi), mediante torsión de un alambre, no fueron posibles debido a la dificultad de torsionarlo sujetándolo con pinzas de retención<sup>62,63</sup>. En la actualidad, el proceso de fabricación de las limas endodónticas es producto de una ingeniería específica desarrollada para tal fin. Un alambre de NiTi es torneado/esmerilado mediante máquinas de corte, hasta obtener la forma de lima deseada<sup>64</sup>.

A finales de los años 80 del siglo pasado, Walia y cols.<sup>65</sup> compararon las propiedades de flexibilidad y torsión de limas K de NiTi, del número 15, con las limas convencionales de acero inoxidable. Para ello utilizaron tres test mecánicos, propuestos por Krupp y cols.<sup>66</sup>, que evaluaban los momentos de flexión y torsión con un preciso medidor de torque. Concluyeron que las limas NiTi eran hasta tres veces más flexibles que las de acero inoxidable, con una mayor resistencia a la torsión dextrógira y levógira, siendo especialmente útiles en la preparación de conductos curvos.

<sup>61</sup> Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. J Endod. 2006;32:372-5.

<sup>62</sup> Civjan S, Huget EF, DeSimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. J Dent Res. 1975;54:89.

<sup>63</sup> Schäfer E. Root canal instruments for manual use: a review. Endod Dent Traumatol. 1997;13:51-64.

<sup>64</sup> Peters OA, Peters CI. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares. En: Cohen S, Hargreaves KM. Vías de la Pulpa. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 312.

<sup>65</sup> Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. J Endod. 1988;14:346-51.

<sup>66</sup> Krupp JD, Brantley WA, Gerstein H. An investigation of the torsional and bending properties of seven brands of endodontic files. J Endod. 1984;10:372-80.

## Diseño de los instrumentos rotatorios de níquel-titanio

A pesar de las normativas ANSI-ADA que estandarizan la fabricación de instrumentos endodónticos manuales<sup>67</sup>, los instrumentos rotatorios de níquel-titanio no tienen normativa por la que regirse, de manera que los fabricantes realizan sus diseños de manera no estandarizada. Con el objetivo de aportar ventajas en la instrumentación de los conductos radiculares, los fabricantes han contemplado numerosos aspectos en el diseño de la lima (Figura 7). Sin pretender extenderse en ellos, se describirán los más importantes<sup>68</sup>:

### CONICIDAD

Es el incremento porcentual del diámetro por milímetro longitudinal de la lima en su parte activa. En el mercado existen diferencias en la conicidad desde el 1 al 20%, existiendo limas con conicidad constante, variable, y sin conicidad. La conicidad mejora la entrada de la solución irrigadora y la obturación en el tercio apical, pero hace que las limas sean más rígidas y eliminen más dentina radicular, favoreciendo las fracturas dentarias. Las limas tienen dos tipos de conicidad: la conicidad de las hojas, que es la más periférica y que se usa para clasificar las limas; y la conicidad de núcleo o de core, que es la conicidad del cuerpo de la lima y que influye mucho en su rigidez.

### BORDE

Es la parte de la lima encargada de cortar dentina, siendo la cúspide de unión entre dos surcos.

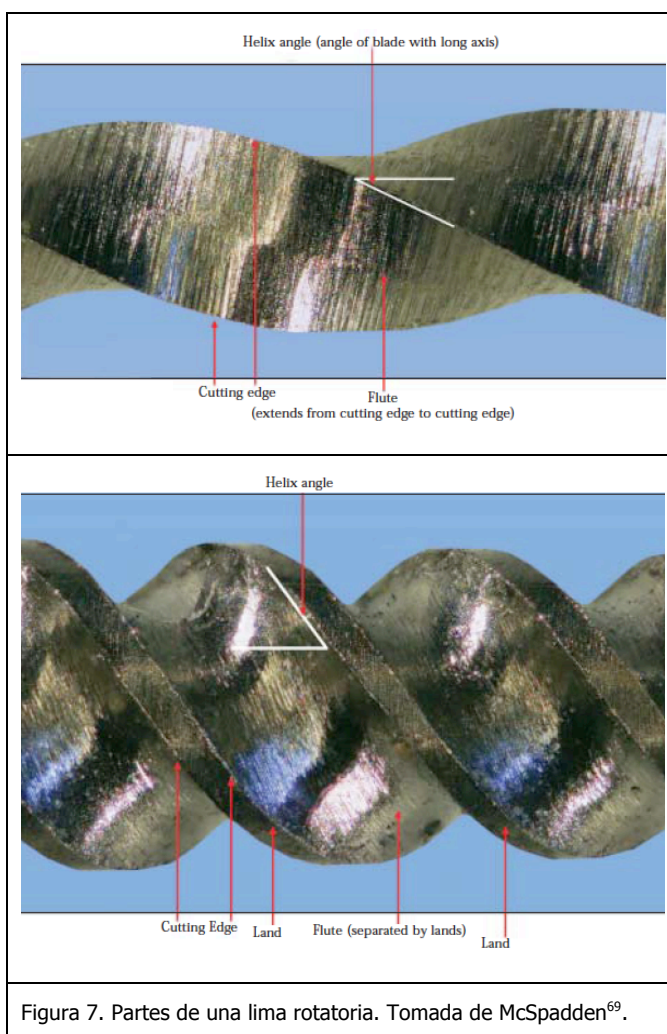


Figura 7. Partes de una lima rotatoria. Tomada de McSpadden<sup>69</sup>.

<sup>67</sup>International Organization for Standardization: Dental Root-Canal Instruments. Part 1. Files, Reamers, Barbed Broaches, Rasps, Paste Carriers, Explorers and Cotton Broaches, Geneva, 1992-

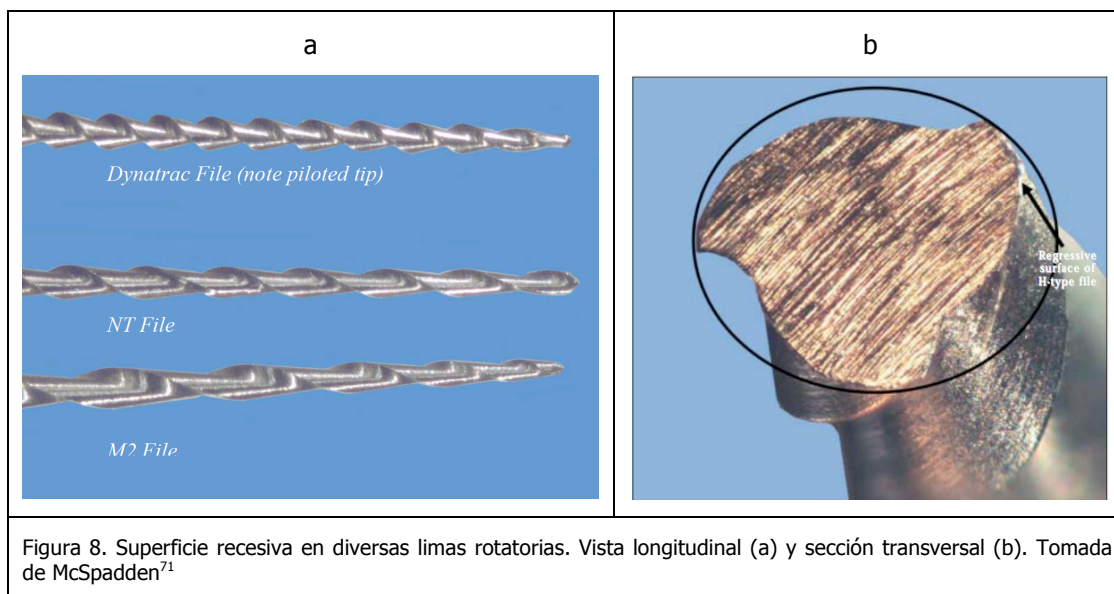
<sup>68</sup> Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En: Cohen S, Hargreaves KM. Vías de la Pulpa. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 252-253.

<sup>69</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p. 18,19.

## RADIAL LAND

Si en lugar de un borde cortante, lo que se forma es un plano, se obtiene un apoyo radial o *radial land*. Los apoyos radiales fueron concebidos para reducir las fuerzas de atornillamiento, mantener centrado el instrumento en el conducto, limitar la profundidad de corte o dar resistencia a la propagación de fracturas. Este diseño hace que la lima abrasione en lugar de cortar dentina, necesiándose mayor torque y más tiempo para que sea eficaz al trabajar.

Algunas limas en lugar de apoyos radiales tienen una superficie recesiva<sup>70</sup>. Es un diseño originario de las limas Hedström que se ha añadido a varias limas rotatorias como Mtwo o Hero (Micro-Mega, Besançon, Francia) (Figura 8). La superficie decreciente, entre el borde cortante y el surco, es una gran superficie plana y al contrario que los *radial lands* no es recta, sino que decae desde la hoja hasta el surco. Algunos autores la han bautizado como la "evolución de los *radial lands*", pues persigue sus mismas funciones: prevenir la propagación de fracturas, mantener centrado el instrumento y dar resistencia a la torsión. Además es más liviana que los *radial lands* porque no toda la superficie contacta con la dentina.



## SURCO

Es la parte de la lima encargada de alojar los restos dentinarios que corta la hoja. Su papel es importante en la eficacia de corte de la lima: surcos grandes permitirán más corte que surcos pequeños porque tardarán más en saturarse de restos dentinarios.

<sup>70</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p. 33.

<sup>71</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p. 32.

### ÁNGULO HELICOIDAL

Es el ángulo que forma el borde cortante con el eje longitudinal de la lima y es el encargado de evacuar los detritus alojados en los surcos. También es el responsable de que la lima corte por rotación o por tracción. Puede ser constante o variable, influyendo de esta manera en el grado de atornillamiento de la lima.

### PITCH

Es la distancia entre las espiras. Las primeras limas rotatorias poseían un pitch constante que asemejaba las limas a un tornillo métrico. Este diseño hacía que la lima tuviera cierta tendencia a atornillarse dentro del conducto, debido a que cada surco de labrado en la dentina, sigue la trayectoria del precedente. Para minimizar esta desventaja, los fabricantes han incorporado el pitch variable que poseen la mayoría de los últimos sistemas lanzados al mercado.

### SECCIÓN TRANSVERSAL

Es la forma geométrica que presenta la lima cuando es seccionada perpendicularmente al eje longitudinal. Puede ser simétrica o asimétrica, birradial o trirradial, robusta o ligera, etc. La sección de la lima aporta información acerca de su diseño y puede variar la forma a lo largo de la lima (Figura 9).

### ÁNGULO DE ATAQUE

Es el ángulo que forma en su sección transversal la hoja de la lima con la superficie dentinaria. Si el ángulo de ataque es obtuso, la lima tendrá un corte positivo, es decir, cortará la dentina. Si el ángulo de ataque es agudo, la lima tendrá un corte negativo y su acción será de raspado, abrasionado.

### ÁNGULO DE CORTE

Es el que determina la capacidad de corte de la lima. Es el ángulo formado por el borde de la hoja y la superficie dentinaria cuando se realiza un corte perpendicular a la hoja cortante. Si los surcos de la lima son simétricos, el ángulo de ataque y el ángulo de corte serán similares. Si los surcos son asimétricos, dichos ángulos serán diferentes (Figura 10).

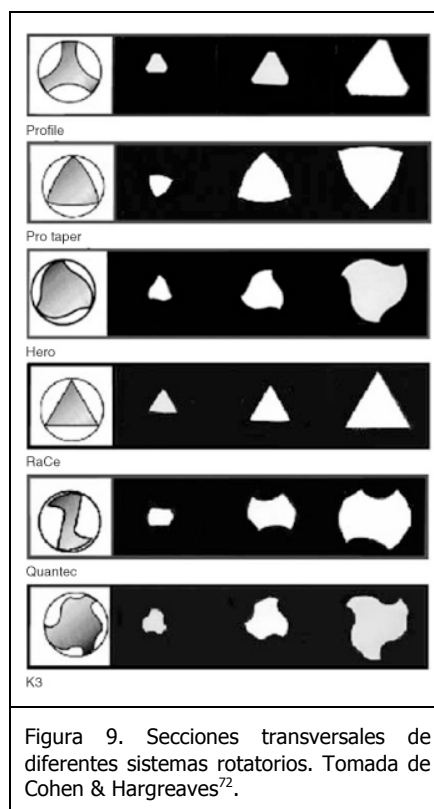


Figura 9. Secciones transversales de diferentes sistemas rotatorios. Tomada de Cohen & Hargreaves<sup>72</sup>.

<sup>72</sup> Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En Cohen S, Hargreaves KM. Vías de la Pulpa. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 256.



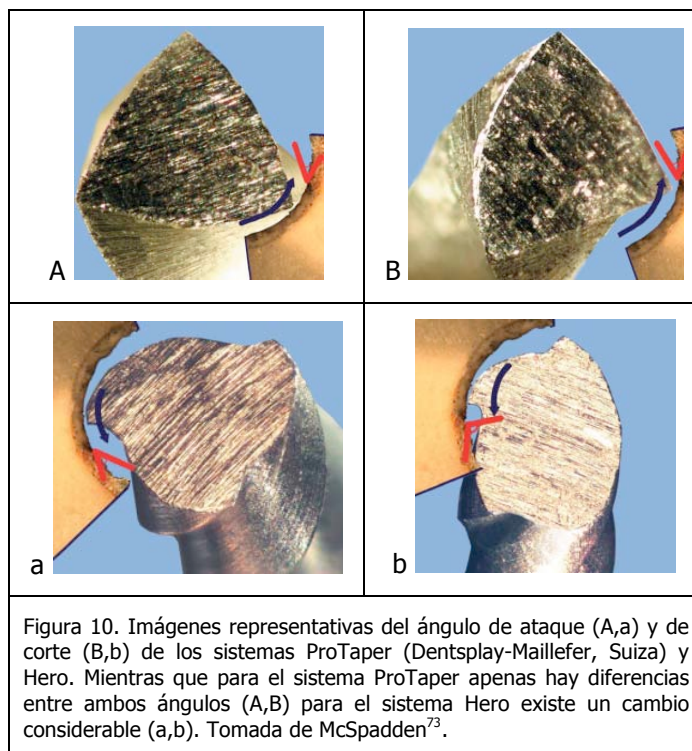


Figura 10. Imágenes representativas del ángulo de ataque (A,a) y de corte (B,b) de los sistemas ProTaper (Dentsply-Maillefer, Suiza) y Hero. Mientras que para el sistema ProTaper apenas hay diferencias entre ambos ángulos (A,B) para el sistema Hero existe un cambio considerable (a,b). Tomada de McSpadden<sup>73</sup>.

### Técnicas de instrumentación rotatoria

Clásicamente, los instrumentos rotatorios de NiTi se utilizan con una técnica coronapical, en la que instrumentos de mayor conicidad y calibre preceden a instrumentos menores, a medida que se desciende hacia el tercio apical. Las ventajas de esta técnica son una menor fricción de las limas rotatorias en el conducto, que entrarían más libremente sin ser forzadas, disminuyendo la incidencia de fracturas; así como una descontaminación progresiva del conducto sin embolización de detritus<sup>74,75</sup>. Sin embargo, las innovaciones introducidas por los fabricantes también afectan a las técnicas de uso de los sistemas, pudiendo ser utilizados con otras técnicas: como la técnica convencional o clásica<sup>76</sup> en la que todos los instrumentos trabajan secuencialmente a longitud de trabajo, incrementándose el calibre apical progresivamente. El sistema Mtwo es un ejemplo de este cambio en la técnica de uso ya que trabaja en lo que el fabricante denomina "Técnica de Longitud Simple".

### Accidentes iatrogénicos en la instrumentación rotatoria

Debido a las propiedades del NiTi en cuanto al módulo de elasticidad y a la resistencia a la fatiga cíclica, se han solventado muchos de los problemas inherentes al acero inoxidable, tales como el transporte apical, codos o cremalleras, enderezamiento del conducto, etc. Éstos,

<sup>73</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p. 25,26

<sup>74</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. Int Endod J. 2006;39:196-202.

<sup>75</sup> Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. J Endod. 2004;30:559-67.

<sup>76</sup> Soares Ilson J. Preparación del conducto radicular. Limpieza y conformación. En: Soares Ilson J. Endodoncia. Técnica y Fundamento. Argentina. Médica Panamericana. 2002. p. 78,86-114

aunque ocurren, lo hacen con menor frecuencia e importancia, confiriendo a los instrumentos rotatorios de NiTi una mejor capacidad en la conformación de los conductos radiculares, que se hace especialmente importante en los conductos curvos<sup>77,78</sup>. Sin embargo, y dado que los instrumentos de NiTi trabajan en su mayoría por rotación, la rotura del instrumento puede ocurrir con frecuencia. Aunque, por sí mismo, el fragmento fracturado no empeore el pronóstico del tratamiento endodóntico, impide un correcto acceso a la porción del conducto que quede apical a éste, comprometiendo la correcta conformación y limpieza del conducto radicular<sup>79</sup>. Debido a esto existe un mejor pronóstico de tratamiento si la fractura ocurre en las fases posteriores de la instrumentación<sup>80</sup>. Parashos y cols.<sup>81</sup> mostraron una frecuencia de fractura del 5% y una deformación del 12%, en una muestra de 7.159 instrumentos de diferentes sistemas. El 70% de estas fracturas se debía a fatiga cíclica, mientras que el 30% restante se fracturaron por carga torsional excesiva. Además, la mayoría de las fracturas se presentaban, normalmente, sin previo aviso de deformación ni desespiración, lo que hacía imprevisible la fractura. Spanaki-Voreadi y cols.<sup>82</sup> encontraron que el 74% de las limas ProTaper fracturadas no tuvieron deformación visible aparente.

#### a) FRACTURA POR TORSIÓN

La fractura torsional por estrés excesivo puede producirse por varios motivos:

- El instrumento encuentra un rozamiento excesivo con las paredes del conducto (bloqueo)<sup>83</sup>.
- Aumento de la presión apical por parte del operador<sup>84</sup>.
- La punta del instrumento es más grande que la sección del conducto que va a conformar<sup>85,86</sup>.

En cualquiera de estas situaciones, la punta de una lima rotatoria se bloquea o atornilla en el conducto mientras el resto de la lima sigue rotando. El metal llegará a su límite elástico y

<sup>77</sup> Schäfer E. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexfiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;92:215–20.

<sup>78</sup> Schäfer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2002;35:505–13.

<sup>79</sup> Roda RS, Bradley HG. Retratamiento no quirúrgico. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa*. 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 1001.

<sup>80</sup> Torabinejad M, Lemon R. Procedural Accidents. En: Walton RE, Torabinejad M. *Principles and Practice of Endodontics*. Philadelphia. Elsevier. 2002. p. 310.

<sup>81</sup> Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod.* 2004;30:722-5

<sup>82</sup> Spanaki-Voreadi AP, Kerezoudis NP, Zinelis S. Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. *Int Endod J.* 2006;39:171-8.

<sup>83</sup> Blum JY, Cohen P, Machtou P, Micallet JP. Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 1999;32:24–31.

<sup>84</sup> Kobayashi C, Yoshioka T, Suda H. A new motor-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod.* 1997;23:751–4.

<sup>85</sup> Gambarini G. Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. *Endodon Dent Traumatol.* 2000;16:95–100.

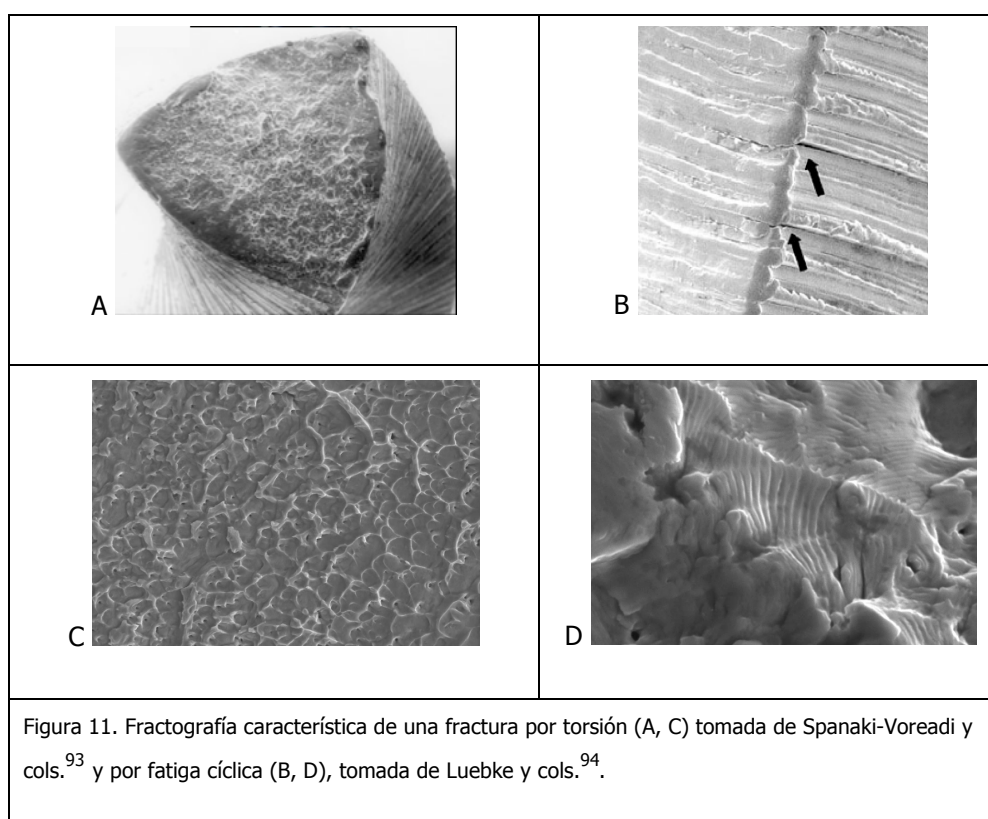
<sup>86</sup> Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of pre-flaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28:543–5.



comenzará a deformarse plásticamente. Si la torsión continúa, acabará por fracturarse<sup>87,88</sup>. Este tipo de fractura presenta un patrón característico en forma de "cráter de luna" típico de la deformación plástica que acontece a la fractura<sup>89</sup> (Figura 11).

#### b) FRACTURA POR FATIGA CÍCLICA

En la fractura por fatiga cíclica, la lima gira libremente en el conducto. La parte de la lima que se encuentra en la zona de máxima curvatura sufre esfuerzos de tracción, en la zona externa de la curva, y de compresión, en la zona interna de la curva, cíclicamente<sup>90,91</sup>. Este esfuerzo repetido durante muchos ciclos acaba por fatigar la aleación, apareciendo grietas *-cracks-*, sobre todo en los bordes de las hojas de corte de la lima o en zonas de imperfecciones (Figura 11). Estas grietas acaban propagándose por las zonas débiles de la aleación, hasta que se produce la fractura o un exceso en el estrés por torsión del instrumento<sup>92</sup>.



<sup>87</sup> Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. J Endod. 2000;26:161-5.

<sup>88</sup> Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. Int Endod J. 2006;39:755-63.

<sup>89</sup> Spanaki-Voreadi AP, Kerezoudis NP, Zinelis S. Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. Int Endod J. 2006;39:171-8.

<sup>90</sup> Fife D, Gambarini G, Britto LrL. Cyclic fatigue testing of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2004;97: 251-6.

<sup>91</sup> Haikel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C. Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. J Endod. 1999;25: 434-40.

<sup>92</sup> Li UM, Lee BS, Shih CT, Lan WH, Lin CP. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. J Endod. 2002;28:448-51.

<sup>93</sup> Spanaki-Voreadi AP, Kerezoudis NP, Zinelis S. Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. Int Endod J. 2006;39:171-8..

<sup>94</sup> Luebke NH, Brantley WA, Alapati SB, Mitchell JC, Lausten LL, Daehn GS. Bending fatigue study of nickel-titanium Gates Glidden drills. J Endod. 2005;31:523-5.

## Vía de deslizamiento

Dado que las puntas de los instrumentos rotatorios son inactivas, de punta redondeada, no es posible que labren una trayectoria por sí mismas, tan sólo pueden avanzar por un camino ya establecido previamente. En un conducto estrecho o de tamaño más pequeño que el de la lima rotatoria introducida, se producirá un efecto de bloqueo de la punta de la lima que incrementará el riesgo de fractura<sup>95,96</sup>, especialmente con instrumentos de conicidad regular<sup>97</sup>.

Se puede definir la vía de deslizamiento o *glide path* como la creación y/o confirmación de un espacio suficiente, en la totalidad del conducto radicular, para que una lima rotatoria gire libremente sin trabarse o sin sufrir un rozamiento excesivo dentro del conducto.

Por tanto, este concepto está íntimamente relacionado con la primera lima rotatoria que entre en el conducto y, también, dependerá de su calibre, de su conicidad y de su técnica de uso, siendo de especial importancia en la zona apical. Numerosos investigadores y fabricantes recomiendan el uso de una vía de deslizamiento, previa a la introducción de limas rotatorias, con el fin de prevenir fracturas indeseables y otros accidentes iatrogénicos, como el transporte apical o el enderezamiento del conducto radicular<sup>98,99,100,101,102,103,104,105,106</sup>.

## VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL O ROTATORIA

La utilización de limas manuales mejora la exploración táctil del conducto y posibilita una cateterización con poco riesgo de rotura, permitiendo crear una trayectoria por la que pasará la lima rotatoria. Actualmente se propone el uso de limas rotatorias fabricadas específicamente para la creación del *glide path* (PathFiles, Dentsplay-Maillefer, Suiza). Dichas limas parecen ser seguras y provocan menos modificación de la curvatura que las limas manuales; además, su uso no se ve afectado por la experiencia del operador<sup>107</sup>.

<sup>95</sup> Blum JY, Cohen P, Machtou P, Micallet JP. Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 1999;32:24–31.

<sup>96</sup> Peters OA, Peters CI, Schönenberg K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J.* 2003;36:93–9.

<sup>97</sup> Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failure. *Int Endod J.* 2001;34:47–53.

<sup>98</sup> Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28:543–5.

<sup>99</sup> Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J.* 2003;36:93–9.

<sup>100</sup> Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper instruments. *J Endod.* 2004;30: 228–30.

<sup>101</sup> Varela Patiño P, Biedma MB, Rodríguez Liebana C, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod.* 2005;31:114–6.

<sup>102</sup> Helmut W. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am* 2004;48:183–202.

<sup>103</sup> Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod.* 2003;29:567–75.

<sup>104</sup> Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G, *et al.* Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod.* 2009;35:408-12. Erratum in: *J Endod.* 2009;35:1606.

<sup>105</sup> Ruddle CJ. The ProTaper endodontic system: geometries, features, and guidelines for use. *Dent Today.* 2001;20:60–7

<sup>106</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

<sup>107</sup> Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G *et al.* Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod.* 2009;35:408-12. Erratum in: *J Endod.* 2009;35:1606.

### VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL

Si se realiza el *glide path* manual, la técnica de instrumentación consistirá en usar limas de calibre #06, #08 y #10, con un movimiento de giro horario y tracción de la lima, limpiando las espiras después de cada tracción. Para las limas de calibre #15, o superior, la técnica de fuerzas balanceadas es la más idónea<sup>108</sup>.

Dado que el objetivo de esta técnica es evitar el bloqueo de la punta de la lima rotatoria en el interior del conducto, es importante tener en cuenta que el *glide path* deberá realizarse en función del sistema rotatorio que se vaya a emplear; y, más concretamente, se debe tener en cuenta la primera lima rotatoria introducida en el conducto, con el fin de igualar el calibre del conducto a longitud de trabajo con el calibre de la punta de la lima. Por ejemplo, en el sistema ProTaper, dado que su lima S1 tiene un calibre en la punta de 0,17, el *glide path* deberá hacerse al menos hasta este calibre (con una Golden Medium #17.5) o hasta una lima K #20. El *glide path* del sistema K3 G-Pack (SybronEndo, CA, USA), que usa todas sus limas con punta #25, necesitará al menos una vía de deslizamiento de hasta una lima K #25.

Tampoco existe consenso en la manera de aplicar la técnica del *glide path*. Aunque debe alcanzarse un espacio en todo el conducto para que entre una lima rotatoria, algunos autores recomiendan realizar un pre-conformado de los tercios coronal y medio antes de realizar el *glide path* en el tercio apical<sup>109</sup>.

### 2.3. NUEVOS SISTEMAS ROTATORIOS: MTWO® Y TWISTED FILES™

El diseño de los instrumentos rotatorios de uso endodóntico es uno de los factores más importantes para el éxito de una buena instrumentación<sup>110</sup>. En este sentido, los fabricantes desarrollan con frecuencia nuevos diseños de limas para mejorar la seguridad y la capacidad de conformación de los instrumentos de NiTi.

#### 2.3.1. Sistema rotatorio Mtwo (M2)

El sistema rotatorio de NiTi M2 incorpora diferencias en su diseño respecto a los primeros sistemas rotatorios, las cuales le confieren características destacables (Figura 12).

Los instrumentos poseen una sección transversal en forma de S itálica o hélice de barco y dos hojas de corte con un ángulo ligeramente positivo. Esta "sección esbelta" es, en parte, la responsable de la gran flexibilidad de los instrumentos, incluso en los de mayor tamaño. Las limas tienen una punta no cortante, unos surcos profundos y un ángulo helicoidal muy vertical. Dichas características le confieren una gran eficacia de corte y le permiten evacuar fácilmente el

<sup>108</sup> Helmut W. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. Dent Clin North Am. 2004;48:183–202.

<sup>109</sup> Varela Patiño P, Biedma MB, Rodríguez Liebana C, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. J Endod. 2005;31:114–6.

<sup>110</sup> Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. Int Endod J. 2001;34: 221–30.

barrillo dentinario creado durante la instrumentación. Además, la incorporación de un pitch variable evita la sensación de atornillamiento de la lima y su cambio de conicidad en la secuencia de limas proporciona mucha suavidad en el deslizamiento dentro del conducto.

La serie completa del sistema M2 consta de siete instrumentos con conicidades alternadas entre un 4-7% y calibres diferentes en D1; aunque recientemente el fabricante ha sacado al mercado instrumentos accesorios para el ensanchado apical como #45/04, #50/04 y #60/04, así como #30/06, #35/06 y #40/06 para mejorar la obturación con técnicas termoplásticas (Figura 13).

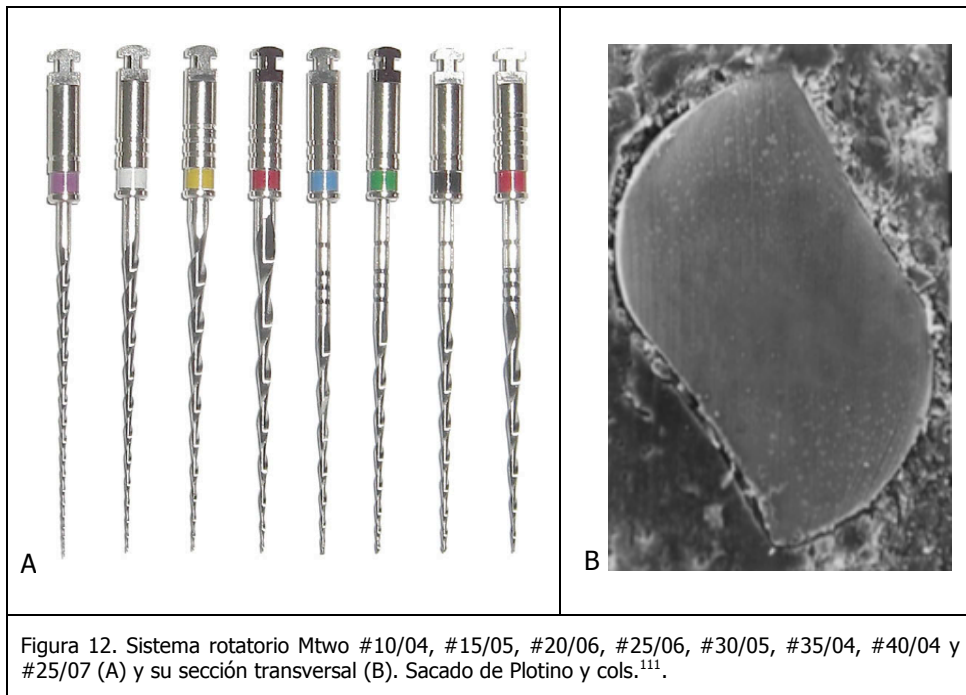


Figura 12. Sistema rotatorio Mtwo #10/04, #15/05, #20/06, #25/06, #30/05, #35/04, #40/04 y #25/07 (A) y su sección transversal (B). Sacado de Plotino y cols.<sup>111</sup>.

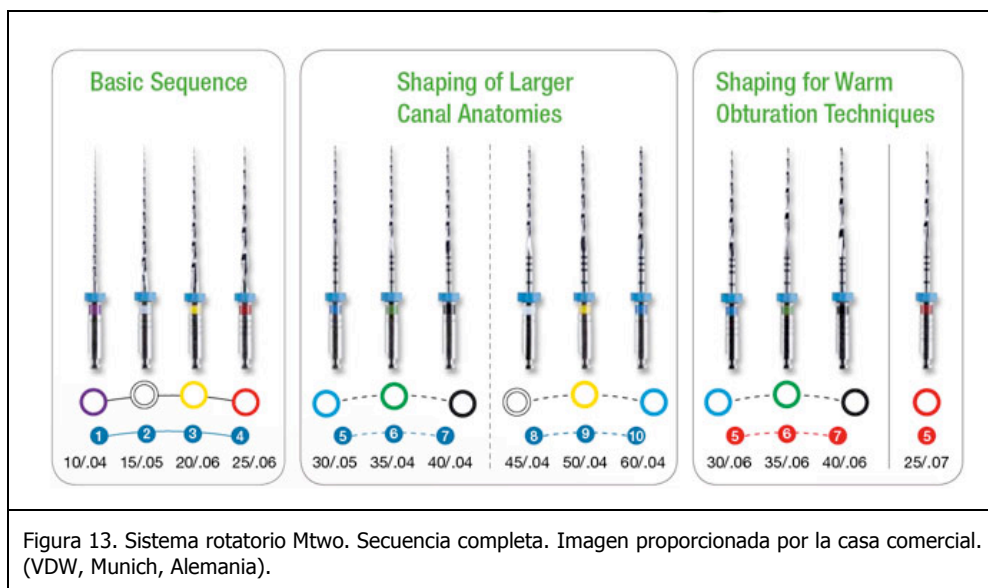
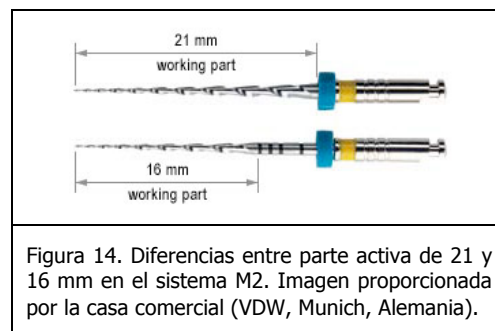


Figura 13. Sistema rotatorio Mtwo. Secuencia completa. Imagen proporcionada por la casa comercial. (VDW, Munich, Alemania).

<sup>111</sup> Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006; 39:716–23.

Una de las características más peculiares del sistema M2 es que todas sus limas trabajan secuencialmente a longitud de trabajo en lo que el fabricante denomina "técnica de longitud simple"<sup>112</sup>. La parte activa más larga de 21 mm de las cuatro primeras limas (Figura 14) posibilita que el sistema trabaje a longitud de trabajo, ya que las hojas de corte más coroneales realizan desgastes compensatorios mientras que el resto de la lima instrumenta el conducto. Las características de su diseño permiten el limado lateral o "pincelado" en lugar del clásico movimiento de "picoteo" que utilizan numerosos sistemas rotatorios, lo que posibilita una mejor conformación de conductos ovales<sup>113</sup>.



Dada la singularidad en la técnica de uso y el tamaño extremadamente pequeño de la primera lima (M2 #10/04), el fabricante no recomienda la utilización de un *glide path* previo a la introducción del sistema M2.

Estudios recientes han mostrado que el sistema M2 es eficaz en la preparación de conductos radiculares. Plotino y cols.<sup>114</sup> sugirieron que los instrumentos M2 se pueden utilizar clínicamente, en conductos curvos, hasta 10 veces con seguridad. Veltri y cols.<sup>115</sup> indicaron que el sistema M2 era efectivo en la conformación de conductos radiculares curvos, produciendo preparaciones bien centradas y sin aberraciones. Schäfer y cols.<sup>116,117</sup> mostraron que la preparación de conductos curvos con el sistema M2 se realizaba de forma más rápida y respetaba más la curvatura original que los sistemas K3 (SybronEndo, California, USA) y RaCe (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suiza). Estos autores<sup>118</sup> encontraron una mayor eficacia de

<sup>112</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202

<sup>113</sup> Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006; 39:716-23.

<sup>114</sup> Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006;39:716-23.

<sup>115</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>116</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>117</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.

<sup>118</sup> Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel- titanium instruments. *J Endod.* 2008;34:198-200.

corte con el sistema M2, además obtuvieron conductos más limpios que con otros sistemas con apoyos radiales.

A pesar de las ventajas del sistema M2, los usos deterioran el sistema, incrementando la fatiga cíclica y haciendo más fácil la fractura, por lo que es recomendable descartarlos, especialmente a partir de los 10 usos. Además, instrumentos con mayor volumen de metal (Mtwo #25/06) alcanzan mayor fatiga cíclica<sup>119</sup>.

### 2.3.2. Sistema rotatorio Twisted Files (TF)

Las limas TF se fabrican a partir de un alambre de NiTi que es retorcido –torsionado–, hasta alcanzar la forma deseada, lo que le confiere características especiales. Los instrumentos tienen una sección triangular, con ángulos de corte negativos y pitch variable para evitar el atornillamiento. Además, la superficie es electropulida para disminuir las imperfecciones del metal (Figura 15).

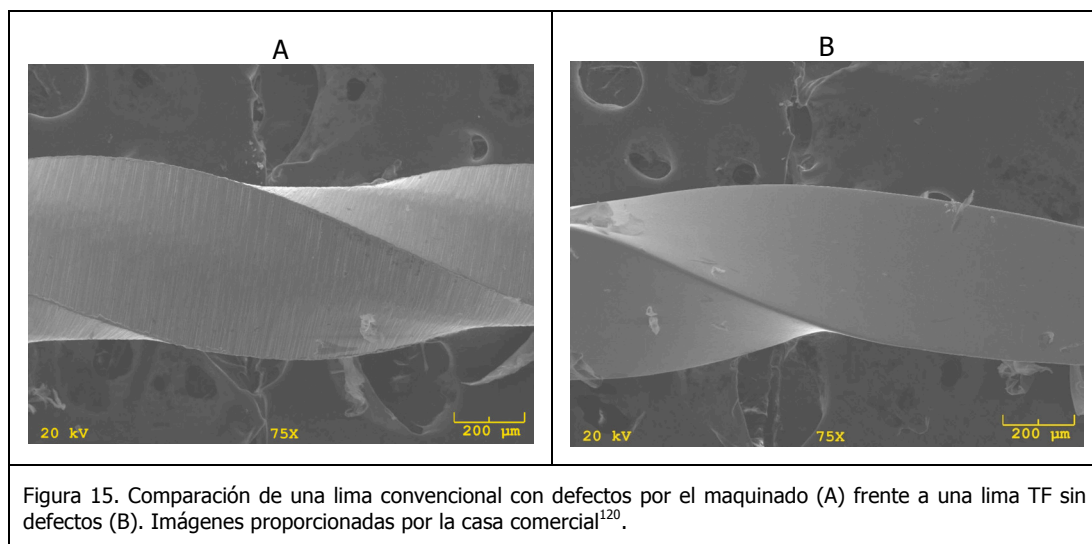


Figura 15. Comparación de una lima convencional con defectos por el maquinado (A) frente a una lima TF sin defectos (B). Imágenes proporcionadas por la casa comercial<sup>120</sup>.

Se utilizan con técnica de preparación conoapical, en la que los instrumentos de más conicidad preceden a los de menos. El sistema consta de varias limas, todas con un tamaño de punta .25 y conicidades que oscilan del 4-12% (Figura 16); aunque recientemente y, debido a la demanda por parte del clínico, han incorporado limas con calibres mayores, #30/06, #35/06, #40/04 y #50/04 (Figura 17). El fabricante recomienda trabajar a 500 rpm, a torque máximo y realizando un *glide path* previo con limas manuales.

<sup>119</sup> Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006;39:755-63.

<sup>120</sup> TF: The Twisted File Brochure. Orange, CA: SybronEndo; 2008.



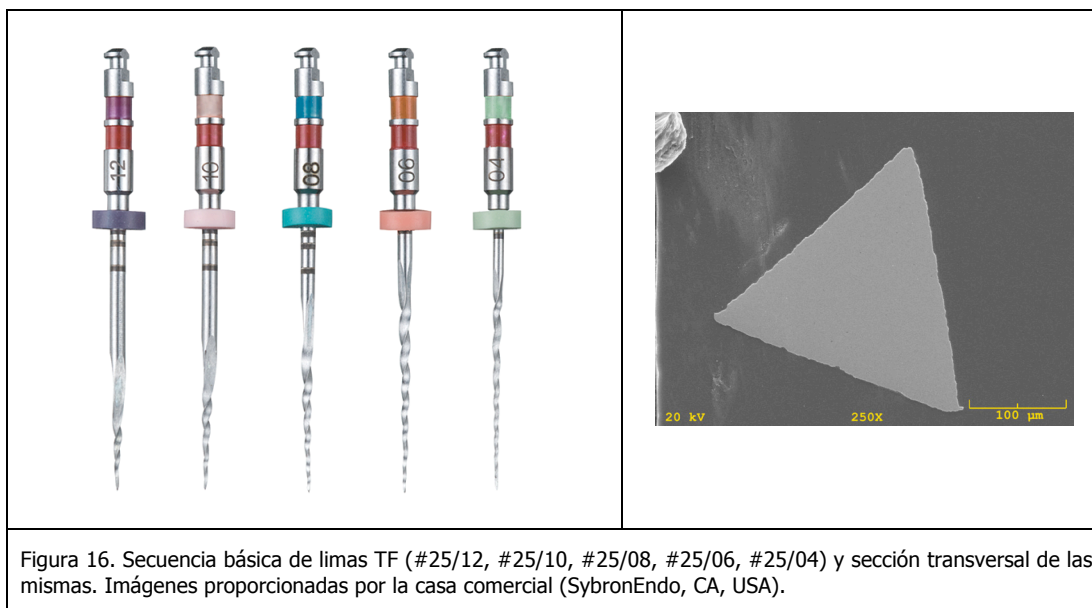


Figura 16. Secuencia básica de limas TF (#25/12, #25/10, #25/08, #25/06, #25/04) y sección transversal de las mismas. Imágenes proporcionadas por la casa comercial (SybronEndo, CA, USA).

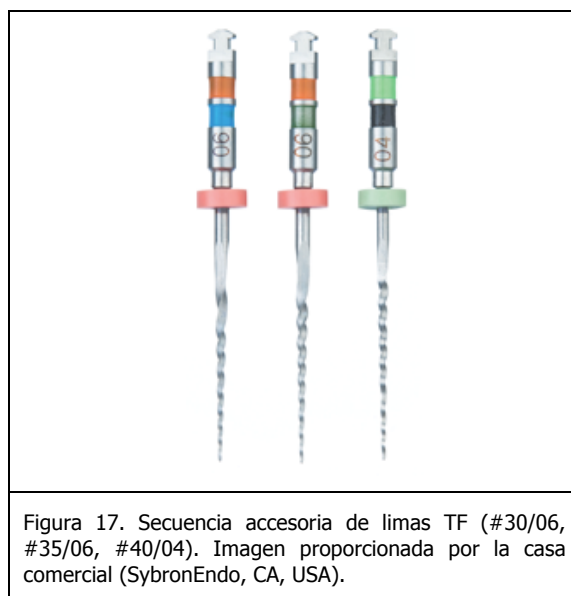


Figura 17. Secuencia accesoria de limas TF (#30/06, #35/06, #40/04). Imagen proporcionada por la casa comercial (SybronEndo, CA, USA).

Seto y cols.<sup>121</sup>, en los años 90, compararon la resistencia a la fractura de limas K manuales, fabricadas mediante torsión, frente a limas K mecanizadas, torneadas; y concluyeron que las limas K fabricadas mediante torsión tenían una resistencia a la fractura significativamente mayor que las limas torneadas. En este sentido parece que el mecanizado en la fabricación de limas rotatorias produce puntos de debilidad en el metal: microgrietas y microhoyos, por los que se pueden propagar las grietas; o provocar fatiga del metal con más facilidad que si la superficie estuviera intacta<sup>122,123</sup>.

<sup>121</sup> Seto BG, Nicholls JI, Harrington GW. Torsional properties of twisted and machined endodontic files. J Endod. 1990;16:355-60.

<sup>122</sup> Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. 2006;102:e106-14.

Al igual que en la fabricación de las limas K convencionales, en la industria ha existido interés por fabricar limas rotatorias de NiTi mediante torsionado. Sin embargo, la superelasticidad y la memoria de forma de las aleaciones de NiTi no toleran bien el torsionado, desenrollándose una vez cesan las fuerzas de torsión<sup>124,125</sup>.

Mediante un tratamiento especial por presión y temperatura, la estructura cristalina del NiTi (austenita) puede convertirse en fase R (fase Romboidal), un estado intermedio entre la austenita y la martensita, también llamado estado premartensítico, que permite la torsión sin perder las propiedades beneficiosas en cuanto a superelasticidad (Figura 18). En este estado, el alambre es retorcido hasta obtener la forma deseada y, posteriormente, mediante ciclos de calentamiento y enfriamiento es devuelto a su fase austenita, con máximas propiedades de flexibilidad y resistencia a la fatiga. Recientemente, en este sentido, Hilfer y cols.<sup>126</sup> han puesto de manifiesto que las limas TF están influenciadas por los cambios térmicos debido a su proceso de fabricación, alterándose sus propiedades de flexibilidad y resistencia a la fatiga con los procesos de esterilización en autoclave, por lo que recomiendan un solo uso.

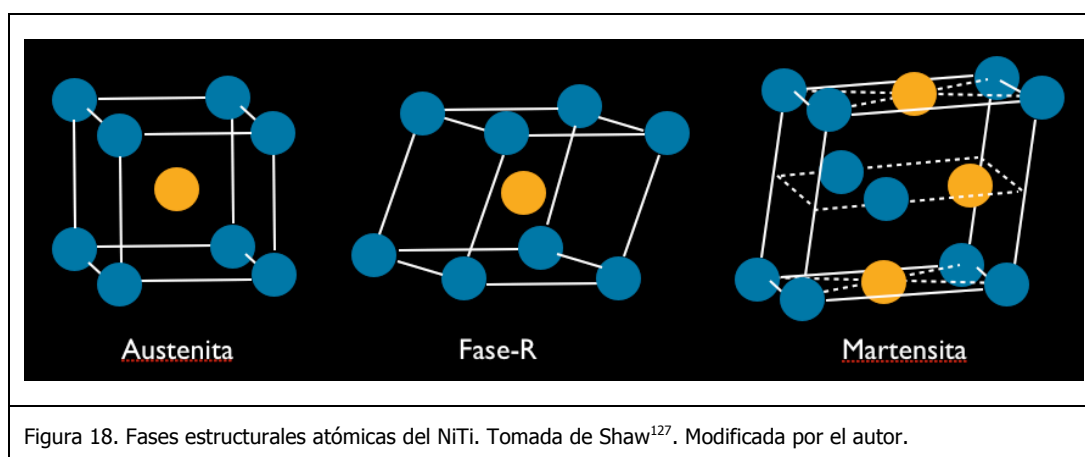


Figura 18. Fases estructurales atómicas del NiTi. Tomada de Shaw<sup>127</sup>. Modificada por el autor.

Gambarini y cols.<sup>128</sup> encontraron que las limas TF eran un 50% más flexibles que las limas Profile<sup>®</sup> y significativamente más resistentes a la fatiga cíclica que las limas K3<sup>129</sup>. En otro estudio, Larsen y cols.<sup>130</sup> mostraron que, aunque TF eran significativamente más resistentes a

<sup>123</sup> Kim HC, Yum J, Hur B, Cheung GS. Cyclic fatigue and fracture characteristics of ground and twisted nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2010;36:147-52.

<sup>124</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p. 34

<sup>125</sup> Civjan S, Huget EF, DeSimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *J Dent Res.* 1975;54:89-96.

<sup>126</sup> Hilfer PB, Bergeron BE, Mayerchak MJ, Roberts HW, Jeansonne BG. Multiple autoclave cycle effects on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files produced by new manufacturing methods. *J Endod.* 2011;37:72-4.

<sup>127</sup> Shaw JA. Simulations of localized thermo-mechanical behavior in a NiTi shape memory alloy. *Int. J. Plasticity.* 2000;16:541-562.

<sup>128</sup> Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008;105:798-800.

<sup>129</sup> Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M *et al.* Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod.* 2008;34:1003-5.

<sup>130</sup> Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:401-3.



la fatiga cíclica que EndoSequence (Brasseler, Savannah, USA), no obtuvieron diferencias significativas con respecto al sistema Profile.

Kim y cols.<sup>131</sup> encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la fatiga cíclica, al comparar TF frente a Race y ProTaper, dos sistemas muy similares a TF en cuanto a sección transversal. A pesar de las diferencias en los modelos de evaluación de la fatiga cíclica, que podrían explicar los diferentes resultados obtenidos, parece destacar el hecho de que las limas TF muestran una resistencia superior a la fatiga cíclica respecto a otros sistemas rotatorios de NiTi, lo que les confiere un interés especial para su utilización en la instrumentación de conductos curvos.

Recientemente, ha sido evaluada la capacidad de producir transporte apical y respetar el eje axial del conducto con limas TF<sup>132</sup>. El sistema TF obtuvo menor transporte apical y respetó el eje original del conducto significativamente mejor que el sistema ProTaper y las limas manuales de acero inoxidable.

---

<sup>131</sup> Kim HC, Yum J, Hur B, Cheung GS. Cyclic fatigue and fracture characteristics of ground and twisted nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2010;36:147-52.

<sup>132</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

# **3. MATERIALES Y MÉTODOS**



## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada en esta investigación consta de dos partes que, aunque relacionadas entre sí, merecen ser tratadas independientemente ya que sus objetivos, resultados y conclusiones son diferentes.

### 3.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS RADICULARES CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2

#### 3.1.1. Conservación y preparación de los especímenes

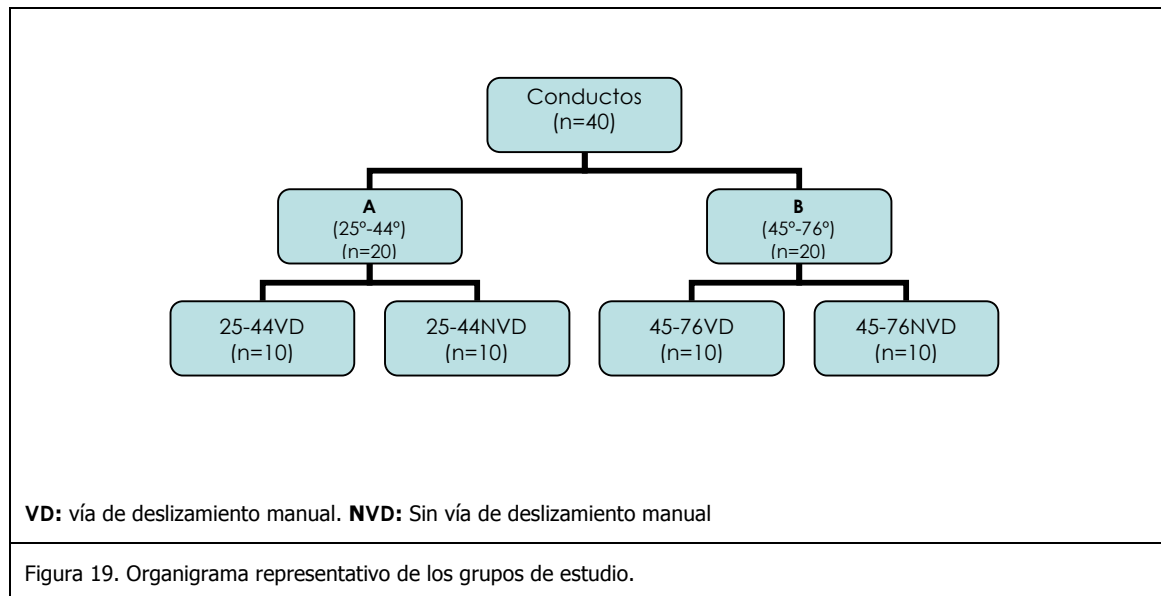
Cuarenta molares inferiores con raíces mesiales curvas, extraídos por razones periodontales, fueron seleccionados y conservados en una solución de Timol al 2% hasta su utilización. Se excluyeron aquellos dientes que no tenían el ápice radicular completamente formado, raíces con caries radiculares, conductos calcificados y conductos con dobles curvaturas.

Para que no interfiriera en la evaluación se seccionaron la corona y la raíz distal de los dientes, mediante una máquina de corte automática (Accutom-50. Struers, Ballerup, Dinamarca), hasta obtener raíces mesiales de 12 mm de longitud, aproximadamente. La permeabilidad de los conductos fue confirmada mediante una lima K #08 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suiza) y la longitud de trabajo se estableció restándole 1 mm a la longitud en la que la punta de la lima era visible a través del foramen apical.

Los especímenes fueron barnizados con laca de uñas (Rimmel, London, UK) y fueron embebidos en resina acrílica (Implex/Italia) para facilitar su uso y manipulación.

#### 3.1.2. Preparación de los conductos radiculares

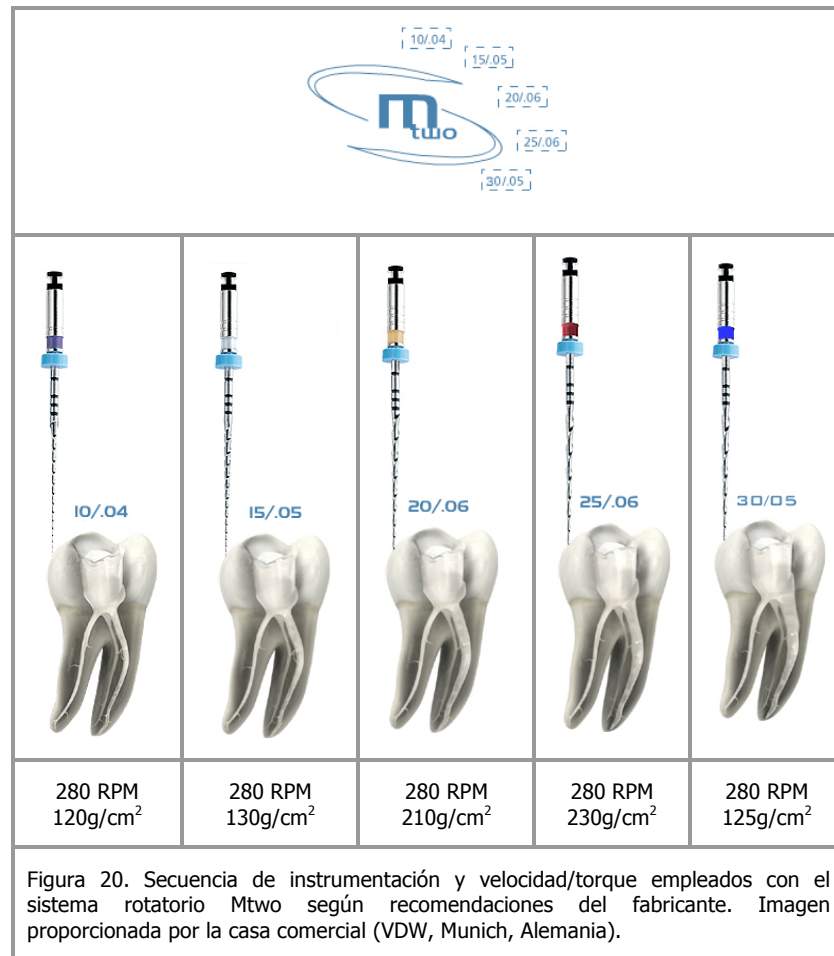
Los especímenes fueron balanceados en dos grupos de estudio en función del ángulo de curvatura radicular: grupo A, raíces con una curvatura de 25°-44° y el grupo B, raíces con una curvatura de 45°-76°. En la mitad de los especímenes de cada grupo se realizó una vía de deslizamiento manual, obteniendo así 4 grupos de estudio (Figura 19).



### a) Instrumentación de los conductos

Se instrumentó cada conducto mediante el motor endodóntico Endo IT Professional (VDW, Munich, Alemania) y contraángulo con cabeza reductora 4:1 (W&H wd-77M, Austria). Se utilizó el sistema rotatorio M2 con la técnica recomendada por el fabricante, en la que todas las limas del sistema trabajan a longitud de trabajo, conformando todo el conducto simultáneamente con la siguiente secuencia de limas: #10/04, #15/05, #20/06, #25/06, #30/05 (Figura 20).

En los especímenes donde se realizó una vía de deslizamiento manual, previa a la instrumentación rotatoria, se utilizaron limas K de acero inoxidable tamaños #08, #10 y #15 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suiza), a longitud de trabajo, utilizando una técnica de fuerzas balanceadas.



### b) Irrigación de los conductos

Tras cada cambio de lima, los conductos radiculares fueron irrigados con 2 ml de hipoclorito de sodio al 4%, en intervalos de 30 segundos. Al finalizar la preparación se realizó una irrigación final con 10 ml hipoclorito de sodio al 4%, hasta completar un volumen total de 20 ml. Se utilizaron para ello agujas de irrigación con salida lateral (Max-I-probe; Kerr-Hawe, Bioggio, Switzerland) introducidas lo más profundamente posible en el conducto.

### 3.1.3. Medidas radiográficas

Para la estandarización de todas las radiografías se diseñó un posicionador radiográfico al que se acopló un captador de radiovisiografía (Visualix eHD GENDEX, Danaher Corporation's dental platform, IL, USA). Las imágenes radiográficas pre-instrumentación se realizaron introduciendo una lima K #08 de acero inoxidable (Dentsply/Maillefer, Suiza) a LT para visualizar mejor la trayectoria del conducto radicular. Con la ayuda de una plataforma giratoria graduada se realizaron series radiográficas de cada una de las raíces, hasta que la lima introducida en el conducto apareciera recta en la radiografía. A continuación se giraba la plataforma graduada

90° y se realizaba una nueva radiografía para obtener una imagen con el máximo grado de curvatura<sup>133,134</sup> (Figura 21).

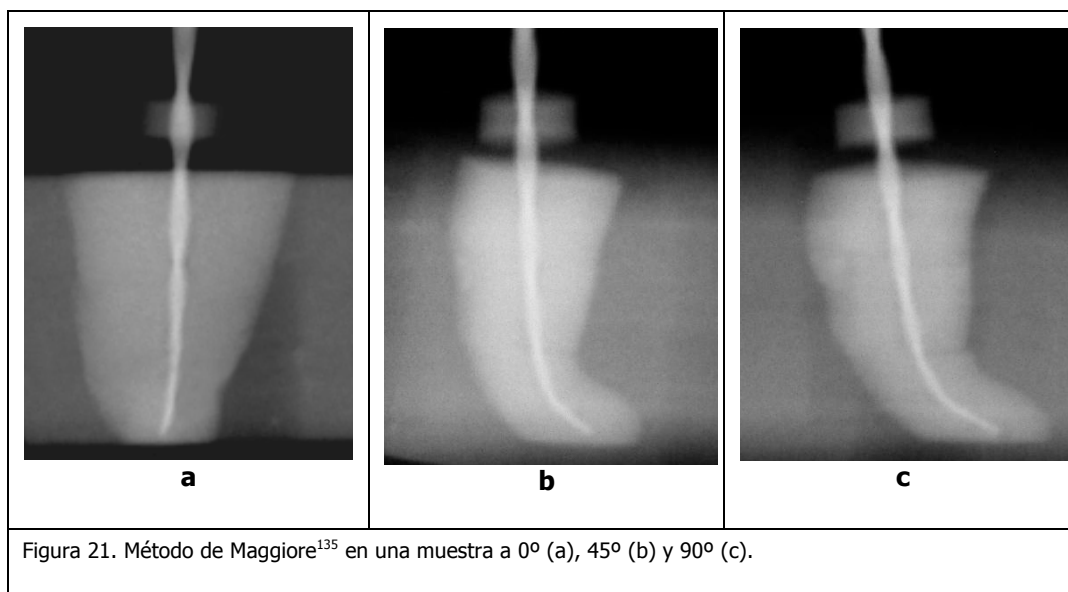


Figura 21. Método de Maggiore<sup>135</sup> en una muestra a 0° (a), 45° (b) y 90° (c).

Las radiografías obtenidas se exportaron a formato digital de imagen JPG mediante el propio software de gestión de radiografías VisualixHD (Gendex, Danaher Corporation's dental platform, IL, USA). Las radiografías post-instrumentación fueron realizadas de manera similar, introduciendo la última lima con la que se instrumentó el conducto radicular (Mtwo #30/05), para facilitar la visualización de la trayectoria del mismo (Figura 22).

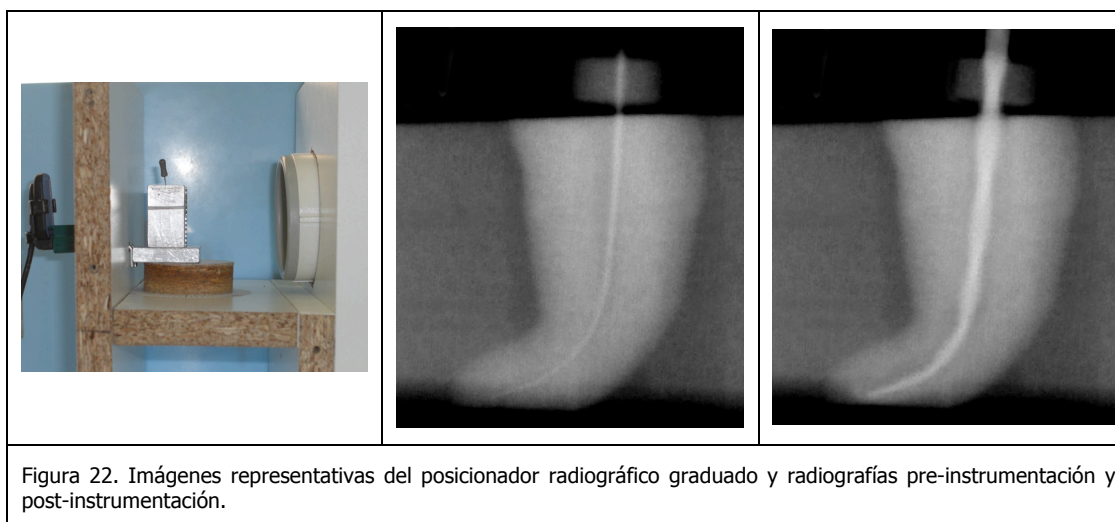


Figura 22. Imágenes representativas del posicionador radiográfico graduado y radiografías pre-instrumentación y post-instrumentación.

<sup>133</sup> Maggiore F. Endodontic preparation of curved root canals using the mac files: evaluation using a radiographic method and a computerized analysis. Master's Thesis. Rome: University of Rome 'La Sapienza'; 1994.

<sup>134</sup> Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. J Endod. 2003;29:587-91.

<sup>135</sup> Maggiore F. Endodontic preparation of curved root canals using the mac files: evaluation using a radiographic method and a computerized analysis. Master's Thesis. Rome: University of Rome 'La Sapienza'; 1994.

### a) Cálculo de ángulo y radio de la curvatura antes y después de la instrumentación

Con el fin de mejorar la nitidez y el contraste del recorrido del conducto radicular captado en las radiografías pre-instrumentación y post-instrumentación se empleó el programa Photoshop CS2 9.1. (Adobe Systems Inc., San, CA, USA). Los archivos se exportaron a formato JPG y, posteriormente, se procedió a medir la curvatura del conducto mediante el software informático Autocad 2006 (Autodesk Inc., San Rafael, CA, USA), siguiendo el método de Pruett y cols.<sup>136</sup>.

Se delimitó el eje central de la lima introducida en el conducto hasta longitud de trabajo (línea roja). Se trazó una recta tangente a la trayectoria coronal de la lima (recta A) y otra recta tangente a la trayectoria apical de la lima (recta B). Los puntos de inflexión donde las líneas tangentes A y B se desviaban de la trayectoria de la lima se denominaron puntos a y b. Posteriormente se trazaron líneas perpendiculares a las líneas A y B que pasaban por los puntos a y b, respectivamente; siendo el punto c la unión de estas nuevas líneas. El ángulo de la curvatura se determinó en el punto de unión que formaban dichas rectas y el radio se obtuvo con la media de la distancia ac y bc<sup>137</sup> (Figura 23).

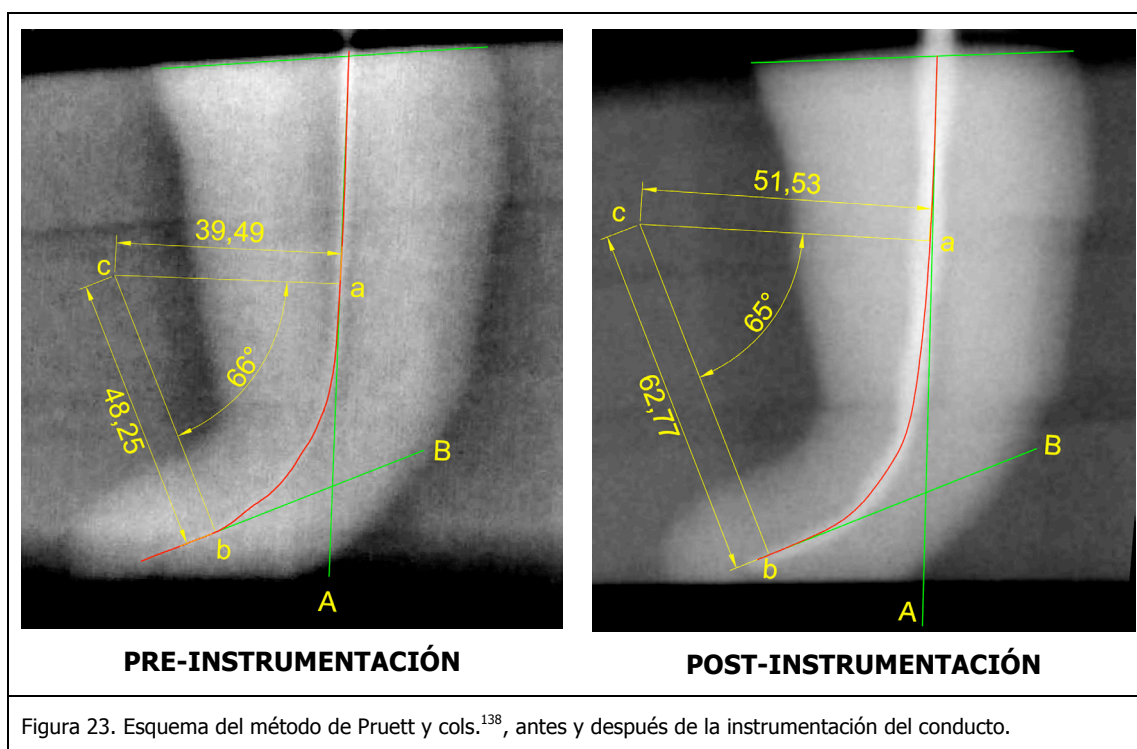


Figura 23. Esquema del método de Pruett y cols.<sup>138</sup>, antes y después de la instrumentación del conducto.

<sup>136</sup> Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod. 1997;23:77-85.

<sup>137</sup> Roig M, Bueno R, Neus N, Facundo CM. Estudio comparativo de la variación del ángulo y el radio de la curvatura con dos técnicas de instrumentación: Profile y ProTaper. Endodoncia 2005;23:99-107.

<sup>138</sup> Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod. 1997;23:77-85.



### b) Determinación del transporte apical y de la pérdida de la longitud de trabajo

Para la determinación del transporte apical y de la pérdida de la longitud de trabajo se superpusieron los ejes centrales pre- y post-instrumentación con la ayuda del software Autocad 2006, haciendo coincidir el perfil de la raíz. La longitud se midió perpendicularmente entre el eje pre- y post-, para determinar el transporte apical producido por las limas rotatorias a 1 y 2 mm de LT (Figura 24A). Si el eje post-instrumentación no llegó hasta LT, la distancia longitudinal entre los extremos de ambos ejes fue medida para determinar la pérdida de LT (Figura 24B).

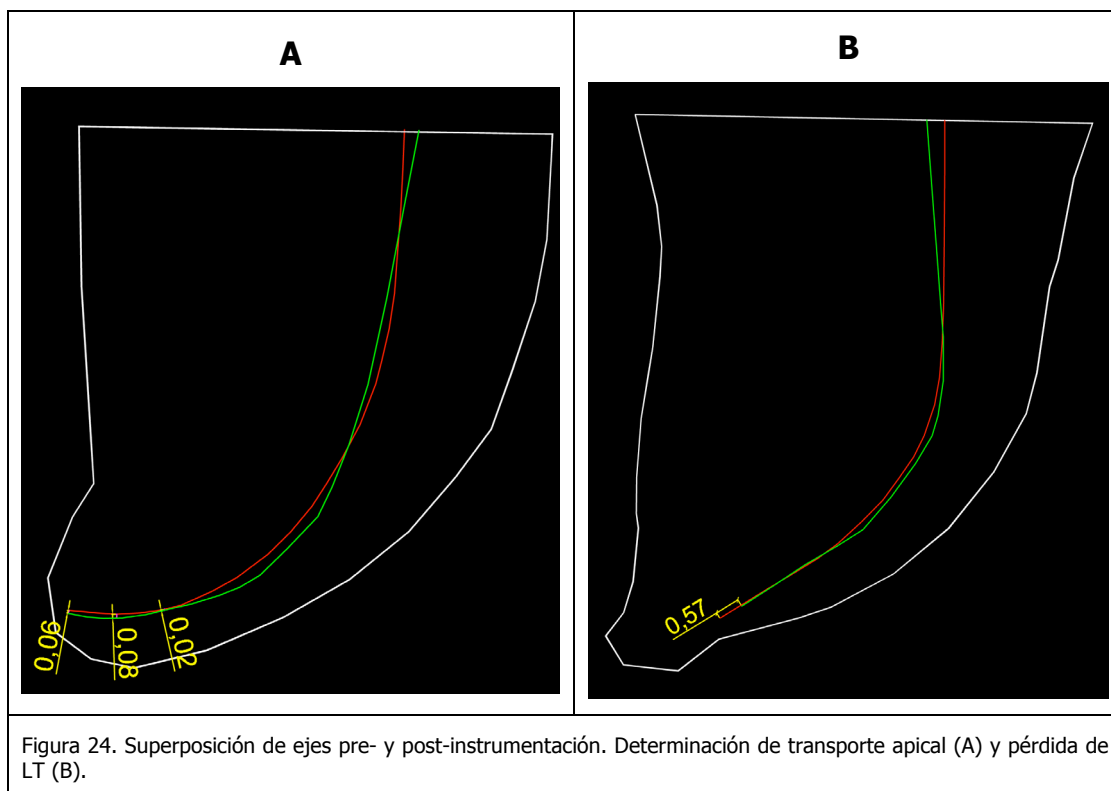


Figura 24. Superposición de ejes pre- y post-instrumentación. Determinación de transporte apical (A) y pérdida de LT (B).

#### 3.1.4. Tiempo de preparación

El tiempo empleado en la instrumentación de los conductos radiculares, incluyendo la irrigación y el cambio de lima, fue registrado en segundos.

#### 3.1.5. Fractura y deformación de los instrumentos

Cada juego de limas rotatorias fue descartado después de 5 usos y el número de fracturas/deformaciones fue registrado.

## 3.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF

### 3.2.1. Conservación y preparación de los especímenes

Para esta segunda parte del estudio se seleccionaron sesenta molares inferiores con raíces mesiales curvas, los cuales fueron conservados en una solución de Timol al 2% hasta su utilización. Los criterios de exclusión fueron: raíces que no tuvieran el ápice completamente formado, raíces con caries radiculares, conductos radiculares calcificados y conductos con dobles curvaturas.

La permeabilidad de los conductos fue confirmada mediante una lima K #08 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suiza) y la longitud de trabajo se estableció restándole 1 mm a la longitud en la que la punta de la lima era visible a través del foramen apical.

Los especímenes fueron barnizados con laca de uñas (Rimmel, London, UK) para evitar la penetración de resina en su interior y posteriormente se procedió a su inclusión en resina acrílica mediante el método de Kuttler y cols.<sup>139</sup>. Para ello se utilizó una mufla que constaba de 5 piezas de aluminio que se ensamblaban entre ellas, con la ayuda de fijaciones externas, formando un cubo geométrico hueco en donde se vertía la resina autopolimerizable que soportaba la muestra. Las paredes internas de la mufla presentaban unas estrías que permitían re-ensamblar el espécimen en la misma posición, una vez que éste había sido seccionado transversalmente.

Las paredes internas de la mufla fueron impregnadas con vaselina y ensambladas. Se posicionó el espécimen en el centro del cubo endodóntico mediante cera pegajosa Utility (Hygenic, Akron, OH, USA). A continuación se vertió la resina acrílica (Resina Implex, Italia) en el interior del cubo endodóntico, dejándola fraguar durante dos horas hasta su total endurecimiento. Seguidamente, el cubo fue desmontado y se extrajo la muestra embebida en resina (Figura 25).

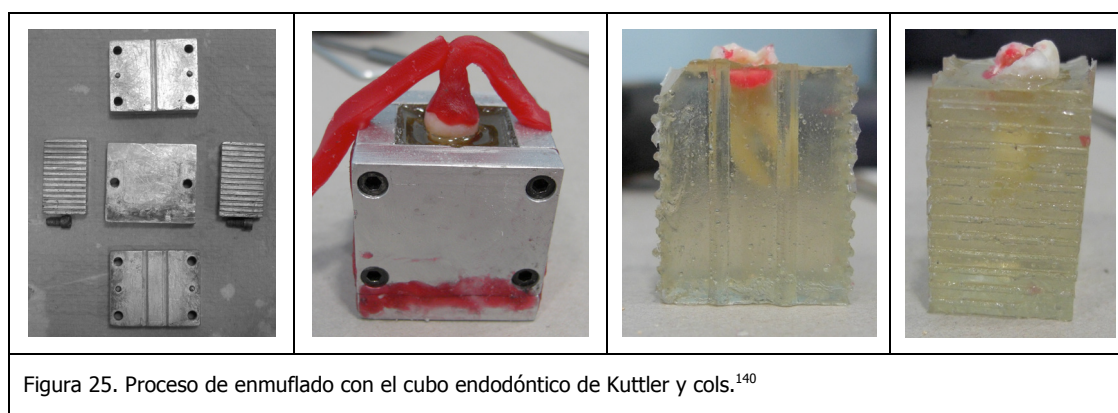


Figura 25. Proceso de enmuflado con el cubo endodóntico de Kuttler y cols.<sup>140</sup>

<sup>139</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. J Endod. 2001;27:533-6.

<sup>140</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. J Endod. 2001;27:533-6.

El bloque de resina fue seccionado transversalmente mediante una máquina de corte automática (Accutom-50. Struers, Ballerup, Dinamarca) (Figura 26), en cortes secuenciales de 2 mm, comenzando por el ápice anatómico de los especímenes. De esta manera se obtuvieron seis secciones, a los 2, 4, 6, 8, 10 y 12 mm del ápice anatómico. La corona anatómica fue desechada con el fin de no entorpecer la instrumentación. Una vez seccionadas, las raíces fueron almacenadas en condiciones de temperatura y humedad relativa hasta el momento de su instrumentación.



Figura 26. Máquina de corte automático Accutom-50 en donde se realizaron los cortes transversales de los especímenes.

### 3.2.2. Preparación de los conductos radiculares

Los especímenes fueron balanceados en dos grupos de estudio en función del ángulo de curvatura que presentaban: grupo A (30°-59°) y grupo B (60°-99°). La mitad de los conductos radiculares de cada grupo (n=15) fue instrumentada con el sistema M2 (VDW, Munich, Alemania) y la otra mitad mediante el sistema TF (Sybron Endo, CA, USA) (Figura 27).

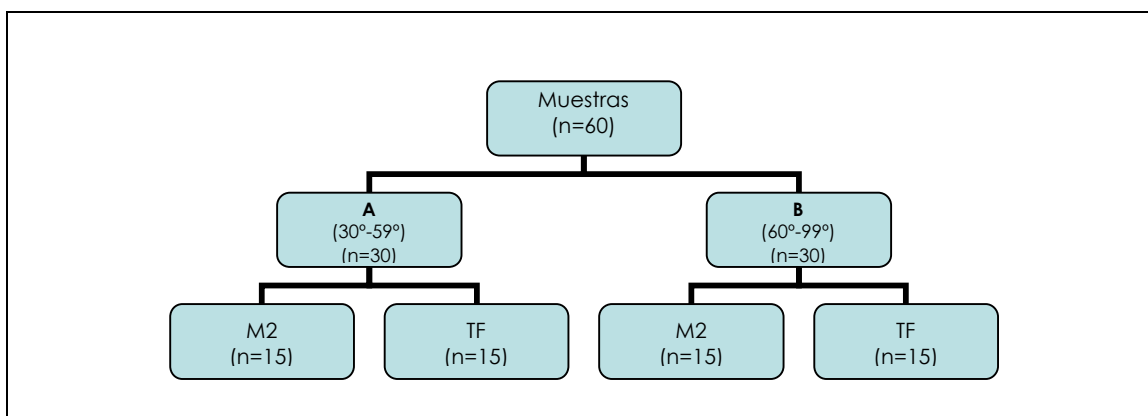
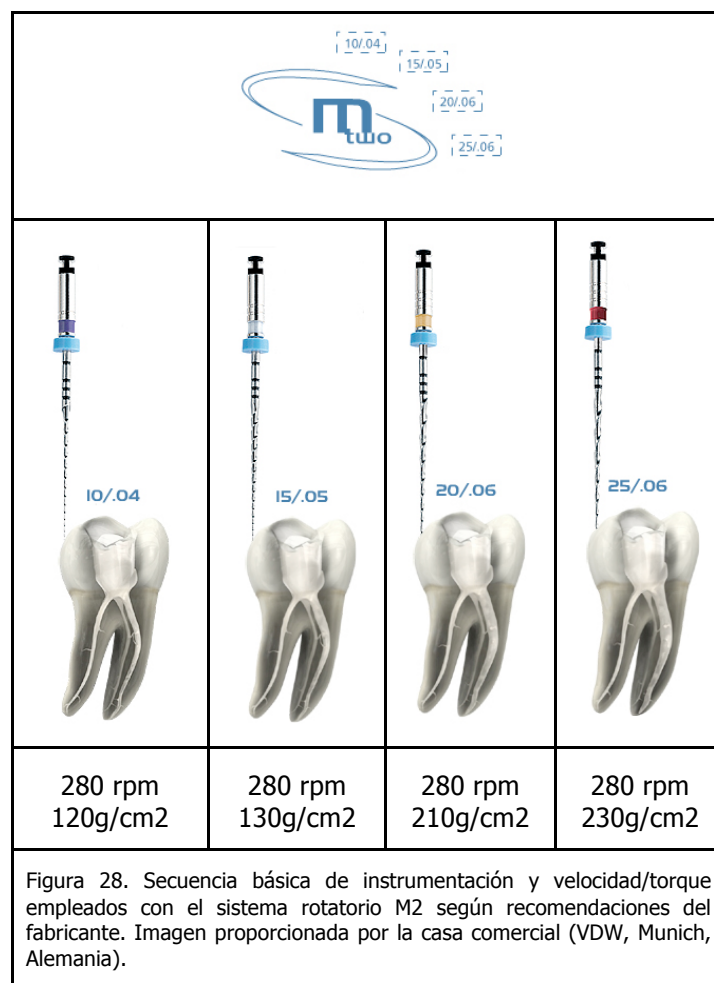


Figura 27. Organigrama representativo de los grupos de estudio.

### a) Instrumentación rotatoria de los conductos

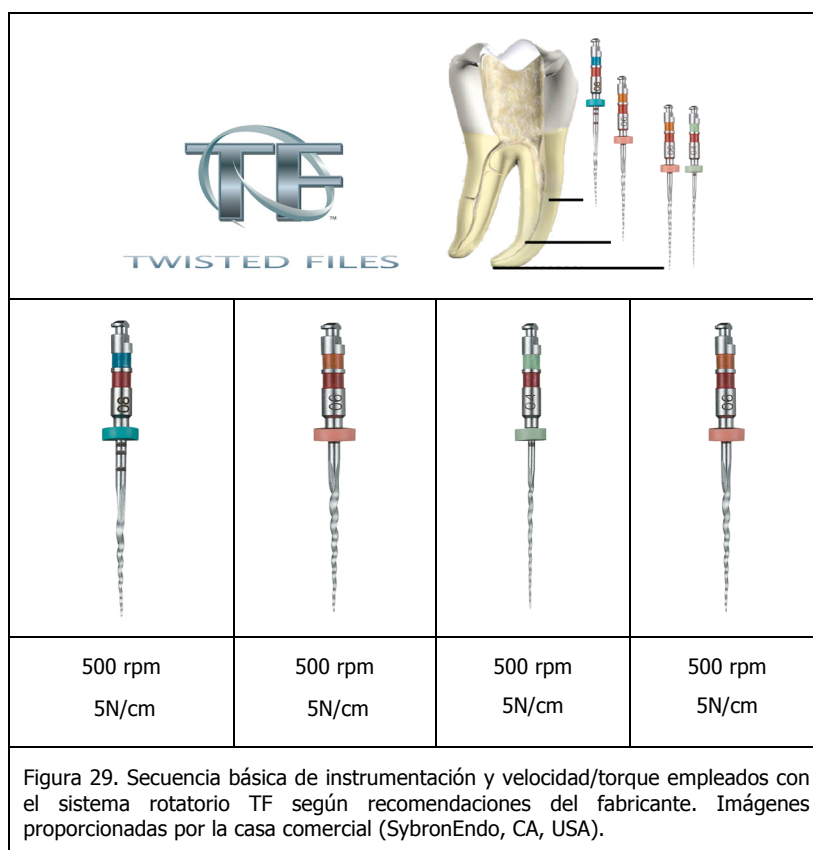
Los conductos radiculares se instrumentaron con el motor endodóntico Endo IT Professional (VDW, Munich, Alemania) y contraángulo con cabeza reductora 4:1 (W&H wd-77M, Austria). Se utilizó el sistema rotatorio M2 con la técnica recomendada por el fabricante, en la que todas las limas del sistema trabajan a longitud de trabajo, conformando todo el conducto simultáneamente con la siguiente secuencia: limas M2 #10/04, #15/05, #20/06, #25/06 (Figura 28). No se realizó una vía de deslizamiento con limas manuales previa a la instrumentación rotatoria<sup>141</sup>.



En los grupos en los que la instrumentación fue realizada con el sistema TF se utilizó una técnica corono-apical. Se realizó una vía de deslizamiento hasta una lima manual K #20 (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Suiza), previa a la introducción de limas rotatorias, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Después se empleó el kit básico de TF, introduciendo limas de mayor conicidad hasta encontrar resistencia en el conducto, momento en el cual se pasaba a la

<sup>141</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. J Endod. 2009;35:699-702.

siguiente lima de conicidad más pequeña hasta encontrar resistencia, y así sucesivamente hasta alcanzar LT. La secuencia de instrumentación fue la siguiente: TF #25/08 hasta resistencia, #25/06 hasta resistencia, #25/04 hasta LT, #25/06 hasta LT. Si la lima #25/06 llegó a LT se dio por concluida la preparación (Figura 29).



### b) Irrigación de los conductos

Tras cada cambio de lima, los conductos radiculares fueron irrigados con 2 ml de hipoclorito de sodio al 4%, en intervalos de 30 segundos. Al terminar la preparación se realizó una irrigación final con 12 ml de hipoclorito de sodio al 4%, hasta completar un volumen total de 20 ml. Se utilizaron para ello agujas de irrigación con salida lateral Max-I-probe (Kerr-Hawe, Bioggio, Switzerland), insertadas lo más profundamente posible en el conducto.

### 3.2.3. Medidas radiográficas

La estandarización de las radiografías se realizó mediante un posicionador radiográfico (Figura 30) al que se acopló un captador de radiovisiografía (Visualix eHD GENDEX, Danaher Corporation's dental platform, Niles, IL, USA). La toma de imágenes radiográficas pre-instrumentación se realizó introduciendo una lima K #08 de acero inoxidable (Dentsply/Maillefer, Suiza) a LT, para visualizar mejor la trayectoria del conducto. Las radiografías post-instrumentación se realizaron, de igual forma, pero introduciendo la última lima con la que se instrumentó el conducto radicular. Las radiografías pre y post-

instrumentación fueron tomadas con un objeto metálico, a modo de ejes cartesianos, para facilitar su posterior superposición<sup>142</sup>. Las imágenes tomadas se exportaron a formato digital de imagen JPG.

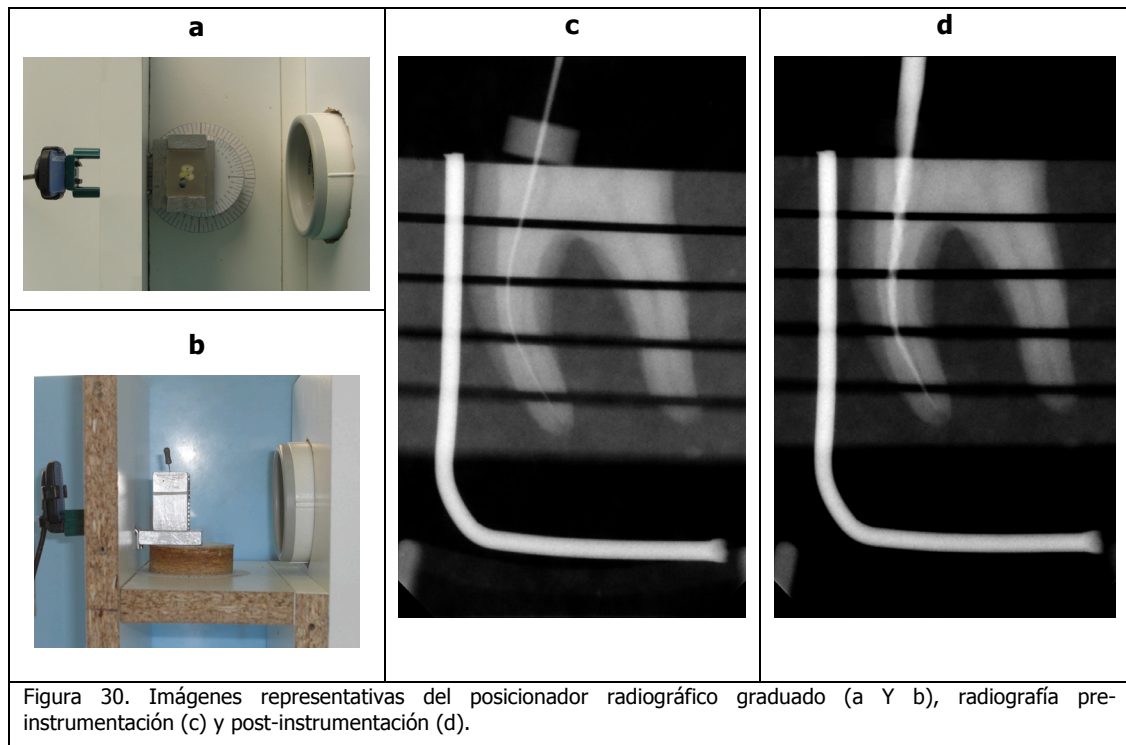


Figura 30. Imágenes representativas del posicionador radiográfico graduado (a Y b), radiografía pre-instrumentación (c) y post-instrumentación (d).

### a) Medida del ángulo y radio de la curvatura antes y después de la instrumentación

Para mejorar la nitidez y el contraste de las radiografías, con el fin de visualizar perfectamente el recorrido del conducto, se usó el programa Photoshop CS2 9.1. (Adobe Systems Inc., San, CA, USA) y, posteriormente, se procedió a medir la curvatura del conducto mediante el software informático Autocad 2008 (Autodesk Inc., San Rafael, CA, USA), siguiendo el método de Pruett y cols.<sup>143</sup>.

Se delimitó el eje central de la lima introducida en el conducto hasta longitud de trabajo (línea roja) y se trazó una recta tangente a la trayectoria coronal de la lima (recta A), luego se marcó otra recta tangente a la trayectoria apical de la lima (recta B). A los puntos de inflexión donde las líneas tangentes A y B se desviaban de la trayectoria de la lima se les denominó puntos a y b. Posteriormente se trazaron líneas perpendiculares a las líneas A y B que pasaban por los puntos a y b, respectivamente. El punto donde se unían estas dos nuevas líneas era el punto c y el ángulo que formaban dichas rectas al unirse era el ángulo de la curvatura; mientras que el radio era la media de la distancia ac y bc<sup>144</sup> (Figura 31).

<sup>142</sup> Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B & Kim S. Comparison of apical transportation between Profile and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:359-364.

<sup>143</sup> Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77-85.

<sup>144</sup> Roig M, Bueno R, Neus N, Facundo CM. Estudio comparativo de la variación del ángulo y el radio de la curvatura con dos técnicas de instrumentación: Profile y ProTaper. *Endodoncia* 2005; 23:99-107.

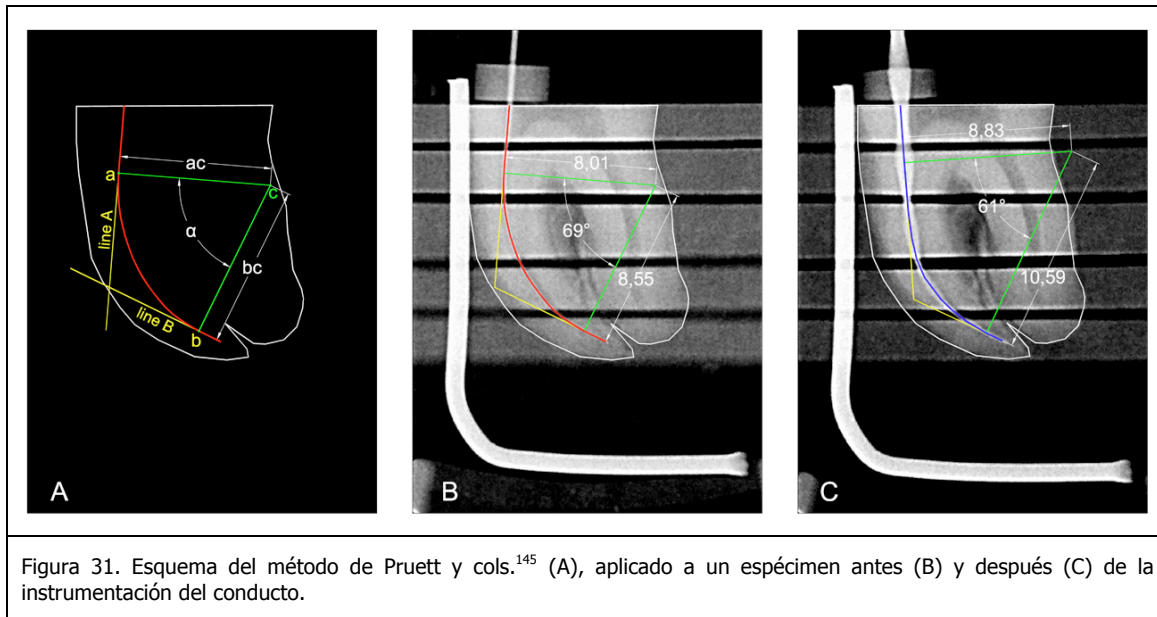


Figura 31. Esquema del método de Pruet y cols.<sup>145</sup> (A), aplicado a un espécimen antes (B) y después (C) de la instrumentación del conducto.

### b) Determinación del transporte apical y de la pérdida de longitud de trabajo

Para la determinación del transporte apical y de la pérdida de longitud de trabajo se superpusieron los ejes centrales pre- y post-instrumentación, con la ayuda del software Autocad 2008, haciendo coincidir el eje cartesiano que se incluyó en las radiografías. El transporte apical producido por las limas rotatorias a 1 y 2 mm de LT se determinó midiendo la longitud perpendicular entre el eje pre- y post-instrumentación (Figura 32A). Si el eje post-instrumentación no llegó hasta LT, la distancia longitudinal entre los extremos de ambos ejes fue medida para establecer la pérdida de LT (Figura 32B).

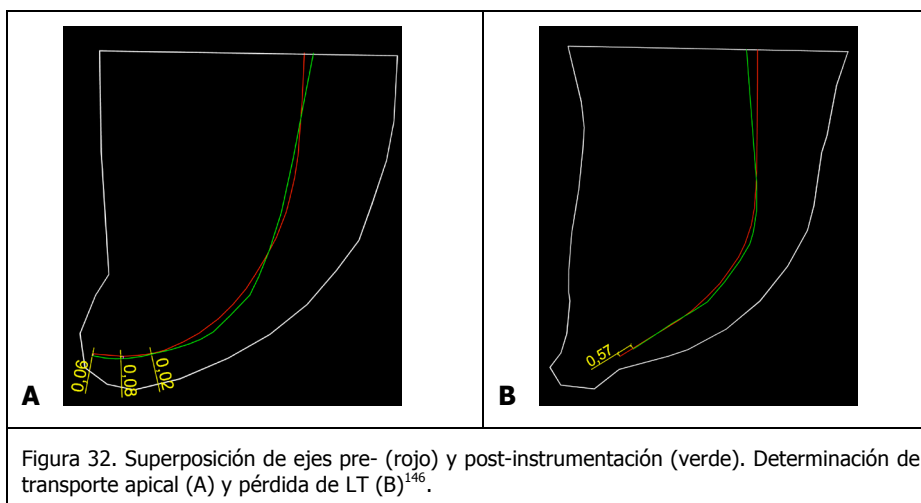


Figura 32. Superposición de ejes pre- (rojo) y post-instrumentación (verde). Determinación de transporte apical (A) y pérdida de LT (B)<sup>146</sup>.

<sup>145</sup> Pruet JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod 1997;23:77–85.

<sup>146</sup> Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B & Kim S. Comparison of apical transportation between Profile and ProTaper NiTi rotary instruments. Int Endod J. 2004;37:359-364.



### c) Determinación del enderezamiento del conducto después de la instrumentación

El grado de enderezamiento del conducto producido durante la instrumentación se determinó utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Grado}_{\text{inicial}} - \text{Grado}_{\text{final}} = \text{Enderezamiento del conducto}$$

### 3.2.4. Evaluación de las secciones transversales de los conductos radiculares

Se realizó una fotografía de cada una de las secciones transversales antes y después de ser instrumentadas. Para digitalizar las imágenes se utilizó una lupa estereomicroscópica (Olympus s7-pt, Olympus Corporation, Japón) con un divisor de luz y una cámara digital incorporada (Cámara digital Olympus C5050Z, Olympus Corporation, Japón). Las fotografías pertenecientes a las secciones a 2, 6 y 10mm de longitud de trabajo fueron seleccionadas como representativas de los tercios apical, medio y coronal respectivamente, para su posterior análisis informático.

#### a) Determinación del transporte del conducto y centrado del eje de instrumentación

Mediante el software informático Photoshop CS2 9.1. se mejoraron el contraste, brillo y nitidez de las imágenes, las cuales fueron analizadas con el software informático Autocad 2008 siguiendo el método de Gambill y cols.<sup>147</sup>.

Se marcaron dos rectas tangentes al perfil radicular por mesial (recta a) y por distal (recta d). Se delimitó el perímetro del conducto evaluado antes y después de la instrumentación y se trazaron dos rectas tangentes al punto de máxima convexidad de dicho perímetro por mesial (recta b) y distal (recta c) (Figura 33).

<sup>147</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. J Endod. 1996;22:369-75.



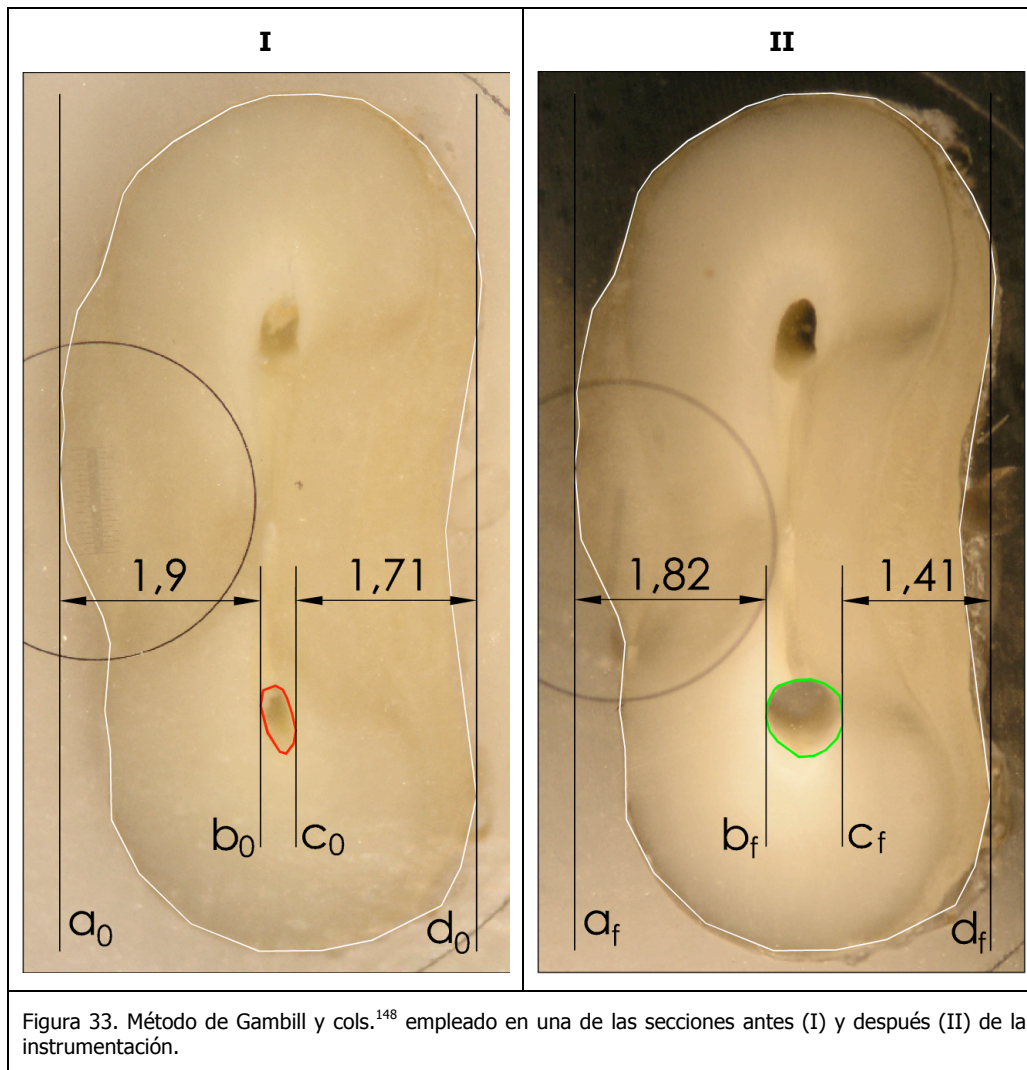


Figura 33. Método de Gambill y cols.<sup>148</sup> empleado en una de las secciones antes (I) y después (II) de la instrumentación.

La cantidad y dirección del transporte del conducto fue determinada midiendo la distancia entre a y b, y entre c y d en las fotografías pre- y post-instrumentación, siguiendo la siguiente fórmula:

$$[(ab_0 - ab_f) - (cd_0 - cd_f)]$$

Un resultado cero indicaba una instrumentación equitativa de la pared mesial y distal, no habiendo por tanto transporte del conducto. Un resultado distinto de cero indicaba mayor instrumentación en una de las paredes, dando lugar al transporte del conducto radicular.

Si se relacionan las medidas tomadas mediante la siguiente fórmula se obtiene la capacidad de centrado del instrumento en el interior del conducto:

$$\left[ \frac{(ab_0 - ab_f)}{(cd_0 - cd_f)} \right] \times 100 \quad \text{ó} \quad \left[ \frac{(cd_0 - cd_f)}{(ab_0 - ab_f)} \right] \times 100$$

Un resultado del 100% indicaba un perfecto centrado del instrumento dentro del conducto.

<sup>148</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. J Endod. 1996;22:369-75.

### b) Cálculo del área del conducto instrumentado

Mediante el software Autocad 2008 se midió el área del conducto antes y después de ser instrumentado (Figura 34). Estos datos fueron relacionados mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Área conducto}_{\text{final}} - \text{Área conducto}_{\text{inicial}} = \text{Cantidad de dentina eliminada (mm}^2\text{)}$$

Un resultado igual a cero indicaba que el conducto no había sido instrumentado debido a que la lima no había tocado las paredes. Un resultado superior a cero indicaba la cantidad de dentina eliminada.

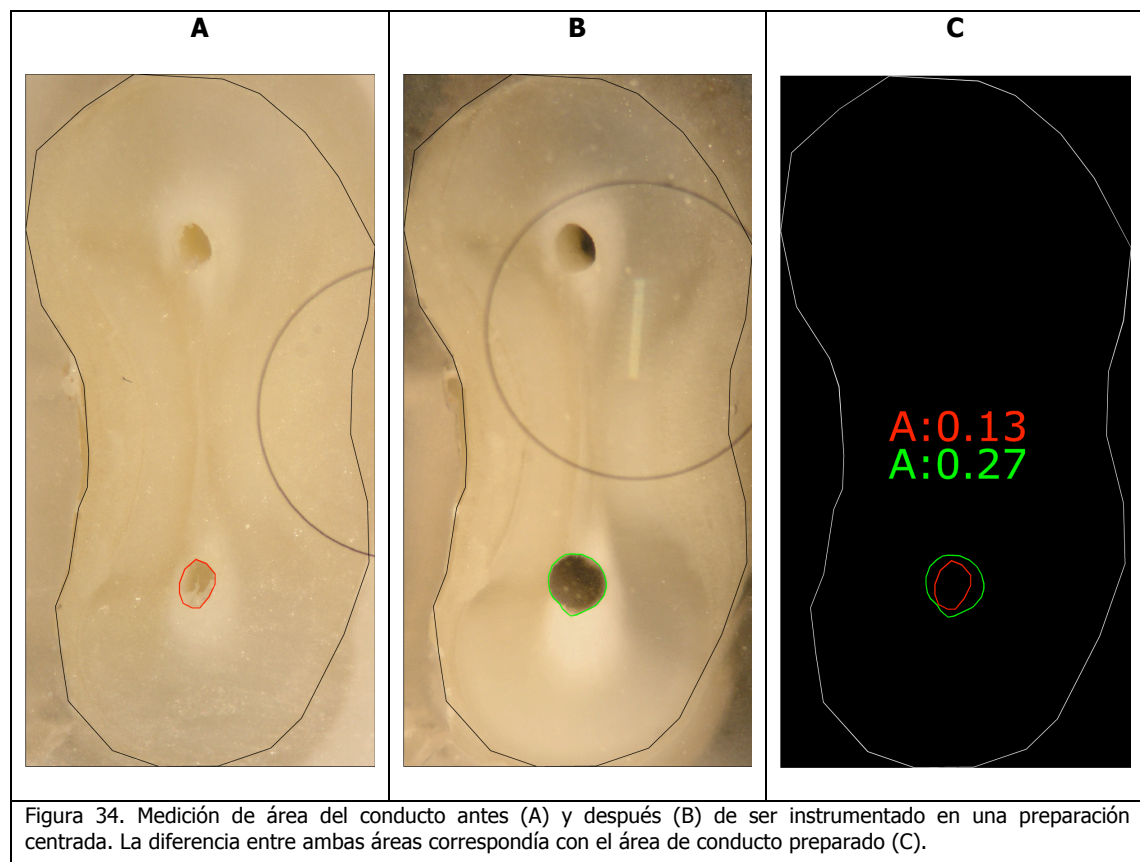


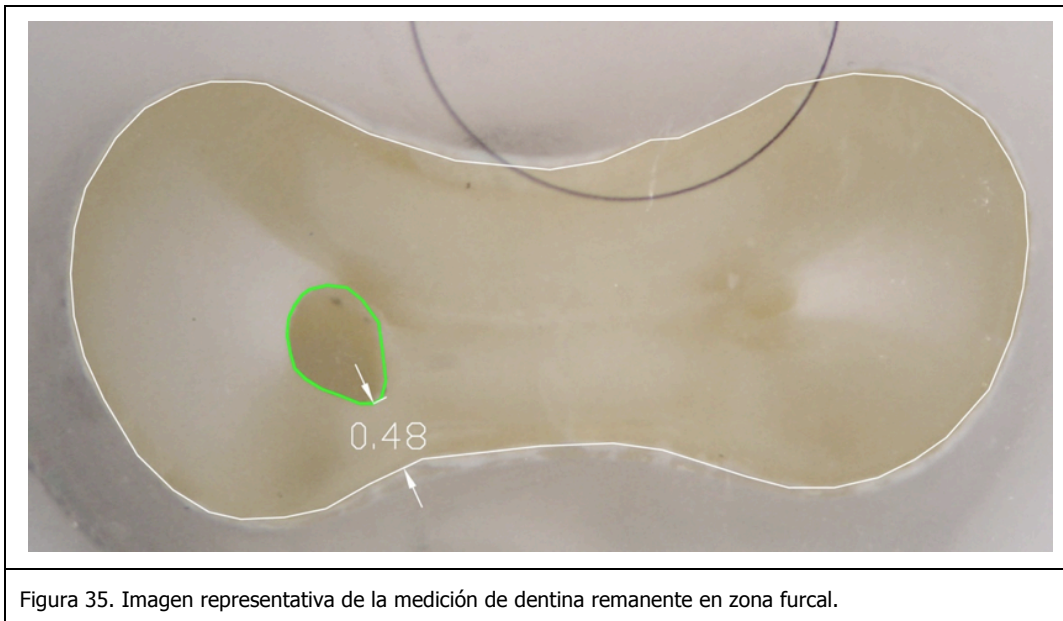
Figura 34. Medición de área del conducto antes (A) y después (B) de ser instrumentado en una preparación centrada. La diferencia entre ambas áreas correspondía con el área de conducto preparado (C).

### c) Cálculo de espesor de dentina remanente en la zona furcal

El espesor de dentina remanente en la zona de furca, de los tercios coronal y medio, fue medido mediante el software Autocad 2008. Aquellas muestras cuyo espesor de dentina remanente en zona de furca fue igual o inferior a 0,5 mm fueron catalogadas como muestras con riesgo de perforación lateral o stripping<sup>149,150</sup> (Figura 35).

<sup>149</sup> Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C. Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals. *Int Endod J.* 2008;41:1088-92.

<sup>150</sup> McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. Remaining dentin/cementum thickness after hand or ultrasonic instrumentation. *J Endod.* 1990;16:109-13.



### 3.2.5. Medida del tiempo empleado en la instrumentación

El tiempo empleado en la instrumentación de las muestras, incluyendo la irrigación y el cambio de lima, fue registrado en segundos.

## 3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos en ambas partes del estudio fueron introducidos en el paquete estadístico SPSS/PC+ (SPSS Inc, Chicago, IL), versión 15.0 (licencia de la Universidad de Granada) para su posterior análisis.

### 3.3.1. Efectividad de una vía de deslizamiento manual en conductos radiculares curvos con el sistema rotatorio M2

Los métodos estadísticos utilizados fueron los siguientes:

#### ▣ Descriptivos

- Media y desviación estándar (variables cuantitativas: enderezamiento de la curvatura, transporte apical y tiempo de trabajo).

#### ▣ Analíticos

- Análisis de la influencia del grado de curvatura de las raíces ( $25-44^\circ$  y  $45-76^\circ$ ) y la realización o no de una vía de deslizamiento manual en el enderezamiento de la curvatura, el transporte apical y el tiempo de trabajo, mediante un diseño ANOVA factorial completo.

- Comprobación de la normalidad de la distribución de los datos mediante el test de *Shapiro-Wilk*.
- Comparación de dos medias de muestras independientes, que no siguen una distribución normal, mediante el test *U* de *Mann-Whitney*.
- Correlación entre dos medias de muestras independientes, que no siguen una distribución normal, mediante la correlación bivariada de *Spearman*.

El nivel de significación fue establecido en  $p < 0,05$ .

### **3.3.2. Instrumentación rotatoria en conductos curvos con los sistemas M2 y TF**

Los métodos estadísticos utilizados fueron los siguientes:

#### **▣ Descriptivos**

- Media y desviación estándar (variables cuantitativas: curvatura inicial, radio inicial, tiempo de trabajo, enderezamiento, radio final, pérdida de longitud de trabajo, transporte apical a uno y dos milímetros en sentido longitudinal, cantidad de dentina removida, capacidad de centrado del conducto radicular y transporte del conducto en sentido transversal).
- Tamaño absoluto y porcentual (variables cualitativas: dirección del transporte transversal, distancia a zona de furca).

#### **▣ Analíticos**

- Comprobación de la normalidad de la distribución de los datos mediante el test de *Shapiro-Wilk*.
- Comparación de dos medias de muestras independientes, que siguen una distribución normal, mediante el test *t* de *Student*.
- Comparación de dos medias de muestras independientes, que no siguen una distribución normal, mediante el test *U* de *Mann-Whitney*.
- Comparación de dos medias de muestras apareadas, que no siguen una distribución normal, mediante el test de *Wilcoxon*.
- Comparación de dos distribuciones porcentuales mediante el test de  $\chi^2$  de Pearson.

El nivel de significación fue establecido en  $p < 0,05$ .



## **4. RESULTADOS**



## 4. RESULTADOS

### 4.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2

El modelo de regresión multifactorial no mostró significación estadística en la interacción entre los dos factores (grado de curvatura de la raíz (25-44° y 45-76°) y la realización o no de una vía de deslizamiento manual) con las variables analizadas (en el enderezamiento de la curvatura, el transporte apical y el tiempo de trabajo). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el enderezamiento de la curvatura, el transporte apical o el tiempo de trabajo entre los grupos con vía de deslizamiento manual frente a los grupos sin vía de deslizamiento manual, para ambos grados de curvatura. La correlación bivariada de Spearman no dio significación estadística en la relación entre el enderezamiento del conducto y el transporte apical en los 4 grupos de estudio (Tabla 1).

Tabla 1. Media y desviación estándar de las variables a diferentes grados de curvatura ( $\bar{x} \pm s$ ).

	Curvatura 25°-44°		Curvatura 45°-76°		Comparación 25°-44° vs 45°-76°	
	VD	NVD	VD	NVD	VD	NVD
Enderezamiento de la curvatura (grados).	5,80±9,74	4,44±9,22	10,63±24,59	10,00±15,95	0,754	0,056
Transporte apical (milímetros).	0,16±0,18	0,16±0,27	0,13±0,15	0,32±0,08	0,754	0,110
Tiempo de trabajo (segundos).	586,60±106,05	515,22±99,14	670,25±199,38	558,44±126,64	0,594	0,427

VD, vía de deslizamiento; NVD, sin vía de deslizamiento.  
La comparación entre los grupos (VD versus NVD) no fue significativa.



## 4.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF

### 4.2.1. Ángulo y radio inicial de la curvatura de los conductos radiculares

En las Tablas 2 y 3 se muestra la media y la desviación estándar del ángulo y radio de la curvatura inicial de los conductos radiculares instrumentados con Mtwo y Twisted File, respectivamente. No se encontraron diferencias significativas en la curvatura inicial de los conductos radiculares del grupo 30-59M2 respecto al grupo 30-59TF ( $p=0,544$ ). De igual manera, no existieron diferencias estadísticamente significativas en la curvatura inicial de los conductos radiculares del grupo 60-99M2 respecto a 60-99TF ( $p=0,090$ ).

En la comparación del radio de curvatura inicial no existieron diferencias significativas entre los grupos 30-59M2 y 30-59TF ( $p=0,891$ ), ni entre los grupos 60-99M2 y 60-99TF ( $p=0,694$ ).

Tabla 2. Curvatura y radio inicial de los conductos instrumentados con el Sistema Mtwo [grados]

	SISTEMA MTWO							
	ÁNGULO 30-59				ÁNGULO 60-99			
	Mín	Máx	$\bar{x}$	SD	Mín	Máx	$\bar{x}$	SD
CURVATURA	34	58	48,73	7,507	62	99	77,31	10,185
RADIO	4,65	11,71	8,09	2,193	3,37	9,10	6,14	1,911

Mín: mínimo. Máx: máximo.  $\bar{x}$ : media. SD: desviación estándar.

Tabla 3. Curvatura y radio inicial de los conductos instrumentados con Twisted Files [grados].

	TWISTED FILES							
	ÁNGULO 30-59				ÁNGULO 60-99			
	Mín	Máx	$\bar{x}$	SD	Mín	Máx	$\bar{x}$	SD
CURVATURA	31	57	47,13	6,728	60	91	70,38	9,760
RADIO	2,31	11,60	8,20	2,313	2,24	12,29	6,50	2,563

Mín: mínimo. Máx: máximo.  $\bar{x}$ : media. SD: desviación estándar.

### 4.2.2. Tiempo empleado en la instrumentación

La Tabla 4 muestra la media y la desviación estándar para la variable tiempo de instrumentación, en los distintos grupos de curvatura (30-59° y 60-99°), con los sistemas Mtwo y Twisted Files. El grupo 60-99M2 tardó significativamente más tiempo en la preparación de las muestras que el grupo 30-59M2 ( $p=0,025$ ). La comparación entre sistemas de instrumentación no mostró diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4. Tiempo de instrumentación [segundos].

	MTWO	Twisted Files	Comparación
	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$p$
CURVATURA 30-59	339,47 (67,619)	377,60 (122,695)	0,301
CURVATURA 60-99	436,31 (136,732)	391,92 (182,842)	0,493
Comparación ( $p$ )	0,025	0,807	

$\bar{x}$  : media. SD: desviación estándar.

### 4.2.3. Análisis post-instrumentación de los especímenes en el plano longitudinal

La Tabla 5 muestra la media y la desviación estándar para las variables evaluadas (enderezamiento, radio final, pérdida de longitud de trabajo, transporte apical a 1 y 2 milímetros) en los dos grupos de curvatura (30-59° y 60-99°) instrumentados con los sistemas Mtwo y Twisted Files.

Tabla 5. Variables evaluadas en el eje axial del conducto radicular.

	CURVATURA 30-59		CURVATURA 60-99	
	MTWO	TWISTED FILES	MTWO	TWISTED FILES
	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)
Enderezamiento	9,40 (6,854)	8,40 (7,219)	7,92 (7,488)	13,69 (11,672)
Radio final	1,20 (2,469)	1,16 (3,633)	0,24 (1,247)	0,42 (1,941)
Pérdida de LT	0,25 (0,322)	0,37 (0,489)	0,28 (0,333)	0,43 (0,435)
Transporte 1	0,11 (0,207)	0,13 (0,098)	0,07 (0,036)	0,09 (0,084)
Transporte 2	0,14 (0,126)	0,11 (0,086)	0,09 (0,067)	0,08 (0,052)

$\bar{x}$  : media. SD: desviación estándar.

Pérdida de LT: pérdida de longitud de trabajo.

Transporte 1: transporte apical medido a 1 milímetro.

Transporte 2: transporte apical medido a 2 milímetros.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variables evaluadas entre los diferentes ángulos de curvatura (30-59° y 60-99°) ni entre los sistemas Mtwo y Twisted Files (Tablas 6 y 7).

Tabla 6. Comparación entre curvaturas de las variables evaluadas en el plano longitudinal.

	Enderezamiento	Radio final	Pérdida LT	Transporte 1	Transporte 2
SISTEMA MTWO					
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,591$	$p=0,134$	$p=0,924$	$p=0,159$	$p=0,368$
TWISTED FILES					
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,155$	$p=0,945$	$p=0,641$	$p=0,263$	$p=0,380$

Pérdida LT: pérdida de longitud de trabajo.

Transporte 1: transporte apical medido a 1 milímetro de longitud de trabajo.

Transporte 2: transporte apical medido a 2 milímetros de longitud de trabajo.

Tabla 7. Comparación entre sistemas de las variables evaluadas en el plano longitudinal.

	ENDEREZAMIENTO	CAMBIO RADIO	PÉRDIDA LT	TRANSPORTE 1	TRANSPORTE 2
<b>CURVATURA 30-59</b>					
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,700$	$p=0,548$	$p=0,568$	$p=0,844$	$p=0,662$
<b>CURVATURA 60-99</b>					
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,147$	$p=0,343$	$p=0,333$	$p=0,279$	$p=0,979$

Pérdida LT: pérdida de longitud de trabajo.

Transporte 1: transporte apical medido a 1 milímetro de longitud de trabajo.

Transporte 2: transporte apical medido a 2 milímetros de longitud de trabajo

#### 4.2.4. Análisis post-instrumentación en el plano transversal

##### a) Cantidad de dentina removida

La Tabla 8 muestra los resultados obtenidos para la cantidad de dentina removida evaluada a diferentes niveles del conducto (2, 6 y 10 mm de LT), en ambos grupos de curvatura (30-59° y 60-99°) instrumentados con los sistemas Mtwo y Twisted Files.

Tabla 8. Cantidad de dentina removida en diferentes niveles del conducto radicular [mm<sup>2</sup>].

	2 mm	6 mm	10 mm
	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)
<b>SISTEMA MTWO</b>			
30-59	0,15 (0,109)	0,20 (0,076)	0,24 (0,081)
60-99	0,16 (0,107)	0,18 (0,095)	0,31 (0,204)
<b>TWISTED FILES</b>			
30-59	0,14 (0,086)	0,17 (0,091)	0,31 (0,133)
60-99	0,15 (0,159)	0,15 (0,045)	0,32 (0,227)

$\bar{x}$  : media. SD: desviación estándar.

La sección donde más dentina se removió con ambos sistemas fue la de 10 mm. La comparación entre sistemas (Tabla 9) y entre ángulos de curvatura (Tabla 10) no mostró diferencias estadísticamente significativas en los diferentes niveles evaluados: 2, 6 y 10 milímetros de LT.

Tabla 9. Comparación entre sistemas de la cantidad de dentina removida en diferentes niveles del conducto radicular.

	2 mm	6 mm	10 mm
CURVATURA 30-59			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,800$	$p=0,570$	$p=0,126$
CURVATURA 60-99			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,368$	$p=0,206$	$p=0,954$

Tabla 10. Comparación entre curvaturas de la cantidad de dentina removida en diferentes niveles del conducto radicular.

	2mm	6mm	10mm
SISTEMA MTWO			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,733$	$p=0,576$	$p=0,571$
TWISTED FILES			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,644$	$p=0,299$	$p=0,525$

### b) Capacidad de centrado

Los resultados de la capacidad de centrado del instrumento dentro del conducto, evaluados a 2, 6 y 10 mm de la longitud de trabajo se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11. Nivel de centrado en el conducto radicular [%].

	2mm	6mm	10mm
	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)
<b>SISTEMA MTWO</b>			
30-59	23,20 (32,664)	30,79 (31,225)	39,05 (35,579)
60-99	27,75 (34,775)	52,90 (35,542)	34,16 (32,687)
<b>TWISTED FILES</b>			
30-59	30,11 (31,610)	33,11 (26,711)	31,57 (26,072)
60-99	28,19 (36,194)	28,69 (34,484)	34,83 (38,343)

$\bar{x}$  : media. SD: desviación estándar.

El sistema MTWO obtuvo los peores resultados en la sección a 2 mm de LT, en ambos rangos de curvatura, aunque no hubo diferencias significativas respecto al sistema TF. El grupo 60-99M2 obtuvo el mejor resultado en la capacidad de centrado del eje (52,9%).

En la comparación por curvaturas de las secciones a 2, 6 y 10 mm de LT no hubo diferencias estadísticamente significativas con ambos sistemas de instrumentación (Tabla 12).

Tabla 12. Comparación entre curvaturas del nivel de centrado del conducto radicular.

	2mm	6mm	10mm
<b>SISTEMA MTWO</b>			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,797$	$p=0,150$	$p=0,938$
<b>TWISTED FILES</b>			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,580$	$p=0,296$	$p=0,883$

Igualmente, la comparación entre ambos sistemas de instrumentación por rangos de curvatura no mostró diferencias estadísticamente significativas en las tres secciones analizadas (Tabla 13).

Tabla 13. Comparación entre sistemas del nivel de centrado del conducto radicular.

	2mm	6mm	10mm
<b>CURVATURA 30-59</b>			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,343$	$p=0,526$	$p=0,708$
<b>CURVATURA 60-99</b>			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,891$	$p=0,110$	$p=0,977$

Cuando se comparó la capacidad de centrado, entre las distintas secciones, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los sistemas rotatorios y grados de curvatura analizados (Tabla 14).

Tabla 14. Comparación entre niveles de sección del nivel de centrado del conducto radicular.

	CURVATURA 30-59		CURVATURA 60-99	
	SISTEMA MTWO	TWISTED FILES	SISTEMA MTWO	TWISTED FILES
2mm <i>versus</i> 6mm	$p=0,510$	$p=0,221$	$p=0,108$	$p=0,959$
2mm <i>versus</i> 10mm	$p=0,209$	$p=0,422$	$p=0,638$	$p=0,965$
6mm <i>versus</i> 10mm	$p=0,477$	$p=0,594$	$p=0,136$	$p=0,767$



### c) Transporte del conducto

La Tabla 15 muestra la media y la desviación estándar para la variable transporte del conducto, a 2, 6 y 10 mm de la longitud de trabajo, en los dos grupos de curvatura (30-59° y 60-99°) instrumentados con los sistemas Mtwo y Twisted Files.

Tabla 15. Transporte transversal [mm].

	2mm	6mm	10mm
	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)	$\bar{x}$ (SD)
<b>SISTEMA MTWO</b>			
30-59	0,17 (0,164)	0,15 (0,135)	0,12 (0,082)
60-99	0,13 (0,135)	0,11 (0,164)	0,11 (0,088)
<b>TWISTED FILES</b>			
30-59	0,14 (0,141)	0,13 (0,100)	0,14 (0,109)
60-99	0,09 (0,090)	0,08 (0,072)	0,09 (0,098)

$\bar{x}$ : media. SD: desviación estándar.

Como puede apreciarse, en la sección a 2mm de LT, el grupo 30-59M2 produjo el mayor transporte del conducto (0,17±0,164).

Las Tablas 16 y 17 muestran las comparaciones entre sistemas y entre curvaturas a 2, 6 y 10mm de LT. No hubo diferencias estadísticamente significativas en las comparaciones por curvatura ni en las comparaciones por sistema.

Tabla 16. Comparación entre curvaturas del transporte transversal.

	2mm	6mm	10mm
<b>SISTEMA MTWO</b>			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,496$	$p=0,284$	$p=0,891$
<b>TWISTED FILES</b>			
30-59 <i>versus</i> 60-99	$p=0,575$	$p=0,145$	$p=0,128$

Tabla 17. Comparación entre sistemas del transporte transversal.

	2mm	6mm	10mm
CURVATURA 30-59			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,519$	$p=0,948$	$p=0,596$
CURVATURA 60-99			
SISTEMA MTWO <i>versus</i> TWISTED FILES	$p=0,396$	$p=0,758$	$p=0,487$

En la Tabla 18 se muestran los resultados de las comparaciones de transporte transversal. Como se puede observar, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las distintas secciones.

Tabla 18. Comparación entre niveles de sección del transporte transversal.

	CURVATURA 30-59		CURVATURA 60-99	
	SISTEMA MTWO	TWISTED FILES	SISTEMA MTWO	TWISTED FILES
2mm <i>versus</i> 6mm	$p=0,551$	$p=0,944$	$p=0,328$	$p=0,838$
2mm <i>versus</i> 10mm	$p=0,119$	$p=0,925$	$p=0,637$	$p=0,638$
6mm <i>versus</i> 10mm	$p=0,463$	$p=0,753$	$p=0,760$	$p=0,813$

La Tabla 19 muestra el porcentaje de muestras que transportaron hacia la pared externa o interna en cada sección evaluada. Como puede apreciarse, en la sección a 10 mm de LT el 73,3% de las muestras instrumentadas transportó hacia la pared interna del conducto. En la sección a 2 mm de LT el 47,7% de las muestras instrumentadas con el sistema Mtwo y el 66,6% de las muestras instrumentadas con el sistema Twisted Files transportaron hacia la pared externa del conducto. La sección a 6 mm de LT fue la más variable.

Tabla 19. Dirección del transporte transversal por secciones.

		Externo	Interno
		n (%)	n (%)
10mm	MTWO	8 (26,7)	22 (73,3)
	TWISTED FILES	8 (26,7)	22 (73,3)
6mm	MTWO	13 (43,3)	17 (57,7)
	TWISTED FILES	16 (53,3)	14 (47,7)
2mm	MTWO	14 (47,7)	16 (53,3)
	TWISTED FILES	20 (66,6)	10 (33,3)

%; porcentaje de muestras.

#### d) Distancia a la zona furcal (zona de peligro)

En la Tabla 20 se expone, en porcentaje, la distancia a la zona furcal (inferior o superior a 0,5 mm) en los distintos grupos de curvatura. Dos de las raíces del grupo 30-59M2 (13,3%) y una de los especímenes del grupo 30-59TF (6,7%) presentaron una distancia a zona de peligro  $\leq$  0,5 mm. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. Ninguna de las muestras de los grupos 60-99M2 y 60-99TF tuvo una distancia a zona de peligro  $\leq$  0,5 mm.

Tabla 20. Comparación entre sistemas de la distancia a la zona de peligro en función del ángulo de curvatura.

	CURVATURA 30-59			CURVATURA 60-99		
	MTWO	TWISTED FILES	Comparación	MTWO	TWISTED FILES	Comparación
	n (%)	n (%)	<i>p</i>	n (%)	n (%)	<i>p</i>
<b>DISTANCIA</b>						
> 0,5mm	13 (86,7)	14 (93,3)	1,000	15 (100,0)	15 (100,0)	-
$\leq$ 0,5mm	2 (13,3)	1 (6,7)		0 -	0 -	

## **5. DISCUSIÓN**



## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. EFECTIVIDAD DE UNA VÍA DE DESLIZAMIENTO MANUAL EN CONDUCTOS CURVOS CON EL SISTEMA ROTATORIO M2

Generalmente, las proyecciones radiográficas mesiodistal y bucolingual se utilizan en numerosas investigaciones para la evaluación del transporte apical. Sin embargo lo que se obtiene es una proyección del transporte apical que no tiene porque corresponder con la máxima curvatura del conducto, ya que ésta no se presenta siempre en las proyecciones mesiodistal o bucolingual. En este estudio se utilizó el método de Maggiore y cols.<sup>151,152</sup> para obtener la proyección radiográfica que más se aproximaba a la máxima curvatura real del conducto radicular. Esta técnica permite la superposición radiográfica de las muestras en la misma proyección, antes y después de ser instrumentadas, de manera fácil y predecible; por lo que la medición del transporte apical y la pérdida de longitud de trabajo es mucho más cercana a la realidad<sup>153</sup>.

Blum y cols.<sup>154</sup> preconizaron la realización de una vía de deslizamiento o *glide path*, con limas manuales de acero inoxidable, para crear en la totalidad del conducto radicular un espacio suficiente para el deslizamiento de los instrumentos rotatorios. Berutti y cols.<sup>155</sup> subrayaron la necesidad de un pre-conformado del conducto hasta una lima K #20, para los instrumentos ProTaper, asegurando de esta manera espacio suficiente para la lima S1 (primera lima rotatoria que llega a LT) cuyo extremo apical mide 0,17 mm. Además mostraron que la reducción del estrés torsional incrementaba la vida de estos instrumentos al menos seis veces. En otro trabajo, Berutti y cols.<sup>156</sup> compararon la efectividad de limas rotatorias de NiTi frente a limas manuales en la creación de una vía de deslizamiento, concluyendo que el uso de limas rotatorias proporcionaba un menor número de accidentes yatrogénicos y un menor enderezamiento de la curva.

No existe consenso respecto a la utilización de una vía de deslizamiento previa a la instrumentación con limas del sistema M2<sup>157,158,159,160,161,162</sup>. En nuestro estudio se realizó una

<sup>151</sup> Maggiore F. Endodontic preparation of curved root canals using the mac files: evaluation using a radiographic method and a computerized analysis. Master's Thesis. Rome: University of Rome 'La Sapienza'; 1994.

<sup>152</sup> Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. J Endod. 2003;29: 587-91.

<sup>153</sup> Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. J Endod. 2003;29: 587-91.

<sup>154</sup> Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. J Endod. 2003;29:567-75.

<sup>155</sup> Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper instruments. J Endod. 2004;30:228-30.

<sup>156</sup> Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G *et al.* Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. J Endod 2009;35:408-12. Erratum in: J Endod. 2009;35:1606.

<sup>157</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. Int Endod J. 2006;39:196-202.

vía de deslizamiento, hasta una lima manual K #15, para permitir que la primera lima del sistema Mtwo (#10/04) alcanzara la LT; minimizando, de esta forma, el riesgo de enclavamiento dentro del conducto. No obstante, no encontramos diferencias estadísticamente significativas en cuanto al enderezamiento del conducto, el transporte apical o el tiempo de trabajo entre los grupos donde se realizó una vía de deslizamiento frente a los grupos donde no fue realizada.

La mayoría de los sistemas rotatorios actuales utilizan una técnica de instrumentación coronapical. Esta técnica reduce la fricción de la lima cuando corta dentina ya que solamente una parte de la misma trabaja en el conducto radicular. Esta menor fricción disminuye la incidencia de transporte apical debido a que la lima trabaja más libremente en el interior de los conductos<sup>163</sup>. El sistema Mtwo, en cambio, trabaja con todas sus limas a longitud de trabajo con un suave movimiento de dentro a fuera, en lo que el fabricante denomina "Técnica de Longitud Simple"<sup>164</sup>. Esta secuencia de instrumentación puede originar un aumento del estrés en la primera lima rotatoria utilizada, favoreciendo un mayor riesgo de fractura de la lima u otros accidentes iatrogénicos. Inan y cols.<sup>165</sup> encontraron un mayor porcentaje de fracturas por torsión para las limas 10/04 y 15/05 del sistema Mtwo, en un total de 593 limas de este sistema. Sin embargo, la comparación entre las fuerzas torsionales producidas en una técnica de longitud simple frente las de una técnica coronapical no ha sido suficientemente contrastada<sup>166</sup>. La alta flexibilidad de las limas Mtwo, su peculiar sección transversal, pitch variable y surcos profundos podrían proporcionarle a este sistema una buena resistencia a la fatiga cíclica<sup>167</sup>. Honardar y cols.<sup>168</sup> pusieron de manifiesto la habilidad de la lima 10/04 para permeabilizar los conductos mesio-palatinos (mb2) de molares superiores, sin la introducción previa de ninguna lima manual; obteniendo mejores resultados en la permeabilización de estos conductos con esta lima que con el uso solo de limas manuales.

<sup>158</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203

<sup>159</sup> Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006;39:755-63.

<sup>160</sup> Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006; 39:716-23.

<sup>161</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>162</sup> Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod.* 2006;32:372-5.

<sup>163</sup> Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11:203-11.

<sup>164</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>165</sup> Inan U, Gonulol N. Deformation and fracture of Mtwo rotary nickel-titanium instruments after clinical use. *J Endod.* 2009;35:1396-9.

<sup>166</sup> Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006;39:755-63.

<sup>167</sup> Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behavior of nickel-titanium instruments under torsion and bending: a numerical analysis. *J Endod.* 2010;36:1394-8.

<sup>168</sup> Honardar K, Vesal N, Hamze F, Nazarimoghadam K, Labaf H, Shakeri L. A comparison of Mtwo rotary file with K-file on negotiation of second mesiobuccal canal in maxillary first molar: A clinical study. *Iranian Endodontic J.* 2008;3:29-32.

Plotino y cols.<sup>169</sup> concluyeron que los instrumentos rotatorios Mtwo pueden ser usados de forma segura en condiciones clínicas, en molares curvos con un ángulo de curvatura de 10 grados o más, al menos 10 veces. En nuestro estudio, las limas Mtwo se usaron solamente 5 veces porque la media del ángulo de curvatura de las raíces empleadas era muy superior.

Veltri y cols.<sup>170</sup> analizaron la capacidad de conformación de los sistemas M2 y Hero Shaper (Micro-Mega, Besançon, Francia), en conductos con curvaturas de 24-69°, y concluyeron que dichos sistemas son efectivos en la conformación del sistema de conductos, produciendo preparaciones bien centradas y sin aberraciones. Además, Machado y cols.<sup>171</sup> han mostrado la eficacia del sistema M2 en la desinfección de conductos radiculares infectados con *E. faecalis*.

Xu y cols.<sup>172</sup> estudiaron las propiedades geométricas y el estrés torsional de seis diseños de secciones transversales diferentes, incluyendo Mtwo, mediante análisis de elementos finitos. Mtwo fue el sistema menos estable en conductos curvos respecto a los sistemas trirradiales-convexos, debido al diseño asimétrico de la sección transversal (en S itálica) y a la inercia desigual en sus ejes geométricos. Este hecho podría resultar en una mayor tendencia al transporte del conducto.

Schäfer y cols.<sup>173,174</sup> compararon la eficiencia en la conformación y limpieza del conducto con los sistemas M2, K3 (SybronEndo, Orange, CA) y RaCe (FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Switzerland), en conductos curvos, encontrando una menor incidencia de fractura con M2 y un tiempo menor de preparación respecto a los otros sistemas. En este sentido, un estudio de Schäfer y Oitzinger<sup>175</sup> mostró que Mtwo presentaba una gran eficacia de corte y producía conductos más limpios que otros instrumentos rotatorios con apoyos radiales.

Recientemente, Li y cols.<sup>176</sup> han mostrado un comportamiento similar de los sistemas Mtwo y K3 en cuanto a transporte apical, en conductos con curvaturas menores de 20°; sin embargo, cuando la curvatura era mayor de 20°, el sistema Mtwo produjo un transporte apical y un enderezamiento de la curvatura significativamente menor que el sistema K3.

En nuestro estudio no se encontraron diferencias significativas (Tabla 1) cuando se compararon los resultados de transporte apical en conductos con diferentes grados de curvatura (25-44°

<sup>169</sup> Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006; 39:716-23.

<sup>170</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>171</sup> Machado ME, Sapia LA, Cai S, Martins GH, Nabeshima CK. Comparison of two rotary systems in root canal preparation regarding disinfection. *J Endod.* 2010;36:1238-40.

<sup>172</sup> Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod.* 2006;32:372-5.

<sup>173</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>174</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203

<sup>175</sup> Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel- titanium instruments. *J Endod.* 2008;34:198-200.

<sup>176</sup> Li Z, Yu JT, Shou FY, Li L, Wu HB. Comparative study on the shaping ability of canals with 2 new nickel- titanium rotary instruments. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* Chinese. 2010;19:100-3.



frente a 45-76°). Resultados que coinciden con diferentes estudios<sup>177,178,179</sup> que han puesto de manifiesto el comportamiento satisfactorio del sistema M2 en conductos curvos, produciendo preparaciones bien centradas y respetando la anatomía original de los mismos.

Cuando una lima de NiTi trabaja en un conducto curvo tiene una tendencia a recobrar su forma original, debido a la propiedad de pseudoelasticidad. Esta situación causa una pequeña disminución en el ángulo de curvatura (enderezamiento). En este estudio, el enderezamiento osciló entre 6-10°. Otros estudios<sup>180,181</sup> muestran rangos de enderezamiento de 1-2,7° en dientes con curvaturas de 25-35°. Nuestros resultados sugieren que la tendencia a enderezar el conducto incrementa a medida que aumenta la severidad de la curva.

Tripi y cols.<sup>182</sup> compararon la fatiga flexural de diferentes instrumentos de NiTi con un tamaño .25 y conicidad 6%, concluyendo que M2 y Hero debían ser descartados selectivamente para incrementar la seguridad en casos complicados. Sin embargo, Plotino y cols.<sup>183</sup> señalaron una mayor resistencia a la fatiga cíclica de las limas M2 en curvaturas abruptas, respecto a otros sistemas rotatorios. En nuestro estudio, dos limas M2 25/06 se fracturaron, una en el grupo 25-44VD y otra en 45-76NVD. El mayor volumen de metal de esta lima proporciona menos flexibilidad y, por tanto, disminuye la resistencia a la fatiga cíclica en curvaturas severas. En este sentido, Inan y cols.<sup>184</sup> encontraron fracturas de tipo flexural, ninguna de tipo torsional, en las limas M2 25/06 descartadas por endodoncistas.

El uso de una vía de deslizamiento manual antes de la instrumentación rotatoria requiere más tiempo, ya que es necesario usar 3 ó 4 limas manuales además de las rotatorias. En este estudio no hubo diferencias estadísticamente significativas respecto al tiempo de trabajo en los grupos con y sin vía de deslizamiento. Es posible que la realización de una vía de deslizamiento consume más tiempo al principio de la instrumentación pero, por otro lado, facilitará la negociación ulterior del conducto y por tanto mejorará la efectividad de las limas rotatorias, que consumirán menos tiempo en la instrumentación si tienen el conducto pre-conformado.

<sup>177</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>178</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203

<sup>179</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>180</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>181</sup> Bürklein S, Schäfer E. The influence of various automated devices on the shaping ability of Mtwo rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2006;39:945-51.

<sup>182</sup> Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;102:e106-14.

<sup>183</sup> Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature. *Int Endod J.* 2010;43:226-30

<sup>184</sup> Inan U, Gonulol N. Deformation and fracture of Mtwo rotary nickel-titanium instruments after clinical use. *J Endod.* 2009;35:1396-9.

## 5.2. INSTRUMENTACIÓN ROTATORIA EN CONDUCTOS CURVOS CON LOS SISTEMAS M2 Y TF

La evolución de los sistemas rotatorios va orientada a un mejor comportamiento de los mismos en el conducto radicular, buscando sistemas más sencillos de utilizar, más flexibles, más eficaces y más resistentes a la fractura. Las posibles estrategias para mejorar los instrumentos con respecto a la resistencia a la fatiga cíclica y al aumento de la flexibilidad incluyen avances en el diseño, en los procesos de fabricación o en el uso de nuevas aleaciones que proporcionen propiedades mecánicas superiores<sup>185,186,187,188</sup>. Varios estudios han analizado la eficacia de los sistemas rotatorios M2 y TF en la conformación de conductos radiculares curvos<sup>189,190,191,192,193,194</sup>; sin embargo, en lo que a nuestro conocimiento se refiere, ninguna investigación ha comparado ambos sistemas hasta la fecha.

Numerosas investigaciones han evaluado la habilidad de conformación de numerosos sistemas rotatorios utilizando bloques de plástico de diversas geometrías<sup>195,196</sup> o dientes extraídos<sup>197,198</sup>. En este estudio se evaluó la capacidad de conformación de los sistemas M2 y TF en dientes extraídos con curvaturas moderadas y severas (30 a 99 grados), ya que la instrumentación en bloques de plástico no refleja el comportamiento real en conductos radiculares<sup>199,200</sup>. La utilización de muestras *ex vivo* supone un inconveniente en cuanto a la variabilidad anatómica de los conductos radiculares, así como a la dureza de la dentina, sin embargo, la información

<sup>185</sup> Gambarini G, Grande NM, 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. *J Endod.* 2008;34:1003-5.

<sup>186</sup> Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:401-3.

<sup>187</sup> Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Johnson WB. effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* 2010;36:1205-9.

<sup>188</sup> Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod.* 2008;34:1406-9.

<sup>189</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>190</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203

<sup>191</sup> Li Z, Yu JT, Shou FY, Li L, Wu HB. Comparative study on the shaping ability of canals with 2 new nickel- titanium rotary instruments. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* Chinese. 2010;19:100-3.

<sup>192</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>193</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

<sup>194</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

<sup>195</sup> Bonaccorso A, Cantatore G, Condorelli GG, Schäfer E, Tripi TR. Shaping ability of four nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals. *J Endod.* 2009;35:883-6.

<sup>196</sup> Sadeghi S. Shaping ability of NiTi rotary versus stainless steel hand instruments in simulated curved canals. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2010 Aug 15.

<sup>197</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369-75.

<sup>198</sup> McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. Remaining dentin/cementum thickness after hand or ultrasonic instrumentation. *J Endod.* 1990;16:109-13.

<sup>199</sup> Schäfer E, Florek H. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2003;36:199-207.

<sup>200</sup> Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1995;21:493-7.

obtenida es mucho más real que en bloques de resina<sup>201</sup>. Para solventar estos inconvenientes, en la medida de lo posible, los especímenes de este estudio fueron balanceados en cuatro grupos atendiendo a su ángulo y radio de curvatura (Tablas 2 y 3).

Diversos métodos han sido empleados para evaluar los cambios morfológicos del conducto radicular instrumentado, entre los que destacan: el método radiográfico<sup>202</sup>, la evaluación microscópica<sup>203</sup>, análisis mediante microscopio electrónico de barrido<sup>204</sup>, replica de conductos con diversos materiales<sup>205</sup>, método multiseccional con cortes transversales<sup>206</sup> o estudio con tomografía computerizada<sup>207</sup>. Este último permite la evaluación comparativa del sistema de conductos, antes y después de ser instrumentado, de manera no invasiva, sin desvirtuar o alterar la muestra<sup>208</sup>. Esto es una ventaja considerable respecto a otros sistemas de evaluación; sin embargo, debido al elevado coste y a la cantidad de tiempo necesaria para la tomografía computerizada<sup>209</sup>, tanto el método radiográfico como el multiseccional son ampliamente utilizados en la investigación endodóntica. De una manera rápida, barata y sencilla<sup>210</sup> la superposición radiográfica permite detectar errores en la conformación de conductos cuando las radiografías son comparadas mediante un software informático. No obstante, el método radiográfico por sí solo no permite evaluar el complejo sistema de conductos, ya que es una representación en dos dimensiones de la realidad<sup>211</sup>. El método multiseccional ideado por Bramante y cols.<sup>212</sup>, y sus numerosas modificaciones<sup>213,214,215,216,217</sup>, permiten una evaluación más tridimensional respecto al método radiográfico, pudiendo comparar directamente

<sup>201</sup> Stewart JT, Lafkowitz S, Appelbaum K, Hartwell G. Distortion and breakage of Liberator, EndoSequence, and ProFile systems in severely curved roots of molars. *J Endod.* 2010;36:729-31.

<sup>202</sup> Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32:271-5.

<sup>203</sup> Parris J, Wilcox L, Walton R. Effectiveness of apical clearing: histologic and radiographical evaluation. *J Endod.* 1994;20:219-24.

<sup>204</sup> Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S. A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *J Endod.* 1975;1:324-33.

<sup>205</sup> Goldman M, Sakurai-Fuse E, Turco J, White RR. A silicone model method to compare three methods of preparing the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989;68:457-61.

<sup>206</sup> Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13:243-5.

<sup>207</sup> Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dent Traumatol.* 1990;6:16-20.

<sup>208</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369-75.

<sup>209</sup> Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod.* 2001;27:1-6.

<sup>210</sup> Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. *J Endod.* 2003;29:587-91.

<sup>211</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod.* 2001;27:533-6.

<sup>212</sup> Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13:243-5.

<sup>213</sup> McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. A modification of the muffle model system to study root canal morphology. *J Endod.* 1990;16:114-5.

<sup>214</sup> Tamse A, Pilo R. A new muffle model system to study root canal morphology and instrumentation techniques. *J Endod.* 1998;24:540-2.

<sup>215</sup> Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. An improved technique for the evaluation of root canal preparation. *J Endod.* 1999;25:599-602.

<sup>216</sup> Zaia AA, Ferraz CCR, Yoshinari GH, de Souza Filho FJ. A simple method for the analysis of root canal preparation. *J Endod.* 2000;26:172-4.

<sup>217</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod.* 2001;27:533-6.

fotografías obtenidas de las distintas secciones transversales antes y después de la instrumentación<sup>218</sup>. Entre los problemas más comunes que ocurren en la mayoría de estos sistemas de enmuflado podemos destacar el hecho de que durante la instrumentación ocurren micromovimientos de las diferentes secciones<sup>219</sup>, a medida que es introducida la lima, incurriendo en errores involuntarios y desgastes anómalos de las paredes de los conductos. Con la utilización del cubo endodóntico ideado por Kuttler y cols.<sup>220</sup> se minimiza este problema, gracias a las numerosas fijaciones externas e internas que presenta esta mufla modificada. Igualmente, debido a la discontinuidad en las muestras, la irrigación es otro problema que requiere el sellado de las secciones mediante laboriosas impresiones de caucho<sup>221</sup> para impedir la fuga de la solución irrigadora. Con el cubo endodóntico desaparece este problema, ya que es un compartimento estanco que aloja todo el volumen de la solución irrigadora utilizada. La superposición en las radiografías de pines y otros elementos de fijación también queda solucionado con el cubo endodóntico que permite realizar radiografías mesio-distales y buco-linguales.

En este estudio utilizamos tanto el método radiográfico como el método multiseccional para evaluar la conformación de conductos radiculares curvos con los sistemas M2 y TF. Las fotografías y radiografías obtenidas fueron digitalizadas, analizadas y mejoradas con software de edición de imagen. Coleman y cols.<sup>222</sup> indicaron que la digitalización y tratamiento informático facilita la superposición de las imágenes pre-instrumentación y post-instrumentación, permitiendo detectar y resaltar los bordes y contornos de la imagen, medir las áreas y la morfología del conducto de una manera objetiva y reproducible. Así, el resalte del contorno se muestra muy útil en el diagnóstico<sup>223</sup>.

Muchos estudios se han basado en el método de Schneider<sup>224</sup> para medir los ángulos de curvatura de las raíces analizadas. Sin embargo, esta medida en cualquier curvatura del conducto radicular es más exacta teniendo en cuenta el ángulo y el radio de la misma<sup>225</sup>. En este sentido se ha demostrado que además del ángulo, el radio de curvatura influye significativamente en la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos<sup>226</sup>. En este estudio

<sup>218</sup> Coleman CL, Svec TA, Rieger MR, Suchina JA, Wang MM, Glickman GN. Analysis of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation by means of direct digital imaging. *J Endod.* 1996;22:603-7.

<sup>219</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod.* 2001;27:533-6.

<sup>220</sup> Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod.* 2001;27:533-6.

<sup>221</sup> Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13:243-5.

<sup>222</sup> Coleman CL, Svec TA, Rieger MR, Suchina JA, Wang MM, Glickman GN. Analysis of nickel-titanium *versus* stainless steel instrumentation by means of direct digital imaging. *J Endod.* 1996;22:603-7.

<sup>223</sup> Nair MK, Nair UP. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod.* 2007;33:1-6.

<sup>224</sup> Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32:271-5.

<sup>225</sup> Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:1469-76.

<sup>226</sup> Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77-85.

utilizamos el método de Pruett y cols.<sup>227</sup> para la determinación del ángulo y radio de la curvatura de las raíces utilizadas. A pesar de las variaciones anatómicas encontradas en los especímenes, la distribución por grupos se realizó de forma equitativa en cuanto al radio y ángulo de curvatura de los conductos.

Existen diferencias en cuanto al número de cortes transversales evaluados según los estudios. Gambill y cols.<sup>228</sup> evaluaron un total de seis cortes transversales a 1.5, 3.5, 5.5, 7.5, 9.5 y 11.5 mm de longitud de la trabajo; sin embargo otros autores<sup>229,230,231</sup> evaluaron únicamente tres secciones concordantes con los tercios apical, medio y coronal. En este estudio cada raíz fue seccionada a 2, 4, 6, 8, 10 y 12 mm de la longitud de trabajo; sin embargo, sólo fueron evaluadas las secciones a 2, 6 y 10 mm, representativas de los tercios apical, medio y coronal, respectivamente.

La preparación del conducto radicular con sistemas mecanizados permite al clínico la realización de tratamientos en un tiempo menor, con un mayor confort tanto para el paciente como para el profesional<sup>232</sup>. En este sentido, los sistemas M2 y TF abogan por secuencias de uso sencillas, con pocos instrumentos y velocidades de funcionamiento recomendadas de 280 rpm para el sistema M2 y de 500 rpm para el sistema TF. En el presente trabajo, el grupo 60-99M2 necesitó significativamente más tiempo para la instrumentación de conductos radiculares con curvatura severa que el grupo 30-59M2 ( $p=0,025$ ) (Tabla 4). La instrumentación con este sistema fue realizada sin vía de deslizamiento previa, siguiendo las recomendaciones del fabricante y los resultados avalados por la primera parte de esta investigación<sup>233</sup>. Es posible que, al no realizar una vía de deslizamiento previa, la instrumentación se vea dificultada y la conformación sea más lenta en los conductos de curvatura severa. Por otra parte, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos instrumentados con TF, lo que podría atribuirse al proceso de fabricación de las limas TF, facilitando en todos los casos la instrumentación en estos conductos difíciles. La mayor velocidad de uso recomendada por el fabricante para el sistema TF (500 rpm) pudo ser responsable de las diferencias encontradas en el tiempo de trabajo entre ambos sistemas, aunque no se encontraran diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas.

Uno de los objetivos de la instrumentación es proporcionar una forma cónica desde la zona

<sup>227</sup> Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77-85.

<sup>228</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369-75.

<sup>229</sup> Ponti TM, McDonald NJ, Kuttler S, Strassler HE, Dumsha TC. Canal-centering ability of two rotary file systems. *J Endod.* 2002;28:283-6.

<sup>230</sup> Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:402-8.

<sup>231</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

<sup>232</sup> Yared G, Bou Dagher FE, Kulkarni K. Influence of torque control motors and the operator's proficiency on ProTaper failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003;96:229-33.

<sup>233</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

coronal de los conductos hacia la zona apical, respetando su anatomía original<sup>234</sup>, facilitando una adecuada irrigación y obturación de los conductos<sup>235</sup>. Las aleaciones de NiTi han demostrado tener un módulo de elasticidad mucho menor que el acero inoxidable<sup>236,237,238,239,240</sup>. Este hecho hace posible una instrumentación mejorada del conducto radicular, sobre todo en conductos curvos, dando lugar a preparaciones más centradas que respetan la anatomía original.

Diversos estudios han valorado el transporte apical y la capacidad de centrado producido por sistemas rotatorios de NiTi y limas manuales de acero inoxidable, utilizando para ello métodos de sección transversal seriada. Estos autores<sup>241,242,243,244,245</sup> encontraron que las limas de NiTi respetaban mejor la anatomía de los conductos, produciendo menos errores iatrogénicos que las limas de acero inoxidable. A pesar de las mejoras del NiTi respecto del acero inoxidable, los instrumentos son rectos y cuando una lima de NiTi trabaja en un conducto curvo, tiene una tendencia a recobrar su forma original, debido a la propiedad de pseudoelasticidad<sup>246</sup>, desviándose de la trayectoria original del conducto<sup>247,248</sup>. Esta situación causa una pequeña disminución en el ángulo de curvatura, produciendo lo que se conoce como enderezamiento del conducto.

Las limas Twisted Files presentan un módulo de elasticidad menor que las limas de NiTi convencionales gracias al tratamiento térmico de la aleación (Fase-R), a su fabricación por torsionado en lugar de por torneado, y al electropulido de su superficie<sup>249</sup>. A igualdad de conicidad y calibre en la punta, un menor módulo de elasticidad de la lima podría traducirse en un comportamiento mejor en conductos curvos, permitiendo una conformación más respetuosa con la anatomía original. En nuestro estudio, el calibre apical de la preparación se realizó con la

<sup>234</sup> Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18:269–96.

<sup>235</sup> Walton RE. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endod.* 1976;2:304–11.

<sup>236</sup> Glosson CR, Haller RH, Dove B, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni–Ti hand, Ni–Ti engine-driven and K-Flex endodontic instruments. *J Endod.* 1995;21:146–51.

<sup>237</sup> Schäfer E, Florek H. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2003;36:199–207.

<sup>238</sup> Weine FS. The use of non-ISO-tapered instruments for canal flaring. *Compend Contin Educ Dent* 1996;17:651–63.

<sup>239</sup> Thompson SA, Dummer PMH. Shaping ability of Lightspeed rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: part 1. *J Endod.* 1997;23:698–702.

<sup>240</sup> Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety: status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent.* 2001;14:324–33.

<sup>241</sup> Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J Endod.* 1997;23:503–7.

<sup>242</sup> Jardine SJ, Gulabivala K. An in vitro comparison of canal preparation using two automated rotary nickel-titanium instrumentation techniques. *Int Endod J.* 2000;33:381–91.

<sup>243</sup> Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and Hero 642 rotary Ni–Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358–66.

<sup>244</sup> Park H. A comparison of Greater Taper files, ProFiles, and stainless steel files to shape curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;91:715–8.

<sup>245</sup> Versümer J, Hülsmann M, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using ProFile.04 and Lightspeed rotary Ni–Ti instruments. *Int Endod J.* 2002;35:37–46.

<sup>246</sup> Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297–310.

<sup>247</sup> Wildey WL, Senia ES, Montgomery S. Another look at root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1992;74:499–507.

<sup>248</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369–75.

<sup>249</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904–7.



misma conicidad y tamaño de punta (M2 #25/06 y TF #25/06), igualando así el volumen de metal de la lima, dado que el incremento del volumen de metal disminuye la flexibilidad del instrumento<sup>250</sup>. En nuestros resultados, el enderezamiento osciló entre 7.9-9.4° para los grupos instrumentados con M2 y entre 8.4-13.7° para los grupos instrumentados con TF (Tabla 5). En el trabajo de Bürklein y Schäfer<sup>251</sup>, realizado con el sistema M2, se obtuvieron rangos de enderezamiento de 1-2.69°, aunque el nivel de curvatura de sus raíces variaba de 25 a 35°. Sin embargo, en esta investigación, la mayor conicidad empleada con el sistema TF podría explicar el mayor enderezamiento obtenido en los conductos del grupo 60-99TF. Nuestros resultados sugieren que la tendencia a enderezar el conducto incrementa con la severidad de la curva.

La pérdida de longitud de trabajo se ve influenciada por el enderezamiento del conducto radicular, tras la instrumentación y/o por el acúmulo de detritus en el tercio apical. La acumulación de detritus puede favorecer el fracaso o hacer peligrar el éxito del tratamiento endodóntico<sup>252</sup>. El ángulo helicoidal, el pitch variable, así como la profundidad de surco de los sistemas M2 y TF facilita enormemente la evacuación de los detritus; por lo que es probable que el acortamiento de la longitud de trabajo se deba al enderezamiento producido. Iqbal y cols.<sup>253</sup>, usando el método de superposición radiográfica, en raíces mesiales curvas de molares inferiores, encontraron una pérdida de longitud de trabajo entre 0,15-0,30 mm utilizando diferentes sistemas de instrumentación, aunque no indicaron el grado de curvatura de las muestras empleadas. Veltri y cols.<sup>254</sup> usando los sistemas M2 y Hero Shaper, en conductos mesiales de molares inferiores con curvaturas de 24-69°, encontraron una pérdida de longitud de trabajo de 0,55 mm con M2 y 0,58 mm con Hero Shaper. En este estudio obtuvimos rangos de pérdida de longitud de trabajo entre 0,25-0,37 mm con M2 y 0,28-0,43 con TF (Tabla 5), aunque no existieron diferencias significativas entre ellos.

El enderezamiento de los instrumentos hace que no sean capaces de mantenerse perfectamente centrados, desviándose de la trayectoria original del conducto<sup>255</sup> y produciendo un accidente iatrogénico conocido como transporte del conducto. Este hecho es de suma importancia, ya que se ha demostrado la relación entre este tipo de accidentes con la presencia de periodontitis apicales postratamiento<sup>256,257</sup>. Nuestros resultados se encuentran alejados del ideal (100%) para mantener el eje del conducto centrado, indicando que hubo cierto grado de

<sup>250</sup> Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V. Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper. *Aust Endod J.* 2007;33:73-81.

<sup>251</sup> Bürklein S, Schäfer E. The influence of various automated devices on the shaping ability of Mtwo rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2006;39:945-51.

<sup>252</sup> Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-67.

<sup>253</sup> Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B, Kim S. Comparison of apical transportation between ProFile and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:359-64.

<sup>254</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>255</sup> Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anti-curvature filing method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc.* 1980;101:792-4.

<sup>256</sup> Pettiette MT, Delano EO, Trope M. Evaluation of success rate of endodontic treatment performed by students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand-files. *J Endod.* 2001;27:124-7.

<sup>257</sup> Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod.* 2004;30:1-4.

transporte en la mayoría de los especímenes (Tabla 11). Los valores oscilaron entre un 35-53% para los grupos instrumentados con el sistema M2 y entre un 28-35% para los grupos instrumentados con el sistema TF, aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas en la comparación por sistemas (Tabla 13), ni por curvaturas (Tabla 12).

Otros estudios han mostrado mejores resultados respecto a la capacidad de centrado de los instrumentos<sup>258,259</sup>; sin embargo, estos trabajos utilizaron raíces que no excedieron los 35 grados de curvatura, por lo que parece existir una relación entre la capacidad de centrado y la severidad de la curva<sup>260,261</sup>. En este sentido, la sección apical obtuvo los resultados más bajos en cuanto al centrado del eje con ambos sistemas (Tabla 11), debido probablemente a la mayor fuerza de retroceso a la que se encuentran sometidos los instrumentos en curvaturas pronunciadas, sobre todo en el tercio apical<sup>262</sup>; aunque estas diferencias no llegaron a ser estadísticamente significativas comparadas con los tercios coronal y medio (Tabla 14).

Gergi y cols.<sup>263</sup> evaluaron la capacidad de centrado de los instrumentos TF respecto al sistema Path File-ProTaper y a limas de acero inoxidable; y concluyeron que el sistema TF era el que mejor capacidad de centrado tenía, tanto en los tercios coronal como apical, atribuyendo este hecho a las características de fabricación de los instrumentos. No obstante, los resultados de capacidad de centrado no fueron publicados en su trabajo. Algunos autores<sup>264,265</sup> señalan al diseño del instrumento como responsable de mantenerse centrado; de ahí que elementos como los apoyos radiales fueran ideados para limitar el corte de los instrumentos y mantenerlos centrados dentro del conducto. En este sentido, el sistema M2 presenta una superficie recesiva, similar a la de las limas Hedström o a la del sistema Dynatrac (McSpaden, 1977), que si bien no es igual a los apoyos radiales, realiza una función parecida<sup>266</sup>. Las diferencias en el diseño del instrumento podrían explicar la mejor capacidad de centrado del sistema M2.

Es conocido que las limas de acero inoxidable producen un mayor transporte apical que las limas de níquel-titanio; no obstante, las limas de NiTi también pueden producir transporte del

<sup>258</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369-75.

<sup>259</sup> Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:402-8.

<sup>260</sup> Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-67.

<sup>261</sup> Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 2. *Int Endod J.* 2000;33:255-61.

<sup>262</sup> Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balancedforce technique in endodontics. *J Endod.* 1994;20:332-7.

<sup>263</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

<sup>264</sup> Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B, Kim S. Comparison of apical transportation between ProFile and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:359-64.

<sup>265</sup> Mahran AH, AboEl-Fotouh MM. Comparison of effects of ProTaper, HeroShaper, and Gates Glidden Burs on cervical dentin thickness and root canal volume by using multislice computed tomography. *J Endod.* 2008;34:1219-22.

<sup>266</sup> McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books. 2007. p.32-33.



conducto<sup>267</sup>. Debido a que el transporte apical en conductos curvos incrementa a medida que aumenta el tamaño de la punta<sup>268</sup>, en este trabajo se instrumentó hasta un tamaño #25 con M2 y TF, teniendo en cuenta la curvatura acusada que presentaban los especímenes. El transporte apical es un accidente que acontece durante la instrumentación y que está relacionado con el fracaso, tanto del tratamiento endodóntico como del retratamiento no quirúrgico, debido probablemente a la menor limpieza que se realiza en la zona apical de estos especímenes con la anatomía del conducto alterada<sup>269</sup>. Weine y cols.<sup>270</sup> indicaron que una anatomía del conducto alterada en forma de zip apical, tendría una mayor dificultad para ser sellada con los diferentes materiales de obturación. En este sentido, Wu y cols.<sup>271</sup> mostraron que un transporte apical mayor de 0,3 mm podría tener un efecto negativo en el sellado de la obturación.

En la presente estudio, debido a la pérdida de longitud de trabajo existente en algunas muestras, el transporte apical fue medido radiográficamente a 1 y 2 mm de longitud de trabajo. El transporte apical no superó los 0,15 mm, ni con el sistema M2 ni con el sistema TF (Tabla 5) no existiendo diferencias estadísticamente significativas entre los resultados de ambos sistemas. Estos resultados coinciden con los de otros estudios que evaluaron el sistema M2<sup>272,273,274</sup>, encontrando valores similares a los nuestros aunque con una metodología diferente.

El transporte del conducto fue medido mediante cortes seccionales transversales, representativos de los tercios apical, medio y coronal (Tabla 16). En ningún grupo, el transporte medio superó los 0,17 mm y aunque los grupos instrumentados con el sistema M2 obtuvieron el mayor grado de transporte en los tres tercios de estudio, no existieron diferencias estadísticamente significativas al comparar los resultados entre sistemas (Tabla 17), ni entre curvaturas (Tabla 16). Un estudio reciente<sup>275</sup> encontró valores menores de transporte con el sistema TF, aunque las raíces utilizadas para ello presentaban unas curvaturas entre 25-35°. Por otra parte se ha señalado que es en el tercio apical del conducto donde más transporte se

---

<sup>267</sup> López FU, Fachin EV, Camargo Fontanella VR, Barletta FB, Só MV, Grecca FS. Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters. *J Endod.* 2008;34:1545-8.

<sup>268</sup> Setzer FC, Kwon TK, Karabucak B. Comparison of apical transportation between two rotary file systems and two hybrid rotary instrumentation sequences. *J Endod.* 2010;36:1226-9.

<sup>269</sup> Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod.* 2004;30:1-4.

<sup>270</sup> Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod.* 1975;1:255-62.

<sup>271</sup> Wu MK, Fan B, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings in curved root canals: part I—effects of apical transportation on seal of root fillings. *J Endod.* 2000;26:210-6.

<sup>272</sup> Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.

<sup>273</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

<sup>274</sup> Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J.* 2005;38:610-6.

<sup>275</sup> Gergi R, Rjaily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

produce, debido a la mayor fuerza de retroceso del instrumento en su punta<sup>276</sup>; sin embargo, en esta investigación hubo una distribución homogénea del transporte, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre los tres tercios de estudio.

El diseño y las técnicas de instrumentación de los sistemas NiTi parecen tener un papel fundamental a la hora de conformar los conductos radiculares. Dependiendo de la forma, la geometría y las propiedades torsionales de los instrumentos, el riesgo de producir errores de procedimiento pueden variar<sup>277</sup>. En este sentido, un reciente estudio mostró mayor estrés flexural y torsional en secciones triangulares que en secciones en S itálica<sup>278</sup>. No obstante, las características de flexibilidad atribuidas al proceso de fabricación en fase-R del sistema TF parecen contribuir a la obtención de transportes apicales mínimos con este sistema<sup>279</sup>.

Roane y cols.<sup>280</sup> indicaron que una técnica corono-apical reduce la fricción de las limas dentro del conducto, permitiendo un mejor centrado de las mismas durante la instrumentación. Esta menor fricción podría reducir el transporte apical en conductos curvos al trabajar las limas más libremente, ya que sólo una parte de la lima corta dentina<sup>281</sup>. Las limas TF utilizan una técnica corono-apical como la mayoría de los sistemas rotatorios; sin embargo, aunque varios estudios han analizado las fuerzas torsionales sufridas en una técnica corono-apical<sup>282,283,284</sup>, el torque sufrido con la técnica de longitud simple que utiliza el sistema Mtwo no ha sido evaluado<sup>285</sup>.

No encontramos diferencias estadísticamente significativas en cuanto a transporte transversal del conducto entre los sistemas Mtwo y Twisted Files. Es probable que, a pesar de las diferencias en la fabricación y en el módulo mayor de elasticidad de las limas TF, el diseño del instrumento tenga una influencia especial en el comportamiento del mismo dentro del conducto<sup>286,287,288</sup>.

Como los instrumentos tienden a enderezarse dentro del conducto se producirá un desgaste

<sup>276</sup> Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endod.* 1994;20:332-7.

<sup>277</sup> Setzer FC, Kwon TK, Karabucak B. Comparison of apical transportation between two rotary file systems and two hybrid rotary instrumentation sequences. *J Endod.* 2010;36:1226-9.

<sup>278</sup> Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behaviour of nickel-titanium instruments under torsion and bending: a numerical analysis. *J Endod.* 2010;36:1394-8.

<sup>279</sup> Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod.* 2010;36:904-7.

<sup>280</sup> Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11:203-11.

<sup>281</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

<sup>282</sup> Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod.* 2004;30:228-30.

<sup>283</sup> Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod.* 2003;29:567-75.

<sup>284</sup> Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Qualitative description of a new preparation technique: the balanced-force motion using the Endographe. *J Endod.* 2001;27:503-7.

<sup>285</sup> Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.

<sup>286</sup> Iqbal MK, Banfield B, Lavorini A, Bachstein B. A comparison of LightSpeed LS1 and LightSpeed LSX NiTi rotary instruments in apical transportation and length control in simulated root canals. *J Endod.* 2007;33:268-71.

<sup>287</sup> Karabucak B, Gatan AJ, Hsiao C, Iqbal MK. A comparison of apical transportation and length control between EndoSequence and Guidance rotary instruments. *J Endod.* 2010;36:123-5.

<sup>288</sup> Setzer FC, Kwon TK, Karabucak B. Comparison of apical transportation between two rotary file systems and two hybrid rotary instrumentation sequences. *J Endod.* 2010;36:1226-9.

asimétrico de las paredes dentinarias<sup>289</sup>, existiendo una tendencia general de las limas NiTi a sobreinstrumentar hacia la pared externa de la curva, en las áreas apicales, y hacia la pared interna de la curva, en las zonas más coronales<sup>290,291</sup>. En este estudio, en un 73.3% de las raíces instrumentadas con M2 y TF se produjo un transporte del conducto hacia la pared interna de la curva en el tercio coronal; mientras que en el tercio apical, en un 47.7% de las raíces instrumentadas con M2 y en un 66.6% de las muestras instrumentadas con TF se produjo un transporte del conducto hacia la pared externa de la curva (Tabla 19).

En el tercio coronal del conducto, la mayor cantidad de instrumentación ocurre hacia la pared interna coincidiendo con la zona furcal y la concavidad radicular en las raíces mesiales de los molares, denominada por algunos autores como "zona de peligro"<sup>292</sup>. Esta instrumentación puede verse agravada por el abuso de limas rotatorias de gran conicidad (4% en adelante)<sup>293</sup>, ya que tienen una mayor tendencia a enderezarse al ser más rígidas. El mayor desgaste de la zona de peligro puede ocasionar una perforación lateral, sobre todo en los 4-6 mm más coronales del conducto<sup>294</sup>, pudiendo hacer peligrar el éxito del tratamiento endodóntico<sup>295</sup>. Lim y cols.<sup>296</sup> mostraron que el espesor mínimo para que la pared radicular del conducto resista las fuerzas de obturación es de 0,2-0,3 mm. En el presente trabajo consideramos 0,5 mm de pared radicular como espesor mínimo de seguridad, coincidiendo con otros estudios donde evaluaron el riesgo de perforación en la instrumentación del conducto radicular<sup>297,298</sup>. En nuestro estudio hemos analizado la cercanía a la zona de furca en los tercios coronal y medio de todas los especímenes. Tan sólo dos muestras del grupo 30-59M2 y una muestra del grupo 30-59TF (Tabla 20) presentaron un grosor de pared radicular menor de 0,5 mm (13,3% y 6,7% respectivamente), relacionándose este hecho con la configuración anatómica inicial de estas muestras.

La diferencia en las conicidades de distintos sistemas podría influir en la cantidad de dentina removida. En este sentido, Paqué y cols.<sup>299</sup> encontraron diferencias significativas en la cantidad

<sup>289</sup> Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-67.

<sup>290</sup> Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:402-8.

<sup>291</sup> Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod.* 1996;22:369-75.

<sup>292</sup> Mahran AH, AboEl-Fotouh MM. Comparison of effects of ProTaper, HeroShaper, and Gates Glidden Burs on cervical dentin thickness and root canal volume by using multislice computed tomography. *J Endod.* 2008;34:1219-22.

<sup>293</sup> Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C. Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals. *Int Endod J.* 2008;41:1088-92.

<sup>294</sup> Kessler JR, Peters DD, Lorton L. Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *J Endod.* 1983;9:439-47.

<sup>295</sup> Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anticurvature filing method to prepare the curved canal. *J Am Dent Assoc.* 1980;101:792-4.

<sup>296</sup> Lim SS, Stock CJR. The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filing compared with the stepback technique. *Int Endod J.* 1987;20:33-9.

<sup>297</sup> McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. Remaining dentin/cementum thickness after hand or ultrasonic instrumentation. *J Endod.* 1990;16:109-13.

<sup>298</sup> Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C. Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals. *Int Endod J.* 2008;41:1088-92.

<sup>299</sup> Paqué F, Musch U, Hülsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005;38:8-16.

de dentina removida con ProTaper respecto a Race en el tercio coronal, atribuyendo este hecho a las distintas conicidades de los instrumentos. La severidad de la curva también podría influir en la dirección y la cantidad de dentina removida<sup>300</sup>, una curva más pronunciada provocaría una mayor tendencia al enderezamiento de las limas de NiTi, eliminando, por tanto, mayor cantidad de dentina hacia la dirección de enderezamiento. En la comparación por curvaturas de la cantidad de dentina removida no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre curvaturas moderadas y severas (Tabla 10). Asimismo, una técnica corono-apical podría implicar una mayor cantidad de dentina removida que una técnica de longitud simple, sobre todo en los tercios coronal y medio, debido a que en esta técnica se comienza a instrumentar con conicidades grandes desde coronal hacia apical. En nuestro trabajo, el tercio en el que más dentina se eliminó, con ambos sistemas, fue en el coronal; sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas en la comparación entre Mtwo y Twisted Files (Tabla 9). Esto podría deberse a que, a pesar de que el sistema TF utiliza limas de mayor conicidad que el sistema M2, sus limas fueron usadas coronalmente hasta encontrar resistencia, mientras que la preparación apical fue finalizada con una lima #25/06 en ambos sistemas.

---

<sup>300</sup> Nie M, Zhao XC, Peng B, Fan MW, Bian Z. Evaluation of preparation of curved root canals using hand-used ProTaper. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. Chinese. 2009;44:262-5.



## **6. CONCLUSIONES**



## 6. CONCLUSIONES

1. La realización de una vía de deslizamiento manual previa a la instrumentación rotatoria con el sistema M2 no aportó mejoras en la conformación de conductos radiculares curvos.
2. El enderezamiento del conducto radicular, así como el transporte apical producido por los sistemas rotatorios M2 y TF fue similar. Los grupos de mayor curvatura tuvieron un mayor enderezamiento. El transporte apical medio no superó los 0,15 mm en ningún grupo, resultados con escasa significación clínica.
3. Existió pérdida de longitud de trabajo en la mayoría de las muestras como consecuencia del enderezamiento de la curvatura, oscilando entre 0,25-0,37 mm con M2 y 0,28-0,43 con TF. El tiempo medio de instrumentación fue inferior a 7 minutos aunque el sistema M2 tardó significativamente más tiempo en instrumentar el grupo de curvatura severa. El tiempo empleado en instrumentar los conductos con TF no se vio influido por el grado de curvatura.
4. Los sistemas M2 y TF no se mantuvieron centrados durante la instrumentación de conductos curvos, obteniendo un grado de transporte similar. Existió una tendencia a transportar el conducto hacia su pared interna en el tercio coronal y hacia su pared externa en el tercio apical.
5. Tanto M2, como TF eliminaron una cantidad de dentina parecida, mostrándose seguros en la conformación del conducto en la zona de peligro.





## **7. BIBLIOGRAFÍA**



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH. The anti-curvature filing method to prepare the curved root canal. *J Am Dent Assoc.* 1980;101:792–4.
- Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety: status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent.* 2001;14:324–33.
- Berutti E, Cantatore G, Castellucci A, Chiandussi G, Pera F, Migliaretti G *et al.* Use of nickel-titanium rotary PathFile to create the glide path: comparison with manual preflaring in simulated root canals. *J Endod.* 2009;35:408–12. Erratum in: *J Endod.* 2009;35:1606.
- Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper instruments. *J Endod.* 2004;30: 228–30.
- Blum JY, Cohen P, Machtou P, Micallet JP. Analysis of forces developed during mechanical preparation of extracted teeth using ProFile NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 1999;32:24–31.
- Blum JY, Machtou P, Micallef JP. Qualitative description of a new preparation technique: the balanced-force motion using the Endographe. *J Endod.* 2001;27:503–7.
- Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod.* 2003;29:567–75.
- Bonaccorso A, Cantatore G, Condorelli GG, Schäfer E, Tripi TR. Shaping ability of four nickel-titanium rotary instruments in simulated S-shaped canals. *J Endod.* 2009;35:883–6.
- Bramante CM, Berbert A, Borges RP. A methodology for evaluation of root canal instrumentation. *J Endod.* 1987;13:243–5.
- Brantley W. Aleaciones para forjado. En: Phillips. *Ciencia de los materiales dentales.* 11ª edición. Elsevier; 2004. p. 648.
- Brau Aguadé E, Canalda Sahli C, Berástegui Jimeno E. Cutting efficiency of k-files manufactured with different metallic alloys. *Endod Dent Traumatol.* 1996;12:286–288.
- Buehler WJ, Gilfrich JW, Wiley RC. Effects of low-temperature phase changes on the mechanical properties of alloys near composition TiNi. *J Appl Phys.* 1963;34:475.
- Bürklein S, Schäfer E. The influence of various automated devices on the shaping ability of Mtwo rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J.* 2006;39:945–51.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 159.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 161.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 164.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 165.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 176–180.

- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 177.
- Canalda Sahli C. Preparación de los conductos radiculares. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 178.
- Canalda Sahli C, Pumarola Suñé J. Retratamiento no quirúrgico de los fracasos endodóncicos. En: Canalda Sahli C, Brau Aguadé E, eds. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2ª edición. Barcelona: Masson; 2006. p. 290.
- Civjan S, Huget EF, DeSimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (nitinol) alloys. *J Dent Res*. 1975;54:89-96.
- Clem WH. Endodontics: the adolescent patient. *Dent Clin North Am*. 1969;13:482-93
- Coleman CL, Svec TA, Rieger MR, Suchina JA, Wang MM, Glickman GN. Analysis of nickel-titanium versus stainless steel instrumentation by means of direct digital imaging. *J Endod*. 1996;22:603-7.
- De la Flor, S. Ensayos para la caracterización de aleaciones con memoria de forma NiTi. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2002.
- Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C. Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals. *Int Endod J*. 2008;41:1088-92.
- Espósito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel titanium and stainless steel instruments. *J Endod*. 1995;21:173-176.
- Fava LR. The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. *J Endod*. 1983;9:76-80.
- Fife D, Gambarini G, Britto LrL. Cyclic fatigue testing of ProTaper NiTi rotary instruments after clinical use. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004;97: 251-6.
- Gambarini G, Gerosa R, De Luca M, Garala M, Testarelli L. Mechanical properties of a new and improved nickel-titanium alloy for endodontic use: an evaluation of file flexibility. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2008;105:798-800.
- Gambarini G, Grande NM, Plotino G, Somma F, Garala M, De Luca M *et al*. Fatigue resistance of engine-driven rotary nickel-titanium instruments produced by new manufacturing methods. *J Endod*. 2008;34:1003-5.
- Gambarini G. Rationale for the use of low-torque endodontic motors in root canal instrumentation. *Endodon Dent Traumatol*. 2000;16:95-100.
- Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod*. 1996;22:369-75.
- Gambill JM, Alder M, del Rio CE. Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod*. 1996;22:369-75.
- Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Johnson WB. effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod*. 2010;36:1205-9.
- Gergi R, Rjeily JA, Sader J, Naaman A. Comparison of canal transportation and centering ability of twisted files, Pathfile-ProTaper system, and stainless steel hand K-files by using computed tomography. *J Endod*. 2010;36:904-7.
- Glosson CR, Haller RH, Dove B, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven and K-Flex endodontic instruments. *J Endod*. 1995;21:146-51.
- Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH. Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod*. 1982;8:550-4.

- Goldman M, Sakurai-Fuse E, Turco J, White RR. A silicone model method to compare three methods of preparing the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1989;68:457-61.
- Gorni FG, Gagliani MM. The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *J Endod.* 2004;30:1-4.
- Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J.* 2006;39:755-63.
- Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J.* 2005;38:743-52.
- Haikel Y, Serfaty R, Bateman G, Senger B, Allemann C. Dynamic and cyclic fatigue of engine-driven rotary nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1999;25: 434-40.
- Helmut W. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am.* 2004;48:183-202.
- Hilfer PB, Bergeron BE, Mayerchak MJ, Roberts HW, Jeansonne BG. Multiple autoclave cycle effects on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary files produced by new manufacturing methods. *J Endod.* 2011;37:72-4.
- Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 250.
- Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 252-253.
- Himel VT, McSpadden JT, Goodis HE. Instrumentos, materiales y dispositivos. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 256.
- Honardar K, Vesal N, Hamze F, Nazarimoghadam K, Labaf H, Shakeri L. A comparison of Mtwo rotary file with K-file on negotiation of second mesiobuccal canal in maxillary first molar: A clinical study. *Iranian Endodontic J.* 2008;3:29-32.
- Hülsmann M, Gambal A, Bahr R. An improved technique for the evaluation of root canal preparation. *J Endod.* 1999;25:599-602.
- Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and Hero 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2003;36:358-66.
- Inan U, Gonulol N. Deformation and fracture of Mtwo rotary nickel-titanium instruments after clinical use. *J Endod.* 2009;35:1396-9.
- Ingle JL, Levine M. The need for uniformity of endodontic instruments, equipment, and filling materials, transactions. Second International Conference of Endodontics. Philadelphia: University of Pennsylvania. 1958.
- International Organization for Standardization: Dental Root-Canal Instruments. Part 1. Files, Reamers, Barbed Broaches, Rasps, Paste Carriers, Explorers and Cotton Broaches, Geneva, 1992, The Organization.
- Iqbal MK, Banfield B, Lavorini A, Bachstein B. A comparison of LightSpeed LS1 and LightSpeed LSX NiTi rotary instruments in apical transportation and length control in simulated root canals. *J Endod.* 2007;33:268-71.
- Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B & Kim S. Comparison of apical transportation between Profile and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:359-364.
- Iqbal MK, Firic S, Tulcan J, Karabucak B & Kim S. Comparison of apical transportation between Profile and ProTaper NiTi rotary instruments. *Int Endod J.* 2004;37:359-364.
- Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. *J Endod.* 2003;29:587-91.
- Jardine SJ, GulabivalaK. An in vitro comparison of canal preparation using two automated rotary nickel-titanium instrumentation techniques. *Int Endod J.* 2000;33:381-91.

- Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K. Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod.* 2008;34:1406-9.
- Karabucak B, Gatan AJ, Hsiao C, Iqbal MK. A comparison of apical transportation and length control between EndoSequence and Guidance rotary instruments. *J Endod.* 2010;36:123-5.
- Kessler JR, Peters DD, Lorton L. Comparison of the relative risk of molar root perforations using various endodontic instrumentation techniques. *J Endod.* 1983;9:439-47.
- Kim HC, Yum J, Hur B, Cheung GS. Cyclic fatigue and fracture characteristics of ground and twisted nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2010;36:147-52.
- Kobayashi C, Yoshioka T, Suda H. A new motor-driven canal preparation system with electronic canal measuring capability. *J Endod.* 1997;23:751-4.
- Krupp JD, Brantley WA, Gerstein H. An investigation of the torsional and bending properties of seven brands of endodontic files. *J Endod.* 1984;10:372-80.
- Kuttler S, Garala M, Perez R, Dorn SO. The endodontic cube: a system designed for evaluation of root canal anatomy and canal preparation. *J Endod.* 2001;27:533-6.
- Kyomen SM, Caputo AA, White SN. Critical analysis of the balanced force technique in endodontics. *J Endod.* 1994;20:332-7.
- Larsen CM, Watanabe I, Glickman GN, He J. Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:401-3.
- Leonardo MR. Perfeccionamiento y simplificación de técnicas endodóncicas. En: Leonardo MR, Leonardo RT. *Instrumentos Rotatorios en Endodoncia, instrumentos de níquel-titanio.* Artes Médicas Latinoamérica; 2002. p.4-6.
- Li UM, Lee BS, Shih CT, Lan WH, Lin CP. Cyclic fatigue of endodontic nickel titanium rotary instruments: static and dynamic tests. *J Endod.* 2002;28:448-51.
- Li Z, Yu JT, Shou FY, Li L, Wu HB. Comparative study on the shaping ability of canals with 2 new nickel-titanium rotary instruments. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue.* Chinese. 2010;19:100-3.
- Lim SS, Stock CJR. The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filing compared with the stepback technique. *Int Endod J.* 1987;20:33-9.
- López FU, Fachin EV, Camargo Fontanella VR, Barletta FB, Só MV, Grecca FS. Apical transportation: a comparative evaluation of three root canal instrumentation techniques with three different apical diameters. *J Endod.* 2008;34:1545-8.
- Luebke NH, Brantley WA, Alapati SB, Mitchell JC, Lausten LL, Daehn GS. Bending fatigue study of nickel-titanium Gates Glidden drills. *J Endod.* 2005;31:523-5.
- Machado ME, Sapia LA, Cai S, Martins GH, Nabeshima CK. Comparison of two rotary systems in root canal preparation regarding disinfection. *J Endod.* 2010;36:1238-40.
- Maggiore F. Endodontic preparation of curved root canals using the mac files: evaluation using a radiographic method and a computerized analysis. Master's Thesis. Rome: University of Rome 'La Sapienza'; 1994.
- Mahrán AH, AboEl-Fotouh MM. Comparison of effects of ProTaper, HeroShaper, and Gates Glidden Burs on cervical dentin thickness and root canal volume by using multislice computed tomography. *J Endod.* 2008;34:1219-22.
- McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. A modification of the muffle model system to study root canal morphology. *J Endod.* 1990;16:114-5.
- McCann JT, Keller DL, LaBounty GL. Remaining dentin/cementum thickness after hand or ultrasonic instrumentation. *J Endod.* 1990;16:109-13.
- McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. *Mastering canal instrumentation.* Canadá: Arbor Books; 2007. p. 18,19.

- McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books; 2007. p. 32.
- McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books; 2007. p. 33.
- McSpadden JT. Mastering the concepts. En: McSpadden JT. Mastering canal instrumentation. Canadá: Arbor Books; 2007. p. 34.
- Michiardi A. Nuevo tratamiento de oxidación en aleaciones de NiTi para aplicaciones biomédicas. Caracterización superficial y respuesta biológica *in vitro*. Master Thesis. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona; 2005.
- Mizrahi SJ, Tucker JW, Seltzer S. A scanning electron microscopic study of the efficacy of various endodontic instruments. *J Endod.* 1975;1:324–33.
- Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod.* 1984;10:491-8.
- Nair MK, Nair UP. Digital and advanced imaging in endodontics: a review. *J Endod.* 2007;33:1-6.
- Necchi S, Petrini L, Taschieri S, Migliavacca F. A comparative computational analysis of the mechanical behavior of two nickel-titanium rotary endodontic instruments. *J Endod.* 2010;36:1380-4.
- Nie M, Zhao XC, Peng B, Fan MW, Bian Z. Evaluation of preparation of curved root canals using hand-used ProTaper. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi Chinese.* 2009;44:262-5.
- Paqué F, Musch U, Hülsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J.* 2005;38:8-16.
- Parashos P, Gordon I, Messer HH. Factors influencing defects of rotary nickel-titanium endodontic instruments after clinical use. *J Endod.* 2004;30:722-5
- Parashos P, Messer HH. The diffusion of innovation in dentistry: a review using rotary nickel-titanium technology as an example. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;101:395–401.
- Park H. A comparison of Greater Taper files, ProFiles, and stainless steel files to shape curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;91:715–8.
- Parris J, Wilcox L, Walton R. Effectiveness of apical clearing: histologic and radiographical evaluation. *J Endod.* 1994;20:219–24.
- Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *J Endod.* 2001;27:1-6.
- Peters OA, Peters CI. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 308,309.
- Peters OA, Peters CI. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 312.
- Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J.* 2003;36:93-9.
- Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J.* 2001;34: 221–30.
- Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004;30:559-67.
- Pettiette MT, Delano EO, Trope M. Evaluation of success rate of endodontic treatment performed by students with stainless-steel K-files and nickel-titanium handv- files. *J Endod.* 2001;27:124–7.



- Plotino G, Grande NM, Cordaro M, Testarelli L, Gambarini G. A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:1469-76.
- Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of NiTi rotary instruments in a simulated apical abrupt curvature. *Int Endod J.* 2010;43:226-30
- Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J.* 2006;39:716-23.
- Ponti TM, McDonald NJ, Kuttler S, Strassler HE, Dumsha TC. Canal-centering ability of two rotary file systems. *J Endod.* 2002;28:283-6.
- Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL. Cyclic fatigue testing of nickel titanium endodontic instruments. *J Endod.* 1997;23:77-85.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson M JR. The "Balanced Forced" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1985;11:203-211.
- Roda RS, Bradley HG. Retratamiento no quirúrgico. En: Cohen S, Hargreaves KM. *Vías de la Pulpa.* 9ª edición. Elsevier; 2009. p. 1001.
- Roig M, Bueno R, Neus N, Facundo CM. Estudio comparativo de la variación del ángulo y el radio de la curvatura con dos técnicas de instrumentación: Profile y ProTaper. *Endodoncia* 2005; 23:99-107.
- Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28:543-5.
- Roland DD, Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Torabinejad M. The effect of preflaring on the rates of separation for 0.04 taper nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2002;28:543-5.
- Ruddle CJ. The ProTaper endodontic system: geometries, features, and guidelines for use. *Dent Today.* 2001;20:60-7.
- Sadeghi S. Shaping ability of NiTi rotary versus stainless steel hand instruments in simulated curved canals. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2010 Aug 15.
- Samyn JA, Nicholls JI, Steiner JC. Comparison of stainless steel and nickel-titanium instruments in molar root canal preparation. *J Endod.* 1996;22:177-181.
- Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod.* 2000;26:161-5.
- Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2006;39:196-202.
- Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J.* 2006;39:203-12.
- Schäfer E, Florek H. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2003;36:199-207.
- Schäfer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J.* 2002;35:505-13.
- Schäfer E, Oitzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel- titanium instruments. *J Endod.* 2008;34:198-200.
- Schäfer E, Tepel J, Hoppe W. Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 2. Instrumentation of curved canals. *J Endod.* 1995;21:493-7.
- Schäfer E. Root canal instruments for manual use: a review. *Endod Dent Traumatol.* 1997;13:51-64.

- Schäfer E. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments and stainless steel hand K-Flexofiles in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;92:215–20.
- Schidler H. Clearing and shaping the root canal. *Dent Clin North Am.* 1974;18:269-96.
- Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32:271–5.
- Seto BG, Nicholls JI, Harrington GW. Torsional properties of twisted and machined endodontic files. *J Endod.* 1990;16:355-60.
- Setzer FC, Kwon TK, Karabucak B. Comparison of apical transportation between two rotary file systems and two hybrid rotary instrumentation sequences. *J Endod.* 2010;36:1226-9.
- Shaw JA. Simulations of localized thermo-mechanical behavior in a NiTi shape memory alloy. *International Journal of Plasticity.* 2000;16:541-562.
- Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC. A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *J Endod.* 1997;23:503–7.
- Soares Ilson J. Preparación del conducto radicular. Limpieza y conformación. En: Soares Ilson J. *Endodoncia. Técnica y Fundamento.* Argentina. Artes Médicas Panamericana; 2002. p. 78,86-114
- Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V. Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper. *Aust Endod J.* 2007;33:73–81.
- Spanaki-Voreadi AP, Kerezoudis NP, Zinelis S. Failure mechanism of ProTaper Ni-Ti rotary instruments during clinical use: fractographic analysis. *Int Endod J.* 2006;39:171-8.
- Stewart JT, Lafkowitz S, Appelbaum K, Hartwell G. Distortion and breakage of Liberator, EndoSequence, and ProFile systems in severely curved roots of molars. *J Endod.* 2010;36:729-31.
- Tachibana H, Matsumoto K. Applicability of X-ray computerized tomography in endodontics. *Endod Dent Traumatol.* 1990;6:16-20.
- Tamse A, Pilo R. A new muffle model system to study root canal morphology and instrumentation techniques. *J Endod.* 1998;24:540–2.
- Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Unal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J.* 2005;38:402-8.
- TF: The Twisted File Brochure. Orange, CA:SybronEndo;2008.
- Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 2. *Int Endod J.* 2000;33:255-61.
- Thompson SA, Dummer PMH. Shaping ability of Lightspeed rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: part 1. *J Endod.* 1997;23:698–702.
- Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000;33:297-310.
- Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006;102:e106–14.
- Torabinejad M, Lemon R. Procedural Accidents. En: Walton RE, Torabinejad M. *Principles and Practice of Endodontics.* Philadelphia. Elsevier; 2002. p. 310
- Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. *J Endod.* 2009;35:699-702.
- Varela Patiño P, Biedma MB, Rodríguez Liebana C, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod.* 2005;31:114–6.

- Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J*. 2005;38:610–6.
- Versümer J, Hülsmann M, Schäfers F. A comparative study of root canal preparation using ProFile.04 and Lightspeed rotary Ni–Ti instruments. *Int Endod J*. 2002;35:37–46.
- Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*. 1988;14:346–51.
- Walton RE. Histologic evaluation of different methods of enlarging the pulp canal space. *J Endod*. 1976;2:304–11.
- Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod*. 1975;1:255–62.
- Weine FS. The use of non-ISO-tapered instruments for canal flaring. *Compend Contin Educ Dent* 1996;17:651–63.
- Wilzey WL, Senia ES, Montgomery S. Another look at root canal instrumentation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1992;74:499–507.
- Wu MK, Fan B, Wesselink PR. Leakage along apical root fillings in curved root canals: part I—effects of apical transportation on seal of root fillings. *J Endod*. 2000;26:210–6.
- Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod*. 2006;32:372–5.
- Yared G, Bou Dagher FE, Kulkarni K. Influence of torque control motors and the operator's proficiency on ProTaper failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2003;96:229–33.
- Yared GM, Bou Dagher FE, Machtou P. Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failure. *Int Endod J*. 2001;34:47–53.
- Zaia AA, Ferraz CCR, Yoshinari GH, de Souza Filho FJ. A simple method for the analysis of root canal preparation. *J Endod*. 2000;26:172–4.
- Zhang EW, Cheung GS, Zheng YF. Influence of cross-sectional design and dimension on mechanical behavior of nickel-titanium instruments under torsion and bending: a numerical analysis. *J Endod*. 2010;36:1394–8.

## **8. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA**



## 8. PRODUCCIÓN CIENTÍFICA

Resultados parciales de este trabajo de Tesis Doctoral han sido publicados e informados previamente en las siguientes revistas científicas y Congresos:

### 8.1. PUBLICACIONES

Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using Mtwo rotary instruments. J Endod. 2009;35:699-702. (ANEXO)

### 8.2. CONGRESOS

Uroz-Torres D, Ferrer-Luque CM, Arias-Moliz MT, Navarro-Escobar E, Perez-Heredia M. Preparación de conductos radiculares curvos con el sistema Mtwo. XXVIII Congreso Nacional de la Asociación Española de Endodoncia. Madrid, 1-3 de Noviembre de 2007.

Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Perez-Heredia M, Arias-Moliz MT, Ferrer-Luque CM. Eficacia de los sistemas Mtwo y Twisted Files en la preparación de conductos radiculares curvos. XXX Congreso Nacional de la Asociación Española de Endodoncia. Alicante, 29-31 de Octubre 2009.

Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Perez-Heredia M, Navarro Escobar E, Ferrer-Luque CM. Conformación de conductos radiculares curvos con dos sistemas de instrumentación rotatoria. XXXI Congreso Nacional de la Asociación Española de Endodoncia. Córdoba, 29-31 de Octubre 2010.



## ANEXO

## Basic Research—Technology

## Effectiveness of a Manual Glide Path on the Preparation of Curved Root Canals by Using Mtwo Rotary Instruments

David Uroz-Torres, BDS, María Paloma González-Rodríguez, DDS, PhD,  
and Carmen María Ferrer-Luque, MD, PhD

**Abstract**

**Introduction:** Nickel-titanium rotary instruments reduce procedural errors and the time required to finish root canal preparation. The goal of this study was to evaluate the effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals with Mtwo rotary system. **Methods:** Forty buccal root canals with angles of curvature between 25 to 76 degrees were randomly divided into 4 groups (n = 10); 2 groups were instrumented with Mtwo instruments to the full length, and in the other 2 groups a glide path with #08-15 K files was performed before instrumentation with Mtwo system. Digital double radiographic technique was used to determine apical transportation and the change in angle of curvature. Also working time was calculated. **Results:** No statistically significant differences in the angle of canal curvature, apical transportation, and the working time were found between groups with glide path and no glide path. No significant differences were found when comparing the results of 3 variables between degrees of curvature. **Conclusion:** The use of a manual glide path before Mtwo rotary system did not influence the apical transportation in curved root canals. (*J Endod* 2009;35:699–702)

**Key Words**

Glide path, Mtwo, NiTi rotary instrumentation

From the Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada, Granada, Spain.

Address requests for reprints to Professor Carmen María Ferrer-Luque, Department of Dental Pathology and Therapeutics, School of Dentistry, University of Granada, Spain, Campus de Cartuja, Colegio Maximo s/n. 18071, Granada, Spain. E-mail address: cferrer@ugr.es.

0099-2399/\$0 - see front matter

Copyright © 2009 American Association of Endodontists.  
doi:10.1016/j.joen.2009.02.001

Maintaining the original configuration of the root canal system without any iatrogenic events is essential in curved canals (1–3). Nickel-titanium (NiTi) instruments represent a new approach for the preparation of canals by using standardized taper (4–7) and produce well-centered preparations in curved canals in a shorter time as compared with manual instrumentation (8–11). NiTi files possess unique design properties in terms of cross-sectional shape, taper, the number and angle of flutes, and so forth. Most NiTi rotary systems use a crown-down technique and recommend a manual glide path with stainless steel hand files (12–15) to reduce the incidence of fracture and apical transportation (16, 17). However, it is not known whether crown-down method is still the preferred method for preparing root canals with NiTi rotary instruments (18).

Mtwo instruments (Sweden & Martina, Padova, Italy) have an S-shaped cross-sectional design, a noncutting safety tip, a positive rake angle with 2 cutting edges, and increasing pitch length from the tip to the shaft. This design prevents threading and binding in continuous rotation and reduces the transportation of debris toward the apex. The basic series of Mtwo instruments comprises 8 instruments with tapers ranging between 4% and 7% and sizes from 10–40 (Fig. 1).

The manufacturer proposes use of the so-called single-length technique to a full length of the root canal for the Mtwo system (11). In comparison with the crown-down procedure, Mtwo instruments allow more blades to be in contact with the canal at the same time, although this might result in a higher frictional resistance (19). Initial negotiation of root canal space is desirable by using hand files up to #15 in a watch-winding motion to assure the presence of a glide path (13) up to the foramen.

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of a manual glide path on the preparation of curved root canals by using the Mtwo rotary system.

**Materials and Methods****Specimen Preparation**

Forty mandibular molars extracted for periodontal reasons were stored in a 2% timol solution until use. The crown and distal root of each tooth were removed at the level of the cemento-enamel junction with a diamond disk in an Accutom 50 cutting machine (Stuers, Ballerup, Denmark) to obtain a mesiobuccal root canal measuring 12 mm in length. The working length was determined by subtracting 1 mm from the length at which the file tip extruded apically.

A series of radiographs were taken following the methodology of Iqbal et al (18). Adobe Photoshop CS2 software (Adobe Systems Inc, San Jose, CA) was used to enhance the edges of the initial and final instrumentation radiographs. The angle of the canal curvature was determined according to the methodology of Pruett et al (20) by using a computerized digital image processing system (AutoCAD 2006; Autodesk Inc, San Rafael, CA). The roots whose angles of curvature ranged between 25 and 76 degrees were included in this study and were randomly divided into 2 groups of 20 each, 25–44 degrees and 45–76 degrees.

**Root Canal Instrumentation**

Four groups (n = 10) were established: group 25-44GP (glide path), 10 roots with moderate curvature (25–44 degrees) instrumented with a manual glide path followed by Mtwo system; group 25-44NGP (no glide path), 10 roots with moderate



## Basic Research—Technology



**Figure 1.** Mtwo Ni-Ti rotary instruments (10/0.04, 15/0.05, 20/0.06, 25/0.06, 30/0.05, 35/0.04, 40/0.04, and 25/0.07).

curvature (25–44 degrees) instrumented with Mtwo system; group 45-76GP (glide path), 10 roots with severe curvature (45–76 degrees) instrumented with a manual glide path followed by Mtwo system; and group 45-76NGP (no glide path), 10 roots with severe curvature (45–76 degrees) instrumented with Mtwo system.

For all groups, Mtwo instruments were used to their full length in permanent rotation with a gentle in-and-out motion and a 4:1 reduction handpiece (WD-66 EM; W & H, Buermoos, Austria) powered by a torque limited electric motor (Endo IT motor; VDW GmbH, Munich, Germany), according to the manufacturer's instructions. The instrumentation sequence was the following: #10/04, #15/05, #20/06, #25/06, and #30/05.

In 25-44GP and 45-76GP groups, the specimens were prepared with #08, #10, and #15 stainless steel K-type hand files (Dentsply/Maillefer, Ballaigues, Switzerland) by using a balanced force technique at working length. After obtaining this glide path, the instrumentation sequence with Mtwo was the same.

The root canals were flushed with 20 ml of a 2.5% NaOCl solution by using a plastic syringe with a closed-end needle (Hawe

Max-I-probe; Kerr-Hawe, Bioggio, Switzerland) inserted as deep as possible into the root canal without binding. Each set of files was rejected after 5 uses.

### Assessment of Root Canal Preparation

The instrumented roots were repositioned on the radiographic jig at the previously established degree of rotation, and postoperative radiographs were taken with a size 30/05 Mtwo instrument inside the canals. The digital radiographs were downloaded in JPG format from the digital radiographic system and imported into Adobe Photoshop CS2. Then the images were transferred to AutoCAD 2006 to superimpose the central axis of files in the preoperative and postoperative radiographs, so as to measure the distance between these 2 central axes at working length (Fig. 2).

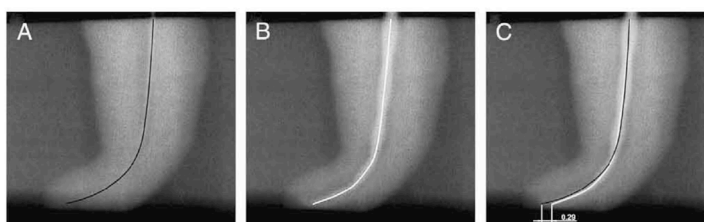
The evaluated parameters were change in angle of canal curvature, apical transportation, and working time. The number of fractures of the instruments was also logged.

### Statistical Analysis

Mean and standard deviations were determined for each group, and a full-factorial regression model was used to assess the significance of the interaction between the 2 factors (curvature, glide path) and the 3 measured variables (change of the angle of canal curvature, apical transportation, and working time). The Shapiro-Wilk test was used to assess the distribution of the data. Given that the results for each group did not follow a normal distribution, the Mann-Whitney *U* test was used for pairwise comparisons. The level of statistical significance was set at  $P < .05$ . All statistical analyses were performed by using SPSS 15.0 software (SPSS Inc, Chicago, IL).

### Results

Two teeth were lost as a result of a fracture of the #25/06 instrument in group 25-44GP and a fracture of the #25/06 instrument in group 45-76NGP; however, these teeth were replaced. Mean and standard deviation values are shown in Table 1. The full-factorial regression model did not show statistically significant interaction between the 2 factors in any of the variables. The results were very similar, and no significant differences were found for the change in angle of curvature, for the apical transportation, or for the working time when comparing glide path versus no glide path in the 2 groups of curvature. No significant differences in the comparison of the data between the angles of curvatures were found. Spearman bivariate correlation analysis gave no statistically significant relationship between the maintenance of canal curvature and apical transportation in the 4 groups.



**Figure 2.** Method used for measuring the distance between 2 central axes at working length. (A) Initial digital image. (B) Postinstrumentation digital image. (C) Central axes superimposed.

## Basic Research—Technology

TABLE 1. Means and Standard Deviations of the Variables at Different Curvature Degrees

	Curvature 25–44 degrees		Curvature 45–76 degrees		Comparison 25–44 degrees vs 45–76 degrees	
	GP	NGP	GP	NGP	GP	NGP
Changes in angle of curvature (degrees)	5.80 ± 9.74	4.44 ± 9.22	10.63 ± 24.59	10.00 ± 15.95	0.754	0.056
Apical transportation (mm)	0.16 ± 0.18	0.16 ± 0.27	0.13 ± 0.15	0.32 ± 0.08	0.754	0.110
Working time (sec)	586.60 ± 106.05	515.22 ± 99.14	670.25 ± 199.38	558.44 ± 126.64	0.594	0.427

GP, glide path; NGP, no glide path. Comparisons between groups (GP versus NGP) are not significant.

### Discussion

Usually the clinical (mesiodistal) and proximal (buccolingual) views are used for evaluation of apical transportation. Actually, however, this method measures the projection of the transportation and not the real transportation, because teeth do not always display their maximum curvatures in the mesiodistal or buccolingual planes. In this study, the method used by Iqbal et al (18) was used to obtain the radiographic projection that most closely approximates the maximum real curvature of the root canal.

Blum et al (13) suggested a glide path with small flexible stainless steel hand files to create or verify that within any portion of a root canal there is sufficient space for rotary instruments to follow. Berutti et al (14) underlined the need for preflaring up to #20 K file for the Protaper instruments so as to ensure sufficient space for the S1 file, because its tip file measures 0.17 mm. They reported that the reduction in torsional stress increased the average instrument lifespan almost 6-fold, while reducing costs and the risk of instrument separation within the canal.

There is no consensus regarding the use of a manual glide path for the Mtwo system (10, 11, 21–24). In the present study, a glide path was prepared up to #15 K file to ensure sufficient space for the file to work and to avoid the risk of its locking. However, we have found no significant differences for the change in angle of curvature, for the apical transportation, or for the working time when comparing glide path versus no glide path in the 2 groups of curvature.

Usually the NiTi rotary systems use a crown-down technique. This technique reduces friction in the canal when the file cuts dentin, because only a part of the file works within the canal. The relatively minor friction decreases the incidence of apical transportation because the files go into the canal more freely (25). The Mtwo files are used at working length with a gentle in-and-out motion (11). This sequence causes the first files to encounter more friction in the canal; therefore, there is a greater chance of file fracture. However, it seems that the heightened flexibility, large space for debris removal, and the increasing distance between the cutting edges would have a positive influence. At any rate, the degree of influence of the instrumental design remains speculative. Furthermore, a comparison of torsional force with the single-length technique and crown-down techniques has not yet been sufficiently researched (21).

Plotino et al (22) concluded that Mtwo rotary instruments can be used safely in clinical conditions as many as 10 times in curved molar teeth, although the angle of curvature of the molar used was 10 degrees or greater. In the present study, Mtwo files were used up to 5 times because the angle of curvature was more variable (25–44 degrees and 45–76 degrees).

Veltri et al (23) analyzed the shaping ability of Mtwo and Hero Shaper (Micro-Mega, Besançon, France) systems in molar root canals with curvatures from 24–69 degrees. They concluded that these systems are effective in shaping curved canals, producing well-centered preparations without any aberrations. Xu et al (24) analyzed the geometric properties and the torsional stress of 6 different cross-sectional designs

including Mtwo system. They concluded that Mtwo system was less stable in curved root canals than systems with convex and triple helix as a result of an asymmetrical cross-section design (S-type) and an unequal inertia in the geometric axes.

Schäfer et al (10, 11) compared the shaping and cleaning efficiency of Mtwo, K3 (Sybron Endo, Orange, CA), and RaCe systems (FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Switzerland) finding that the Mtwo system broke less often than K3 and RaCe and prepared curved canals rapidly while respecting the original curvature. In addition, a recent study of Schäfer and Oitzinger (26) showed that Mtwo presented a great cutting efficiency and produced better canal cleanliness than rotary instruments with radial lands.

In the present study, no significant differences were found when comparing the results of apical transportation between degrees of curvature (25–44 degrees versus 45–76 degrees). These results are in agreement with several studies (10, 11, 23, 26) that indicate good behavior for Mtwo system in curved canals, producing well-centered preparations.

When a NiTi file works in a curved canal, it has a tendency to recover its original form because of the property of pseudoelasticity. This situation causes a slight decrease in the angle of canal curvature. In the present study, straightening ranging from 6–10 degrees was registered. Other studies (11, 19) reported straightening ranging from 1–2.69 degrees in teeth with an angle of canal curvature between 25 and 35 degrees. Our results suggest that the straightening tendency increases in conjunction with severe curvature.

Tripi et al (27) compared the flexural fatigue of different NiTi instruments with a size of .25 and taper 6% and concluded that Mtwo and Hero might be selectively discarded to increase safety in complicated cases. In our study, two 25/.06 Mtwo files separated in 25-44GP and 45-76NGP groups. Most likely, the major metal volume of this file affords less flexibility and therefore decreases cyclic fatigue resistance in severe curvatures (28).

The use of a manual glide path before rotary instrumentation consumes more time, although in this study no significant differences involving time were found in groups with or without glide path. It is possible that a manual glide path before rotary instrumentation consumes more time at the beginning; on the other hand, it facilitates negotiation of the root canal, therefore enhancing the effectiveness of the rotary files and possibly consuming less time in the end. This potential end advantage needs further study.

### References

1. Ruddle C. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns RG, eds. *Pathways of the pulp*. 8th ed. St Louis: Mosby; 2002:231–92.
2. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974;18:269–96.
3. González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. A comparison of Profile, Hero 642, and K3 instrumentation systems in teeth using digital imaging analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:112–5.

**Basic Research—Technology**

4. Thompson SA, Dummer PM. Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: part 1. *Int Endod J* 2000;33:248–54.
5. Bergmans L, Van Cleynbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety: status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2001;14:324–33.
6. Bergmans L, Van Cleynbreugel J, Beullens M, Wevers M, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2002;35:820–8.
7. Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J* 2003;36:93–9.
8. Kim KY, Spångberg L, Cha BY, Il-Young J, Seung-Jong L, Chan-Young L. Shaping ability of three ProFile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. *J Endod* 2000;26:719–23.
9. Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe—part 2: cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2004;37:239–48.
10. Schäfer E, Eriç M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments: part 2—cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2006;39:203–12.
11. Schäfer E, Eriç M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments: part 1—shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2006;39:196–202.
12. Patiño PV, Biedma BM, Lichana CR, Cantatore G, Bahillo JG. The influence of a manual glide path on the separation rate of NiTi rotary instruments. *J Endod* 2005;31:114–6.
13. Bium JJ, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod* 2003;29:567–75.
14. Berutti E, Negro AR, Lencini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod* 2004;30:228–30.
15. Helmut W. The hybrid concept of nickel-titanium rotary instrumentation. *Dent Clin North Am* 2004;48:183–202.
16. Bergmans L, Van Cleynbreugel J, Beullens M, Wevers M, Van Meerbeek B, Lambrechts P. Smooth flexible versus active tapered shaft design using NiTi rotary instruments. *Int Endod J* 2002;35:820–8.
17. Schäfer E, Fiorek H. Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Filexofile: part 1—shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2003;36:199–207.
18. Iqbal MK, Maggiore F, Suh B, Edwards KR, Kang J, Kim S. Comparison of apical transportation in four Ni-Ti rotary instrumentation techniques. *J Endod* 2003;29:587–91.
19. Bürklein S, Schäfer E. The influence of various automated devices on the shaping ability of Mtwo rotary nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 2006;39:945–51.
20. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL Jr. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod* 1997;23:77–85.
21. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. *Int Endod J* 2006;39:755–63.
22. Plotino G, Grande NM, Sorci E, Malagnino VA, Somma F. A comparison of cyclic fatigue between used and new Mtwo Ni-Ti rotary instruments. *Int Endod J* 2006;39:716–23.
23. Veltri M, Mollo A, Mantovani L, Pini P, Balleri P, Grandini S. A comparative study of Endoflare-Hero Shaper and Mtwo NiTi instruments in the preparation of curved root canals. *Int Endod J* 2005;38:610–6.
24. Xu X, Eng M, Zheng Y, Eng D. Comparative study of torsional and bending properties for six models of nickel-titanium root canal instruments with different cross-sections. *J Endod* 2006;32:372–5.
25. Roane JB, Sabala CI, Duncanson MG Jr. The “balanced force” concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985;11:203–11.
26. Schäfer E, Oltzinger M. Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments. *J Endod* 2008;34:198–200.
27. Tripi TR, Bonaccorso A, Condorelli GG. Cyclic fatigue of different nickel-titanium endodontic rotary instruments. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:e106–14.
28. Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V. Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper. *Aust Endod J* 2007;33:73–81.

