

**NOTA: Este archivo corresponde al documento enviado a la editorial para corrección de estilo y diagramación. Este archivo será remplazado tan pronto como el artículo diagramado esté listo. La información de publicación será entonces actualizada.**

**SECCIÓN:** Dossier Endodoncia, Terapia Pulpar Moderna y Revolucionaria

**TITULILLO:** Alteración de la estructura lima primaria

**Alteraciones de la estructura de la lima primaria posterior a su uso**

**Alterations of Primary File Structure after Use**

**Javier Fernando Gutiérrez Barreto**

Odontólogo, Universidad Nacional de Colombia, Especialista en Endodoncia, Docente Posgrado de Endodoncia, Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia

**Diana Carolina Cajamarca Medina**

Odontóloga, Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Endodoncia, Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia

**Johanna Carolina Monroy Navas**

Odontóloga, Pontificia Universidad Javeriana. Especialista en Endodoncia, Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia

## **CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO**

Gutiérrez JF, Cajamarca DC, Monroy JC. Alteraciones de la estructura de la lima primaria posterior a su uso. Univ Odontol. 2015 Jul-Dic; 33(73): \_\_\_\_.

Recibido para publicación: 29/04/2015

Aceptado para publicación: 18/12/2015

Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/universitasodontologica>

## **RESUMEN**

**Objetivo:** Analizar las alteraciones en la estructura de las limas primarias con aleación alambre M del sistema WaveOne® (Dentsply, Maillefer®) después de la preparación del conducto mv1 de un primer molar superior y su posterior esterilización, analizadas mediante la técnica de difracción de rayos X. **Métodos:** Se evaluaron 2 limas nuevas (grupo 1) y 6 limas usadas y esterilizadas (grupo 2) que fueron empleadas para preparar el conducto mv1 de molares superiores en pacientes que presentaban curvatura moderada. **Resultados:** Durante la preparación del conducto radicular no se presentó fractura de ningún instrumento. Los patrones de difracción de rayos X del grupo 1 mostraron tres picos principales con similar intensidad, el mismo ancho y

posición  $2\theta$ . El comportamiento de la mayoría de las limas pertenecientes al grupo 2 exhibió un incremento de sus intensidades posterior a su uso preservando la posición y ancho del pico en las diferentes muestras. **Conclusiones:** La lima primaria del sistema WaveOne® con aleación alambre M mostró un aumento en la intensidad de sus fases sin variación en la cantidad de picos, situación que sugiere que no se presenta daño en la aleación.

## **PALABRAS CLAVE**

Alambre M; austenita; fase R, martensita; rangos de transformación

## **ÁREAS TEMÁTICAS**

Endodoncia; sistemas rotatorios

## **ABSTRACT**

**Objective:** To analyze structural changes of WaveOne® (Dentsply, Maillefer®) primary files (M-Wire alloy) after preparation of an upper first molar mv1 canal and subsequent sterilization. **Methods:** Analysis included 2 new (group 1) and 6 used and sterilized files (group 2) that were used to prepare the mesial buccal root canal of maxillary molars with moderate curvature. Structure was evaluated through X-ray diffractometry, **Results:** No instrument broke during canal preparation. X-ray diffraction patterns for group 1 showed 3 main peaks with similar intensity, the same width, and  $2\theta$  position. Group 2 files showed intensity increases after using them once and peak and width stayed stable afterwards in most samples. Contradictory to this behavior was shown that two samples after being used sterilized and did not show this pattern, showing low intensity peaks. **Conclusion:** WaveOne® primary file with M-Wire alloy showed an increase of intensity in every phases and same number of peaks, which suggests no damage in the alloy.

## **KEYWORDS**

Austenite; martensite; M-Wire; phase R; transformation ranges

## **THEMATIC AREAS**

Endodontics, rotary systems

## **INTRODUCCIÓN**

En 1975, Civjan y colaboradores (1) sugirieron que la aleación de níquel titanio (NiTi) poseía propiedades que se acercaban a las requeridas para los instrumentos de endodoncia. Ello dio lugar a la creación de sistemas rotatorios con el uso de instrumentos fabricados con este tipo de aleación equiatómica (2). La aleación otorga a los instrumentos propiedades de memoria de forma, menor módulo de elasticidad y resistencia a la fractura por torsión cuando se han comparado con las limas manuales de acero inoxidable (3). A pesar de este avance importante en el material de los instrumentos endodónticos, en la clínica estos instrumentos se fracturan sin

encontrarse alteraciones visibles cerca del punto de fractura que indique al operador el riesgo de su uso (4).

Por tal razón, Kuttler y colaboradores (5,6) proponen un proceso termomecánico de mayor intensidad que el utilizado con las limas convencionales de NiTi (6-9), el cual reduce la tensión interna generada durante el maquinado (10). También produce cambios en la disposición cristalográfica de la estructura (11), aumentando la elasticidad y resistencia a la fatiga cíclica al compararse con las limas de NiTi convencionales (6,7,12-14). En el 2007, Dentsply Tulsa® (15) modifica la estructura cristalográfica del NiTi 508 mediante un novedoso proceso e introduce al mercado la aleación denominada alambre M. Dicha aleación se caracteriza porque frente a altas temperaturas o aplicaciones de fuerza los cristales se transforman de forma diferente, entre los que predomina la fase martensita y se encuentra una nueva fase denominada fase R (4,13,16). Esta situación permite que la aleación tenga un rango de trabajo más amplio con una superelasticidad característica que le permite al operador emplear el instrumento en conductos de curvaturas considerables sin que se presente la fractura del instrumento de manera inmediata (17,18).

Para determinar los cambios que sufren las aleaciones se utilizan diferentes técnicas de estudio metalúrgicas, como calorimetría de barrido, microdifracción de rayos X, difracción de rayos X, microscopía electrónica de transmisión de barrido y microscopía electrónica de barrido, que permiten establecer la ubicación cristalográfica en cada fase y determinar si hay cambios que puedan afectar la efectividad del instrumento. Estudios que han utilizado estas técnicas han encontrado que la disposición cristalográfica en cada fase varía (13,19-20). En reposo los cristales se encuentran en disposición cubica a cuerpo centrado (austenita) (20) mezclado con martensita cuya disposición es hexagonal. Así mismo, se encuentra que la fase R durante el proceso de enfriamiento no está presente. Pero al incrementar la temperatura, esta fase se presenta en un rango de cambio muy estrecho formando mínimos picos endotérmicos (4). Esta mezcla permite un rango amplio de trabajo entre austenita inicial y martensita inicial para brindar a la aleación la superelasticidad que la caracteriza.

WaveOne® de Dentsply, Maillefer® es un sistema de lima única elaborado en alambre M, que distribuido en el mercado en blíster estéril para un único uso, con el objetivo de disminuir la contaminación cruzada y lograr la máxima eficiencia de la lima. Su estuche está conformado por tres instrumentos rotatorios: 1) WaveOne® pequeña (amarillo), calibre #21, (iso 21) y conicidad continua de 6 %; 2) WaveOne® primaria (rojo) calibre # 25 (iso 25) y conicidad apical de 8%, que disminuye hacia la parte coronal; y 3) WaveOne® grande (negro), calibre #40 (iso 40), conicidad 8% en los 3 mm apicales. Este sistema, al actuar con movimientos recíprocos (21), logra reducir el riesgo de fatiga cíclica causada por la tensión y compresión generada durante la preparación radicular y adicional por las características de su aleación posee mejores cualidades que las aleaciones convencionales. Pese a ello, el fabricante propone este lima de uso único para ser utilizada un máximo de 3 a 4 veces en un mismo molar de un mismo paciente (22). Argumenta que se desgasta y deforma el instrumento afectando su eficiencia de corte (23). Si se tiene en cuenta que su reutilización está acompañada de procesos de esterilización, se adicionan las alteraciones que este proceso pueda generar (14,24).

Estudios in vitro, como el de Pirani y colaboradores (13), indican que el sistema WaveOne®, al ser utilizado hasta tres veces en dientes extraídos, no presenta cambios significativos en su superficie y el reuso no afecta sustancialmente las hojas de corte y la agudeza de la punta del instrumento. Asimismo, no evidenciaron microfracturas que indicaran disminución en la eficiencia de corte del instrumento o posible fractura del mismo. Sin embargo, su objetivo era encontrar cambios en la superficie, no en su estructura cristalográfica. Se tendría mayor detalle sobre el comportamiento de la lima si se conocieran los cambios de fase que se presentan cuando se utiliza y esteriliza el instrumento.

Shen y colaboradores (25) encontraron que un solo uso clínico de las limas Profile Vortex® de aleación alambre M no habían presentado cambios representativos en la transformación de sus fases cristalográficas. Con base en los hallazgos de Pirani y colaboradores (13) y Shen y colaboradores (25), surgió el interés de evaluar qué cambios estructurales sufre la lima primaria del sistema WaveOne® después de su uso y cómo estos cambios pueden afectar el comportamiento de este instrumento. Por tal razón, el objetivo de este estudio fue analizar si la estructura de las limas primarias de aleación alambre M del sistema WaveOne® presentaban alteraciones cristalográficas después de la preparación del conducto mesovestibular (mv1) de un primer molar superior y esterilización al ser analizadas mediante la técnica de difracción de rayos X.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se analizó la estructura de las limas primarias del sistema WaveOne® (Maillefer®) luego de su uso en conductos mv1 de molares superiores y posterior esterilización. Para ello se realizó un estudio cuasiexperimental in vitro, cuyo universo fueron las limas WaveOne®. La muestra estuvo conformada por ocho limas WaveOne® primarias 0,25 taper 0,08 de 25 mm de diferente lote. Las limas se distribuyeron en dos grupos: Grupo 1, conformado por dos limas nuevas las cuales no fueron sometidas a procesos de preparación ni esterilización y que fueron analizadas por difracción de rayos X; y grupo 2, conformado por seis limas usadas según las indicaciones del fabricante y sometidas al proceso de esterilización posterior a su uso. El muestreo fue por conveniencia.

### **Preparación con lima primaria WaveOne®**

Las limas del grupo 2 (usadas) se utilizaron en primeros molares superiores permeables de pacientes no comprometidos sistémicamente que asistieron a consulta particular con un especialista entre enero y junio del 2014 y en quienes, posterior a examen clínico, radiográfico y firma de consentimiento informado, estuviera indicado el tratamiento endodóntico. Las raíces mv1 de los molares debían tener ápices cerrados sin reabsorciones internas ni presencia de calcificaciones, perforaciones o fracturas. No fue relevante la presencia de caries, restauraciones, porcentaje de remanente dental ni la patología inicial asociada. La raíz mv1 debía presentar una curvatura moderada según la clasificación de Schneider, citado por Huamán (26). La fractura de la lima durante la preparación del conducto se consideró como criterio de exclusión.

El procedimiento fue realizado en una sesión por un operador experto. Se realizó bloqueo nervioso con técnica infiltrativa con lidocaína al 2% y epinefrina 1:80.000 (Ropsohn

Therapeutics®) en alveolares medios y refuerzo palatino. Se estableció acceso coronal en línea recta hasta el orificio de entrada del conducto radicular mv1 con una fresa redonda de diamante # 3 estéril (dfs-diamon). Se efectuó aislamiento absoluto con tela de caucho y grapa. Se localizó la entrada del conducto mv1, estimó la longitud de trabajo tentativa mediante radiografía obtenida con técnica de paralelismo con el dispositivo Endoray (Maillefer®), creó una permeabilidad del conducto usando suavemente la lima #10 (Maillefer®) con irrigación simultánea de hipoclorito de sodio al 5,25 % (Eufar®) y determinó longitud de trabajo definitiva con localizador apical Propex® II (Maillefer®). Posteriormente, se realizó preensanchado del conducto con limas #15-#20 (Maillefer®). Luego se preparó el conducto mv1 con la lima primaria WaveOne® con la ayuda del motor X-smart plus (Dentsply®) configurado en el sistema WaveOne® por tercios, con movimiento de picoteo suave, con avances de 2-3 mm de profundidad, hasta que alcanzar la longitud de trabajo definitiva. La patencia se comprobó durante la preparación con la lima #20. La limpieza de las estrías de la lima se realizó con una gasa y la preparación fue acompañada por la irrigación con hipoclorito de sodio al 5,25 %.

Luego de terminada la preparación, se sometió cada lima primaria usada al proceso de desinfección en el consultorio odontológico, sumergiéndola en jabón enzimático Alkazyme® (Alkapharm®) durante 15 minutos en una cubeta plástica. Posterior a esto se lavaron con chorro de agua y cepillo, cuidando que las estrías del instrumento quedaran libres de restos o desechos, se secaron y empacaron en bolsas de esterilizar con su respectiva identificación y rotulado. Acto seguido, se llevaron al Instituto de Educación Continuada de la Federación Odontológica Colombiana, sede Bogotá, donde se esterilizaron en autoclave a 30 libras de presión y 134 °C durante 40 minutos y secaron durante 20 minutos dentro del autoclave, para luego llevarlas al análisis por difractómetro de rayos X.

### **Difracción rayos X**

La difracción de rayos X se llevó a cabo por parte de un ingeniero en el laboratorio Alpha1 Servicios Analíticos S. A. (Bogotá. Colombia) en un equipo marca Panalytical®, modelo Empyream. Las muestras se analizaron a temperatura ambiente (25 °C) con un material del ánodo en cobre (Cu) a 40 ma y 45 Kv a una distancia del foco de 100 mm. La lima se midió en una configuración óptica capilar con un detector de estado sólido de alta velocidad para la adquisición de datos, denominado pixel 3d2.

### **Análisis de resultados**

La variable independiente fue el número de usos (0 usos, 1 uso), de tipo cuantitativo continuo. La variable dependiente fueron los cambios de la estructura cristalográfica, de tipo cualitativo nominal, para lo cual se realizó análisis cualitativo y cuantitativo de la intensidad de los picos cristalográficos, utilizando la biblioteca de patrones de difracción de la base de datos del Journal of Material Science, del procesador analítico del equipo Panalytical®.

## **RESULTADOS**

Durante la preparación del conducto radicular no se presentó fractura de ningún instrumento. Los patrones de difracción de rayos x de las limas primarias de WaveOne® en reposo mostraron que

las limas nuevas (grupo 1) a una temperatura de 25 °C presentaron para cada fase tres picos principales con similar intensidad, el mismo ancho y posición 2θ (figura 1). Los picos de martensita estuvieron en 40°, 77° y 93° y los de austenita en 42°, 62° y 77° (tablas 1 y 2).

FIGURA 1  
DIFRACTOGRAMAS DE LAS LIMAS NUEVAS (GRUPO 1)

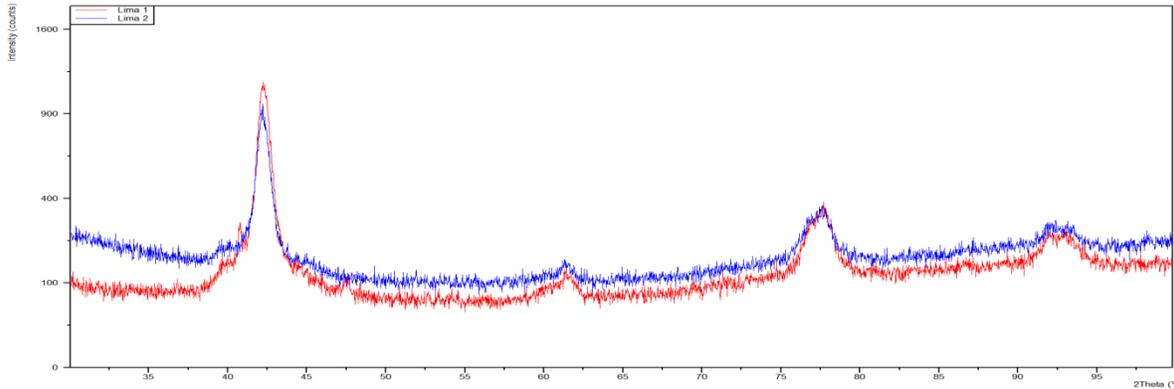


TABLA 1  
DIFERENCIAS DE LOS VALORES DE INTENSIDAD DE LA AUSTENITA ENTRE EL GRUPO NUEVO Y EL USADO

Grados	limas nuevas		limas usadas					
	1	2	3	4	5	6	7	8
42°	1143	976	264	1532	1725	1576	611	1647
62°	103	139	54	130	142	201	114	206
77°	383	366	161	538	585	667	326	677

TABLA 2  
DIFERENCIAS DE LOS VALORES DE INTENSIDAD DE LA MARTENSITA ENTRE LOS EL GRUPO NUEVO Y USADO

Grados	limas nuevas		limas usadas					
	1	2	3	4	5	6	7	8
40	295	247	189	384	402	303	184	307
77	383	366	161	538	585	667	326	677
93	268	301	127	320	368	434	268	436

Las limas pertenecientes al grupo 2 (usadas) mostraron un incremento de intensidad después de su uso, en tanto que se preservaron la posición y el ancho del pico, al ser comparadas con el grupo 1. Ello indica un aumento en la cantidad de fases analizadas (figura 2). Un comportamiento diferente se evidenció en dos muestras (limas 3 y 7) las cuales, después de ser utilizadas y esterilizadas, no presentaron este mismo patrón. La figura 3 muestra picos de baja intensidad correspondientes a las fases cristalográficas que componen la aleación, lo cual revela

una disminución en la cantidad de las fases. Las tablas 1 y 2 muestran los valores obtenidos para cada una de las fases en sus diferentes posiciones.

FIGURA 2  
DIFRACTOGRAMAS DE LAS LIMAS USADAS Y ESTERILIZADAS (GRUPO 2)

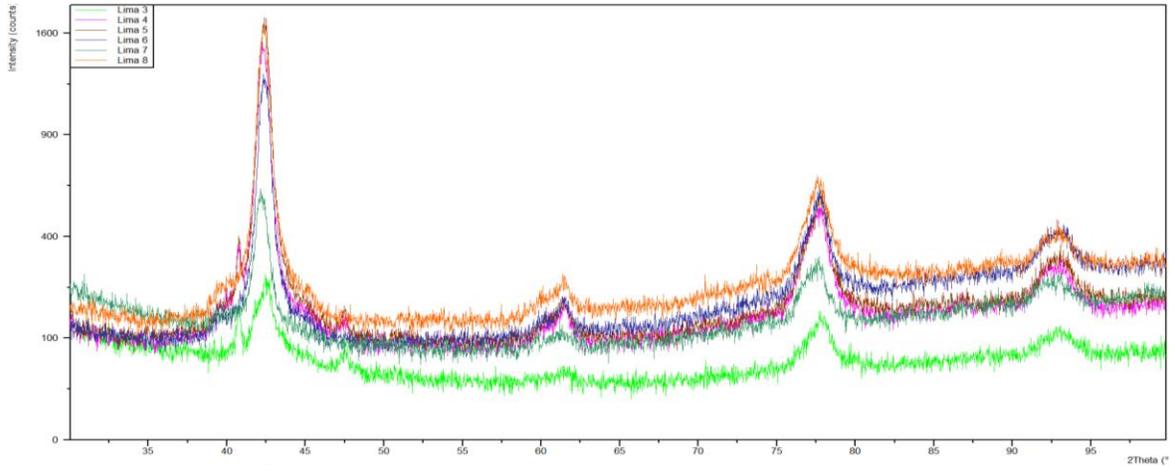
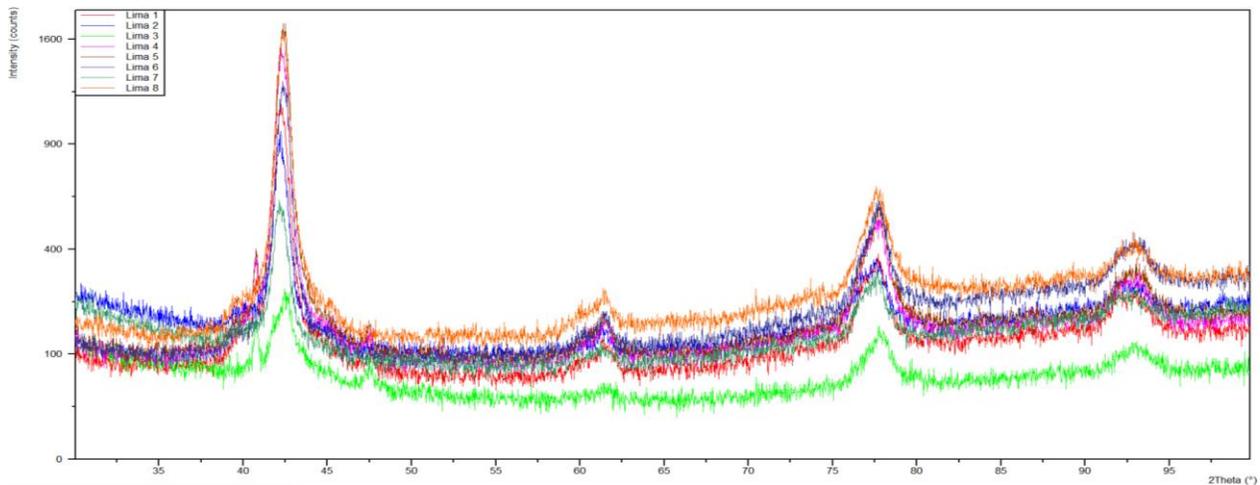


FIGURA 3  
COMPARACIÓN DE DIFRACTOGRAMAS DE LAS LIMAS NUEVAS (GRUPO 1) COMPARADAS CON LAS USADAS Y ESTERILIZADAS (GRUPO 2)



## DISCUSIÓN

El presente estudio analizó los cambios estructurales que presentaron las limas primarias del sistema WaveOne® luego de su uso y esterilización. Para ello se realizó un análisis por difracción de rayos X de las fases martensita y austenita de las limas nuevas y usadas. Se encontró que cuatro de las seis limas del grupo 2 presentaron un incremento en la intensidad de martensita y austenita posterior a su uso al ser comparadas con las limas nuevas. Este hallazgo coincide con lo descrito por Ye y Gao (6) quienes encontraron que luego de 1.517 ciclos  $\pm 134$  se fracturó el instrumento y, al alcanzar el 60 % de dichos ciclos, se dio un incremento en los

gránulos de martensita. Esto ocasiona un aumento en la dureza de la aleación y la hace más susceptible a la fractura. Al evaluar los resultados del presente estudio se podría suponer que un solo uso de la lima no alcanza dicha deformación y por tanto sugiere poca alteración en la estructura.

Las dos limas restantes de este grupo mostraron un comportamiento diferente. Hubo una disminución en la intensidad de los picos de austenita y martensita, lo que sugiere que se sobrepasó el 60 % de los ciclos descritos por Ye y Gao (6). Dicho fenómeno podría deberse a una curvatura marcada de los molares que no se observó en la imagen diagnóstica bidimensional y que pudo llevar al clínico a obviar detalles anatómicos. Uno de los criterios de inclusión eran molares con curvaturas de 10° a 24° según Schneider, citado por Forero y Vesga (27), y no un grado específico, lo que podría sugerir que estas dos limas fueron empleadas en curvaturas de mayor grado y por ende se sometieron a mayor carga y esfuerzo durante su uso. Se pensaría así que, dependiendo del estrés al que es sometido un instrumento, se puede generar una variación cristalográfica en la aleación para producir una deformación remanente en el material (28), que puede aumentar en la medida que se incrementa el número de usos, hasta llegar a la fractura.

A mayor número de usos, la carga/fuerza que requiere el instrumento para iniciar el cambio en la posición de los átomos de forma reversible (maclado) es menor, lo cual permite llegar más rápido a martensita final. Esto disminuye la superelasticidad, situación que puede conducir a la formación y rápida propagación de grietas en la superficie de la lima sin encontrar alteraciones macroscópicas visibles que indiquen al operador algún riesgo de fractura (4,7,26,29,30). Incluso, este fenómeno se puede presentar en instrumentos nuevos (5,6) cuando son sometidos a carga excesivas, lo cual no fue el caso de estas dos limas.

El tratamiento termomecánico adecuado de la aleación alambre M reduce la fractura como consecuencia de la fatiga del instrumento para ampliar los rangos de temperatura de transformación de la aleación (18,31), los cuales actualmente son reserva del fabricante. Alapati y colaboradores (12) indican que si durante el proceso de fabricación los rangos de temperatura se encuentran alrededor de 400 °C, 500 °C y 600 °C, aumentaría la temperatura de austenita final (af) de la aleación a un rango entre 45 °C y 50 °C para el alambre M (a diferencia del NiTi convencional cuya af es de 25 °C). Ello da a la aleación en reposo y a temperatura ambiente una composición mixta que le ofrece un amplio rango de trabajo y superelasticidad (32) con mayor presencia de martensita. Este concepto lo comparte Shen, citado por Iijima y colaboradores (32), además de que la lima en esta fase tiene alta capacidad de absorción de energía, presenta mayor resistencia a la fatiga y se puede deformar fácilmente sin llegar a la deformación plástica y consecuente fractura. Sin embargo, Pereira y colaboradores (7) enfatizan que la mayor flexibilidad de estos instrumentos se da por su bajo módulo elástico que puede estar asociado a la transformación cristalográfica reversible (3,6,17,33) que se produce por la aplicación de una carga sobre la lima, lo cual hace que los átomos en fase austenita (fase predominante en reposo) se desplacen a una corta distancia y cedan electrones fase r (flexibilidad superior) hasta alcanzar una nueva estructura cristalina estable conocida como martensita (dúctil) (34). La estructura martensita revierte de manera espontánea después de liberar la tensión para lograr que el material vuelva a su forma y tamaño originales (2,35).

En este estudio, no se identificó la fase r con la lima en reposo, lo que coincide con lo descrito por Alapati y colaboradores (12), quienes describieron que es posible su aparición una vez la aleación se somete a altas temperaturas y es casi imperceptible. Dicha fase es identificada, por medio de calorimetría de barrido, al observarse cambios de entalpía reflejados en la formación de picos endotérmicos y no con difracción de rayos X, que fue el método de estudio seleccionado en este caso. Asimismo, Montalvão y colaboradores (36) confirman la presencia de fase r al someter la aleación alambre M a diferentes rangos de temperatura en donde se empieza a ver disminución de la intensidad del pico de austenita a 40 °C y al mismo tiempo un aumento de fase R.

La difracción de rayos X es una técnica analítica no destructiva que revela información acerca de la estructura del cristal, su disposición atómica y el tamaño del cristal. En el presente estudio se observó que el grupo 1 (figura 1), conformado por dos limas nuevas, presentó tres picos austeníticos en los planos atómicos (110), (200) y (211), y tres martensíticos en los planos atómicos (111), (111) y (022), con diferentes intensidades pero el mismo ancho del pico. Estos hallazgos coinciden con los reportados por Shen (2,19,29,30) y Alapati y colaboradores (12), quienes reportan en limas nuevas 3 picos principales que corresponden a austenita y la presencia de picos de menor intensidad que pueden ser atribuidos a la presencia de martensita y fase r. Esto podría dar al operador seguridad de la uniformidad en la elaboración de estas limas por parte del fabricante.

Además, se confirma la composición mixta de la aleación en reposo que se ve representada en los difractogramas por la presencia de diversos picos, correspondientes a las fases de austenita y martensita. Una vez la lima es sometida a un uso y proceso de esterilización, persisten dichos picos con una única variación en la intensidad de los mismos. Ello coincide con lo reportado por Pirani y colaboradores (13,36), quienes confirman la presencia de granos martensíticos microcristalinos dentro de la matriz de austenita que se hacen más finos progresivamente a lo largo de la parte activa del instrumento.

A diferencia de estudios anteriores, la lima no se destruyó porque se utilizó una configuración óptica capilar, con lo cual se evitó manipular la muestra debido a que la austenita es mecánicamente estable pero es térmicamente variable (13). Por lo tanto, al preparar muestras pequeñas para la lectura o realizar la remoción de los vástagos de las limas para colocarlas en el detector del difractómetro, se pueden generar transformaciones inducidas por temperatura que se deben evitar para prevenir transformaciones de las fases o generar resultados erróneos por la formación de grietas que podrían haber alterado las propiedades de la aleación durante la manipulación.

## **CONCLUSIÓN**

La estructura cristalográfica de la lima primaria del sistema WaveOne® con aleación alambre M, después de ser usada en la preparación del conducto mv1 de un primer molar superior y sometida al proceso de esterilización, al ser analizada por difracción de rayos X, mostró un aumento en la intensidad de sus fases, sin variación en la cantidad de picos. Esta situación sugiere que no hay daño en la aleación.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar estudios clínicos bajo los parámetros establecidos en este artículo con un mayor número de usos y complementarlo con análisis cuantitativo de difracción de rayos X y calorimetría, para obtener datos sobre el comportamiento cristalográfico en uso.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio Alpha1 por el apoyo técnico prestado en la lectura de las muestras; al cuerpo docente de Posgrado de Endodoncia de la Universidad Santo Tomas en Bogotá, especialmente a las doctoras Sandra Liliana Rojas Losada y María Fernanda Serpa por su apoyo científico.

## REFERENCIAS

1. Civjan S, Huget EF, Sesimon LB. Potential applications of certain nickel-titanium (Nitinol) Alloys. *J Dent Res.* 1975; 54(1): 89-96.
2. Shen Y, Zhou HM, Wang Z, Campbell L, Zheng YF, Haapasalo M. Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod.* 2013; 39(7): 919-23.
3. Thompson S. An overview of nickel–titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J.* 2000; 33(4): 297-310.
4. Sattapan B, Nervo G, Palamara J, Messer H. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *J Endod.* 2000; 26(3): 161-5.
5. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Mechanical properties of controlled memory and superelastic nickel-titanium wires used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *J Endod.* 2012; 38(11): 1535-40.
6. Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod.* 2012; 38(1): 105-7.
7. Pereira ES, Gomes RO, Leroy AM, Singh R, Peters OA, Bahia MG, Buono VT. Mechanical behavior of M-Wire and conventional NiTi wire used to manufacture rotary endodontic instruments. *Dent Mater.* 2013; 29(12): 318-24.
8. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2012; 38(3): 376-80.
9. Gutmann J, Gao Y. Alteration in the inherent metallic and surface properties of nickel-titanium root canal instruments to enhance performance, durability and safety: a focused review. *Int Endod J.* 2012; 45(2): 113-28.
10. Plotino G, Grande NM, Cotti E, Testarelli L, Gambarini G. Blue Treatment enhances cyclic fatigue resistance of Vortex nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2014; 40(9): 1451-3.
11. Hayashi Y, Yoneyama T, Yahata Y, Miyai K, Doi H, Hanawa T, Ebihara A, Suda H. Phase transformation behaviour and bending properties of hybrid nickel–titanium rotary endodontic instruments. *Int Endod J.* 2007; 40: 247-53.
12. Alapati SB, Brantley WA, Iijima M, Clark WA, Kovarik L, Buie C, Liu J, Ben Johnson W. Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments. *J Endod.* 2009; (35)11: 1589-93.

13. Pirani C, Paolucci A, Ruggeri O, Bossù M, Polimeni A, Gatto MR, Gandolfi MG, Prati C. Wear and metallographic analysis of WaveOne and Reciproc NiTi instruments before and after three uses in root canals. *Scanning*. 2011; 36(5): 517-25.
14. Giuliani V, Di Nasso L, Pace R, Pagavino G. Shaping ability of WaveOne® primary reciprocating files and Pro Taper system used in continuous and reciprocating motion. *J Endod*. 2014; 40(9): 1468-71.
15. Gao Y, Gutmann JL, Wilkinson K, Maxwell R, Ammon D. Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of profile Vortex rotary instruments. *J Endod*. 2012; 38(3): 398-401.
16. Miyazaki S, Oztuka K. Development of shape memory alloys. *ISIJ Internat*. 1989; 29(5): 353-77.
17. Tobushi H, Hachisuka T, Yamada S, Lin PH. Rotating-bending fatigue of a NiTi shape-memory alloy wire. *Mech Mater*. 1997; 26: 35-42.
18. Lopes HP, Gambarra-Soares T, Elias CN, Siqueira JF Jr, Inojosa IF, Lopes WS, Vieira VT. Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. *J Endod*. 2013; 39(4): 516-20.
19. Shen Y, Coil JM, Zhou H, Zheng Y, Haapasalo M. HyFlex nickel-titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties. *Int Endod J*. 2013; 46(8): 720-9.
20. Krishnan M, Seema S, Sukumaran K, Pawar V. Phase transitions in coated nickel titanium arch wires: A differential scanning calorimetric and X-ray diffraction analysis. *Bull Mater Sci*. 2012; 35(5): 905-11.
21. Webber J, Machtou P, Pertot W, Kuttler S, Ruddle C, West J. The WaveOne single-file reciprocating system. *Roots*. 2011; 1: 28-33.
22. Cunha RS, Junaid A, Ensinas P, Nudera W, Bueno CE. Assessment of the separation incidence of reciprocating WaveOne files: a prospective clinical study. *J Endod*. 2014; 40(7): 922-4.
23. Pertot WJ. Sistema Waveone (Dentsply Maillefer). Conformación radicular usando una lima única con movimientos de rotación alterna. Blog Cátedra de Endodoncia, Asociación Odontológica Argentina. 17 Marzo 2011. Disponible en línea en: <http://endodonciaargentina.blogspot.com.co/2011/03/sistema-waveone-dentsply-maillefer.html>.
24. Arias A, Perez-Higueras J, De la Macorra J. Influence of clinical usage of GT and GTX files on cyclic fatigue resistance. *Int Endod J*. 2014; 47(3): 257-63.
25. Shen Y, Coil JM, Zhou HM, Tam E, Zheng YF, Haapasalo M. Profile Vortex instruments after clinical use: a metallurgical properties study. *J Endod*. 2012; 38(12): 1613-7.
26. Huamán J. Comparación de la técnica manual con la técnica rotatoria del sistema k3 y del sistema profile GT en la preparación biomecánica de conductos curvos. [Trabajo de pregrado en odontología]. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 2003.
27. Forero LE, Vesga W. Transformaciones de fase y comportamiento mecánico bajo cargas cíclicas de una aleación binaria Ni-Ti. *Scientia et Technica*. 2007; XIII(36): 821-6.
28. Braz F, Oliveira J, Machado A, Schell N. XRD Study of NiTi endodontic files using synchrotron radiation. *J Mater Eng Perform*. 2014; 23(7): 2477-81.
29. Shen Y, Peng B, Cheung GS. Factors associated with the removal of fractured NiTi instruments from root canal systems. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2004; 98(5): 605-10.

30. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Campbell L, Peng B, Haapasalo M. Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011; 37(11): 1566-71.
31. Yahata Y, Yoneyama T, Hayashi Y, Ebihara A, Doi H, Hanawa T, Suda H. Effect of heat treatment on transformation temperatures and bending properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J.* 2009; 42(7): 621-6.
32. Iijima M, Ohno H, Kawashima I, Endo K, Brantley WA, Mizoguchi I. Micro X-ray diffraction study of superelastic nickel–titanium orthodontic wires at different temperatures and stresses. *Biomater.* 2002; 23(8): 1769-74.
33. Gluskin A, Brown D, Buchanan L. A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J.* 2001; 34(6): 476-84.
34. Fernández Ponce de León YF, Mendiola Aquino C. Evolución de los sistemas rotatorios en endodoncia: propiedades y diseño. *Rev Estomatol Herediana.* 2011; 21(1): 51-4.
35. Montalvão D, Alçada FS, Braz Fernandes FM, de Vilaverde-Correia S. Structural characterisation and mechanical FE analysis of conventional and M-Wire Ni-Ti alloys used in endodontic rotary instruments. *Scientific World J.* 2014; 1: 1-8.
36. Pirani C, Ruggeri O, Cirulli PP, Pelliccioni GA, Gandolfi MG, Prati C. Metallurgical analysis and fatigue resistance of WaveOne and Protaper nickel-titanium instruments. *Odontology* 2014; 102(2): 211-6.

## **CORRESPONDENCIA**

Javier Fernando Gutiérrez Barreto  
[jafeguba@gmail.com](mailto:jafeguba@gmail.com)

Johanna Carolina Monroy Navas  
[johannamonroy1212@gmail.com](mailto:johannamonroy1212@gmail.com)

Diana Carolina Cajamarca Medina  
[dianacajamarcam@hotmail.com](mailto:dianacajamarcam@hotmail.com)