

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA



**COMPARACIÓN IN VITRO DE RESISTENCIA A LA FATIGA
CÍCLICA DE K3XF Y TFA EN ROTACIÓN CONTÍNUA Y
MOVIMIENTO ADAPTIVE.**

TRABAJO TERMINAL QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

PRESENTA:

C.D. LUIS HERNÁN CARRILLO VÁRGUEZ

PRESIDENTE

DRA. MARÍA NICOLASA RENTERÍA AGUILERA

SINODAL

SINODAL

DRA. ANA GABRIELA CARRILLO VÁRGUEZ

DRA. HAYDEE GÓMEZ-LLANOS JUÁREZ

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA. MAYO, 2015

**COMPARACIÓN IN VITRO DE RESISTENCIA A LA FATIGA
CÍCLICA DE K3XF Y TFA EN ROTACIÓN CONTÍNUA Y
MOVIMIENTO ADAPTIVE.**

TRABAJO TERMINAL QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE
ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

PRESENTA:

C.D. LUIS HERNÁN CARRILLO VÁRGUEZ

PRESIDENTE

DRA. MARÍA NICOLASA RENTERÍA AGUILERA

SINODAL

DRA. ANA GABRIELA CARRILLO VÁRGUEZ

SINODAL

DRA. HAYDEE GÓMEZ-LLANOS JUÁREZ

SINODAL EXTERNO

M.C. OSCAR RENÉ BOLAÑOS

ASESOR

M.C.I. BENJAMÍN GONZÁLEZ VIZCARRA

ASESOR

DR. LUIS ALBERTO GAITÁN CEPEDA

TIJUANA, BAJA CALIFORNIA. MAYO, 2015

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESÚMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| Antecedentes..... | 3 |
| Marco Teórico..... | 12 |
| <i>El instrumento rotatorio</i> | 12 |
| <i>Fractura de los instrumentos</i> | 13 |
| <i>Factores predisponentes a la fractura de los instrumentos</i> | 15 |
| <i>Sistema K3 (SybronEndo)</i> | 19 |
| <i>Sistema TF-Adaptive (SybronEndo)</i> | 24 |
| <i>Morfología del sistema de conductos</i> | 27 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 30 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 31 |
| HIPÓTESIS..... | 32 |
| OBJETIVOS..... | 33 |
| VARIABLES..... | 34 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 35 |
| Tipo de estudio..... | 35 |
| Universo de estudio..... | 35 |
| Criterios de inclusión..... | 35 |
| Criterios de exclusión..... | 35 |
| Metodología..... | 35 |
| <i>Materiales:</i> | 35 |
| <i>Diseño de la muestra:</i> | 36 |
| RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 49 |
| <i>Análisis estadístico</i> | 56 |
| DISCUSIÓN..... | 63 |
| CONCLUSIONES..... | 66 |

| | |
|---|----|
| AGRADECIMIENTOS | 67 |
| DEDICATORIA | 69 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 70 |

RESÚMEN

Introducción: El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia a la fatiga cíclica de TF-Adaptive y K3XF cuando son girados de forma continua y en movimiento adaptivo. **Materiales y métodos:** Se utilizaron 24 limas de Níquel-Titanio (12 TFA-ML2 35/06 y 12 K3XF 35/06) divididas en 4 grupos experimentales (n=6): grupo TFA-C, instrumentos TF-Adaptive en rotación continua; grupo TFA-A, instrumentos TF-Adaptive en movimiento adaptativo; grupo K3XF-C, instrumentos K3XF en rotación continua; grupo K3XF-A, instrumentos K3XF en movimiento adaptativo. Fueron ultrasonificados y analizados bajo microscopio clínico y microscopio metalográfico invertido para descartar fisuras o defectos de fábrica. Posteriormente fueron girados en un canal simulado de acero inoxidable, con un radio de curvatura de 5mm y una angulación de curvatura de 60° hasta la fractura y se registró visualmente y con cronómetro digital. Posteriormente se hizo un promedio de número de ciclos hasta la fractura para cada grupo y se realizó un análisis estadístico. Los fragmentos fueron observados bajo microscopio electrónico de barrido para realizar fractografía. **Resultados:** Realizando la prueba *t de student*, K3XF-C y K3XF-A son más resistentes a la fatiga cíclica que TFA-C y TFA-A, con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). Entre los grupos TFA-C y TFA-A, ésta tiene mayor resistencia a la fatiga cíclica con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). De todos los grupos, K3XF-A fue el que mejor resistencia a la fatiga cíclica tiene. **Conclusiones:** El movimiento adaptativo mejora significativamente la resistencia a la fatiga cíclica, en cualquiera de los dos instrumentos, a pesar de que el fabricante lo recomienda utilizar sólo con el sistema rotatorio TFA.

ABSTRACT

Introduction: The purpose of this study was to evaluate the cyclic fatigue resistance of K3XF and TF-Adaptive in continuous rotation and adaptive motion. **Methods:** 24 new nickel-titanium rotary files (12 TFA-ML2 35/06 and 12 K3XF 35/06) were tested and divided in four experimental groups (n=6): group TFA-C, TF-Adaptive instruments in continuous rotation; group TFA-A, TF-Adaptive instruments in Adaptive motion; group K3XF-C, K3XF instruments in continuous rotation; group K3XF-A, K3XF instruments in Adaptive motion. Before the test, all the instruments were observed with a Surgical Operating Microscope and with an Inverted Metallurgical Microscope to discard manufacturing defect. The instruments were subjected to cyclic fatigue test on a static model consisting of a metal block with a simulated canal with 60° angle of curvature and a 5-mm radius of curvature. All instruments were activated until fracture occurred, and the time to fracture was recorded visually for each file with a 1/100-second chronometer. After the test, all instruments were observed through Scanning Electron Microscopy to evaluate type of fracture. **Results:** Cyclic fatigue resistance of K3XF-C and K3XF-A were significantly higher than TFA-C and TFA-A ($p<0.05$). Cyclic fatigue resistance of TFA-A was significantly higher than TFA-C ($p<0.05$). The results showed that K3XF-A has more cyclic fatigue resistance than the others. **Conclusions:** Adaptive motion improves significantly the cyclic fatigue resistance on both instruments, showing better improvement on K3XF.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La separación de instrumentos de NiTi puede ser un gran problema durante el tratamiento de conductos, ya que puede comprometer el pronóstico cuando no es posible retirar el fragmento. La fatiga cíclica y fatiga torsional juegan un papel importante como factores que inducen la fractura de instrumentos rotatorios y que pueden interactuar de manera que la combinación de ambas fuerzas pueden potencializar el riesgo a la fractura. Es por ello que el objetivo del estudio de Ya Shen y Cols (en prensa) era evaluar el efecto de varios grados de fatiga cíclica sobre la fractura por torsión y la precarga torsional sobre la fatiga cíclica en los instrumentos tratados por calor K3 y K3XF. El comportamiento de fatiga de los instrumentos de NiTi fueron probados con los instrumentos rotatorios inmersos en medio acuoso.

Para determinar la resistencia a la fatiga cíclica, utilizaron instrumentos nuevos 25/04 K3XF y K3 (n = 15 para cada grupo) colocados en un aparato para doblar en 3 puntos, con un radio de 7 mm y una curvatura de 45 grados en agua desionizada. El centro de la curvatura en la prueba de fatiga cíclica fue 3.2 mm lejos de la punta. Para determinar los valores base, los instrumentos fueron girados a 500 rpm, como lo recomienda el fabricante, hasta la fractura. Los datos fueron registrados como tiempo hasta la fractura (Nf). Para evaluar el efecto de la fatiga cíclica sobre la torsión, se realizaron precargas cíclicas en las limas bajo 4 condiciones. 15 instrumentos nuevos de cada grupo fueron expuestos a 0%, 25%, 50% o 75% de su respectivo promedio de Nf. Después de esta precarga cíclica, la prueba de carga torsional fue realizada en un aparato para medir la torsión hasta la fractura

y establecer los valores promedio de el torque hasta su fractura y el ángulo de desviación máximo de los instrumentos. La prueba de torsión siguió los lineamientos ISO 3630-1 standard para el uso de la máquina para torsión; 3 mm de la punta del instrumento fueron sujetos firmemente. El aparato contiene un sensor de torque y un motor de rotación a baja velocidad. Antes de la prueba, cada mango del instrumento fue removido hasta el punto donde se une con el eje del instrumento. El final del eje fue conectado a un chuck unido a un motor reversible. La carga torsional y ángulo de desviación fueron registrados hasta que el instrumento se rompió. En el grupo de precarga torsional, 15 instrumentos nuevos de cada grupo fueron precargados a 25% (199 grados), 50% (399 grados), o 75% (598 grados) de su respectivo promedio del ángulo de desviación hasta la fractura torsional. Después de la precarga torsional, la resistencia a la fatiga cíclica fue realizada en un aparato con 3 puntos de flexión.

Después de precargar y después de la fractura de cada instrumento, todos los instrumentos fueron analizados longitudinalmente bajo microscopio electrónico de barrido. La longitud de la fractura fue medida utilizando un microscopio de luz bajo magnificación al 6.3x. La superficie de las fracturas de todos los fragmentos fueron examinadas bajo microscopio electrónico de barrido.

Como resultados obtuvieron: En la prueba de fatiga cíclica, el promedio de número de rotaciones hasta la fractura de K3XF sin precarga torsional fue 2 veces más que Nf de K3 bajo las mismas condiciones. Sin embargo, cuando los valores base de resistencia a torsión de ambos

instrumentos fueron evaluados, el torque y ángulo de rotación a la fractura de K3XF fueron similares a los de K3.

Ningún instrumento se fracturó durante la prueba de precarga torsional o de fatiga. En los grupos de precarga torsional, una baja cantidad de precarga (25% del valor de los ángulos de distorsión) redujo significativamente los valores promedio de Nf de ambos instrumentos in la prueba de fatiga cíclica. Sin embargo, precargas torsionales de 50% y 75% no causaron reducción adicional de Nf en las pruebas de fatiga cíclica de ningún instrumento. Similar a la prueba de fatiga cíclica sin precarga torsional, instrumentos K3XF tuvieron un valor promedio mayor que los correspondientes a K3 después de la precargas torsionales. La longitud de los fragmentos varió entre 2.7-3.2 mm.

Los instrumentos K3 después de precarga de 75% tuvieron menos torque y ángulos de distorsión que los instrumentos nuevos. Sin embargo, en los grupos de K3XF, no hubo diferencia significativa entre el valor del torque y ángulo de distorsión entre los grupos con y sin precarga. La longitud de los fragmentos varió entre 2.7-3.0 mm.¹

Los instrumentos de NiTi son procesados por un tratamiento térmico una vez terminado su obraje con el objetivo de mejorar su flexibilidad, fuerza y modificar la estructura cristalina de la aleación para acomodar algo del estrés interno causado por el proceso de obraje. Clínicamente, los instrumentos endodónticos son diseñados para preparar el conducto en presencia de una solución irrigante y estas condiciones ambientales pueden modificar el origen de la fractura que se produce al iniciar un proceso de fatiga cíclica y su propagación. Es por eso que Shen y Cols (2014) examinaron la

resistencia a la fatiga cíclica de K3 y K3XF en un ambiente húmedo (agua desionizada) para determinar la influencia de éste sobre la fatiga de los rotatorios. Utilizaron instrumentos 25/04 y 40/04 girando dentro de una curvatura de 42 grados, y fueron valorados la cantidad de revoluciones para la fractura. Posteriormente se observaron las superficies de los fragmentos bajo microscopio electrónico de barrido. Como resultados lograron obtener que los instrumentos K3XF tienen una resistencia a la fatiga cíclica superior que K3 bajo ambiente seco y húmedo. K3XF mostró mayor resistencia a la fatiga cíclica en un ambiente húmedo que seco. La resistencia de K3 fue similar bajo ambas condiciones²

El tratamiento térmico de los instrumentos NiTi, sección transversal, velocidad de rotación y métodos de manufactura son parámetros que se conocen ejercen influencia sobre la resistencia de los instrumentos, sin embargo existen debate entre cuál es el mejor movimiento de acción para los sistemas rotatorios. Algunos estudios proponen una mayor resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos cuando son utilizados en movimiento recíproco. Para ello, Pérez-Higueras y Cols (2013) compararon la resistencia a la fatiga cíclica de 3 instrumentos de níquel-titanio (K3, K3XF y TF) bajo rotación continua y recíprocante (a 300 rpm ambos movimientos); utilizaron un total de 210 limas (30/06), 60 K3, 60 K3XF, y 90 TF, divididas en 7 grupos (30 limas en cada grupo). Evaluaron la resistencia a la fatiga cíclica dentro de conductos preformados curvos de acero (60 grados, $r=3\text{mm}$) a 5 mm de la punta El diámetro a esta longitud es de 0.60 mm. K3-continuo, K3XF-continuo y TF1-continuo fueron girados a 300 rpm en rotación continua; TF2-continuo fueron girados a 500 rpm en rotación continua; y K3-recíproco, K3XF-

recíproco, y TF1-recíproco fueron utilizados en un movimiento recíproco a la misma velocidad a giros de 144 grados - 72 grados.

El experimento fue realizado utilizando el modelo de Arias y Perez-Higuera. Se utilizó el conducto de 1mm de diámetro ya que era el diámetro inmediatamente debajo del diámetro de la lima en la entrada del conducto (0.9mm).

El aparato cuenta con un pedazo de metal de acero inoxidable con 11 semiconductos abiertos con 2 porciones abiertas unidas por una curvatura de 60 grados y 3-mm de radio, con diámetros que van de 0.4-1.4mm y una profundidad de 0.1 mm mayor que cada amplitud. La pieza fue adaptada a la base que permitía el ajuste de la posición de las limas en un espacio de 3 ejes. El eje X mantenía la pieza de mano dental y era acercada o alejada de una segunda plataforma, donde estaba insertada la pieza de acero inoxidable. La segunda plataforma ajustaba las posiciones verticales (eje Y) y profundidad (eje Z) de los conductos.

Tanto el conducto como la lima fueron lubricados con aceite sintético para minimizar la fricción. El motor y un cronómetro de 1/100 fracciones de segundo eran simultáneamente activados, la lima era monitoreada a través de una cubierta, y el tiempo (segundos) a la fractura era registrado. Se hizo un análisis de Weibull para calcular los diferentes parámetros con un 95% de confianza para cada grupo.

Los resultados que obtuvieron fueron una mejor resistencia a la fatiga cíclica bajo movimiento recíprocante para los tres sistemas rotatorios, sobresaliendo K3XF y TF. Bajo movimiento continuo K3XF fue más resistente que K3 y TF³.

En 2013, Eugenio Pedullà, publicó el estudio *Influencia de Movimientos Continuos o Reciprocantes en la Resistencia a la Fatiga Cíclica de 4 Diferentes Instrumentos Rotatorios de Níquel-Titanio*, el objetivo del estudio fue evaluar la resistencia a la fatiga flexural de Reciproc R25, WaveOne Primary, Mtwo y Twisted File utilizados en rotación continua o en 2 diferentes movimientos reciprocantes. En materiales y métodos se utilizaron un total de 180 limas para uso en movimiento reciprocante (Reciproc y WaveOne) y rotación continua (Mtwo y TF). En movimiento reciprocante se seleccionaron Reciproc R25 y WaveOne Primary, ambas con un ISO de 25 mm en la punta y una conicidad de .08 en los 3 mm apicales con una conicidad decreciente y variable en los demás mm. En rotación continua se seleccionaron Mtwo #25/06 y TF #25/06. Se dividieron en 3 grupos de 45 limas de 25 mm de longitud (n=15) basados en la prueba de movimiento: rotación continua (grupo 1: 300rpm), movimiento reciprocante con "RECIPROC ALL" (grupo 2), y movimiento reciprocante con "WAVEONE ALL" (grupo 3). Se inspeccionaron todos los instrumentos bajo un estereomicroscopio (SZR-10) para identificar defectos o deformidades de fábrica. Un modelo estático para la prueba de fatiga cíclica se utilizó en un aparato realizado a la medida que permitía simular el movimiento de in instrumento en un canal curvo, el cual es similar al descrito previamente por Plotino y cols. Éste contaba con un radio de curvatura de 5 mm y un ángulo de curvatura de 60° medido de acuerdo al método de Schneider, un centro de curvatura de 5 mm de la punta del instrumento, y un segmento curvo en el canal de aproximadamente 5 mm de longitud. Los canales se cubrieron con vidrio para prevenir que el instrumento se saliera. Las limas se activaron

utilizando un contraángulo de reducción de 6:1 (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany) accionados por un motor de torque controlado (Silver Reciproc; VDW, Munich, Germany).

Para reducir la fricción entre el instrumento y el canal metálico, se utilizó aceite sintético para la lubricación de partes mecánicas (Super Oil). Todos los instrumentos fueron rotados hasta que ocurriera la fractura y el cronómetro se paró inmediato a que esto ocurriera. Para evitar error humano, se grabó video simultáneamente, y las grabaciones fueron posteriormente observadas para confirmar el registro previo. El NCF se calculó multiplicando el tiempo (en segundos) hasta la fractura por el número de rotaciones o ciclos por segundo. (El fabricante menciona que "RECIPROC ALL" posee una velocidad de 300 rpm y "WAVEONE ALL" posee una velocidad de 350 rpm). La longitud de la porción fracturada se midió utilizando un microcalibrador digital (Mitutoyo). Los datos NCF se analizaron utilizando 2 análisis de variables y en Bonferroni post hoc a 0.05 (Prism 5.0). El NCF era la variable dependiente, mientras que la marca de las limas y el tipo de rotación/reciprocante fueron la variable independiente. Los resultados arrojaron que existen diferencias estadísticas significativas entre los 3 grupos de la misma marca cuando se considera el tipo de rotación/reciprocante como la variable independiente. Por otra parte, existieron diferencias significativas entre los mismos grupos cuando se consideró la marca como la variable independiente. El análisis Post Hoc mostró una diferencia significativa mayor a resistencia a la fatiga cíclica entre 2 tipos de movimiento reciprocante ("RECIPROC ALL" y "WAVEONE ALL") cuando se compararon con rotación

continua. No hubo diferencia significativa entre los 2 diferentes movimientos recíprocos probados en cuanto a resistencia a la fatiga cíclica.⁴

Se ha propuesto que la memoria elástica y superelasticidad de los instrumentos NiTi son altamente dependientes del proceso termomecánico durante su manufactura, a raíz de ellos se ha reportado que el tratamiento térmico adicional de los instrumentos durante la esterilización por autoclave puede incrementar su flexibilidad. En el 2012, Plotino y Cols. evaluaron el efecto de la esterilización por autoclave sobre la resistencia a la fatiga cíclica de 4 sistemas rotatorios: K3, Mtwo, Vortex y K3XF. En dicha investigación se sometieron los instrumentos del mismo tamaño y taper (40/04) a 10 ciclos de esterilizado a una temperatura de 134 grados Centígrados por 35 minutos (20 minutos de esterilización y 15 para secar) y se realizó la prueba de resistencia a la fatiga cíclica posteriormente. Se eligieron 12 limas de cada subgrupo para realizar la prueba, teniendo un total de 96 instrumentos. El aparato utilizado para la prueba de fatiga cíclica consistía en un marco donde un soporte plástico se conectaba a la pieza de mano y un bloque de acero inoxidable contenía los conductos artificiales. La pieza de mano era montada sobre un aparato móvil para permitir la colocación precisa y reproducible de cada instrumento dentro del conducto artificial. Esto aseguraba una alineación en 3 dimensiones y la posición de los instrumentos a la misma profundidad. El conducto artificial era manufacturado reproduciendo el tamaño y taper de los instrumentos, para así proveer al instrumento una trayectoria cómoda que respetara los parámetros de la curvatura elegida. Cada instrumento era probado en un conducto radicular simulado con un ángulo de curvatura de 60 grados y un radio de curvatura de 5mm. El centro de la curvatura estaba

localizado a 5 mm de la punta de la lima, y el segmento curvo del conducto medía alrededor de 5 mm de longitud. Todos los instrumentos fueron girados a una velocidad constante de 300 rpm utilizando un contra-ángulo de reducción 6:1 hasta que la fractura ocurría. El tiempo a la fractura era medido visualmente con un cronómetro calibrado a 1/100 fracciones de segundo y multiplicado por el número de rotaciones por minutos para obtener el número de cíclicos hasta la fractura y la longitud del fragmento era medido para cada grupo. Finalmente, la información era sometida a un análisis de un sólo sentido de variable para determinar diferencias significativas entre los grupos. Cuando la prueba indicaba una diferencia significativa, se utilizó la prueba t de Student-Neuman-Keuls para identificar el promedio que diferenciaba uno de otros. Los instrumentos K3XF que fueron sometidos a los ciclos de esterilización resultaron ser más resistentes a la fatiga cíclica que los que no fueron esterilizados, con una diferencia significativa de 111 ciclos. Los demás sistemas rotatorios no mostraron diferencia significativa entre los que fueron esterilizados y los que no. (K3, 424 contra 439; Mtwo, 409 contra 419; Vortex, 454 contra 480)⁵.

MARCO TEÓRICO

El instrumento rotatorio

En 1988, la aleación de níquel-titanio fue propuesta para uso en la manufactura de instrumentos endodónticos; desde entonces se hicieron populares por su mayor flexibilidad, habilidad de corte, y una preparación más rápida y centrada³. La aleación de níquel/titanio ofrece una superelasticidad, término utilizado para caracterizar la propiedad de ciertas aleaciones metálicas al retornar a su forma original, después de librarse de una acción (fuerza) de deformación. Las aleaciones de níquel/titanio, cuando sometidas a la deformación de hasta 10%, pueden retornar a su forma normal, siendo, por lo tanto, recuperables; mientras las limas de acero inoxidable solamente retornan a su estado inicial cuando la deformación no es superior al 1%⁶

El níquel-titanio posee una propiedad de efecto de memoria, es decir, que vuelve a su forma inicial, después de la deformación y muestra con ello una gran elasticidad; indicación principal por la cual estos instrumentos no se deben precurvar⁷.

Por otro lado, la deformación plástica de una aleación se caracteriza por su capacidad de sufrir deformaciones permanentes, sin alcanzar la ruptura. Esta propiedad permite evaluar la capacidad de trabajo mecánico que el material podría soportar, conservando su integridad física.

Las propiedades de memoria de forma y superelasticidad están asociadas a una transformación de fase en estado sólido, la transformación martensítica termoelástica. Se utiliza el término de austenita, o fase beta (β), para la fase madre, estable a altas temperaturas, y el término de martensita,

para la fase que proviene de la austenita por una transformación martensítica. Esta es también la fase estable a "bajas" temperaturas⁸.

La aleación de níquel-titanio presenta dos fases cristalográficas. Cuando una lima, fabricada con este tipo de aleación, está en reposo, ésta se presenta en la fase de austenita, y cuando está en movimiento rotatorio, presenta una deformación conocida como martensita, propia de las aleaciones superelásticas, las cuales son susceptibles a la fractura y la deformación. Así, las limas confeccionadas con aleaciones de níquel-titanio poseen mayor tendencia a la fractura, que las fabricadas con acero inoxidable⁹.

El cambio de austenita a martensita facilita la fractura de los instrumentos rotatorios de níquel-titanio, el cual es dado por los elevados niveles de stress (presión y calor), puede ocurrir en dos formas; fractura por torsión y fractura por fatiga de flexión¹⁰.

Fractura de los instrumentos

Los instrumentos de NiTi ofrecen excelente flexibilidad y eficiencia de corte, además de poder preservar suficiente estructura dentaria y respetar la anatomía del conducto radicular¹¹. La fractura de los instrumentos es un evento complejo, multifactorial donde influye tanto el operador, anatomía del conducto, propiedades del instrumento, e influencia del riesgo de fractura. Aumentar la resistencia a la separación de instrumentos ha sido uno de las metas principales de los fabricantes para desarrollar los últimos instrumentos de NiTi, cuyo objetivo es mejorar la seguridad a través de diseños exclusivos y de manufactura. Tratamientos térmicos, como M-Wire (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa,OK), Fase-R (SybronEndo, Orange, CA) y control

de memoria (CM Wire en inglés), ha sido utilizado para optimizar las propiedades mecánicas de los instrumentos rotatorios. El proceso termomecánico es un método frecuente que se utiliza para optimizar la microestructura y comportamiento de las aleaciones de NiTi¹². La fase-R es una fase intermedia con distorsión romboidal de la fase cúbica austenita creada por un proceso de calentamiento y enfriamiento en donde la forma final de la lima se consigue, y otras series de enfriamiento y calentamiento convierten el alambre devuelta a su fase austenita cristalina³. Recientemente, un proceso térmico especial fue introducido a las limas NiTi después de ser torneado. Teóricamente, la ventaja principal de este tratamiento térmico no es sólo mejorar la flexibilidad y fuerza de la lima pero también modificar la estructura cristalina de la aleación para aliviar parte del estrés interno causado por el torneado. La nueva técnica puede eliminar muchos defectos del torneado y producir instrumentos con propiedades mecánicas superiores¹².

A pesar de estos avances, los instrumentos de NiTi son vulnerables a la separación. Dependiendo del tipo de fractura, se pueden categorizar como fatiga cíclica flexural o fatiga torsional en el 44.3% y 55.7% de los casos, respectivamente. A pesar de que ambos tipos de fracturas ocurran probablemente a la par en situación clínica, muchos de los estudios de limas NiTi se han realizado de manera individual para fatiga cíclica o fatiga torsional. La fatiga cíclica flexural de los instrumentos ocurre cuando un instrumento gira en un conducto curvo con estrés repetitivo de compresión y tensión¹¹. Los alambres con los que están fabricados los instrumentos se componen por fibras metálicas, las cuales están alineadas longitudinalmente.

Existe una fibra metálica en el centro de los instrumentos la cual es denominada fibra neutral. Al introducir un instrumento a un conducto radicular curvo, este sufre una deformación por lo que las fibras del lado cóncavo del instrumento van a ser comprimidas y las del lado convexo van a sufrir una dilatación. Al aplicarle movimientos de rotación al instrumento, las fibras metálicas empiezan a sufrir contracciones y dilataciones alternadamente, por lo que de esta manera se le induce a una fatiga cíclica, la cual es acumulativa y no reversible. Al haber superado los límites de elasticidad del instrumento, éste sufre deformaciones plásticas irreversibles y posteriormente se fractura. La fractura, por lo general, se produce al comienzo de la curvatura del conducto ya que es ahí donde el instrumento sufre mayor grado de distorsión¹³. La fractura torsional ocurre cuando la punta del instrumento se atasca en el conducto, pero el motor continúa girando. El límite elástico del instrumento se excede, causando deformación plástica y, por consiguiente, fractura¹¹.

Factores predisponentes a la fractura de los instrumentos

En la mayoría de los casos, la fractura de los instrumentos rotatorios de NiTi ocurre por el incorrecto o excesivo uso por parte del operador, sin embargo muchos factores se han relacionado con la predisposición a la fractura de los instrumentos de NiTi¹⁴.

Diseño del instrumento:

1.- Superficie radial o guía lateral de penetración (radial land): Todos los instrumentos rotatorios y manuales poseen un ángulo de corte que impide que estos instrumentos giren cuando son presionados hacia el ápice. Para

solucionar este problema, los instrumentos rotatorios fabricados con níquel-titanio presentan áreas de contacto desbastadas. De esta forma, se creó el plano radial

El plano radial proporciona un plano de contacto del instrumento con la pared del conducto radicular.

Este plano de contacto impide que el instrumento se imbrique en las paredes del conducto radicular cuando se presiona el mismo hacia el ápice. Permite que al girar el instrumento en el conducto, éste se deslice por las paredes dentinarias, proporcionando una función de ensanchamiento y no de linaje, concurriendo para un menor riesgo de fractura.

2.- Ángulo de corte o ángulo de incidencia de la hoja de corte: El surgimiento del plano radial hace con que el ángulo de corte de estos instrumentos sea levemente negativo, haciendo con que el desgaste no sea tan intenso. La compensación en la pérdida del poder de corte se hace por el aumento de la velocidad que los instrumentos rotatorios realizan.

3.- Alivio del plano radial: Está representado por la intersección de las superficies de ataque. Este alivio permite un área menor de contacto con la dentina, disminuyendo la fricción.

4.- Área de escape: Los instrumentos de níquel-titanio accionados a motor ofrecen a través de su sección transversal surcos y/o ranuras que actúan como área de escape, una vez que estos espacios sirven para recibir las limallas dentinarias, consecuentes de la instrumentación del conducto radicular⁶.

5.- Diámetro del instrumento: Mientras mayor es el diámetro del instrumento, se ha demostrado que tiende a sucumbir a la fatiga de flexión en comparación con los diámetros más pequeños¹⁴.

Dinámica del uso de los instrumentos:

La velocidad con la que operan los instrumentos, así como hoy en día los distintos tipos de movimiento de los motores eléctricos endodóncicos influye de manera directa en la resistencia a la fractura torsional o por flexión, sin embargo, algunos autores han informado que la velocidad de rotación de los instrumentos no puede influir en la frecuencia de fracturas de las limas de NiTi, pero puede deberse a las variaciones presentadas en las distintas condiciones de estudios, distintos operadores, y diferentes tipos de instrumentos¹⁵.

Movimiento adaptativo (Adaptive Motion)

Es un movimiento que cambia y se adapta según las necesidades de cada caso; gira de forma tradicional y horaria cuando el instrumento se encuentra liberado dentro del canal o está sometido a bajo stress (600°), y se realiza un movimiento recíproco cuando la carga aumenta ($370^\circ/50^\circ$).

Con este movimiento adaptativo, dependiente de la carga sobre el instrumento, SybronEndo afirma que se obtienen los beneficios de los sistemas rotatorios tradicionales, como la eficiencia de corte, eliminación de limalla y disminución de la posibilidad del empaquetamiento e impulsión de detritos más allá del foramen apical, y de los movimientos recíproco, que mejora la resistencia a la fatiga cíclica en situaciones de mayor carga o stress. Este movimiento adaptativo necesita de un nuevo motor eléctrico,

"Elements", que detecta qué tan "trabado" está el instrumento, a lo que responde modificando la forma de rotación¹⁶.

Fabricación de los instrumentos rotatorios

La fabricación de los instrumentos endodónticos envuelve la torsión y el obraje. Para las limas de acero inoxidable, el proceso de fabricación puede ser por torsión y también por obraje; para las limas de níquel-titanio la confección se realiza por obraje.

En la fabricación por torsión, las hélices están dispuestas de derecha a izquierda (espiras con aristas vivas), confeccionadas a partir de un mango metálico piramidal y de sección recta triangular o cuadrangular. En el obraje, el mango de sección recta circular con hélices de la derecha a la izquierda, sometidas al corte con fresas. Las limas de níquel-titanio, a causa de la superelasticidad, son confeccionadas por obraje.

Durante el obraje, pequeñas marcas y ondulaciones son introducidas en la superficie de los instrumentos a través de herramientas de corte. Estos defectos de acabado superficial pueden actuar concentrando tensiones y causando la fractura, en sobrecarga inferiores a los esperados. Tanto la torsión como la flexión en los instrumentos de níquel-titanio pueden causar fractura. La fractura por torsión ocurre cuando la punta del instrumento queda inmovilizada en el interior del conducto, siendo que el esfuerzo acaba determinando una deformación plástica en la lámina del instrumento, que puede superar el límite de resistencia a la fractura. La fractura por flexión ocurre cuando en la región de la flexión se genera tensiones que varían alternadamente entre la tracción y la compresión. A partir de la repetición cíclica de la sobrecarga, incluso con tensión inferior al límite de flujo, induce

a la nucleación de trincas que pueden propagarse hasta la fractura del instrumento¹⁷.

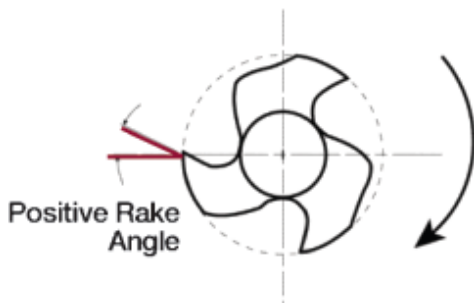
Un nuevo proceso de manufactura totalmente diferente ha sido desarrollado por SybronEndo para crear un nuevo sistema rotatorio NiTi para preparación de conductos llamado Twisted File (TF). Utiliza la torción de una barra blanca en combinación con un tratamiento térmico para mejorar la superelasticidad e incrementar la resistencia a la fatiga cíclica. Más específico, los instrumentos TF son creador al tomar una barra de NiTi en su estructura cristalina austenítica y transformándola en una fase de estructura cristalina distinta (Fase-R) por un proceso de calor y enfriamiento. En la Fase-R, el NiTi no puede ser obrado, pero sí puede ser torcido. Una vez torcido, la lima es calentada y enfriada de nuevo para mantener su nueva forma y convertirla de regreso a su estructura cristalina austenítica, la cual la hace superelástica una vez sometida a estrés¹³.

Sistema K3 (SybronEndo)

SybronEndo (Orange, CA, EUA) lanzó al mercado el sistema K3 en el 2002, y son parte de la tercera generación de instrumentos rotatorios de NiTi. La introducción de modelado por computadora sofisticado, y máquinas modernas de torneado han ayudado al fabricante para crear instrumentos innovadores. Muchos componentes de su diseño hacen K3 un instrumento excepcional.

Ángulo de corte positivo: La eficiencia de corte de un

K3 cutting efficiency



instrumento depende de su ángulo de corte. El ángulo de corte ideal debe ser ligeramente positivo ya que un ángulo de corte positivo muy marcado produciría un instrumento muy agresivo para la dentina y pudiera causar atascamiento. K3

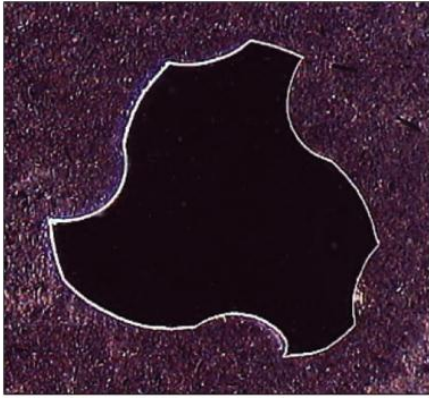
presenta un diseño asimétrico con un ángulo de corte ligeramente positivo para una eficacia en su corte óptimo.

Ángulo helicoidal: Una vez que el instrumento corta la dentina, el

debris debe ser removido¹⁸. El ángulo helicoidal de K3, siendo variable (31 grados a partir de D0, con aumento para 43 grados en D16), favorece la retirada de raspas de dentina en la cara del ángulo de corte¹⁷. Los chips de dentina resultantes de la acción de corte de K3 son fácilmente desalojados del área de trabajo y llevado hacia sentido coronal por su ángulo helicoidal único. El resultado es un instrumento con remoción de debris incomparable¹⁸.

Planos radiales amplios: La fuerza de la lima proviene de su

núcleo interno, más que de su área periférica cerca de la navaja de corte. Esta parte del instrumento también se llama plano radial. Entre menos soporte de las navajas (la cantidad de metal debajo de la navaja) menos resistente es el instrumento al estrés torsional. El plano radial aumentado de K3 aumenta su fuerza periférica debajo de la navaja con un efecto positivo sobre la resistencia del instrumento durante la rotación.



Alivio periférico de la navaja: El alivio periférico fue diseñado para reducir la fricción y facilitar un manejo suave del instrumento. Además ayuda a controlar la profundidad del corte. Esto ayuda a proteger al instrumento de un sobre-atascamiento, y separación.

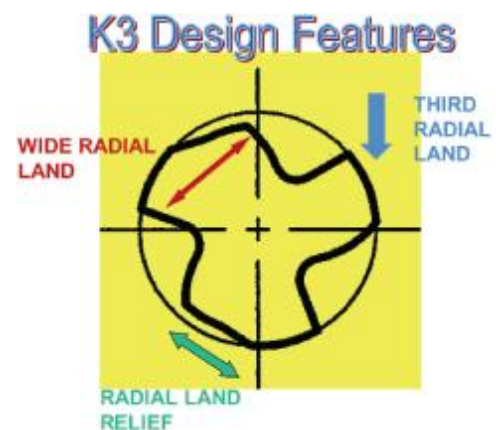
Tercer plano radial: El propósito primordial del tercer plano radial es prevenir que el instrumento se atasque en el conducto. Esta cualidad ayuda al operador para tener mayor control en el centrado y estabilidad del instrumento mientras se encuentra girando.

Diámetro variable del

núcleo: También conocido como profundidad de estrías variable. La

proporción del diámetro del núcleo hasta el diámetro externo es mayor en la punta, donde se necesita mayor fuerza. Esta proporción después disminuye uniformemente hacia el mango, resultando una profundidad de estrías mayor y un aumento en la flexibilidad, manteniendo la fuerza.

Punta segura: La punta sin corte de K3 ayuda al instrumento para seguir el conducto mientras minimiza el riesgo de producir escalones, zipping y perforaciones. Esta cualidad también ayuda a minimizar la transportación del conducto. Además, la tendencia de empujar debris apicalmente es



reducida significativamente, así el postoperatorio del paciente es menos doloroso.

Mango: El mango de K3 es 4mm más corto que el de otros sistemas rotatorios, sin afectar la longitud de sus navajas. Dicho diseño le provee de efectividad en su seguridad y eficiencia. Otra característica importante es la amplia gama de tapers y tamaños. Los tapers van desde 0.02 a 0.12 y tamaños de la punta de 15 a 60. Esta opción es muy importante debido a la anatomía, y estrategia del clínico para negociar los conductos caprichosos¹⁸. En el mango existen dos surcos con dos colores que identifican la conicidad (parte superior, color verde, conicidad 0,04 mm; color naranja, conicidad 0,06 mm - la parte inferior se refiere al diámetro ISO / D0)¹⁷. Los instrumentos con taper 0.02 puede ser extremadamente útil en muchos de los casos donde los conductos son complejos y curvos, debido a su alta flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica. Este instrumento ha sido incorporado en un secuencia específica llamado G Pack. Las limas de gran taper (abridores de orificio) han sido modificadas en su diseño debido a la importancia del ensanchamiento del conducto.

Paquetes de procedimiento (Procedure Pack) fáciles de seguir, que consisten en 6 diferentes limas K3 han sido elaborados para guiar al clínico en las diferencias de anatomías radiculares. Las limas K3 se utilizan como se muestra a continuación:

Pasos a seguir para instrumentación con Procedure Pack:

1. Crear un acceso en línea recta hacia el conducto, localizar la entrada y obtener patencia.

2. Comenzar en sentido corono-apical utilizando una lima K3/0.10 hasta sentir resistencia.
3. Llevar una lima K3/0.08 hasta sentir resistencia.
4. Estimar el tamaño apical
5. Volver a entrar en sentido corono-apical con un instrumento K3 #40.
6. Establecer longitud de trabajo con un localizador de ápices. Una radiografía debe ser tomada para confirmar la longitud y evaluar la morfología del conducto.
7. Completar la preparación corono-apical con un instrumento #35, #30, #25, llevándolos hasta sentir resistencia a 300-350 r.p.m. Cada instrumento deberá utilizarse sólo por 5-7s. La elección entre tapers 0.04 y 0.06 se determinará por la anatomía del conducto y técnica de obturación.

Pasos a seguir para instrumentación con G-Pack (taper gradual):

1. Crear un acceso en línea recta hacia el conducto, localizar la entrada y obtener patencia.
2. Comenzar en sentido corono-apical utilizando una lima K3/0.12 hasta sentir resistencia (el taper 0.12 está diseñado para abrir orificios únicamente).
3. Llevar la lima K3 con taper 0.10 hasta sentir resistencia.
4. Establecer longitud de trabajo, como fue descrito con anterioridad.
5. Llevar una lima K3 con taper 0.08 hasta sentir resistencia.
6. Llevar una lima 25/06 hasta sentir resistencia. Muchos conductos estarán terminados después de este paso. En conductos difíciles, curvos y estrechos se puede utilizar una lima 25/04 y 25/02 hasta alcanzar la longitud de trabajo. Recapitular con lima de taper 0.04, y luego 0.06, de ser posible¹⁸.

K3 fue lanzado al mercado en el 2002, manufacturado por un proceso de torneado tradicional. Twisted File fue lanzado en el 2008 con un proceso de elaboración distinto donde incluía 3 métodos nuevos: tratamiento térmico (fase-R), torsión del alambre metálico, y acondicionamiento especial de la superficie. En el 2011, se desarrolló K3XF con el mismo protocolo de calentamiento-enfriamiento que TF, pero en lugar de ser torcido, es torneado como K3.

Por una parte, K3 y K3XF están hechos de diferente aleación de NiTi (K3 está hecho con NiTi convencional y K3XF de fase-R); sin embargo, tienen la misma sección transversal (una triple U modificada: 2 planos radiales con una zona reducida para minimizar la fricción y un plano radial completo), pasan por el mismo método de manufactura (torneado), y se utilizan con el mismo protocolo recomendado por el fabricante (rotación continua a 300-350 rpm).

El tratamiento térmico, sección transversal de los rotatorios, velocidad de rotación continua y el método de manufactura son parámetros que se saben influyen la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios³.

Sistema TF-Adaptive (SybronEndo)

Las limas Twisted Files (TF) desarrolladas por SybronEndo tienen un corte transversal de forma triangular con taper constante de .04, .06, .08, .10 y .12. Están disponibles en 5 tamaños en su punta (25-50). El fabricante refiere nuevos métodos de diseño de estas limas, entre ellos el tratamiento a base de calor llamado R-Phase que le otorga significativamente mayor

resistencia a la fatiga cíclica y flexibilidad, manteniendo el centrado del conducto original y minimizando la transportación del conducto incluso en aquellos severamente curvos.

Tan solo unos meses después de su lanzamiento mundial, la compañía propone una nueva cinemática que mezcla las ventajas del movimiento recíproco con el de rotación continua.

El sistema se origina a partir del instrumento Twisted File, uno de los más flexibles y de mayor resistencia a la fatiga cíclica que existen. Sus características se deben a una modificación en la aleación de NiTi llamada R-Phase o Fase R, que permite una fabricación por torsión en vez de torneado, lo que evita las marcas que deja el torno y que muchas veces son el punto de inicio de una fractura.

Este nuevo sistema se llama TF Adaptive, y presenta un movimiento que cambia y se adapta según las necesidades de cada caso; gira de forma tradicional y horaria cuando el instrumento se encuentra libre dentro del canal o está sometido a bajo stress, y realiza un movimiento recíproco cuando la carga aumenta.

Con este movimiento adaptativo, dependiente de la carga sobre el instrumento, SybronEndo afirma que se obtienen los beneficios de los sistemas rotatorios tradicionales, como la eficiencia de corte, eliminación de limalla y disminución de la posibilidad del empaquetamiento e impulsión de detritos más allá del foramen apical, y los del movimiento recíproco, que mejora la resistencia a la fatiga cíclica en situaciones de mayor carga o stress.

Este movimiento adaptativo necesita de un nuevo motor eléctrico, “Elements” que detecta qué tan “trabado” está el instrumento, a lo que







responde modificando la forma de rotación. El motor aparte de desarrollar este nuevo movimiento, es capaz de girar de forma tradicional permitiendo la utilización de otros instrumentos rotatorios.

Cuando TF Adaptive gira de forma “normal”, sin mucha carga sobre el instrumento, el movimiento rotacional se describe como $600^{\circ}/0^{\circ}$, es decir, el instrumento da un poco más de 1,5 vueltas, hace una pequeña pausa casi imperceptible, y vuelve a girar de forma horaria. Cuando el movimiento es recíprocante, gira 370° horario y 50° antihorario. Es importante recalcar que estos giros son los límites de los movimientos, pues no son constantes y van variando de acuerdo al esfuerzo al que está sometido el instrumento.



La razón de esta singular cinemática es evitar un movimiento recíprocante continuo, que según investigaciones recientes impulsa detritos a los tejidos periapicales, generando inflamación, daño y malestar postoperatorio. Por ello, la reciprocación queda reservada para las situaciones de mayor stress o atrapamiento del instrumento, como el inicio de la preparación o la terminación del tercio apical.

TF Adaptive tiene una secuencia para canales amplios y otra para canales estrechos. Cada una presenta tres instrumentos, los que están codificados con los colores de un semáforo, de tal manera que es fácil de recordar al utilizar.

| | | | |
|-----------------------|--|--|--|
| SMALL (SM) | SM1: #20/ .04  | SM2: #25/ .06  | SM3: #35/ .04  |
| MEDIUM/ LARGE (ML) | ML1: #25/ .08  | ML2: #35/ .06  | ML3: #50/ .04  |

El instrumento verde es el primero en utilizarse, y realiza el ensanchamiento inicial hasta longitud de trabajo; el amarillo continúa ensanchando la preparación, y su color sugiere detenerse o seguir hasta el instrumento rojo si se considera que no se ha alcanzado la amplitud adecuada para terminar la conformación mecánica del canal.

SybronEndo sostiene que al utilizar una secuencia de tres instrumentos en vez de uno solo (como es la tendencia actual), el incremento en diámetro de la preparación en apical será progresivo, menos agresivo y minimizará la posibilidad de cracks en las paredes radiculares. En cuanto al instrumento, se disminuirían los esfuerzos y por lo tanto, las fracturas¹⁶.

Morfología del sistema de conductos

Un buen diagnóstico y plan de tratamiento, en conjunto con conocimientos de la morfología de conductos y sus variaciones frecuentes es un requisito básico para el éxito endodóntico. La mayoría de los conductos poseen una curvatura en sentido buco-lingual. Estas curvaturas pueden producir problemas durante la conformación y limpieza del conducto ya que no son evidentes en una radiografía orto-radial. La curvatura puede presentarse de manera gradual a lo largo del conducto o de manera abrupta a cualquier nivel. Curvaturas dobles en forma de “s” también pueden presentarse¹⁹.

Las curvaturas de los conductos fueron definidas históricamente utilizando el método introducido por Schneider en 1971. El ángulo y el radio de curvatura fueron establecidos como parámetros ampliamente aceptados para definir las características de una curvatura y ha sido utilizado en investigación endodóntica. El método de Schneider utiliza un sólo parámetro para definir el ángulo en grados. Para determinar el ángulo de curvatura de un conducto, Schneider dibujó una línea paralela al eje longitudinal del conducto. Una segunda línea se dibuja desde el foramen apical hasta intersectar con la primera línea en el punto donde el conducto comienza a desviarse del eje longitudinal del conducto. El ángulo formado se define como ángulo de curvatura (Figura 1). La forma de cualquier curvatura de un conducto fue mejor descrita por Pruett, utilizando dos parámetros: ángulo de curvatura y radio de curvatura. Para determinar estos parámetros, una línea recta se dibuja a lo largo del eje longitudinal de la porción coronal recta del conducto. Una segunda línea se dibuja a lo largo del eje longitudinal de la porción apical recta del conducto. Hay un punto en ambas líneas en donde el conducto se desvía para comenzar o finalizar la curvatura. La porción curva del conducto se representa por un círculo con tangentes en estos dos puntos. El ángulo de curvatura es el número de grados en el arco del círculo entre estos dos puntos. El ángulo de curvatura puede definirse también como el ángulo formado por las líneas perpendiculares dibujadas desde el punto de desviación que intersecta con el centro del círculo. La longitud de estas líneas es el radio del círculo y define el radio de curvatura del conducto, midiéndose en milímetros (Figura 2). Este parámetro representa qué tan abrupto un ángulo de curvatura específico puede ser partiendo de una línea recta. Entre

más pequeño sea el radio de curvatura, más abrupta es la desviación. Estos dos parámetros son independientes uno del otro²⁰.

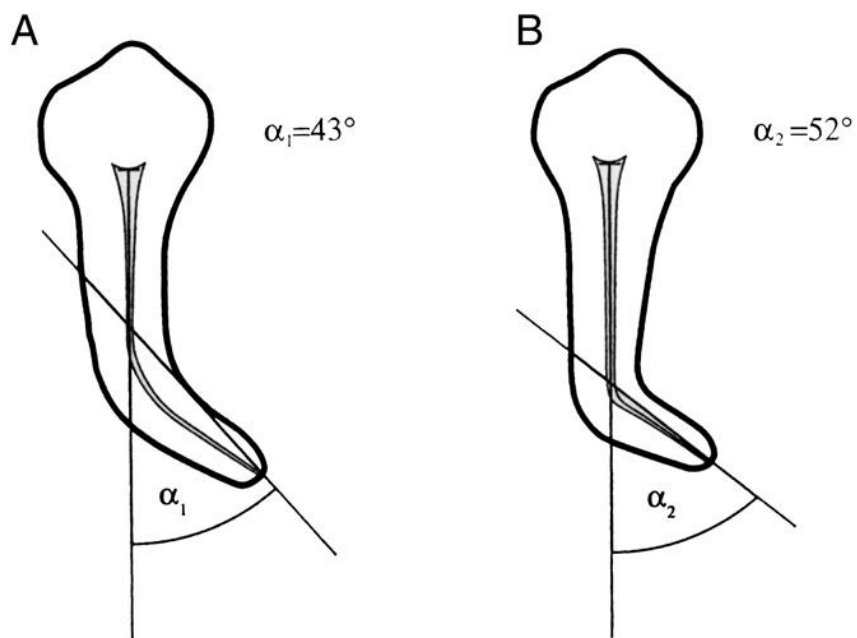


Figura 1. Técnica propuesta por Schneider

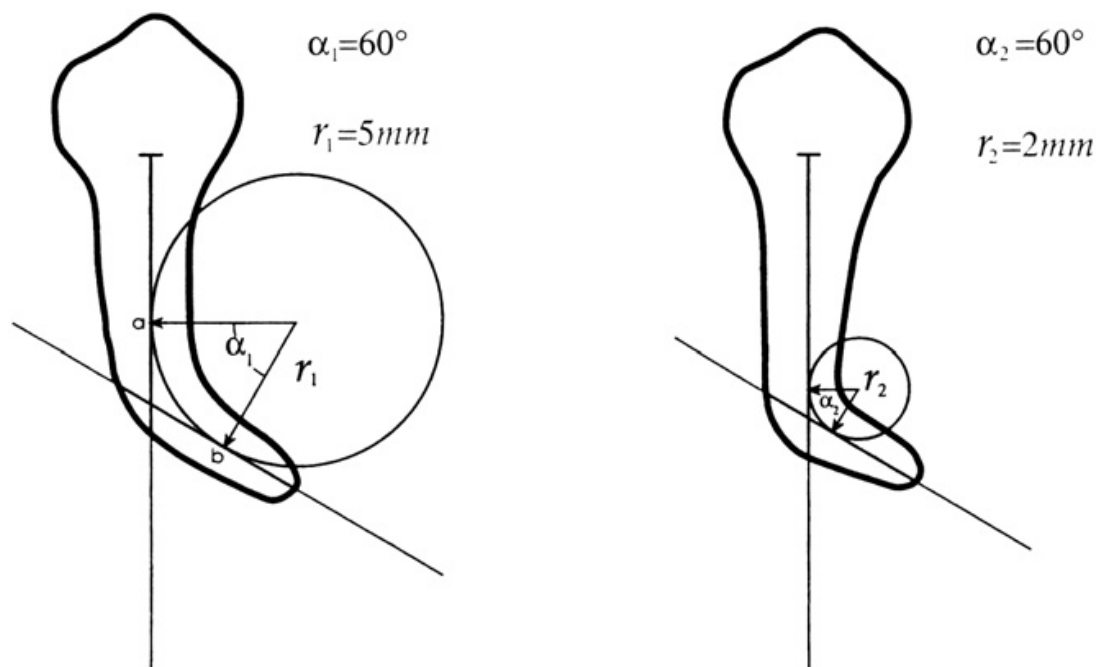


Figura 2. Técnica propuesta por Pruett

JUSTIFICACIÓN

La instrumentación de los conductos radiculares puede no completarse de manera adecuada cuando surgen accidentes, como separación o fractura de instrumentos durante el tratamiento que comprometan su pronóstico. Los instrumentos rotatorios tienen un límite de uso antes de sufrir una fractura por fatiga cíclica, que se conoce como número de ciclos antes de la fractura. Es importante conocer estos datos ya que podemos prevenir una separación de instrumentos dentro del sistema de conductos radiculares.

En el presente estudio se pretendió evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de 2 sistemas de instrumentación de níquel-titanio, comparando el sistema K3XF (SybronEndo) y el sistema TFA (SybronEndo), cada uno durante dos movimientos distintos: rotación continua y movimiento adaptivo. Además conocer si existe una relación con el proceso de manufactura y el tipo de movimiento a los que son sometidos los instrumentos rotatorios y así intentar disminuir accidentes durante el tratamiento de conductos que puedan comprometer su pronóstico.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante la instrumentación del sistema de conductos se pueden presentar distintas configuraciones de ellos. Cuando existen curvaturas, la preparación se vuelve más difícil, además de que los instrumentos sufren cargas mayores o menores dependiendo de la morfología del diseño geométrico del instrumento y morfología del conducto radicular²¹.

Dichas cargas excesivas o estrés al instrumento rotatorio puede llevarlo a una fractura por fatiga cíclica, por torsión o por una combinación de ambas, lo cual es un aspecto que siempre debe ser considerado al usar instrumentos rotatorios.

La fractura inesperada del instrumento rotatorio de NiTi dentro del conducto radicular durante el tratamiento de conductos es un problema de mucha preocupación ya que la dificultad en la eliminación de los fragmentos puede alterar el pronóstico del tratamiento de manera desfavorable, por ejemplo, si el fragmento queda dentro del conducto puede interferir con el sellado tridimensional, y en algunos casos implica la necesidad de recurrir a la cirugía para poder removerlos, considerando que son los principales problemas si ocurre este tipo de accidentes durante el procedimiento²². Es por ello que se pregunta ¿cuál de los dos sistemas rotatorios de NiTi; K3XF o TFA, presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica durante movimientos adaptativo y rotación continua?

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA: No existe diferencia significativa en la resistencia a la fatiga cíclica entre los sistemas rotatorios K3XF y TFA tanto en rotación continua y movimiento adaptativo.

HIPÓTESIS 1: El sistema de instrumentación K3XF durante rotación continua presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que TFA durante rotación continua, TFA durante movimiento adaptativo y que K3XF durante movimiento adaptativo.

HIPÓTESIS 2: El sistema de instrumentación TFA durante rotación continua presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que K3XF durante rotación continua, K3XF durante movimiento adaptativo y que TFA durante movimiento adaptativo.

HIPÓTESIS 3: El sistema de instrumentación K3XF durante movimiento adaptativo presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que TFA durante movimiento adaptativo, TFA durante rotación continua y que K3XF durante rotación continua.

HIPÓTESIS 4: El sistema de instrumentación TFA durante movimiento adaptativo presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que K3XF durante movimiento adaptativo, K3XF durante rotación continua y que TFA durante rotación continua.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL: Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos K3XF y TFA.

OBJETIVO ESPECÍFICO 1: Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios K3XF y TFA en rotación continua.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2: Comparar la resistencia a la fatiga cíclica de los instrumentos rotatorios K3XF y TFA en movimiento adaptativo.

VARIABLES

Independiente: Instrumento rotatorio, tipo de movimiento.

Dependiente: Número de ciclos hasta la fractura.

Operación de variables: El número de ciclos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio

Descriptivo

Comparativo

Observacional

Transversal

Universo de estudio

24 instrumentos rotatorios de Níquel Titanio de K3XF y TFA

Criterios de inclusión

Instrumentos rotatorios nuevos K3XF y TFA ultrasonificados y que analizados al microscopio clínico no presentaron deformación o fisuras

Criterios de exclusión

Instrumentos que presentaron algún defecto de fabricación observado bajo el microscopio clínico y microscopio metalográfico invertido.

Metodología

Materiales:

- o 12 instrumentos rotatorios K3XF (SybronEndo, Orange, CA) 35/06
- o 12 instrumentos rotatorios TFA (SybronEndo, Organge, CA) 35/06
- o Microscopio Clínico Global
- o Microscopio Metalográfico Invertido Nikon Eclipse MA 100
- o Microscopio Electrónico de Barrido JEOL JSM-5300
- o Cámara digital EOS 50D 15.1MP, lente Macro 0.5/1.6 pies.

- o Modelo metálico de acero inoxidable con conducto prefabricado, con un radio de curvatura de 5mm y una angulación de curvatura de 60°.
- o Ultrasonido "Sultan" 300 ProSonic.
- o Elements Motor, de la casa comercial SybronEndo.
- o Aceite para lubricación de partes metálicas MidWest Plus.
- o Alcohol isopropílico.
- o Llave Allen.
- o Cinta adhesiva de carbón con 2 caras SPI Supplies.
- o Cámara de video Sony HDR-CX350V.
- o Vernier electrónico de 6 pulgadas de acero inoxidable Neiko Tools.
- o Cronómetro digital.

Diseño de la muestra:

Se utilizaron un total de 24 instrumentos rotatorios de Níquel Titanio de K3XF y TFA (Figura 3). Se formaron 4 grupos experimentales al azar, asignando:

Grupo 1 (K3XF-C): 6 instrumentos K3XF (35/06) girados en rotación continua.

Grupo 2 (TFA-C): 6 instrumentos TFA ML2 (35/06) girados en rotación continua.

Grupo 3 (K3XF-A): 6 instrumentos K3XF (35/06) girados en movimiento adaptativo.

Grupo 4 (TFA-A): 6 instrumentos TFA ML2 (35/06) girados en movimiento adaptativo.



Figura 3. Se utilizaron instrumentos rotatorios K3XF y TFA.

Anterior a la fase experimental de este estudio, se realizó una ultrasonidificación, con el único propósito de eliminar residuos adheridos a la superficie, producto del mismo proceso de maquinado, y de esta forma, observar que éstas se encontraran ausentes de microfisuras y/o imperfecciones de fábrica, que pudieran propiciar a fracturas.

El protocolo de ultrasonidificación fue el de colocar los instrumentos en un baño ultrasónico por 25 minutos, limpiado con gasa empapada en alcohol al 70%, y se dejaron secar (Figura 4).



Figura 4. Proceso de ultrasonidificación por 25 minutos.

Se inspeccionaron todos los instrumentos utilizando microscopio clínico con magnificación (Figura 5) para realizar el análisis morfológico y observar signos de deformaciones por defectos de fábrica. Para observarlos bajo microscopio clínico se utilizaron seis magnificaciones: 0.33x, 0.5x, 0.8x, 1.25x, 2.0x y 3.0x (Figura 6 y 7).



Figura 5. Microscopio Clínico Global

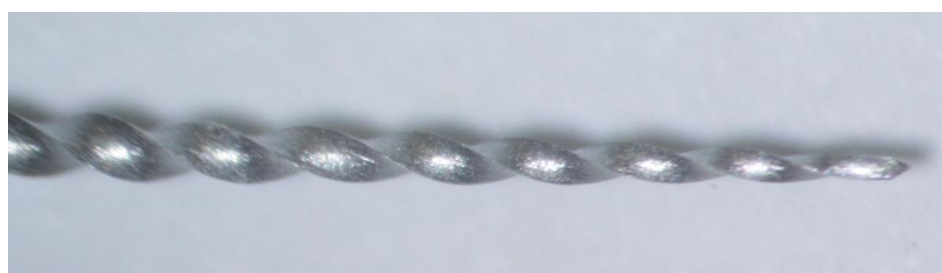


Figura 6. Vista bajo microscopio clínico de TFA a 3.0x

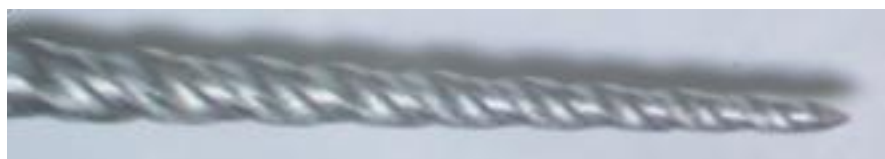


Figura 7. Vista bajo microscopio clínico de K3XF a 3.0x

También se realizó una inspección morfológica con microscopio metalográfico invertido Nikon Eclipse MA 100 (Figura 8) bajo 3 magnificaciones: 50x, 100x, 200x (Figura 9 y 10).



Figura 8. Microscopio metalográfico invertido Nikon Eclipse MA 100.

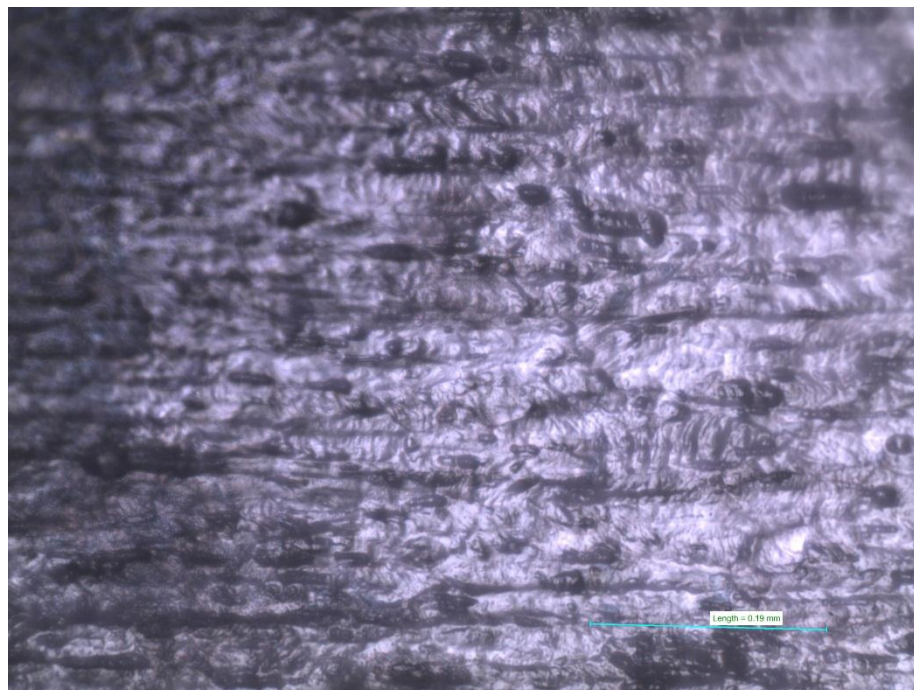


Figura 9. Vista bajo microscopio metalográfico invertido de TFA a 200x.

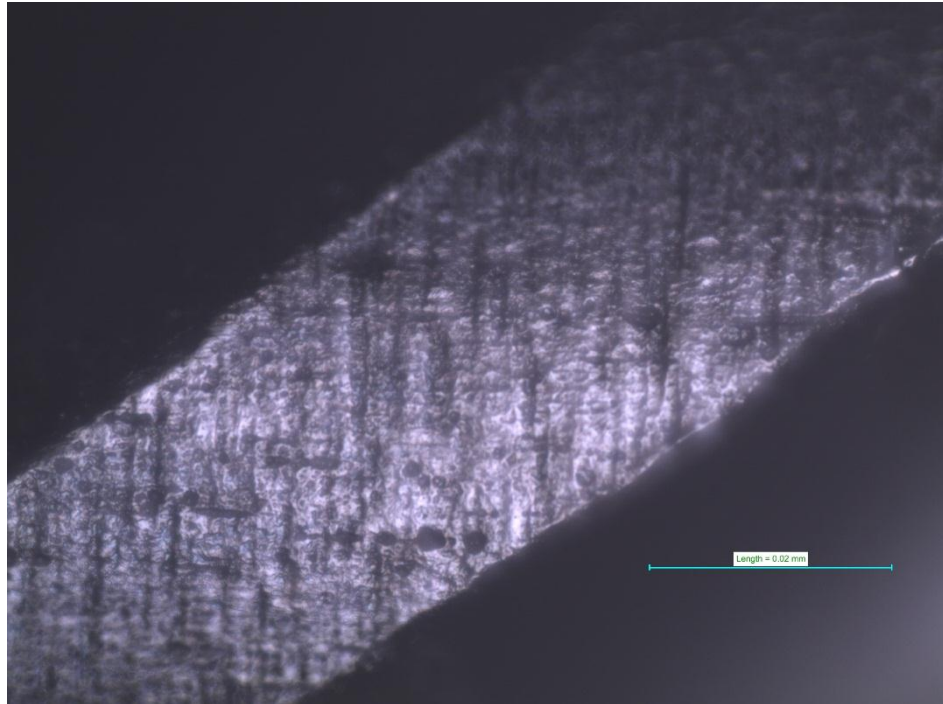


Figura 10. Vista bajo microscopio metalográfico invertido de K3XF a 200x.

Todos los instrumentos que presentaron defectos o microfisuras fueron motivo de exclusión.

Prueba de fatiga cíclica: Los instrumentos se distribuyeron en 4 grupos experimentales ($n = 6$). Se realizó la prueba estática con el uso de un aparato diseñado específicamente para mantener fijo el contrángulo de reducción del micromotor. Además, se fabricó un bloque de acero inoxidable, donde se encontraban los conductos simulados.

El conducto artificial se diseñó reproduciendo el tamaño y conicidad del instrumento, con esto se le da una trayectoria que coincida a cada instrumento y así respetar las características de la curvatura seleccionada.

El conducto simulado se realizó con un ángulo de curvatura de 60° y 5mm de radio de curvatura, según la técnica de Schneider.

Prueba estática: Se utilizó un contrángulo de reducción 8:1 accionado por un motor de torque controlado Elements Motor (SybronEndo, Orange, CA, EUA). Para el grupo K3XF-C se utilizaron las configuraciones preestablecidas de K3XF (350rpm) y función TF-Adaptive para el grupo K3XF-A. Para el grupo TFA-C se utilizaron las configuraciones preestablecidas de TF (500 rpm) y función TF-Adaptive para el movimiento adaptativo.

Todos los instrumentos se activaron siguiendo las instrucciones del fabricante hasta que ocurrió la fractura. Se realizó la prueba estática con el uso de un aparato diseñado específicamente para mantener fijo el contrángulo de reducción del micromotor. Además, se fabricó un bloque de acero inoxidable, donde se encontraban los conductos simulados; se colocó una tapa de acrílico para observar los instrumentos en el conducto y detener los fragmentos.

Los instrumentos se activaron libremente dentro del conducto simulado, el cual fue rociado por aceite sintético (Midwest Plus) para reducir la fricción y producción de calor. Cada instrumento se colocó en un contrángulo reductor y se introdujo en el conducto a una longitud de 18mm, la cual se aseguró ajustando una llave en la porción superior del artefacto, y se reiteró con la colocación de tope en el instrumento rotatorio. El tiempo se grabó con ayuda de un cronómetro y se paró en cuanto se detectó la fractura visualmente y mediante audición. Para evitar error humano, se realizó una grabación en video de manera simultánea, y las grabaciones se observaron posteriormente para asegurar que los tiempos concordaran con el momento de la separación de la lima.

El número de ciclos hasta la fractura (NCF) de cada instrumento se calculó utilizando la siguiente fórmula: tiempo total (segundos) para la fractura multiplicado por la velocidad racional (El fabricante menciona que en Elements Motor la función "K3XF" posee una velocidad de 350 rpm y en función "TF" y "TFA" posee una velocidad de 500 rpm). La longitud de la punta de la lima fracturada se midió utilizando un microcalibrador electrónico (Figura 11 a 14). El promedio de las longitudes de los fragmentos confirman que el instrumento se fracturó en el centro de la curvatura o justo debajo de este punto. Esto indica la precisión en la posición del instrumento.

Posterior a la fractura se observaron los instrumentos al microscopio electrónico de barrido para observar el patrón de fractura y el origen de la misma.

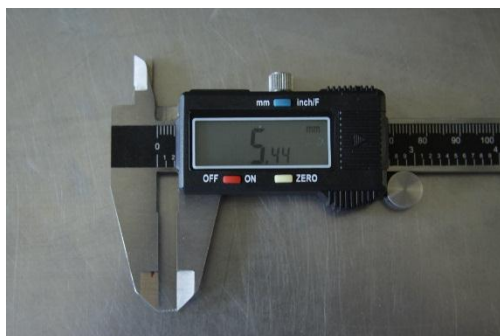


Figura 11. Longitud del fragmento de K3XF-C

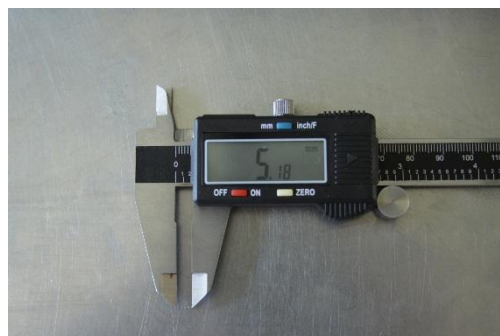


Figura 12. Longitud del fragmento de K3XF-A

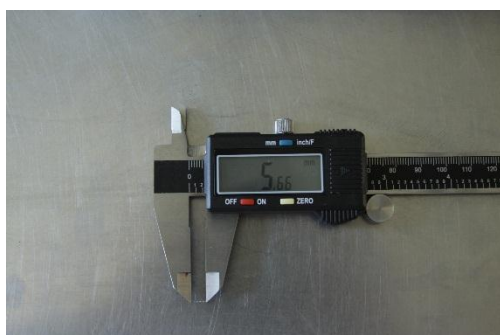


Figura 13. Longitud del fragmento de TFA-C

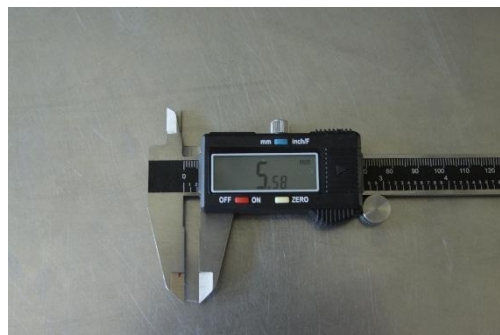


Figura 14. Longitud del fragmento de TFA-A

Posterior a la fractura se observaron los fragmentos con ayuda del microscopio electrónico de barrido para realizar la fractografía.

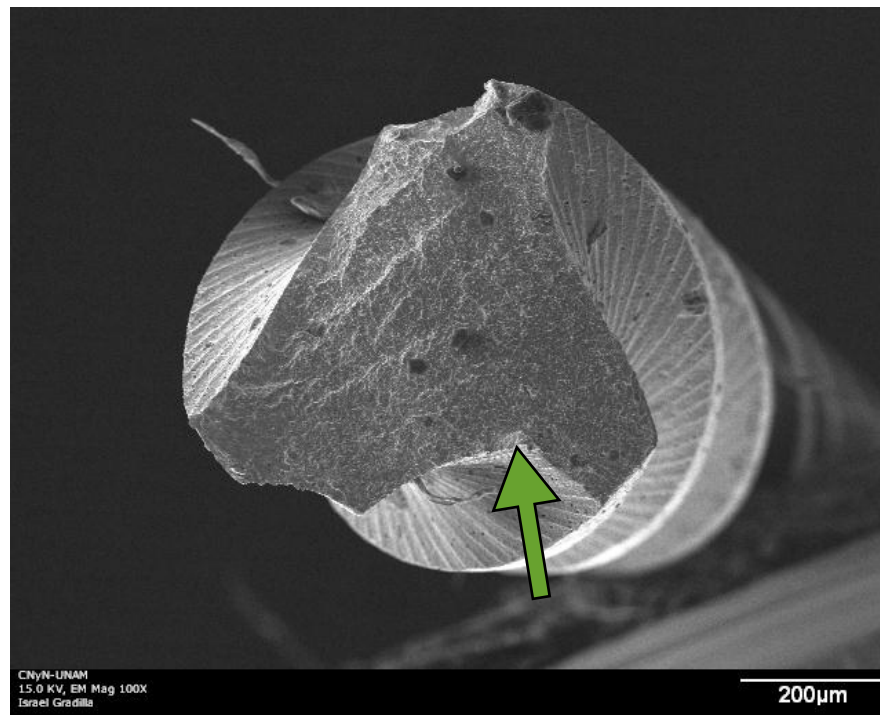


Figura 15. Vista bajo MEB de K3XF-C a 100x. La flecha verde indica el origen de la fractura.

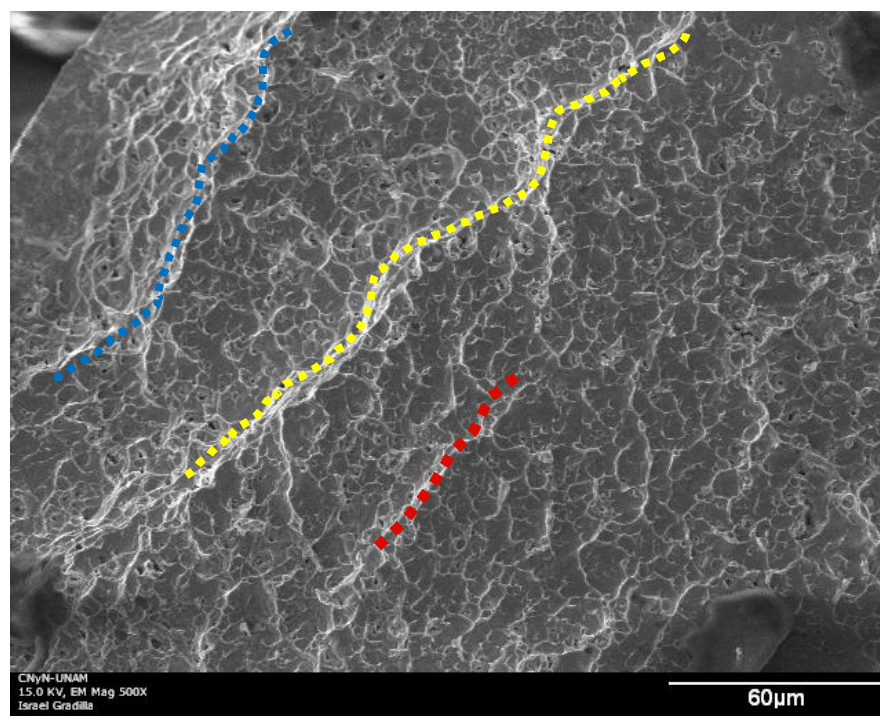


Figura 16. Vista bajo MEB de K3XF-C a 500x. Se señalan los distintos planos de fractura con líneas punteadas. La línea roja corresponde al primer plano, la línea amarilla al segundo plano y la línea azul al tercer plano de fractura.

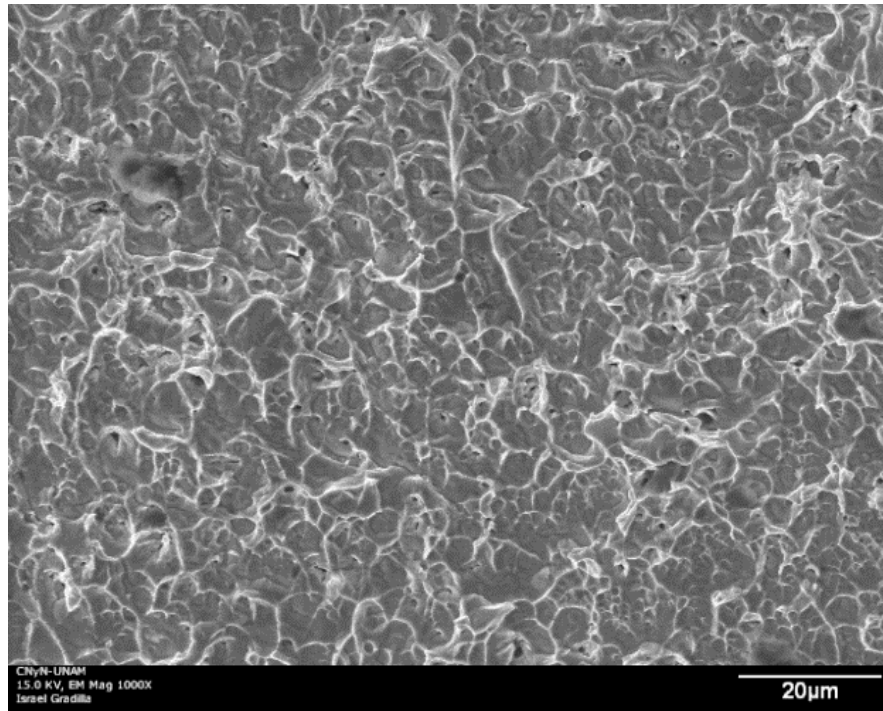


Figura 17. Vista bajo MEB de K3XF-C a 1000x. Se puede apreciar una fractura transgranular, típica de una fractura dúctil.

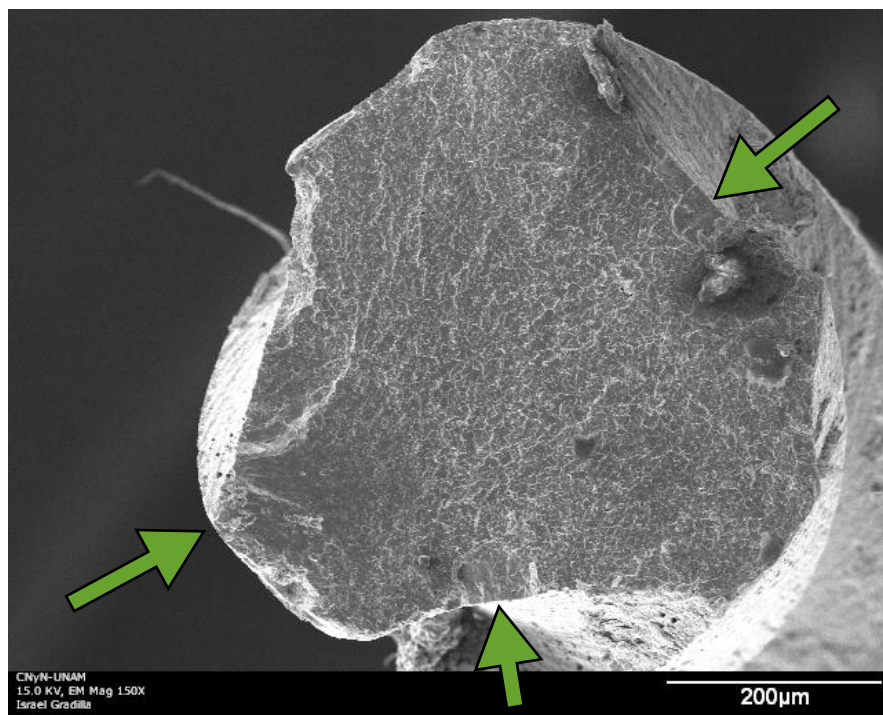


Figura 18. Vista bajo MEB de K3XF-A a 150x. Las flechas verdes indican múltiples orígenes de fracturas.

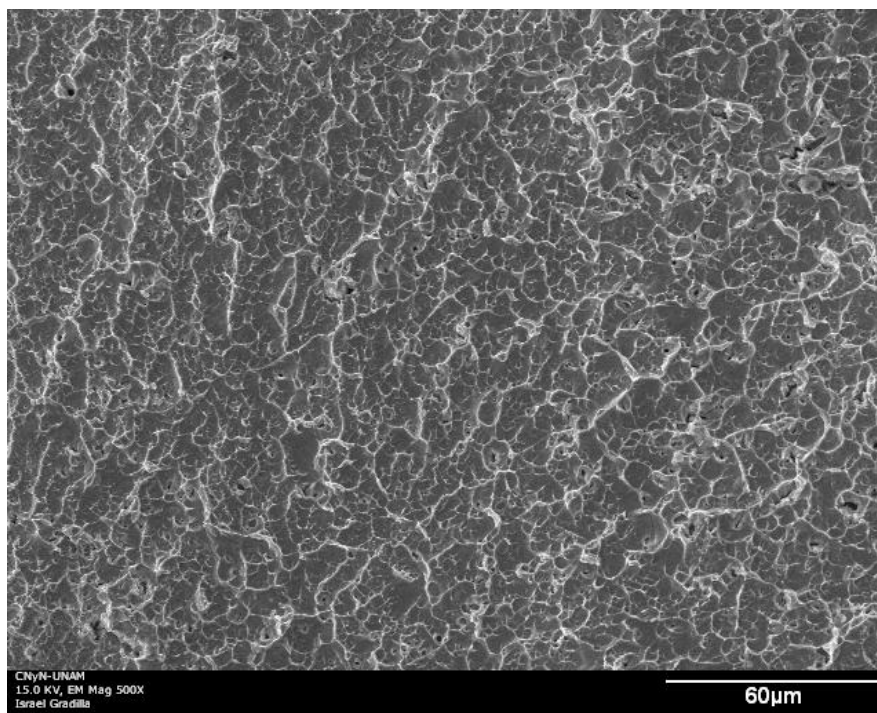


Figura 19. Vista bajo MEB de K3XF-A a 500x.

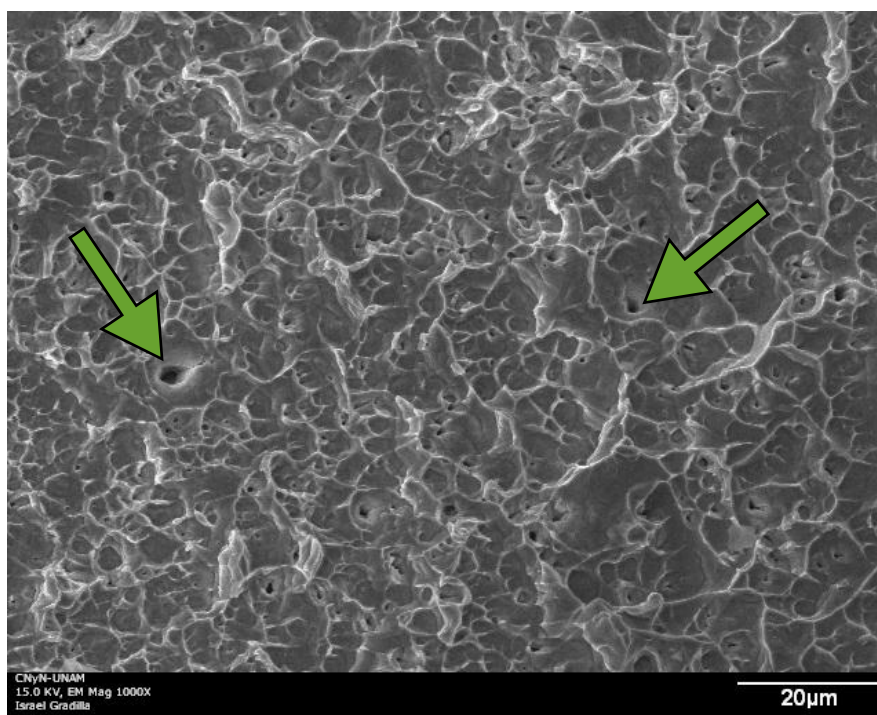


Figura 20. Vista bajo MEB de K3XF-A a 1000x. Se puede apreciar una fractura transgranular, típica de una fractura dúctil. Las flechas verdes indican hoyuelos provenientes del proceso de manufactura.

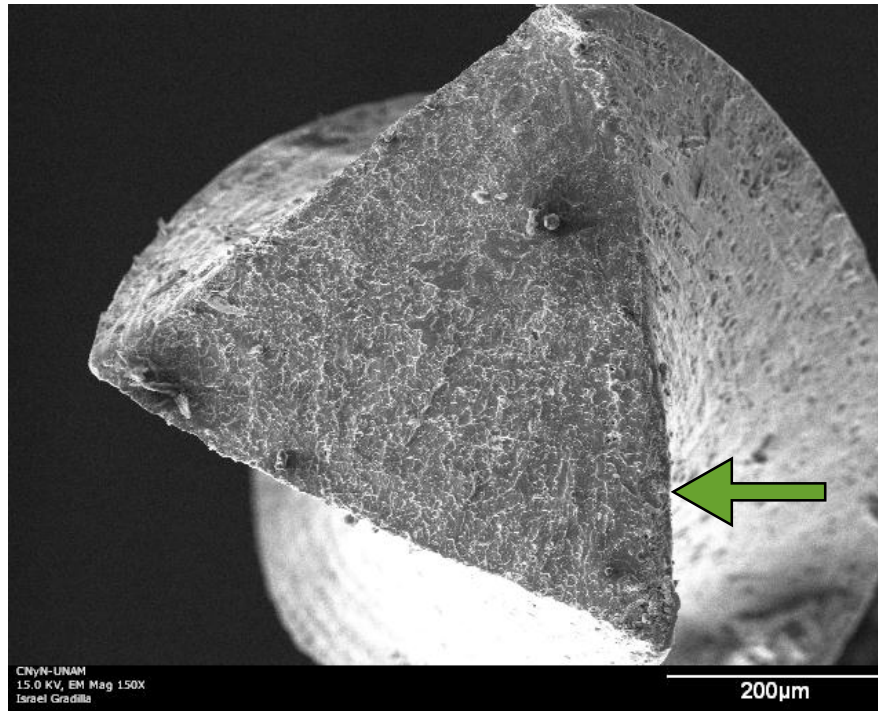


Figura 21. Vista bajo MEB de TFA-C a 150x. La flecha verde indica el origen de la fractura.

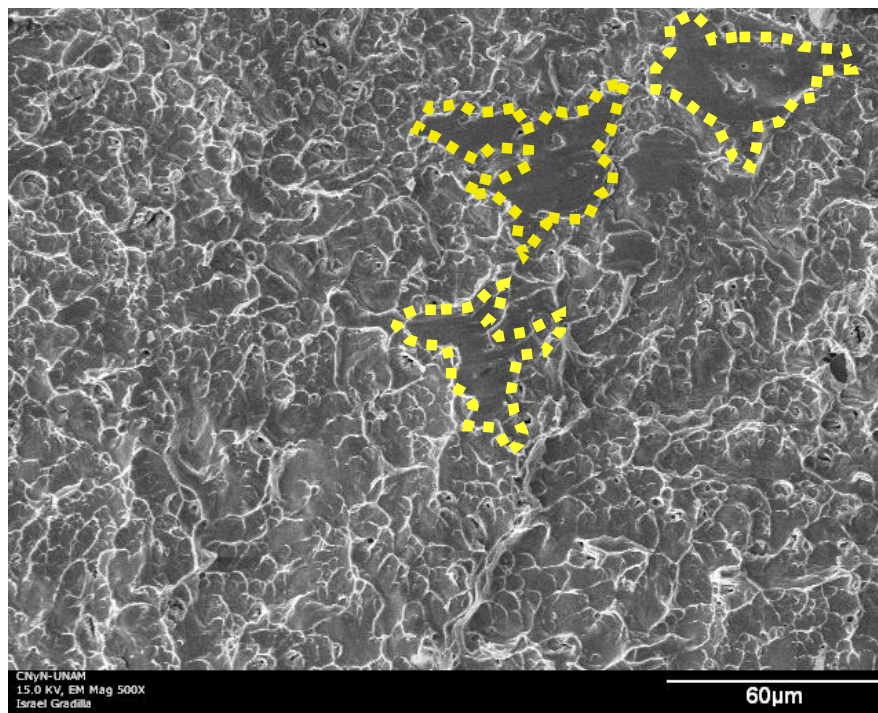


Figura 22. Vista bajo MEB de TFA-C a 500x. Las áreas punteadas indican zonas de fractura frágil.

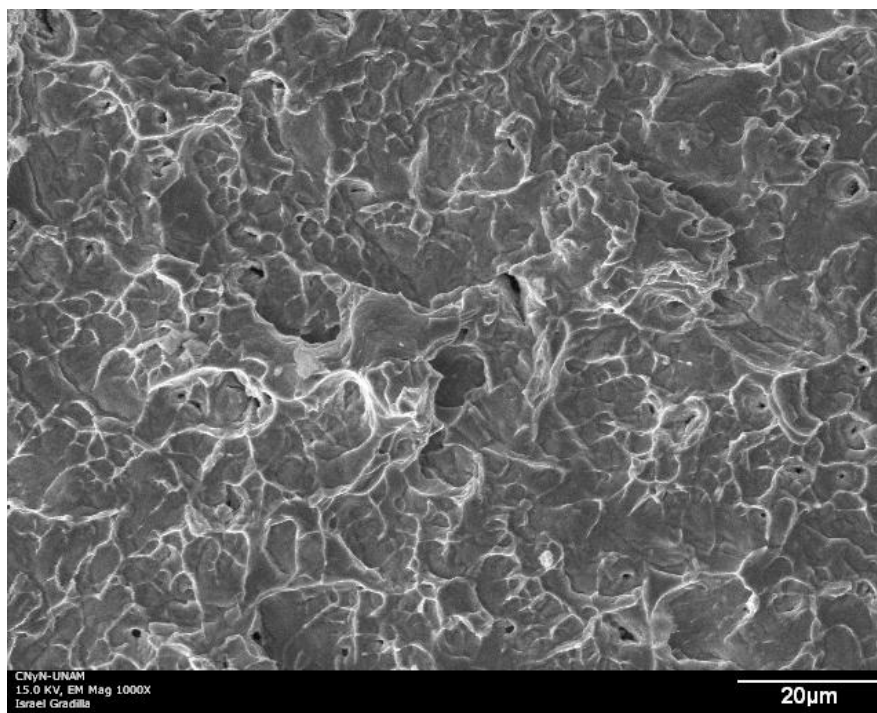


Figura 23. Vista bajo MEB de TFA-C a 1000x. Se puede apreciar una fractura transgranular, típica de una fractura dúctil.

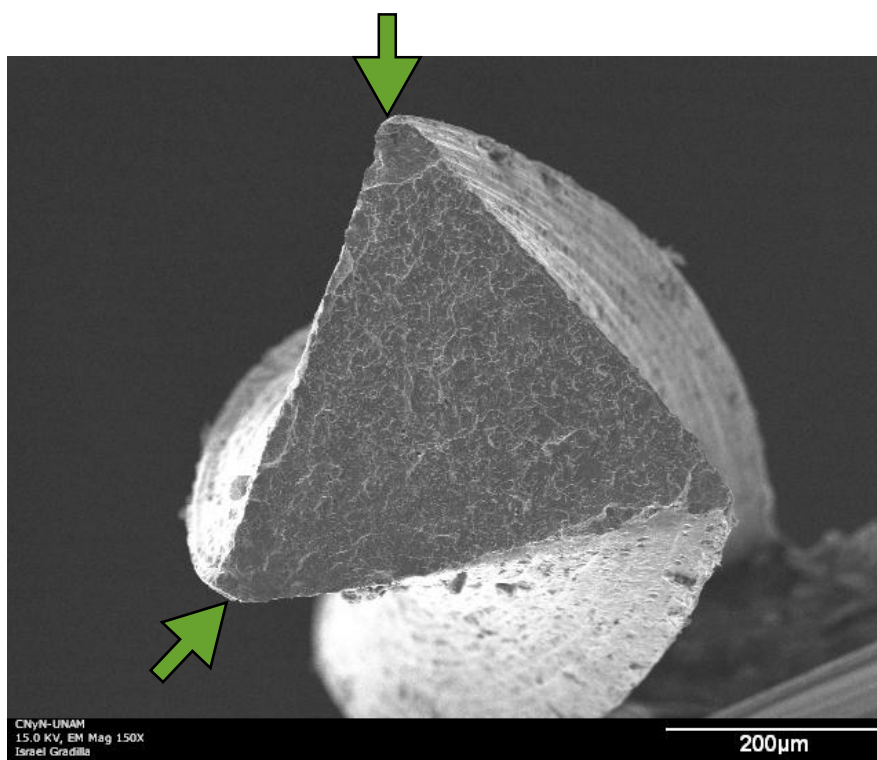


Figura 24. Vista bajo MEB de TFA-A a 150x. Las flechas verdes indican dos orígenes de fractura.

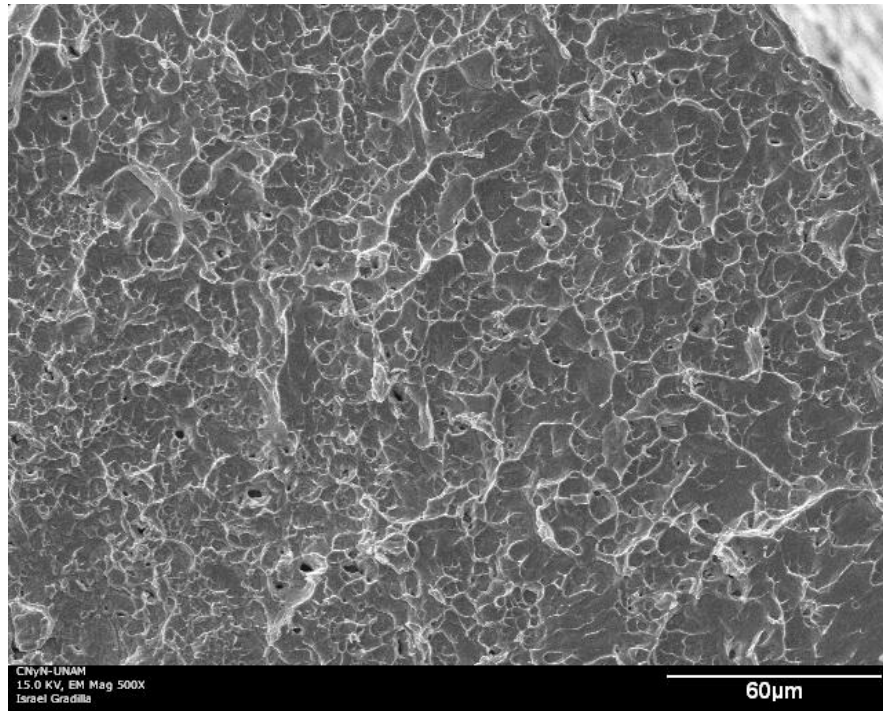


Figura 25. Vista bajo MEB de TFA-A a 500x.

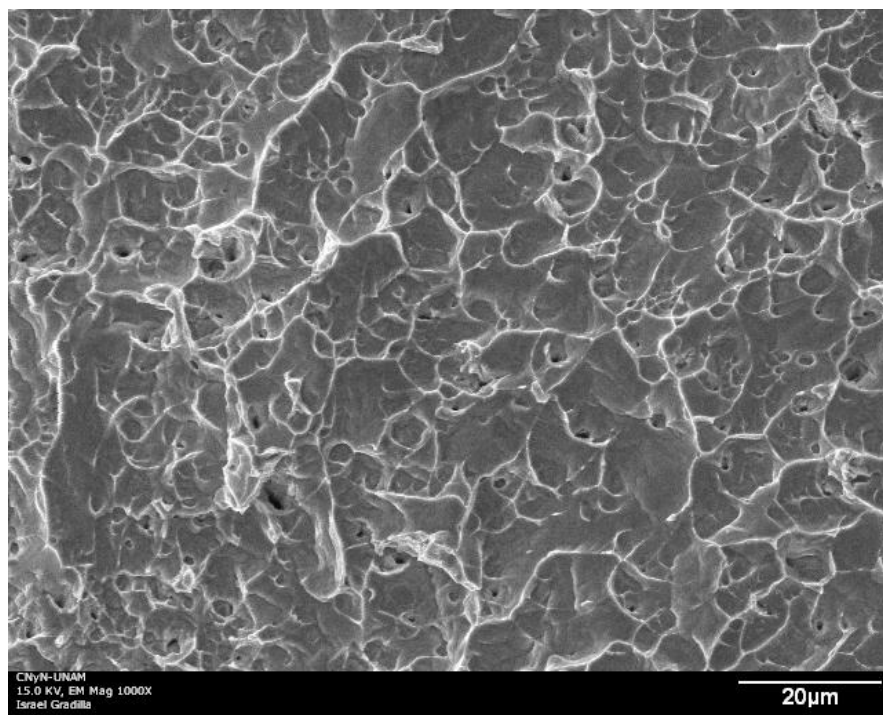
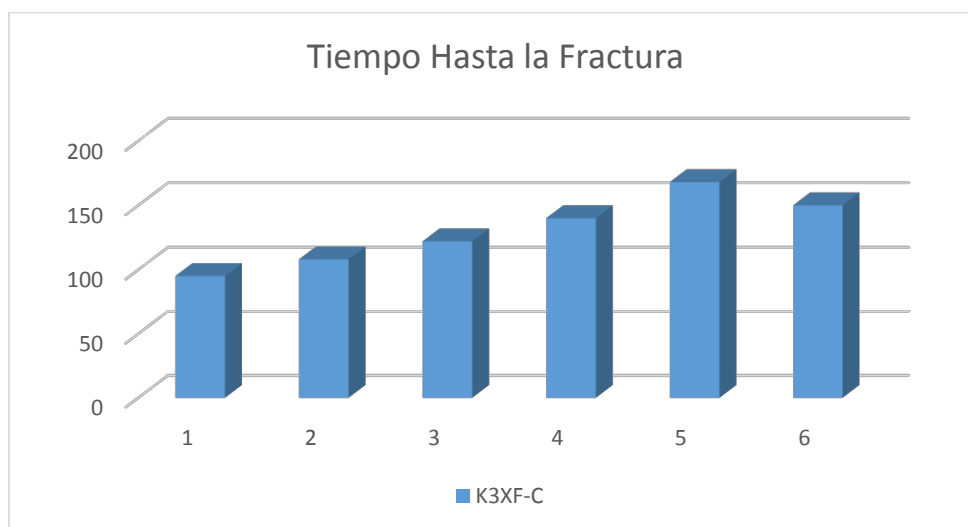


Figura 26. Vista bajo MEB de TFA-A a 1000x. Se puede apreciar una fractura transgranular y microhoyuelos, típicos de una fractura dúctil.

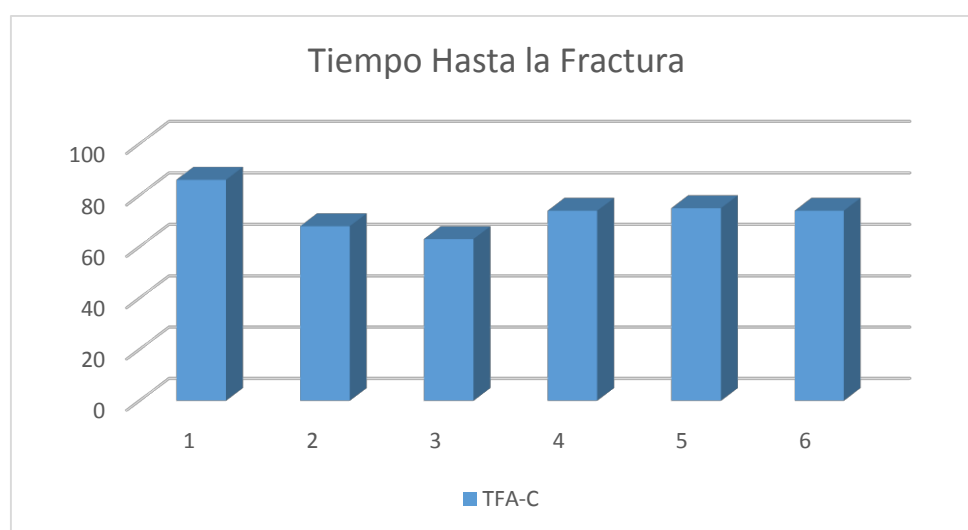
RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

| Muestra | K3XF-C | TFA-C | K3XF-A | TFA-A |
|--------------|--------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 95 | 86 | 137 | 126 |
| 2 | 108 | 68 | 73 | 112 |
| 3 | 122 | 63 | 128 | 100 |
| 4 | 140 | 74 | 150 | 117 |
| 5 | 168 | 75 | 136 | 88 |
| 6 | 150 | 74 | 97 | 100 |
| Media | 130.5 | 73.33333333333333 | 120.16666666666667 | 107.16666666666667 |

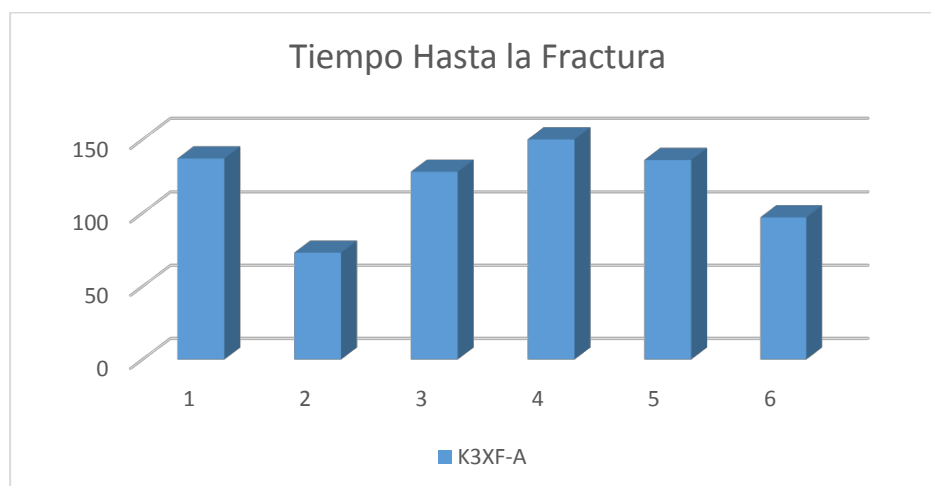
Tabla 1. Resultados en segundos del tiempo hasta la fractura.



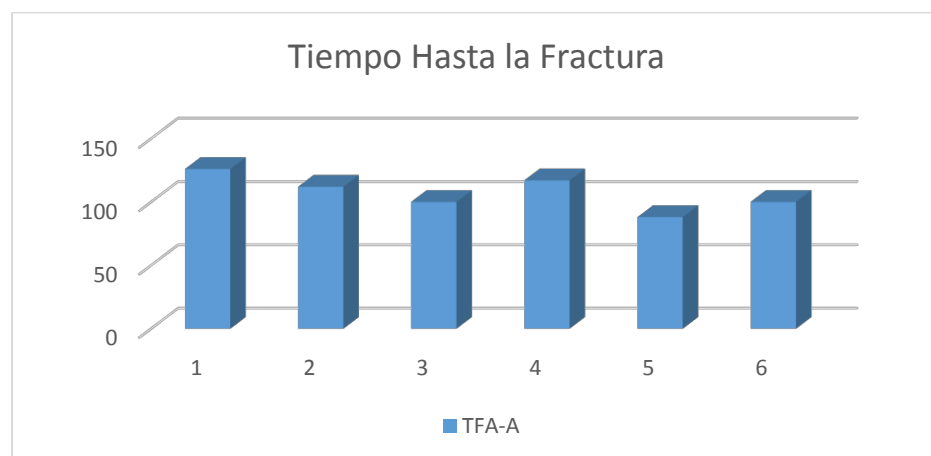
Gráfica 1. Tiempo en segundos hasta la fractura de K3XF-C



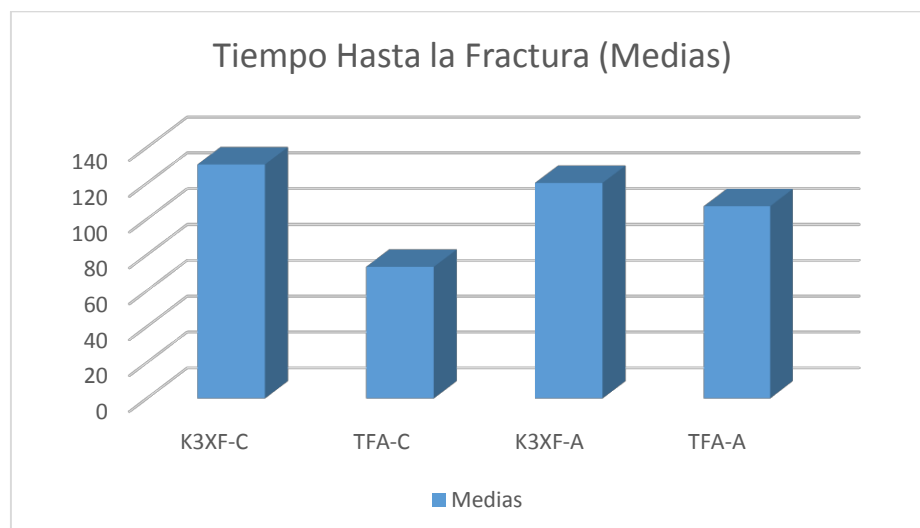
Gráfica 2. Tiempo en segundos hasta la fractura de TFA-C



Gráfica 3. Tiempo en segundos hasta la fractura de K3XF-A



Gráfica 4. Tiempo en segundos hasta la fractura de TFA-A



Gráfica 5. Comparación de medias de los tiempos en segundos hasta la fractura de los 4 grupos.

NÚMERO DE CICLOS HASTA FRACTURA

El número de ciclos hasta fractura (NCF) de cada instrumento se determinó utilizando la fórmula:

$$\text{NCF} = \text{Tiempo total (segundos) para la fractura} \times \text{velocidad racional (la que menciona el fabricante)}$$

Para K3XF-C la velocidad que señala el fabricante es de 350 rpm. Para TFA-C la velocidad que señala es de 500 rpm. Para K3XF-A y TFA-A se utilizó la función TF-Adaptive, la cual posee una velocidad de 500 rpm.

| Muestra | K3XF-C | NCF (x 350) |
|---------|--------|-------------|
| 1 | 95 | 33250 |
| 2 | 108 | 37800 |
| 3 | 122 | 42700 |
| 4 | 140 | 49000 |
| 5 | 168 | 58800 |
| 6 | 150 | 52500 |
| Media | | 45675 |

Tabla 2. Número de ciclos hasta la fractura de K3XF-C

| Muestra | TFA-C | NCF (x 500) |
|---------|-------|------------------|
| 1 | 86 | 43000 |
| 2 | 68 | 34000 |
| 3 | 63 | 31500 |
| 4 | 74 | 37000 |
| 5 | 75 | 37500 |
| 6 | 74 | 37000 |
| Media | | 36666.6666666667 |

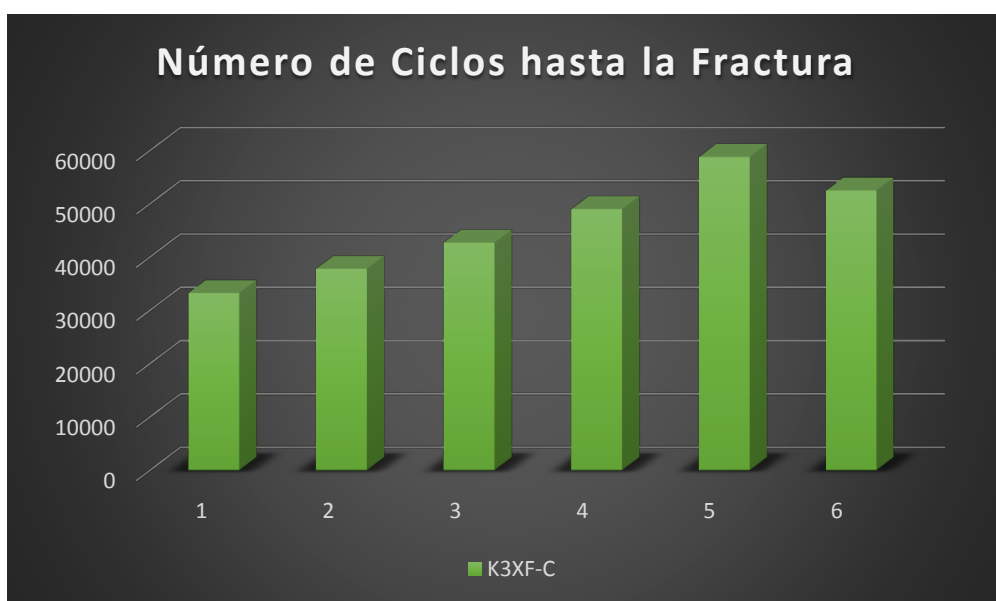
Tabla 3. Número de ciclos hasta la fractura de TFA-C

| Muestra | K3XF-A | NCF (x 500) |
|---------|--------|------------------|
| 1 | 137 | 68500 |
| 2 | 73 | 36500 |
| 3 | 128 | 64000 |
| 4 | 150 | 75000 |
| 5 | 136 | 68000 |
| 6 | 97 | 48500 |
| Media | | 60083.3333333333 |

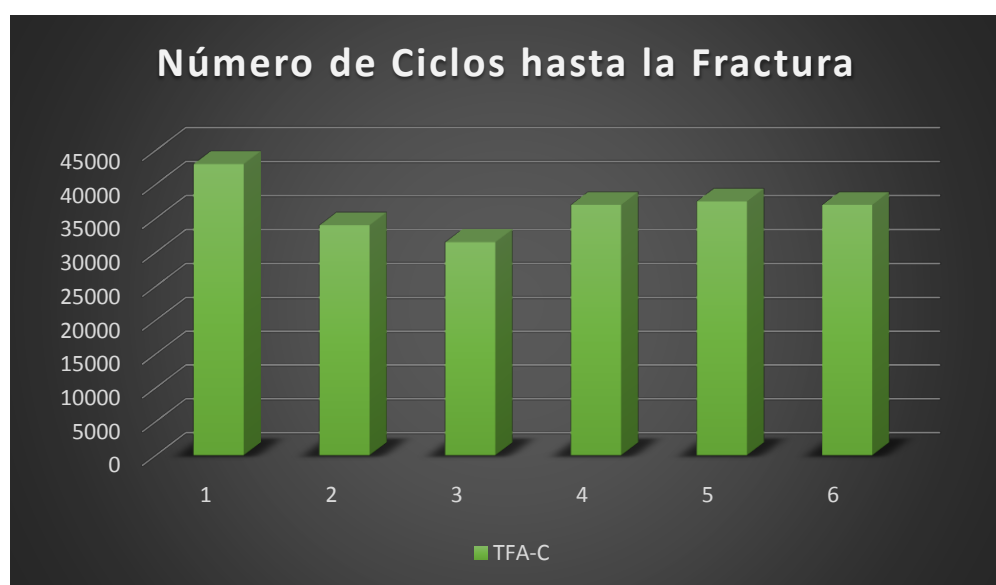
Tabla 3. Número de ciclos hasta la fractura de K3XF-A

| Muestra | TFA-A | NCF (x 500) |
|--------------|-------|------------------|
| 1 | 126 | 63000 |
| 2 | 112 | 56000 |
| 3 | 100 | 50000 |
| 4 | 117 | 58500 |
| 5 | 88 | 44000 |
| 6 | 100 | 50000 |
| Media | | 53583.3333333333 |

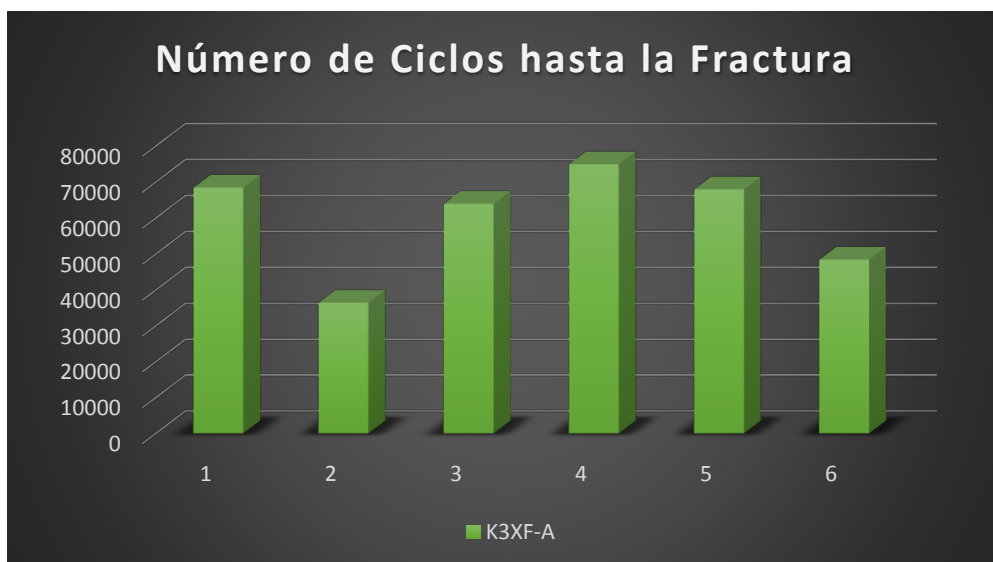
Tabla 4. Número de ciclos hasta la fractura de TFA-A



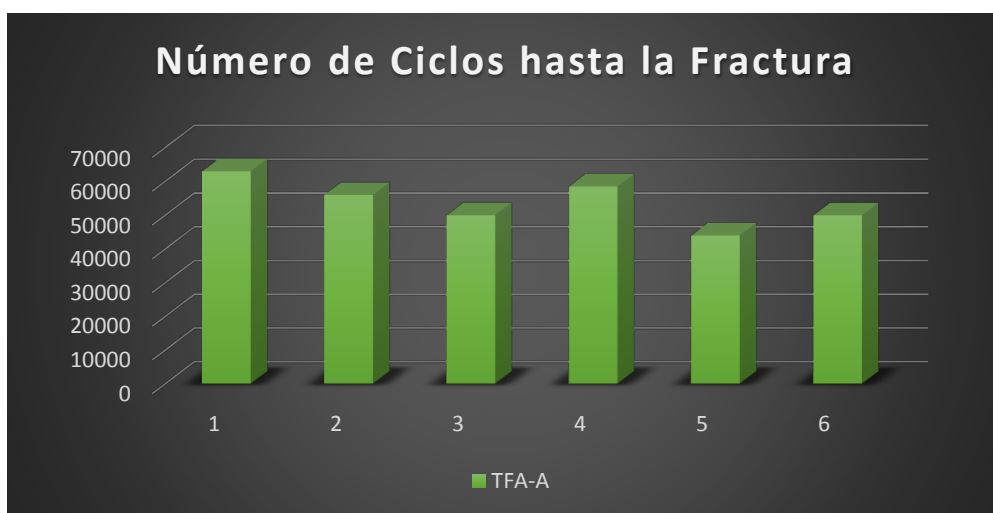
Gráfica 6. Número de ciclos hasta la fractura de K3XF-C



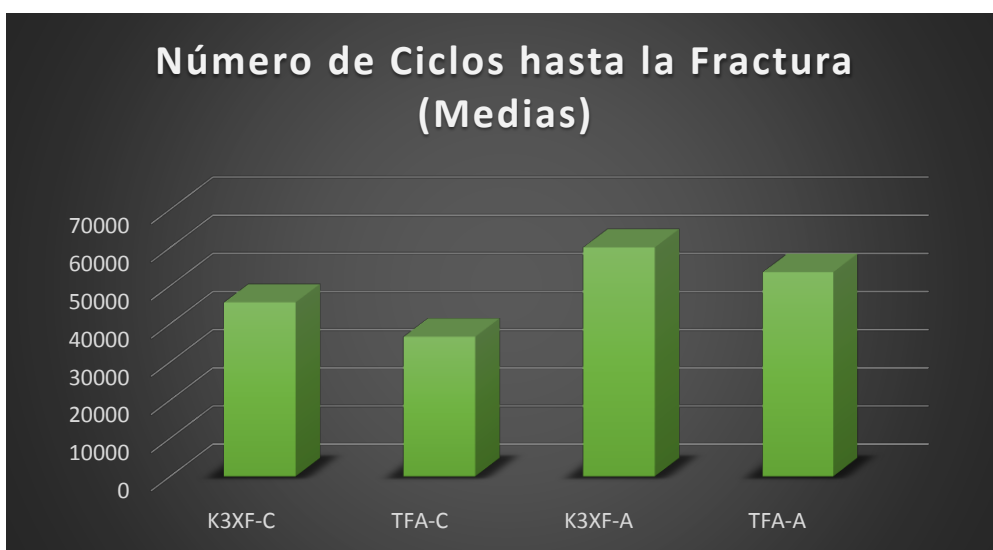
Gráfica 7. Número de ciclos hasta la fractura de TFA-C.



Gráfica 8. Número de ciclos hasta la fractura de K3XF-A



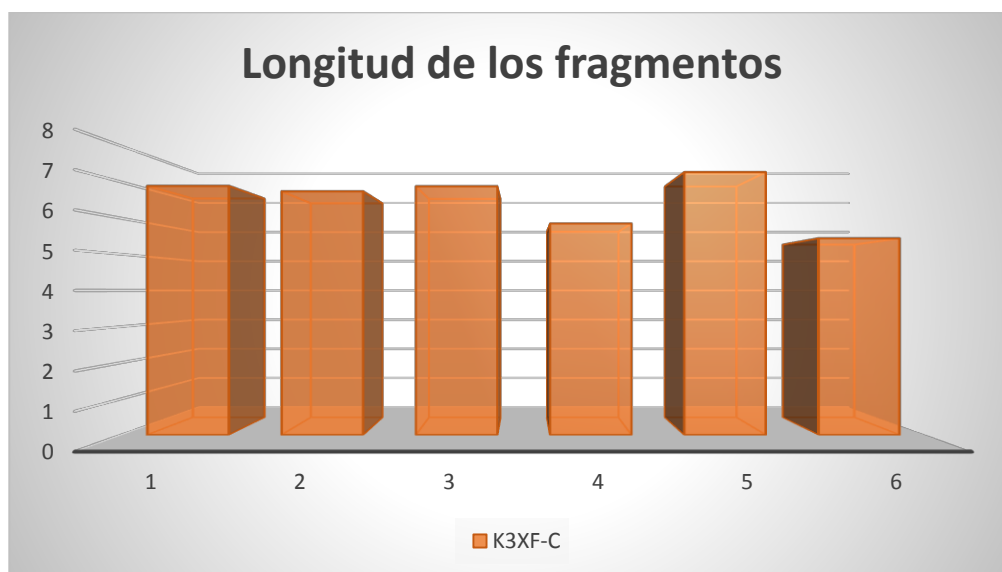
Gráfica 9. Número de ciclos hasta la fractura de TFA-A



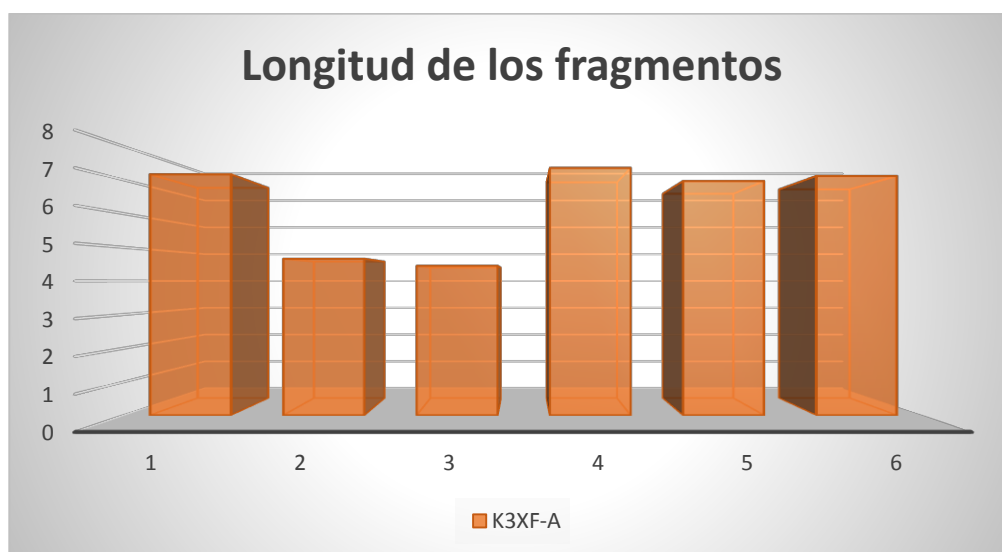
Gráfica 10. Comparación de medias de los ciclos hasta la fractura de los 4 grupos.

LONGITUD DE LOS FRAGMENTOS

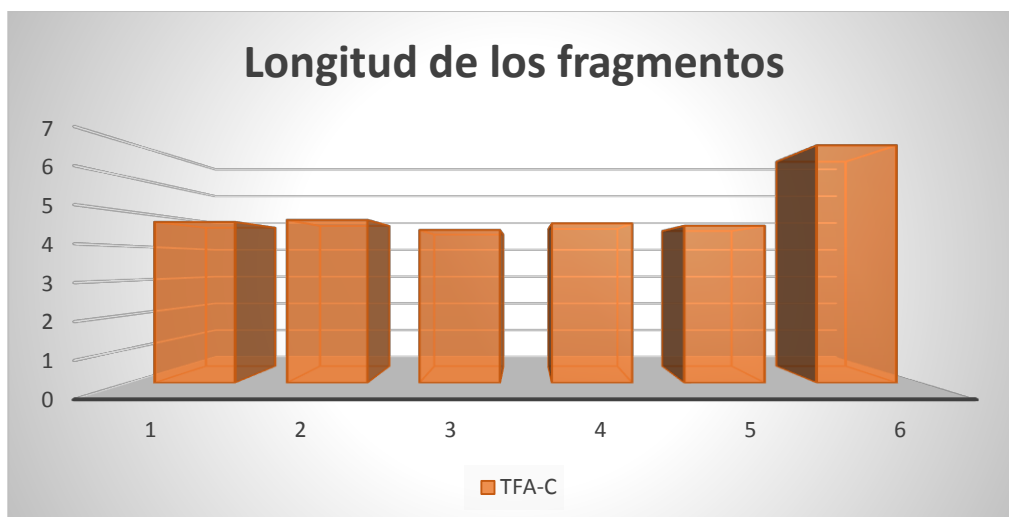
| Muestra | K3XF-C | K3XF-A | TFA-C | TFA-A |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 6.89 | 7.17 | 4.70 | 4.65 |
| 2 | 6.74 | 4.66 | 4.76 | 3.81 |
| 3 | 6.88 | 4.45 | 4.47 | 4.27 |
| 4 | 5.85 | 7.36 | 4.66 | 5.66 |
| 5 | 7.27 | 6.97 | 4.59 | 5.18 |
| 6 | 5.44 | 7.12 | 6.93 | 5.58 |
| Media | 6.51166666666667 | 6.28833333333333 | 5.01833333333333 | 4.85833333333333 |



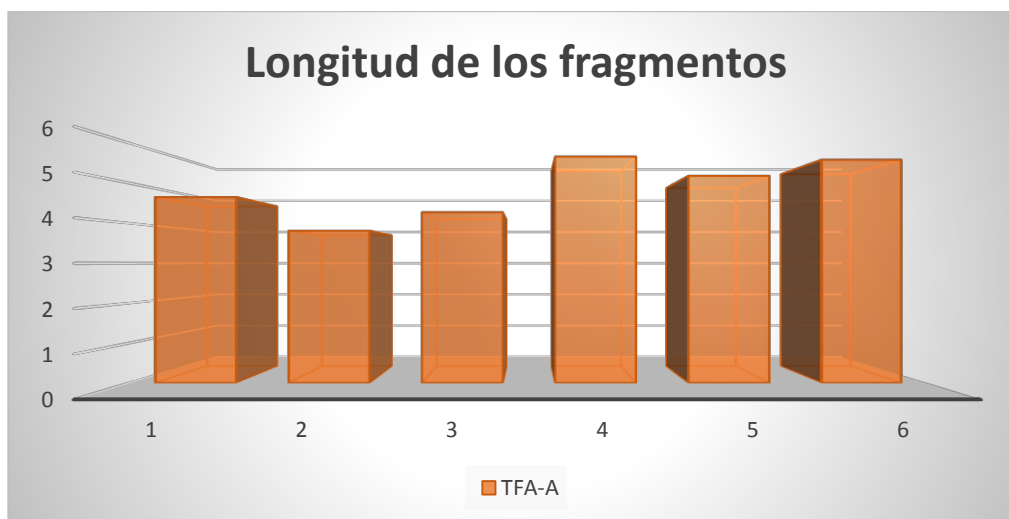
Gráfica 11. Longitud de los fragmentos de K3XF-C después de ser sometido a fatiga cíclica.



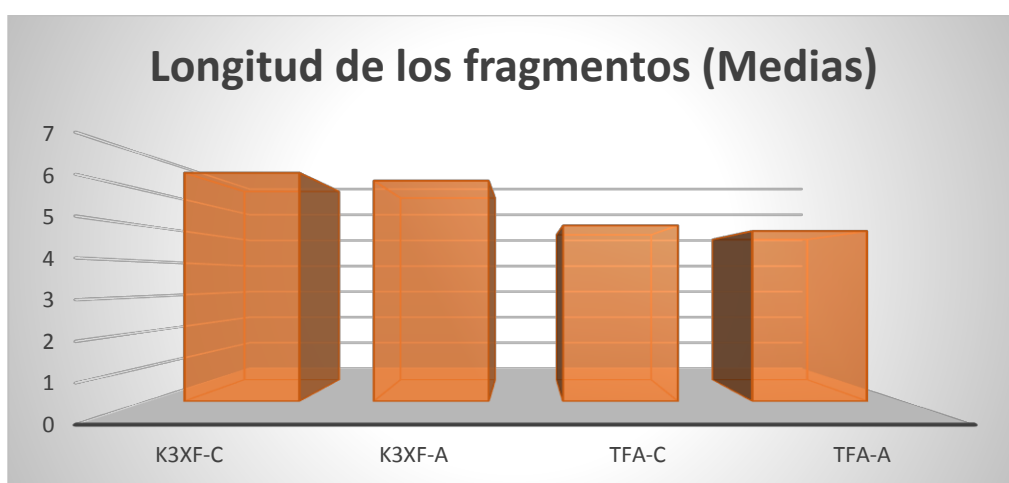
Gráfica 12. Longitud de los fragmentos de K3XF-A después de ser sometido a fatiga cíclica.



Gráfica 13. Longitud de los fragmentos de TFA-C después de ser sometido a fatiga cíclica.



Gráfica 14. Longitud de los fragmentos de TFA-A después de ser sometido a fatiga cíclica.



Gráfica 15. Comparación de medias de las longitudes de los fragmentos de los 4 grupos después de ser sometidos a fatiga cíclica.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tiempo en segundos a la fractura

ANOVA de un factor

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 11139.458 | 3 | 3713.153 | 8.066 | .001 |
| Intra-grupos | 9206.500 | 20 | 460.325 | | |
| Total | 20345.958 | 23 | | | |

Debido a que no se pueden comparar las 4 medias en una sola prueba, se realizó una ANOVA cuyo resultado muestra que si hay diferencia estadísticamente entre algún o algunos de los grupos ($p < 0.05$).

Por lo anterior se compararon un par de grupos a la vez hasta agotar las combinaciones. Se utilizó una prueba *t de student* para dos muestras independientes.

Prueba de muestras independientes

1.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO TFA-C:

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. |
|----------------------|--------|---|----------|-----------------|
| TIEMPO A LA FRACTURA | K3XF-C | 6 | 130.5000 | 27.25986 |
| | TFA-C | 6 | 73.3333 | 7.73736 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|-------|-------|---------------------|
| 4.942 | 10 | .001 |
| 4.942 | 5.800 | .003 |

La diferencia es estadísticamente significativa las limas del grupo TFA-C se rompen más rápido que las K3XF-C.

2.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO K3XF-A.

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-------------------------|--------|---|--------------|--------------------|---------------------------|
| TIEMPO A LA FRACTURA | K3XF-C | 6 | 130.500 0 | 27.25986 | 11.12879 |
| | K3XF-A | 6 | 120.166 7 | 29.14390 | 11.89795 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|------|-------|---------------------|
| .634 | 10 | .540 |
| .634 | 9.956 | .540 |

No hay diferencia estadísticamente significativa en el tiempo para la fractura.

3.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO TFA-A.

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-------------------------|--------|---|--------------|--------------------|---------------------------|
| TIEMPO A LA FRACTURA | K3XF-C | 6 | 130.500 0 | 27.25986 | 11.12879 |
| | TFA-A | 6 | 107.166 7 | 13.74651 | 5.61199 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|-------|-------|---------------------|
| 1.872 | 10 | .091 |
| 1.872 | 7.388 | .101 |

No hay diferencia estadísticamente significativa en el tiempo para la fractura.

4.- GRUPO TFA-C VS GRUPO K3XF-A

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-------------------------|--------|---|--------------|--------------------|---------------------------|
| TIEMPO A LA FRACTURA | TFA-C | 6 | 73.3333 | 7.73736 | 3.15876 |
| | K3XF-A | 6 | 120.166 7 | 29.14390 | 11.89795 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -3.804 | 10 | .003 |
| -3.804 | 5.701 | .010 |

La diferencia es estadísticamente significativa las limas del grupo TFA-C se rompen más rápido que las K3XF-A.

5.- GRUPO TFA-C VS GRUPO TFA-A

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-------------------------|-------|---|--------------|--------------------|---------------------------|
| TIEMPO A LA FRACTURA | TFA-C | 6 | 73.3333 | 7.73736 | 3.15876 |
| | TFA-A | 6 | 107.166 7 | 13.74651 | 5.61199 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -5.254 | 10 | .000 |
| -5.254 | 7.879 | .001 |

La diferencia es estadísticamente significativa las limas del grupo TFA-C se rompen más rápido que las TFA-A

Número de ciclos a la fractura

ANOVA de un factor

NFC

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------|--------------------|----|-------------------|-------|------|
| Inter-grupos | 184208364 5.833 | 3 | 614027881. 944 | 6.718 | .003 |
| Intra-grupos | 182789875 0.000 | 20 | 91394937.5 00 | | |
| Total | 366998239 5.833 | 23 | | | |

Debido a que no se pueden comparar las 4 medias en una sola prueba, se realizó una ANOVA cuyo resultado muestra que si hay diferencia estadísticamente entre algún o algunos de los grupos ($p < 0.05$).

Por lo anterior se compararon un par de grupos a la vez hasta agotar las combinaciones. Se utilizó una *prueba t de student* para dos muestras independientes.

1.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO TFA-C.

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-----|--------|---|------------|-----------------|------------------------|
| NFC | K3XF-C | 6 | 45675.0000 | 9540.95121 | 3895.07702 |
| | TFA-C | 6 | 36666.6667 | 3868.67764 | 1579.38103 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|-------|-------|---------------------|
| 2.143 | 10 | .058 |
| 2.143 | 6.601 | .072 |

La diferencia es estadísticamente significativa las limas del grupo K3XF-C requieren mayor cantidad de ciclos para la fractura que las limas del grupo TFA-C.

2.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO K3XF-A.

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-----|--------|---|------------|--------------------|---------------------------|
| NFC | K3XF-C | 6 | 45675.0000 | 9540.95121 | 3895.07702 |
| | K3XF-A | 6 | 60083.3333 | 14571.94794 | 5948.97283 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -2.026 | 10 | .070 |
| -2.026 | 8.621 | .075 |

No hay diferencia estadísticamente significativa en el número de ciclos para la fractura.

3.- GRUPO K3XF-C VS GRUPO TFA-A

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-----|--------|---|------------|-----------------|---------------------------|
| NFC | K3XF-C | 6 | 45675.0000 | 9540.95121 | 3895.07702 |
| | TFA-A | 6 | 53583.3333 | 6873.25735 | 2805.99557 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -1.647 | 10 | .130 |
| -1.647 | 9.089 | .134 |

No hay diferencia estadísticamente significativa en el número de ciclos para la fractura.

4.- GRUPO TFA-C VS GRUPO K3XF-A

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-----|--------|---|------------|-----------------|------------------------|
| NFC | TFA-C | 6 | 36666.6667 | 3868.67764 | 1579.38103 |
| | K3XF-A | 6 | 60083.3333 | 14571.94794 | 5948.97283 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -3.804 | 10 | .003 |
| -3.804 | 5.701 | .010 |

La diferencia es estadísticamente significativa, las limas del grupo K3XF-A requieren mayor cantidad de ciclos para la fractura que las limas del grupo TFA-C

5.- GRUPO TFA-C VS GRUPO TFA-A

Estadísticos de grupo

| | GRUPO | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
|-----|-------|---|------------|-----------------|------------------------|
| NFC | TFA-C | 6 | 36666.6667 | 3868.67764 | 1579.38103 |
| | TFA-A | 6 | 53583.3333 | 6873.25735 | 2805.99557 |

| t | gl | Sig. (bilateral) |
|--------|-------|---------------------|
| -5.254 | 10 | .000 |
| -5.254 | 7.879 | .001 |

La diferencia es estadísticamente significativa, las limas del grupo TFA-A requieren mayor cantidad de ciclos para la fractura que las limas del grupo TFA-C.

DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue comparar la resistencia a la fatiga cíclica entre K3XF 35/06 y TFA ML2, ambos en rotación continua y movimiento adaptativo.

Se eligió el instrumento rotatorio TFA ya que es el único en el mercado que se utiliza en movimiento adaptativo. K3XF se eligió ya que se fabrica con el mismo tratamiento térmico que TFA (Fase-R)^{3, 16}. Ambos instrumentos se sometieron a rotación continua y movimiento adaptativo ya que se ha demostrado que este último aumenta la resistencia a la fatiga cíclica.

A pesar de que no existe una especificación o prueba estandarizada internacionalmente para evaluar la resistencia a la fatiga cíclica de instrumentos rotatorios endodónticos³, se utilizó el mismo modelo estático que Higuera & Cols., ya que se quería eliminar factores ajenos a la fatiga cíclica que pudieran alterar los mecanismos de separación de los instrumentos²³.

Shen y Cols. (2014) compararon la resistencia a la fatiga cíclica entre K3 y K3XF en rotación continua, en ambientes húmedos y secos. Ellos llegaron a la conclusión que K3XF en ambiente húmedo resistía más a la fatiga cíclica que los demás grupos (1146 +/- 192 revoluciones a la fractura)². En el presente estudio no se evaluaron los instrumentos en ambiente húmedo, sin embargo, coincidimos con los resultados de Shen y Cols., donde K3XF presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica en rotación continua que TFA en rotación continua.

Pérez-Higueras y Cols (2013) compararon la resistencia a la fatiga cíclica de 3 instrumentos de níquel-titanio (K3, K3XF y TF) bajo rotación

continua y recíproca (a 300 rpm ambos movimientos); utilizaron un total de 210 limas (30/06), 60 K3, 60 K3XF, y 90 TF, divididas en 7 grupos (30 limas en cada grupo). Los resultados que obtuvieron fueron una mejor resistencia a la fatiga cíclica bajo movimiento recíproca para los tres sistemas rotatorios, sobresaliendo K3XF. Bajo movimiento continuo K3XF fue más resistente que K3 y TF³. No existe antecedente de evaluación de rotación continua y movimiento adaptativo en dos instrumentos rotatorios distintos, sin embargo, el estudio de Pérez-Higueras & Cols. es el que más se asemeja al presente estudio donde coincidimos con los resultados, ya que K3XF en movimiento adaptativo obtuvo mayor resistencia a la fatiga cíclica que los demás grupos. Entre los grupos de rotación continua, K3XF fue el que mejores resultados obtuvo.

En el 2012, Plotino y Cols. evaluaron el efecto de la esterilización por autoclave sobre la resistencia a la fatiga cíclica de 4 sistemas rotatorios: K3, Mtwo, Vortex y K3XF. Los instrumentos K3XF que fueron sometidos a los ciclos de esterilización resultaron ser más resistentes a la fatiga cíclica que los que no fueron esterilizados, con una diferencia significativa de 111 ciclos. Los demás sistemas rotatorios no mostraron diferencia significativa entre los que fueron esterilizados y los que no⁵. A pesar de que las muestras del presente estudio no fueron sometidos a ciclos de esterilización, coincidimos con los resultados entre el grupo de rotación continua, donde K3XF presenta mayor resistencia a la fatiga cíclica que TFA.

El resultado de este estudio, realizando la prueba *t de student*, mostró que K3XF-C y K3XF-A son más resistentes a la fatiga cíclica que TFA-C y TFA-A, con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). También, entre

los grupos TFA-C y TFA-A, ésta tiene mayor resistencia a la fatiga cíclica con diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).

De todos los grupos, K3XF-A fue el que mejor resistencia a la fatiga cíclica tiene, por ello, la tercera hipótesis queda aprobada.

CONCLUSIONES

Como conclusión, el movimiento adaptativo mejora significativamente la resistencia a la fatiga cíclica, en cualquiera de los dos instrumentos, a pesar de que el fabricante lo recomienda utilizar sólo con el sistema rotatorio TFA.

Se sugiere en investigaciones futuras realizar ciclos de autoclavado e inmersión en hipoclorito de sodio para semejar lo más cercano a la realidad clínica y poder determinar mediante un análisis de falla y fractografía la verdadera causa de la separación de los instrumentos rotatorios. También se sugiere buscar un método para analizar cómo influye el diseño de los instrumentos o su manufactura en la resistencia a la fatiga cíclica. Cabe mencionar que el operador pudiera influir en gran medida en la disminución de la resistencia a la fatiga cíclica, debido al mal uso de los instrumentos rotatorios.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente, al Dr. Carlos Muñoz por recibirnos en las instalaciones de SybronEndo (Orange, California) y al Ing. David Lui que nos apoyó durante la fase experimental en las instalaciones de ORMCO (San Dimas, California).

También quiero agradecer al M.C. I. Benjamín González Vizcarra, que me asesoró a realizar la fractografía y análisis de falla de las muestras al Microscopio electrónico de barrido.

Por otro lado, quiero agradecer a mis maestros de la especialidad, que muchos fueron mis maestros en licenciatura; gracias por sus conocimientos, confianza y amistad. Un agradecimiento especial a la Dra. Nico Rentería, que desde que fui su alumno de Radiología Oral en licenciatura puso su confianza en mí, ahora siendo mi presidente de tesis y siempre aconsejándome para ser mejor persona. También agradecer a la Dra. Alicia Percevault y Xóchitl, con quienes tengo un vínculo especial y siempre me han apoyado desinteresadamente desde el primer día que fui alumno de licenciatura.

Agradezco a nuestro padrino de generación, el M. C. Oscar René Bolaños, quien se preocupó por nosotros desde el primer día que lo conocimos, aportándonos sus conocimientos, guió nuestra visita a Philadelphia y nos ofreció su amistad.

Quiero agradecer además a las personas que considero mis amigos, ahora mis colegas, con quienes estudié la Preparatoria y Licenciatura, hemos compartido muchísimos momentos que han marcado mi vida: Georgina Gallegos, Julieta Cárdenas, Juan Carlos Castellanos, Evelyn Cano, Marisol Mouett, Christina Bogarín, pero sobre todo a la persona que me conoce como

soy y ha estado conmigo en las buenas y en las malas, y que, a pesar de momentos de distanciamiento, seguimos viéndonos y riéndonos como cuando compartíamos aula en licenciatura: Kerén Romero.

Mi familia, pilar importante en mi vida, que siempre me aconseja, con quienes comparto muchos momentos, viajes, cenas; no podría pedir otra familia. Quiero agradecer a mis abuelos, Galo Hernán y Ana María, que desde niño me cuidaron y han visto por mí. A mi tío Miguel, a quien admiro y respeto por toda su trayectoria y siempre ha estado ahí en momentos especiales. A mis primos Hernán y Yazmín, con quienes he compartido últimamente muchos momentos y me han apoyado en ocasiones especiales. A mi primo Galo, con quien compartí mucho tiempo de mi infancia y que me apoyó en la realización de animaciones para la presentación de mi tesis. También quiero agradecer especialmente a mi tía Gaby, que también es mi coordinadora de especialidad y amiga, que toda mi vida me ha apoyado con cada aspecto y me ha tratado como a un hijo; es una de las personas que más admiro por su inteligencia, carisma, determinación, dedicación y responsabilidad, y que gracias a ella estoy en el momento y lugar adecuado; “La cima es la meta”. Jamás podré regresar lo que ha hecho por mí.

Y por último, quiero agradecer a la persona que se ha esforzado desmesuradamente para sacar adelante nuestra pequeña familia, que me ha enseñado el valor de la responsabilidad, el respeto, el amor, que siempre me ha puesto antes que ella misma, que ha hecho hasta lo imposible para darme todo lo que tengo, que estuvo conmigo en las noches de desvelo, que estuvo ahí para evitar rendirme; y que sin ella yo no estaría en este mundo y no sería lo que soy: mi mamá, Patricia Carrillo.

DEDICATORIA

A mi mamá, quien me dio la vida y sin ella yo no sería lo que soy.

A mi tía Gaby, quien ha visto por mí desde el día que nací.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Ya Shen, Abdullah Mahmoud Riyahi, Les Campbell, Huimin Zhou, Tianfeng Du, Zhejun Wang, Wei Qian, Markus Haapasalo: Effect of a combination of torsional and cyclic fatigue preloading on the fracture behavior of K3 and K3XF instruments. *J Endod.* 2015:1-5.

² Ya Shen, Huimin Zhou, Les Campbell, R. Wang, Tianfeng Du, Markus Haapasalo: Fatigue and nanomechanical properties of K3XF nickel-titanium instruments. *International Endod J.* 2014; 47: 1160-1167.

³ Juan José Pérez-Higueras, Ana Arias, José de la Macorra: Cyclic fatigue resistance of K3, K3XF, and twisted file nickel-titanium files under continuous rotation or reciprocating motion. *J Endod.* 2013; 39: 1585-1588.

⁴ Eugenio Pedullà, Nicola M. Grande, Gianluca Plotino, Gianluca Gambarini, Ernesto Rapisarda: Influence of Continuous or Reciprocating Motion on Cyclic Fatigue Resistance of 4 Different Nickel-Titanium Rotary Instruments. *J Endod.* 2013; 39 (2).

⁵ Gianluca Plotino, Alberto Costanzo, Nicola Grande, Renata Petrovic, Luca Testarelli, Gianluca Gambarini: Experimental evaluation on the influence of autoclave sterilization on the cyclic fatigue of new nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2012; 38: 222-225.

⁶ Mario Roberto Leonardo, Renato de Toledo Leonardo: Sistemas rotatorios en endodoncia. 2002.

⁷ Peters O, Peters C, Schönenberger K, Barbakow F: ProTaper Rotary Root Canal Preparation: Assessment of Torque and Force in Relation to Canal Anatomy; *Int. Endod. J* 2003; 36.

-
- ⁸ Hilt B, Cunningham C, Shen C, Richards N: Torsional Properties of Stainless-steel and Nickel-Titanium Files After Multiple Autoclave Sterilizations. *J Endod* 2000; 26.
- ⁹ Hyeon-Cheol Kim, Sang-Won Kwak, Gary Shun-Pan Cheung, Dae-Hoon Ko, Se-Min Chung, WooCheol Lee: Cyclic Fatigue and Torsional Resistance of Two New Nickel-Titanium Instruments Used in Reciprocation Motion: Reciproc Versus WaveOne. *J Endod* 2012; 38 (4): 541-544.
- ¹⁰ He R, Ni Jun: Design Improvement and Failure Reduction of Endodontic Files through Finite Element Analysis: Application to V-Taper File Designs; *J Endod* 2010; 36.
- ¹¹ Jung-Hong Ha, Sung Kyo Kim, Nestor Cohenca, Hyeon-Cheol Kim: Effect of R-Phase heat treatment on torsional resistance and cyclic fatigue fracture. *J Endod* 2013; 39:389-393.
- ¹² Ya Shen, Hui-min Zhou, Zhejun Wang, Les Campbell, Yu-feng Zheng, Markus Haapasalo: Phase transformation behavior and mechanical properties of thermomechanically treated K3XF nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013;39:919-923.
- ¹³ Gianluca Gambarini, Nicola Maria Grande, Gianluca Plotino, Francesco Somma, Manish Garala, Massimo De Luca, Luca Testarelli: Fatigue Resistance of Engine-driven Rotary Nickel-Titanium Instruments Produced by New Manufacturing Methods. *J Endod* 2008; 34 (6).
- ¹⁴ Baek S, Lee C, Versluis A, Kim B: Comparison of Torsional Stiffness of Nickel-Titanium Rotary Files with Different Geometric Characteristics. *J Endod* 2011; 37.

¹⁵ Turpin Y, Chagneau F, Bartier O, Cathelineau G: Impact of Torsional and Bending Inertia on Root Canal Instruments. J Endod 2001; 27.

¹⁶ Gianluca Gambarini, Gary Glassman: TF Adaptive: A Novel Approach to Nickel-Titanium Instrumentation 'Rotary when you want it, Reciprocation when you need it. Oral health group, May 2013.

¹⁷ Estrela, C. Ciencia Endodóntica. 1era Edición. Brasil: Artes Médicas Latinoamericana; 2005.

¹⁸ Gianluca Gambarini: The K3 rotary nickel titanium instrument system. Endod Topics 2005; 10, 179-182.

¹⁹ Vertucci, F.: Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. Endodontic Topics 2005; 10, 3-29.

²⁰ G. Plotino, N. M. Grande, M. Cordaro, L. Testarelli, G. Gambarini: A review of cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary instruments. J Endod 2009; 11, 1469-1476

²¹ G. Plotino, N. M. Grande, M. C. Melo, M. G. Bahia, L. Testarelli, G. Gambarini: Cyclic Fatigue of NiTi Rotary Instruments in a Simulated Apical Abrupt Curvature. International Endodontic Journal 2010; 43: 226-230.

²² Zuolo, M.L., Walton, R. E.: Deterioro de los instrumentos con el uso: comparación entre níquel-titanio y el acero inoxidable. Quintessense (edición especial) 2005; 11 (4).

²³ Higuera, O., Plotino, G., Tocci, L., Carrillo, G., Gambarini, G., Jaramillo, D.: Cyclic fatigue resistance of 3 different nickel-titanium reciprocating instruments in artificial Canals. J Endod 2015; 1-3.