



Facultad de Ciencias de la Salud

Posgrado de Endodoncia

Tema:

**Análisis comparativo de la resistencia a la fatiga cíclica en dos sistemas rotatorios
en conducto artificial**

Artículo Científico para la obtención del Título de Especialista en Endodoncia

Postulante:

Mónica Stefany Pazmiño Betancourt

Tutor:

Od. Karol Carillo

Quito, Julio 2025

Resumen

El estudio tuvo como objetivo central realizar un análisis comparativo de la resistencia a la fatiga cíclica entre dos sistemas rotatorios endodónticos de bajo costo AF F ONE (Fanta, China) y Jizai (Mani, Japón) en un conducto artificial. Se implementó una metodología in vitro comparativa experimental utilizando 24 limas, 12 de cada marca, con características equivalentes, 25/04 de 25mm, las cuales fueron sometidas a pruebas de fatiga cíclica en un modelo tridimensional con conductos artificiales de 60 grados de angulación y 3mm de radio de curvatura, simulando una curvatura moderada. Los instrumentos fueron accionados a 500 rpm con un torque de 2.5 N según las recomendaciones del fabricante, registrándose mediante grabación el tiempo hasta la fractura, que posteriormente se transformó en ciclos. Como resultado principal, se encontró que las limas Jizai demostraron una resistencia a la fatiga cíclica significativamente superior, presentando un promedio de 2593 ciclos hasta la fractura, en comparación con los 1029.5 ciclos de las limas AF F ONE, lo que representa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$) y una resistencia 2.5 veces mayor. Esta diferencia se atribuye principalmente al tratamiento térmico aplicado a las limas Jizai que modifica su estructura aumentando la proporción de fase R, confiriéndoles mayor flexibilidad y resistencia. Por otro lado, el diseño de cara plana de las limas AF F ONE, aunque reduce su masa, parece crear condiciones desfavorables para soportar cargas cíclicas repetitivas debido a la distribución desigual de estrés. Se concluyó que, en el contexto de la práctica endodóntica en Ecuador, donde los factores económicos influyen en la selección de instrumentos, el sistema Jizai, a pesar de mostrar cierta variabilidad en su rendimiento, ofrece una mejor relación costo-beneficio para casos con anatomía radicular compleja, recomendándose un enfoque selectivo para la utilización de estos sistemas según la complejidad anatómica del caso.

Palabras clave: Fatiga cíclica, Instrumentos rotatorios, Níquel-titanio, Tratamiento térmico, Fractura de instrumentos, Conductos radiculares.

Declaración de aceptación de norma ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Mónica Stefany Pazmiño Betancourt

Firma

C.I. 003460882

Dedicatoria

Esta investigación está dedicada con profunda gratitud a mis padres, quienes con infinito cariño y amor incondicional han sido el cimiento sobre el que he construido cada logro profesional.

A mi hermano, compañero insustituible en este camino, por su apoyo inquebrantable, sus palabras de aliento y su fe en mí fueron luz en los momentos de incertidumbre.

A Josué por no soltar mi mano ni en los más difíciles de los caminos.

Sin el soporte emocional e intelectual de mi familia, este trabajo no habría sido posible. A ellos dedico cada página, cada descubrimiento y cada contribución que este estudio pueda aportar a nuestra disciplina.

Índice

Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción	11
Metodología	12
Resultados.....	13
Discusión	16
Referencias.....	21

Índice de tablas

TABLA 1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA FATIGA CÍCLICA DE LIMAS AF F ONE Y JIZAI..... 14

Índice de figuras

FIGURA 1 DIAGRAMA DE CAJA DEL NÚMERO DE CICLOS DE CADA MARCA UTILIZADA..... 15

Título: Análisis comparativo de la resistencia a la fatiga cíclica de dos instrumentos rotatorios en conducto artificial.

Nombres y apellidos: Odont. Mónica Stefany Pazmiño Betancourt

Filiación académica: Universidad Hemisferios

Correo electrónico: monicapazmino.2702@gmail.com

Resumen

El estudio tuvo como objetivo central realizar un análisis comparativo de la resistencia a la fatiga cíclica entre dos sistemas rotatorios endodónticos de bajo costo AF F ONE (Fanta, China) y Jizai (Mani, Japón) en un conducto artificial. Se implementó una metodología in vitro comparativa experimental utilizando 24 limas, 12 de cada marca, con características equivalentes, 25/04 de 25mm, las cuales fueron sometidas a pruebas de fatiga cíclica en un modelo tridimensional con un conducto artificial de 60 grados de angulación y 3mm de radio de curvatura, simulando una curvatura moderada. Los instrumentos fueron accionados a 500 rpm con un torque de 2.5 N según las recomendaciones del fabricante, registrándose mediante grabación el tiempo hasta la fractura, que posteriormente se transformó en ciclos. Como resultado principal, se encontró que las limas Jizai demostraron una resistencia a la fatiga cíclica significativamente superior, presentando un promedio de 2593 ciclos hasta la fractura, en comparación con los 1029.5 ciclos de las limas AF F ONE, lo que representa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.001$) y una resistencia 2.5 veces mayor. Esta diferencia se atribuye principalmente al tratamiento térmico aplicado a las limas Jizai que modifica su estructura aumentando la proporción de fase R, confiriéndoles mayor flexibilidad y resistencia. Por otro lado, el diseño de cara plana de las limas AF F ONE,

aunque reduce su masa, parece crear condiciones desfavorables para soportar cargas cíclicas repetitivas debido a la distribución desigual de estrés. Se concluyó que, en el contexto de la práctica endodóntica en Ecuador, donde los factores económicos influyen en la selección de instrumentos, el sistema Jizai, a pesar de mostrar cierta variabilidad en su rendimiento, ofrece una mejor relación costo-beneficio para casos con anatomía radicular compleja, recomendándose un enfoque selectivo para la utilización de estos sistemas según la complejidad anatómica del caso.

Palabras clave: Fatiga cíclica, Instrumentos rotatorios, Níquel-titanio, Tratamiento térmico, Fractura de instrumentos, Conductos radiculares.

Abstract

The aim of this study was to conduct a comparative analysis of cyclic fatigue resistance between two low-cost rotary endodontic systems AF F ONE (Fanta, China) and Jizai (Mani, Japan) in an artificial canal. The in vitro comparative experimental methodology was implemented using 24 files, 12 of each brand, with equivalent characteristics, 25/04 of 25mm, which were subjected to cyclic fatigue tests in a three-dimensional model with artificial canals of 60 degrees angulation and 3mm radius of curvature, simulating a moderate curvature. The instruments were operated at 500 rpm with a torque of 2.5 N, and time was recorded until fracture using video footage, which was later converted to cycles. Jizai files demonstrated significantly superior cyclic fatigue resistance, presenting an average of 2593 cycles until fracture, compared to 1029.5 cycles for AF F ONE files ($p < 0.001$) and 2.5 times greater resistance. This difference can be attributed to the heat treatment applied to Jizai files that modifies their structure by increasing the proportion of R-phase, conferring greater flexibility and resistance. On the other hand, the flat-face design of AF F ONE files, although reducing their mass, seems to create unfavorable conditions for withstanding repetitive cyclic loads due to uneven

stress distribution. Therefore, the Jizai system offers a better cost-benefit ratio for cases with complex root anatomy despite showing some variability in its performance. This is particularly useful in the context of endodontic practice in Ecuador, where economic factors influence instrument selection. It is recommended a selective approach for the use of these systems according to the anatomical complexity of the case.

Keywords: Cyclic fatigue, Rotary instruments, Nickel-titanium, Heat treatment, Instrument fracture, Root canal system.

Introducción

La preparación mecánica del sistema de conductos radiculares es una fase primordial para el tratamiento de endodoncia, ya que garantizar la eliminación del contenido del canal y así como establecer el espacio suficiente para su desinfección garantizan el éxito de este (Martins, et al, 2023), de esta forma el tener alternativas claras de los instrumentos con mejor desempeño, duración y seguridad, mejoraría tanto la atención al paciente como la experiencia del operador al realizar el tratamiento. (Dioguardi, et al, 2024).

Frente a eso, los instrumentos de níquel titanio presentan ventajas sobre los instrumentos de acero inoxidable en términos de flexibilidad y capacidad de mantenerse centrado en el canal (Larsen, et al, 2009), sin embargo, y a pesar de sus numerosas ventajas estos instrumentos pueden fracturarse por fatiga flexural o fatiga torsional (Plotino, et al, 2009). La fatiga torsional se da cuando la punta del instrumento se entorcha dentro del canal mientras que el resto del instrumento continúa rotando y la fatiga flexural o cíclica ocurre cuando el instrumento es sometido repetidamente a fuerzas de tensión y compresión dentro de un conducto curvo en la zona de mayor curvatura hasta sobrepasar el límite elástico del instrumento (Duque, et al, 2020) ya que estos cambios

ocurren a nivel microscópico no son visibles a simple vista de tal manera que la fractura puede pasar de manera inadvertida (Chakka, et al, 2012).

Para mejorar la resistencia de estos a la fatiga cíclica y torsional se han implementado mejoras en el diseño, en la sección transversal y en el tratamiento térmico de los instrumentos (Ebihara, et al, 2011). En el instrumento AF F ONE (Fanta, Shangai, China) se presenta una cara plana, que reduce su masa y la hace más flexible, una sección transversal en forma de S modificada, una punta inactiva que le permite centrarse en el canal (Martins, et al, 2022). En los instrumentos Jizai (Mani, Tochigi, Japón) se ha implementado una aleación NiTi con tratamiento térmico cuya fase no ha sido publicada, presenta una sección transversal casi rectangular y descentrada que le permite menor enroscamiento dentro del conducto, así como mejor desalojo de dentina (Nakatsukasa, et al, 2021).

Frente a lo expuesto esta investigación se propone realizar un análisis comparativo de la resistencia a la fatiga cíclica entre dos sistemas rotatorios en un conducto artificial.

Metodología

Se realizó un estudio in vitro comparativo experimental donde se utilizaron 24 limas como muestra, 12 limas rotatorias Jizai (Mani, Tochigi, Japón) 25/04 de 25mm y 12 limas rotatorias AF F ONE (Fanta, Shangai, China) 25/04 de 25mm que fueron acopladas en un motor de endodoncia (Eighteeth, Changzhou, China) y un modelo tridimensional conformado por una base de acero inoxidable de 1 in de espesor, en la cual, se conformaron los conductos con una angulación de 60 grados a un radio de 3 mm de la curvatura en un conducto de 1,5 mm de diámetro para simular una curvatura moderada y una tapa de acrílico transparente fija a esta platina metálica que permitió observar y recuperar los fragmentos fracturados. Adicionalmente, se utilizó una placa base metálica roscada con varillas de soporte de acero inoxidable y una abrazadera en V

(Thorlabs, Newton, EEUU) para la sujeción del motor de endodoncia.

Los instrumentos se sometieron a pruebas de fatiga cíclica, estas fueron accionadas con el motor de endodoncia con movimiento rotatorio a 500 rpm con un torque de 2.5 N, velocidad y torque recomendado por el fabricante, y con la ayuda de una cámara se grabó el tiempo en que cada instrumento tardó en separarse, después se registró el tiempo de forma precisa y se transformó a ciclos.

Para reducir la fricción entre el metal y el instrumento se utilizó lubricante sintético dentro de los conductos previo a cada prueba. Se realizó una marca a 23 mm para estandarizar la posición de cada instrumento en el modelo.

El número de limas por marca se calculó usando un tamaño del efecto de 0.5, potencia estadística de 0.8 y precisión de 0.05. El número de ciclos se registraron en una tabla de Excel específicamente elaborada para el estudio. Prueba de Shapiro-Wilk y gráficos Q-Q fueron realizados para comprobar la normalidad de los números de ciclos. Esta variable sigue una distribución normal por lo que se realizó la prueba t-test. Los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados usando (R Core Team, 2020) con las librerías 'stats', 'ggplot' (Wickham, 2016) y gtsummary (Sjoberg et al., 2021).

Resultados

Se realizó un estudio in vitro comparativo experimental donde se utilizaron 24 limas como muestra, 12 limas rotatorias Jizai (Mani, Tochigi, Japón) 25/04 de 25mm y 12 limas rotatorias AF F ONE (Fanta, Shangai, China) 25/04 de 25mm que fueron acopladas en un motor de endodoncia (Eighteeth, Changzhou, China) y un modelo tridimensional conformado por una base de acero inoxidable de 1 in de espesor, en la cual, se conformaron los conductos con una angulación de 60 grados a un radio de 3 mm de la curvatura en un conducto de 1,5 mm de diámetro para simular una curvatura moderada y una tapa de acrílico transparente fija a esta platina metálica que permitió

observar y recuperar los fragmentos fracturados. Adicionalmente, se utilizó una placa base metálica roscada con varillas de soporte de acero inoxidable y una abrazadera en V (Thorlabs, Newton, EEUU) para la sujeción del motor de endodoncia.

Los instrumentos se sometieron a pruebas de fatiga cíclica, estas fueron accionadas con el motor de endodoncia con movimiento rotatorio a 500 rpm con un torque de 2.5 N, velocidad y torque recomendado por el fabricante, y con la ayuda de una cámara se grabó el tiempo en que cada instrumento tardó en separarse, después se registró el tiempo de forma precisa y se transformó a ciclos.

Para reducir la fricción entre el metal y el instrumento se utilizó lubricante sintético dentro de los conductos previo a cada prueba. Se realizó una marca a 23 mm para estandarizar la posición de cada instrumento en el modelo.

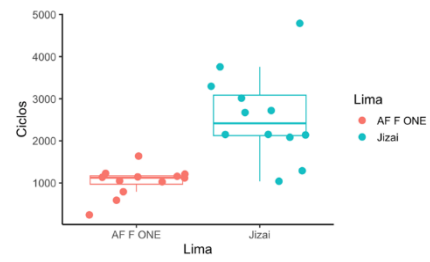
El número de limas por marca se calculó usando un tamaño del efecto de 0.5, potencia estadística de 0.8 y precisión de 0.05. El número de ciclos se registraron en una tabla de Excel específicamente elaborada para el estudio. Prueba de Shapiro-Wilk y gráficos Q-Q fueron realizados para comprobar la normalidad de los números de ciclos. Esta variable sigue una distribución normal por lo que se realizó la prueba t-test. Los análisis estadísticos y gráficos fueron realizados usando (R Core Team, 2020) con las librerías ‘stats’, ‘ggplot’ (Wickham, 2016) y gtsummary (Sjoberg et al., 2021).

Tabla 1 Estadística descriptiva de la fatiga cíclica de limas AF F ONE y JIZAI

Limas	Fatiga cíclica					
	Promedio (DS)	Ciclos		Tiempo (seg)		
		Media	Min-Max	Promedio (DS)	Media	Min-Max
AF F One n=12	1,029 (352)	1,128	245-1,640	135 (41)	146	49-208
JIZAI n=12	2,593 (1,037)	2,415	1,040-4,790	323 (129)	303	128-598

Fuente: Elaboración propia

Figura 1 Diagrama de caja del número de ciclos de cada marca utilizada



(AF F ONE = rojo, JIZAI= verde.) Línea central indica la mediana, los extremos de arriba y abajo indican los percentiles 25 y 75. Cada lima utilizada está representada por un punto.

Discusión

Una alta resistencia a la fatiga cíclica de un instrumento endodóntico rotatorio es una característica importante para la seguridad y eficiencia del tratamiento de endodoncia. En este estudio in vitro se comparó la resistencia a la fatiga cíclica de dos instrumentos rotatorios de bajo costo: AF F ONE (Fanta, Shangai, China) y Jizai (Mani, Tochigi, Japón). Siendo el instrumento Jizai el que mejor resultado tuvo con un NCF promedio de 2593 comparado con 1029.5 de AF F ONE (Tabla 1).

La resistencia superior a la fatiga cíclica observada en las limas Jizai podría atribuirse a su composición y tratamiento térmico, Jizai incorpora un tratamiento térmico que modifica su estructura aumentando la proporción de fase R lo que la conferiría mayor flexibilidad y resistencia a la fatiga (Zupanc, J. et al 2018) Estos resultados pueden compararse con los resultados obtenidos por Bürklein, S. et al 2021 donde las limas Mani obtuvieron una media superior a los 5000 ciclos sobrepasando significativamente el rendimiento de los demás instrumentos estudiados equiparándola a limas con fabricación de electroerosión (Nakatsukasa, T. et al 2021).

El rendimiento comparativamente menor exhibido por los instrumentos AF F ONE puede atribuirse a su diseño característico de una cara plana, el cual, aunque reduce la masa del instrumento, aparentemente crea condiciones desfavorables para soportar cargas cíclicas repetitivas. Silva et al. (2023) demostraron que instrumentos con diseño de cara plana presentan valores significativamente menores de resistencia a la fatiga cíclica debido a la distribución desigual de estrés en la interfase entre la cara plana y el resto del instrumento, creando puntos de concentración de tensión que favorecen la propagación de microfracturas. Esto contradice la noción generalizada de que menor masa siempre se traduce en mayor resistencia. Efectivamente, Elnaghy y Elsaka (2015) concluyeron que la composición metalúrgica y el tratamiento térmico tienen mayor impacto en la resistencia

a la fatiga cíclica que la masa de la sección transversal por sí sola. Adicionalmente, Silva et al. (2025) reportaron que instrumentos con diseño de cara plana, aunque presentan ventajas en flexibilidad, sufren alteraciones en la dinámica de rotación que generan fuerzas de tensión adicionales, comprometiendo su resistencia a la fatiga cíclica, lo que explicaría los resultados sustancialmente inferiores observados en el sistema AF F ONE en comparación con Jizai.

Por otra parte, los valores mínimos y máximos extremos encontrados en el sistema Jizai sugieren una consistencia variable en términos de resistencia a la fatiga. Esta variabilidad podría atribuirse a diferencias en el proceso de fabricación o en el tratamiento térmico aplicado al material (Nakatsukasa, T., et al. 2021). De acuerdo con Gavini et al. (2018), la homogeneidad en el rendimiento de los instrumentos endodónticos es un factor crucial para predecir su comportamiento clínico y garantizar resultados consistentes en el tratamiento. La variabilidad observada en Jizai podría representar un riesgo potencial en situaciones clínicas complejas donde la predicción del comportamiento del instrumento es crucial para prevenir fracturas intracanales.

El comportamiento mecánico de los instrumentos endodónticos está influenciado por múltiples factores, entre ellos la composición de la aleación, el tratamiento térmico y el diseño geométrico (Lopes et al., 2013). Investigaciones recientes han demostrado que las propiedades metalúrgicas resultantes del tratamiento térmico pueden compensar, hasta cierto punto, las desventajas geométricas de algunos diseños (Kaval et al., 2016). Sin embargo, nuestros resultados sugieren que este equilibrio no es siempre alcanzado, especialmente cuando se trata de adaptaciones para reducir costos de producción.

Es importante reconocer las limitaciones metodológicas de esta investigación. Aunque el tamaño de muestra ideal calculado inicialmente fue de 63 instrumentos por sistema, por restricciones económicas se utilizaron 12 limas por marca. Con los datos

obtenidos en este estudio, se recalculó el tamaño de muestra utilizando un tamaño del efecto de 1.94, el cual indicó que se requerían solamente 5 limas por marca para detectar diferencias estadísticamente significativas. Pedullà et al. (2021) señalan que el cálculo adecuado del tamaño muestral es fundamental para garantizar la validez estadística de los hallazgos en estudios de fatiga cíclica, aunque reconocen que las limitaciones presupuestarias son una realidad frecuente en la investigación odontológica.

A pesar de que nuestro tamaño muestral fue suficiente según el análisis post-hoc, en estudios subsecuentes se deberá aumentar el número de especímenes para confirmar que los valores extremos observados en las limas Jizai sean consistentes y no artefactos metodológicos. Klymus et al. (2022) enfatizan la importancia de utilizar tamaños muestrales adecuados para identificar patrones de comportamiento más allá de las variaciones aleatorias, especialmente cuando se evalúan sistemas con alta variabilidad intrínseca.

Otra limitación importante radica en la naturaleza in vitro del estudio. Los conductos artificiales, si bien proporcionan estandarización, no reproducen completamente las condiciones clínicas donde factores como la temperatura, presión apical y anatomía radicular podrían influir en el rendimiento de los instrumentos (Hülsmann et al., 2019). Kasuga et al. (2023) demostraron que la resistencia a la fatiga cíclica disminuye significativamente a temperatura corporal (37°C) en comparación con la temperatura ambiente, aspecto que debe considerarse al extrapolar nuestros resultados a la práctica clínica.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones clínicas ya que ofrecen una visión integral del rendimiento de estos sistemas rotatorios en términos de resistencia a la fatiga cíclica. La menor resistencia observada en AF F ONE sugiere precaución al utilizar estos instrumentos en conductos con curvaturas severas, donde el riesgo de fractura por

fatiga cíclica es mayor.

Por otra parte, la inconsistencia en el rendimiento de las limas Jizai representa un aspecto a considerar durante la selección de instrumentos. Si bien este sistema podría ofrecer ventajas económicas, la variabilidad en su resistencia a la fatiga podría comprometer la predictibilidad del tratamiento endodóntico. Sattapan et al. (2000) señalan que la consistencia en el rendimiento de los instrumentos es un factor crucial para el éxito clínico y la prevención de complicaciones iatrogénicas.

Conclusión

El sistema Jizai demostró una resistencia a la fatiga cíclica significativamente superior al sistema AF F ONE, presentando un promedio de ciclos hasta la fractura 2.5 veces mayor (2,593 vs 1,029 ciclos).

Existe una marcada variabilidad en los resultados del sistema Jizai, con valores que oscilan entre 1,040 y 4,790 ciclos, lo que sugiere inconsistencias en el proceso de fabricación que podrían afectar la predictibilidad de su comportamiento clínico.

El sistema AF F ONE presentó valores consistentemente más bajos de resistencia a la fatiga cíclica, lo que implica un mayor riesgo de fractura en conductos con curvaturas severas.

El tiempo hasta la fractura fue significativamente mayor para el sistema Jizai (323 segundos) en comparación con AF F ONE (135 segundos), proporcionando un margen de seguridad operacional más amplio durante procedimientos endodónticos complejos.

En el contexto de la práctica endodóntica en Ecuador, donde los factores económicos influyen en la selección de instrumentos, estos hallazgos sugieren que el sistema Jizai, a pesar de su variabilidad, podría ofrecer una mejor relación costo-beneficio para casos con anatomía radicular compleja.

Se recomienda un enfoque selectivo para la utilización de estos sistemas, considerando la complejidad anatómica del caso, reservando el sistema Jizai para conductos con curvaturas pronunciadas y limitando el uso de AF F ONE a casos con anatomía más favorable.

Son necesarios estudios adicionales con muestras más amplias para confirmar la variabilidad observada en el sistema Jizai, así como investigaciones en condiciones que simulen más fielmente el entorno clínico

Referencias

Martins, J. N. R., Silva, E. J. N. L., Marques, D., Pereira, M. R., Vieira, V. T. L., Arantes-Oliveira, S., Martins, R. F., Braz Fernandes, F., & Versiani, M. (2022). Design, Metallurgical Features, and Mechanical Behaviour of NiTi Endodontic Instruments from Five Different Heat-Treated Rotary Systems. *Materials*, 15(3), 1009.

<https://doi.org/10.3390/ma15031009>

Dioguardi, M., Dello Russo, C., Scarano, F., Esperouz, F., Ballini, A., Sovereto, D., Alovise, M., Martella, A., & Lo Muzio, L. (2024). Analysis of endodontic successes and failures in the removal of fractured endodontic instruments during retreatment: A systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *Healthcare*, 12(14), 1390. <https://doi.org/10.3390/healthcare12141390>

Larsen, C. M., Watanabe, I., Glickman, G. N., & He, J. (2009). Cyclic fatigue analysis of a new generation of nickel titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 35(3), 401-403. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.12.010>

Plotino, G., Grande, N. M., Cordaro, M., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2009). A review of cyclic fatigue testing nickel-titanium rotary instruments. *Journal of Endodontics*, 35(11), 1469-1476. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.06.015>

Duque, J., Vivan, R., Cavenago, B., Amoroso Silva, P., Bernardes, R., Vasconcelos, B., & Duarte, M. (2017). Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems. *Journal of Applied Oral Science*, 25(1), 27-33. <https://doi.org/10.1590/1678-77572016-0230>

Chakka, N. V., Ratnakar, P., Das, S., Bagchi, A., Sudhir, S., & Anumula, L. (2012). Do NiTi instruments show defects before separation? Defects caused by torsional fatigue in

hand and rotary nickel-titanium (NiTi) instruments which lead to failure during clinical use. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 13(6), 867-872

Ebihara, A., Yahata, Y., Miyara, K., Nakano, K., Hayashi, Y., & Suda, H. (2011). Heat treatment of nickel-titanium rotary endodontic instruments: Effects on bending properties and shaping abilities. *International Endodontic Journal*, 44(9), 843-849.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01891.x>

Nakatsukasa, T., Ebihara, A., Kimura, S., Maki, K., Nishijo, M., Tokita, D., & Okiji, T. (2021). Comparative evaluation of mechanical properties and shaping performance of heat-treated nickel titanium rotary instruments used in the single-length technique. *Dental Materials Journal*, 40(3), 743-749. <https://doi.org/10.4012/dmj.2020-255>

R Core Team. (2020). R: a language and environment for statistical computing [Manual]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>

Sjoberg, D. D., Whiting, K., Curry, M., Lavery, J. A., & Larmarange, J. (2021). Reproducible summary tables with the gtsummary package. *The R Journal*, 13(1), 570–580.
<https://doi.org/10.32614/RJ-2021-053>

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York.
<https://ggplot2.tidyverse.org>

Zupanc, J., Vahdat-Pajouh, N., & Schäfer, E. (2018). New thermomechanically treated NiTi alloys - A review. *International Endodontic Journal*, 51(10), 1088-1103.
<https://doi.org/10.1111/iej.12924>

Bürklein, S., Zupanc, L., Donnermeyer, D., Tegtmeyer, K., & Schäfer, E. (2021). Effect of Core Mass and Alloy on Cyclic Fatigue Resistance of Different Nickel-Titanium Endodontic Instruments in Matching Artificial Canals. *Materials*, 14(19), 5734.

<https://doi.org/10.3390/ma14195734>

Elnaghy, A. M., & Elsaka, S. E. (2015). Cyclic fatigue resistance of OneShape and WaveOne versus conventional stainless steel K-files. *International Endodontic Journal*, 54(7), 1215-1221.

Silva, E., Alcalde, M., Martins, J., Vieira, V., Vivan, R., Duarte, M., Belladonna, F., Braz Fernandes, F., & Versiani, M. (2023). To flat or not to flat? Exploring the impact of flat-side design on rotary instruments using a comprehensive multimethod investigation. *International Endodontic Journal*, 56(10), 1234-1247.

<https://doi.org/10.1111/iej.13960>

Silva, E. J. N. L., Martins, J. N. R., Cardoso, T. O., do Rosário Pereira, M., Alcalde, M. P., Vieira, V. T. L., et al. (2025). The impact of blade geometry (nonflat, flat or hybrid) and metallurgical composition on the mechanical performance of NiTi endodontic instruments: A multimethod laboratory study. *International Endodontic Journal*, 00, 1-14. <https://doi.org/10.1111/iej.14249>

Gavini, G., Santos, M. D., Caldeira, C. L., Machado, M. E. L., Freire, L. G., Iglecias, E. F., Peters, O. A., & Candeiro, G. T. M. (2018). Nickel-titanium instruments in endodontics: A concise review of the state of the art. *Brazilian Oral Research*, 32(suppl 1), e67. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0067>

Lopes, H. P., Gambarra-Soares, T., Elias, C. N., Siqueira, J. F., Jr., Inojosa, I. F., Lopes, W. S., & Vieira, V. T. (2013). Comparison of the mechanical properties of rotary instruments made of conventional nickel-titanium wire, M-wire, or nickel-titanium alloy in R-phase. *Journal of Endodontics*, 39(4), 516-520.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.12.006>

- Kaval, M. E., Capar, I. D., Ertas, H., & Sen, B. H. (2017). Comparative evaluation of cyclic fatigue resistance of four different nickel-titanium rotary files with different cross-sectional designs and alloy properties. *Clinical Oral Investigations*, 21(5), 1527-1530. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1917-x>
- Pedullà, E., La Rosa, G. R. M., Virgillito, C., Rapisarda, E., Kim, H. C., & Generali, L. (2020). Cyclic fatigue resistance of nickel-titanium rotary instruments according to the angle of file access and radius of root canal. *Journal of Endodontics*, 46(3), 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.015>
- Klymus, M. E., Alcalde, M. P., Vivan, R. R., Só, M. V. R., de Vasconcelos, B. C., & Duarte, M. A. H. (2019). Effect of temperature on the cyclic fatigue resistance of thermally treated reciprocating instruments. *Clinical Oral Investigations*, 23(7), 3047-3052. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2718-1>
- Hülsmann, M., Donnermeyer, D., & Schäfer, E. (2019). A critical appraisal of studies on cyclic fatigue resistance of engine-driven endodontic instruments. *International Endodontic Journal*, 52(10), 1427-1445. <https://doi.org/10.1111/iej.13182>
- Kasuga, Y., Kimura, S., Maki, K., Unno, H., Omori, S., Hirano, K., Ebihara, A., & Okiji, T. (2023). Phase transformation and mechanical properties of heat-treated nickel-titanium rotary endodontic instruments at room and body temperatures. *BMC Oral Health*, 23(1), 825. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03550-6>
- Sattapan, B., Nervo, G. J., Palamara, J. E., & Messer, H. H. (2000). Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. *Journal of Endodontics*, 26(3), 161-165. <https://doi.org/10.1097/00004770-200003000-00008>

Información Suplementaria

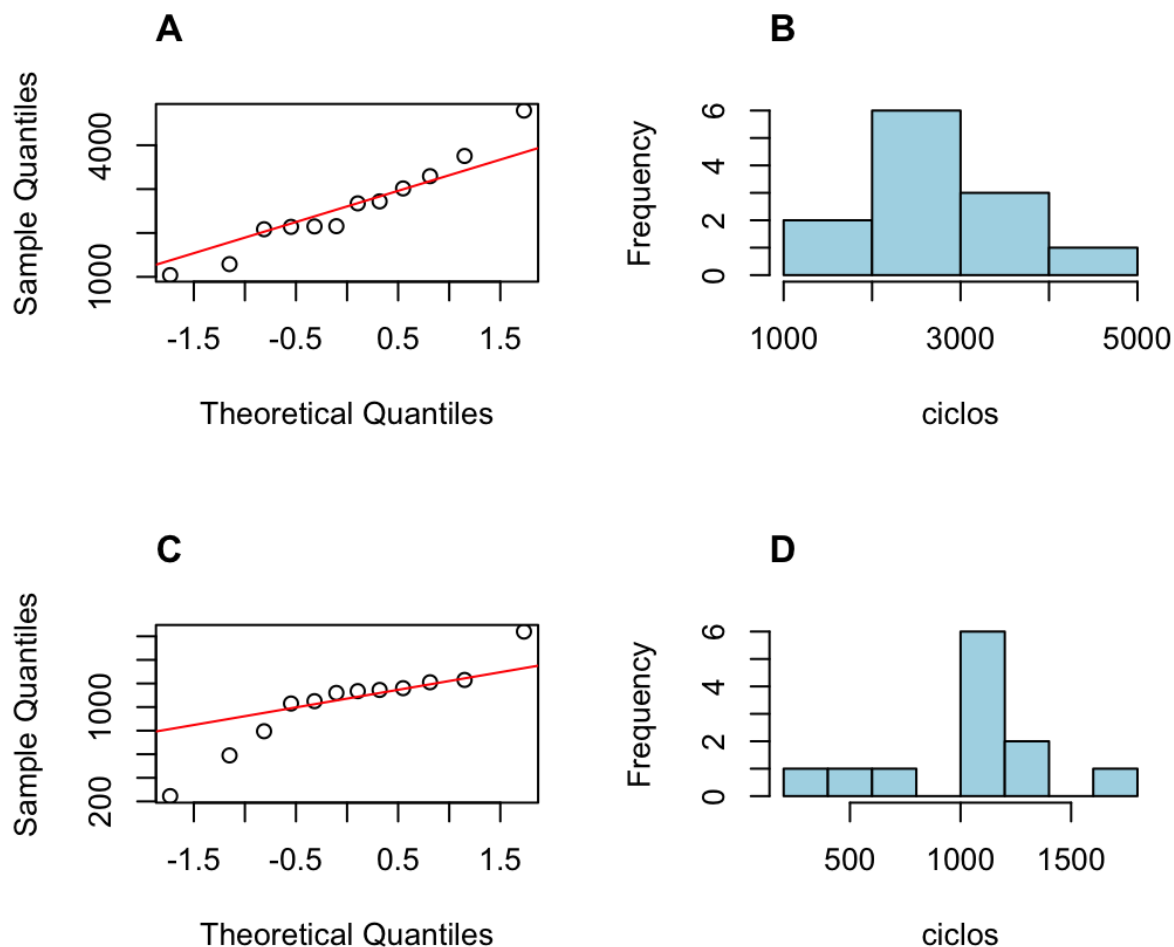


Fig S1. Gráfico Q-Q e histogramas del número de ciclos de las limas Jizai (A y B) y AF F ONE (C y D) utilizados para evaluar la normalidad de los datos

Tabla S1. Prueba de normalidad Shapiro-Wilk. Valores p menores a 0.05 indican que los datos no siguen una distribución normal

Lima	W	p-value
AF F ONE	0.8963	0.1421
Jizai	0.95642	0.7317

Tabla S2. Valores de los parámetros para el cálculo del tamaño de muestra. El valor del tamaño del efecto antes de los experimentos fue escogido para detectar un tamaño del efecto medio. El tamaño del efecto fue recalculado con los datos del estudio usando la d de Cohen

Parámetro	Antes del estudio	Después del estudio
Tamaño del efecto	0.5	1.94
Potencia estadística	0.8	0.8
Precisión	0.05	0.05