



Efecto del tiempo en la velocidad de rotación de piezas de mano de alta velocidad

Effect of usage time on rotation speed of high-speed handpieces

Cristian Camilo Morales-Lastre¹, Katia Maireth Nuñez-Rodríguez², Midian Clara Castillo-Pedraza³, Jorge Homero Wilches-Visbal⁴

Resumen

Objetivos: la odontología moderna hace uso de diversas herramientas e instrumentos para llevar a cabo los tratamientos. La pieza de mano de alta velocidad, una de las más utilizadas, es un dispositivo mecano-eléctrico empleado en procesos restaurativos, de extracción dentaria, entre otros. El objetivo fue determinar si el tiempo de uso afecta la velocidad angular de tres piezas de alta velocidad de igual marca. **Métodos:** estudio observacional, analítico y transversal, sobre la velocidad de piezas de mano de alta velocidad Appledental A1 de un consultorio odontológico universitario. Se midió la velocidad de tres piezas de mano con 15, 60 y 609 días de uso, utilizando la app Turbine Doctor. Posteriormente, se ejecutó una prueba Anova de una vía para buscar diferencias significativas en la velocidad de las tres piezas; también se realizó una prueba t de una muestra para determinar si la velocidad de las piezas estaba por fuera del rango de operatividad indicado por el fabricante (300 – 400 mil). **Resultados:** los hallazgos mostraron que la pieza con mayor tiempo de uso (609 días) fue la única con velocidad angular media fuera del rango de aceptación (272 mil rpm) y significativamente inferior a la de las otras dos. No se encontraron diferencias entre la velocidad de las piezas con 15 y 60 días de uso. **Conclusiones:** la velocidad de rotación de la pieza de mano disminuye con el tiempo, especialmente después de un año. Se recomienda realizar verificaciones periódicas del equipo para evitar pérdida de la eficiencia de corte.

Palabras claves: equipo dental de alta velocidad, tiempo, odontología, mantenimiento de equipo.

Abstract

Objectives: modern dentistry utilizes various tools and instruments to perform treatments. The high-speed handpiece, one of the most widely used devices, is a mechanical-electric instrument employed in restorative and tooth extraction procedures, among others. The objective was to determine whether usage time affects the angular velocity of three high-speed handpieces of the same brand. **Methods:** an observational, analytical, and cross-sectional study was conducted on the speed of Appledental A1 high-speed handpieces from a university dental clinic. The speed of three handpieces with 15, 60, and 609 days of use was measured using the Turbine Dr. app. A one-way ANOVA test was performed to identify significant differences in the speed of the three handpieces, and a one-sample t-test was conducted to determine whether the speed of the handpieces was outside the operational range specified by the manufacturer (300,000 – 400,000 rpm). **Results:** the findings showed that the handpiece with the longest usage time (609 days) was the only one with a mean angular velocity outside the acceptable range (272,000 rpm) and significantly lower than the other two. No differences were found between the speeds of the handpieces with 15 and 60 days of use. **Conclusions:** the rotational speed of the handpiece decreases over time, particularly after one year. Periodic equipment checks are recommended to prevent a loss of cutting efficiency.

Keywords: high-speed dental equipment, time, dentistry, equipment maintenance.

Recibido el

24 de abril de 2024

Aceptado

20 de febrero de 2025

¹Odontólogo General, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
<https://orcid.org/0000-0001-9837-6361>.
crimolas@gmail.com

²Estudiante de Odontología, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
<https://orcid.org/0000-0001-7799-5913>.
maynunuz09@gmail.com

³Doctora en Rehabilitación Oral, Docente, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
<https://orcid.org/0000-0003-3170-3959>
midianclar@gmail.com

⁴Doctor en Física Aplicada a la Medicina y Biología, Docente, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
<https://orcid.org/0000-0003-3649-5079>

*Correspondencia:

Jorge Homero Wilches-Visbal

Correo electrónico:

jhwilchev@gmail.com

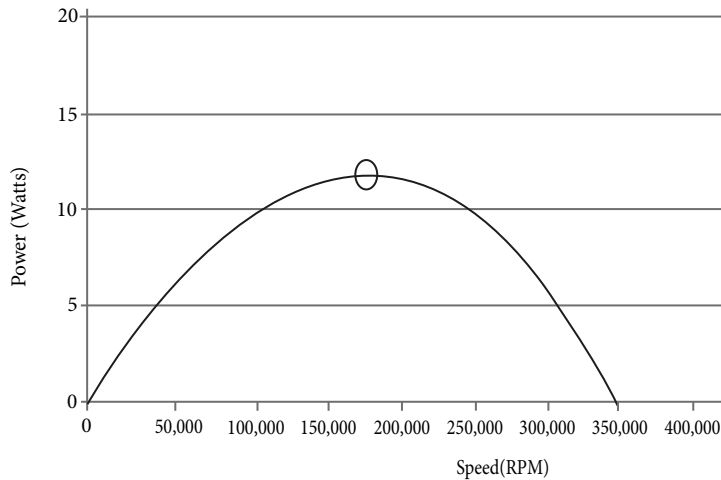
DOI:

<https://doi.org/10.47993/gmb.v48i1.981>

La práctica odontológica requiere el uso de herramientas, materiales e instrumentos para llevar a cabo los tratamientos relacionados con la salud bucodental¹. La pieza de alta velocidad es un instrumento utilizado con frecuencia en odontología para el tallado de tejido dentario durante procedimientos restaurativos, extracciones dentarias, pulido de materiales de restauración y corte de hueso durante procedimientos quirúrgicos².

Este instrumento se caracteriza por utilizar aire comprimido para impulsar un rotor de una turbina alojada dentro del cabezal de la pieza. Esta turbina funciona emitiendo movimientos rotatorios sobre una fresa dental, la cual alcanza un rango de velocidad angular de hasta 400 mil revoluciones por minutos (RPM)². Además, el cabezal posee un sistema refrigerante mediante el cual expulsa agua hacia la fresa para optimizar su corte y pulido y así minimizar el daño a la pulpa³.

Las características básicas de toda pieza de mano son: i) la velocidad angular o de rotación: se refiere no solamente a las rpm, como se ha dicho antes, sino también a la cantidad de superficie por unidad de tiempo que la pieza puede cortar; ii) la presión: fuerza de agarre de la pieza, su posicionamiento y grado de aplicación sobre la superficie del diente sobre el área de contacto durante la operación; iii) producción de calor: relacionada con el incremento de la temperatura, es directamente proporcional

Figura 1. Relación matemática entre la potencia de corte y la velocidad angular. Tomada de ADA⁷.

a las rpm, la presión y el área de contacto; iv) vibración: es el grado de oscilaciones del equipo mientras se usa, causa molestia al paciente, fatiga al dentista, desgaste de los instrumentos y un daño potencial al diente y los tejidos de soporte; depende de la velocidad y el tipo de instrumento; v) torque que es la capacidad de soportar la presión lateral sobre la fresa sin afectar la velocidad y la potencia de corte; depende del tipo de rodamiento y la energía aplicada a la pieza⁴.

La potencia, eficiencia y precisión de corte que se logra con este tipo de instrumentos son fundamentales en procedimientos odontológicos, pero también implican desafíos importantes⁵. El uso de aire comprimido para impulsar la turbina permite alcanzar velocidades extremadamente altas (mayores RPM), lo que es crucial para un corte y pulido efectivos². No obstante, el uso prolongado en el tiempo somete a las piezas a un desgaste considerable. La fricción constante y el calor generado pueden deteriorar rápidamente los componentes si no se aplican medidas de enfriamiento y mantenimiento adecuados⁶.

La potencia de corte de la pieza se calcula matemáticamente como el producto de la velocidad angular (RPM) y el torque. El torque es el producto de la fuerza tangencial aplicada por la pieza sobre el material restaurativo y el radio de la fresa. La fuerza neta es la diferencia entre la fuerza que ejerce la fresa sobre la estructura dentaria (esmalte o dentina) menos la fuerza de rozamiento (resistencia de la estructura). Por tanto, la potencia depende del tamaño de la fresa, la velocidad de giro y la fuerza neta de resistencia⁷. En efecto, cuando se traza una gráfica de potencia vs velocidad se encuentra que la relación es de tipo cóncavo, señalando que hay una velocidad a la cual la potencia es máxima (Figura 1).

El punto clave (de mayor eficiencia clínica) es aquel donde la velocidad de la pieza garantiza la máxima potencia de corte. Suele ubicarse a la mitad de la velocidad máxima reportada por el fabricante de la pieza, en el ejemplo de la gráfica este punto equivale a 175 mil rpm. Para garantizar la operación de la pieza en el punto de máxima eficiencia, la Asociación Americana de Odontología (en inglés American Dental Association) sugiere que el odontólogo: i) aprenda a “escuchar y sentir” el instrumento a fin de identificar dicho punto, ii) si la potencia de corte es baja, puede ser contraproducente hacer más fuerza (empujar más duro a la fresa contra la estructura dentaria) dado que la velocidad angular puede disminuir demasiado y iii) asegure que la presión del líquido refrigerante está dentro de los límites indicados por el fabricante y que el flujo del mismo esté en torno a 50 ml/min⁷.

Por tanto, queda claro que la velocidad angular de la pieza es clave para el éxito clínico y para la durabilidad de esta. Un paso clave para asegurar el buen funcionamiento previo de la máquina es que esté calibrada dentro del rango de trabajo señalado por el fabricante, ya que la velocidad tiende a disminuir con el tiempo, requiriendo reajuste después de 500 ciclos de esterilización o de uso, lo que equivale a aproximadamente un año de trabajo, si se usa apropiadamente⁸.

En Colombia no se han encontrado estudios sobre esta temática. En consecuencia, la presente investigación tuvo por objeto evaluar de qué manera el tiempo de uso de tres piezas de alta velocidad de la casa comercial Appledental A1 9 afecta la velocidad angular de las mismas y con ello la eficiencia clínica.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un estudio observacional, analítico y de corte transversal sobre el cambio en la velocidad de rotación de piezas de alta velocidad a lo largo del tiempo. Para ello se seleccionaron tres piezas de alta Appledental A1 (Jinme Medical Technology Co. LTD.)⁹ con diferentes tiempos de uso. La pieza 0 (P0) con tiempo de uso (T0) de 15 días, la pieza 1 (P1) con 60 días (T1) y la pieza 2 (P2) con 609 días (T3); ninguna recalibrada en el periodo de análisis.

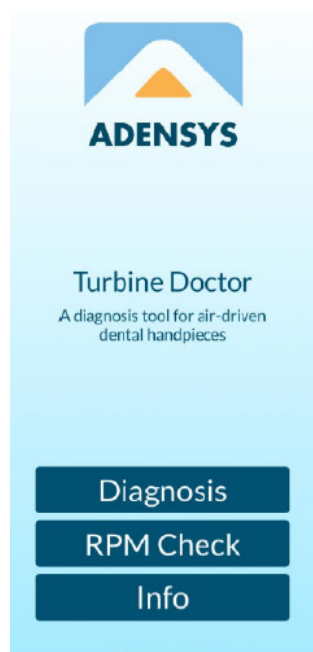


Figura 2. Visualización de la página de entrada del aplicativo Adensys Turbine Doctor (o Turbine Dr).
Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Esquema de medición del rpm de las piezas de alta velocidad.
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se midió la velocidad angular (rpm: revoluciones por minuto) de cada una de las piezas de alta velocidad utilizando un aplicativo Turbine Doctor¹⁰ desarrollada por la empresa alemana ADENSYS líder en la fabricación de rotores de piezas de mano accionadas por aire o eléctricamente¹¹ y que se encuentra disponible en la App Store de Apple (Figura 1).

La medición se hizo cada 5 s hasta completar un total de 30 medidas de rpm para cada pieza. Para esto, se presionó al botón RPM Check del aplicativo (Figura 2) y se colocó el celular a aproximadamente 10 cm de distancia de la pieza (Figura 3).

Para el análisis estadístico se calcularon la media y desviación estándar (DE) de la velocidad de rotación (angular) de cada pieza. Previamente se comprobó la normalidad del rpm mediante la prueba de Shapiro-Wilk, considerando un nivel de significancia (α) de 0,05.

Posteriormente se llevó a cabo una Anova de una vía (con corrección de Welch) y post-hoc de Games-Howell. El tiempo de uso (T) fue la variable de agrupación y la velocidad angular la variable dependiente. La hipótesis nula (H_0) fue que la velocidad angular de la pieza de alta no cambia significativamente con el tiempo de uso ni por fuera del rango adecuado de operatividad (320 – 400 mil rpm).

Adicionalmente, se ejecutó la prueba t de una muestra para determinar si la media de la velocidad angular está por fuera del rango de funcionamiento de la pieza informado por la ficha técnica de la pieza⁹. Finalmente, se calculó el tamaño del efecto para la prueba t mediante la d de Cohen¹²; para la prueba Anova se calculó la diferencia de medias como una forma indirecta y no estandarizada de tamaño del efecto.

Para los cálculos estadísticos se utilizó el software de acceso libre Jamovi versión 2.3.28.0 (<https://www.jamovi.org/>).

El presente estudio se considera como una investigación sin riesgo, de acuerdo con lo establecido en el artículo 11 de la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia¹³.

Resultados

Después de ejecutar la prueba de normalidad de las velocidades angulares de las P0, P1 y P2 se observó que el valor p fue de 0,059, 0,079 y 0,087, respectivamente. Esto indica que los datos de la velocidad angular de las piezas siguen una distribución normal, por lo que se pueden caracterizar por su media y desviación estándar (DE).

Se constató que P0 presentó la mayor velocidad angular, superando por solo 3 rpm, en media, a P1. En cambio, la diferencias de rpm entre estas y P2 fue considerablemente notoria, más de 100 rpm. Adicionalmente, se observó que la media de la velocidad angular mostró una relación inversamente proporcional con el tiempo de uso de la pieza (Tabla 1).

Por otra parte, al comparar las velocidades angulares de las tres piezas se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, según su tiempo de uso. Las diferencias fueron entre las piezas con tiempo de uso T0 – T2 y T1 – T2, pero no entre T0 – T1 (Tabla 2).

La diferencia de medias entre T0 y T2 fue 150 rpm, mientras que entre T1 y T2 fue de 147 rpm.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la velocidad angular de las piezas de alta según tiempos de uso (T0: 15 d, T1: 60 d y T2: 609 d).

RPM (miles)	Tiempo de uso	Media	DE
	T0	422	8,28
RPM	T1	419	7,74
	T2	272	23,60

Tabla 2. Valores-p de las velocidades angulares de las tres piezas para los tres tiempos de uso.

Tiempo de Uso	T0	T1	T2
T0	—	0,270	< 0,001
T1		—	< 0,001
T2			—

Por otro lado, el resultado de la prueba t de una muestra por medio de la cual se comparó la media de las velocidades angulares de las tres piezas con el rango de aceptación indicado por el fabricante (320 mil – 400 mil rpm), también fue significativo, observándose diferencias tanto con el límite inferior (320 mil rpm) como con el superior (400 mil rpm) (Figura 4).

La d de Cohen de las RPM_0, RPM_1 y RPM_2 respecto al umbral inferior de aceptación fue de 2,65; 2,42 y -5,42, respectivamente. Al hacer lo propio en relación con el umbral superior, la d de Cohen encontrada fue de 12,71 para RPM_0, 12,76 para RPM_1 y -2,06 para RPM_2.

Discusión

La pieza de mano de alta velocidad se considera una herramienta esencial para la mayoría de los procedimientos restaurativos en la odontología moderna^{8,14}. Por ello, tener un protocolo bien diseñado y libre de errores para mantener su operabilidad es garantía de trabajo seguro, eficiente y libre de periodos de inactividad (ergo, sin pérdida de dinero) por daño del equipo¹⁵.

Instrumentos calibrados rutinariamente funcionan mejor, duran más y ayudan a crear una mejor práctica el odontólogo y sus pacientes¹⁵.

Contrariamente, piezas de mano mal calibradas o con un pobre sistema de refrigeración pueden generar inflamación o necrosis pulpar en los órganos dentarios¹⁴. La velocidad angular es un parámetro importante toda vez que la potencia de corte de las piezas de mano (alta y baja velocidad) es proporcional a la velocidad angular (rpm)⁷ y a que una adecuada manipulación puede conducir a trasmisión de calor excesivo a los tejidos duros y blandos del diente^{16,17}.

En este estudio se observó que las rpm de las piezas de mano de alta velocidad disminuyen gradualmente con el tiempo, experimentando una caída importante después de un año y medio de uso. En efecto, las diferencias de rpm fueron significativas solo entre las P1 y P2, con la P3, siendo esta la única con más de 18 meses de trabajo. Por otro lado, también se verificó que la pieza de mano P3 estuvo por debajo del umbral inferior de rendimiento, mientras P1 y P2 se mantuvieron por encima del superior. La

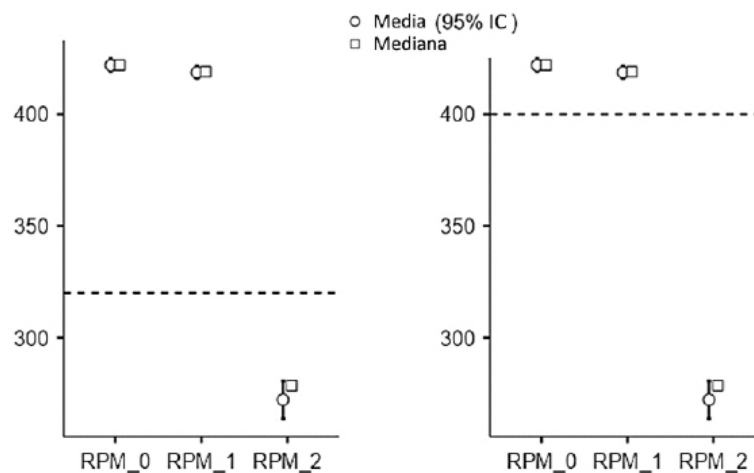


Figura 4. Comparación de la velocidad angular de las piezas de mano según los tiempos de uso (RPM_0: velocidad en T0; RPM_1: velocidad en T1 y RPM_2: velocidad en T2), y respecto a los límites inferior (izquierda) y superior (derecha) del rango de funcionamiento óptimo de la pieza. Fuente: elaboración propia.

pieza de mano con mayor tiempo de uso (P3), al presentar una velocidad muy inferior al rango de operabilidad, puede generar problemas pulpares o dentinarios debido a la tendencia del odontólogo a aplicar mayor presión^{17,18}. Tales problemas pueden resultar de un aumento de la temperatura pulpar^{17,19} y en vibraciones (dado el aumento de presión manual)^{17,18}, lo que no solo incomoda al paciente, sino que también puede causar irregularidades en la superficie del diente^{4,20}.

Leonard y Charlton⁸, en un estudio cuyo propósito fue evaluar las rpm, entre otros parámetros de eficiencia, de seis piezas de mano de alta velocidad de nueve modelos diferentes, se encontró que cuatro de las seis mostraron una disminución en velocidad y potencia después de 1000 ciclos de uso. Sin embargo, solo una de las piezas presentó una disminución estadísticamente significativa en sus rpm. Este fenómeno se atribuyó a la pérdida progresiva del lubricante, lo que aumenta la fricción, en piezas que no requieren mantenimiento y que no se lubrican externamente después de cada uso. Los autores concluyeron que las piezas de mano de alta, independiente de su marca, podrían funcionar adecuadamente durante un año (o 500 ciclos de esterilización) si se les hace mantenimiento. Recomiendan a los odontólogos clínicos revisar qué tanto sus piezas resisten los procesos de esterilización a fin de hacer una selección adecuada de acuerdo con la longevidad y eficiencia esperadas.

En esa misma línea, Worthington y Martin²¹, en un estudio comparativo cuyo propósito fue investigar que tanto soportaban la esterilización cinco piezas de mano de alta velocidad, encontraron que solo una pieza de alta resistió un año de uso con cerca de un 2 % de disminución de la velocidad, las otras cuatro piezas tuvieron caídas entre el 24 y 64 %, aproximadamente. Concluyeron que algunas piezas de mano no resisten de igual forma la esterilización.

Se desconoce si las piezas de mano usadas en el presente estudio cuentan con ese sistema de “autollenado” o a cuantas esterilizaciones fueron sometidas, pero lo que sí es altamente probable es que no se lubriquen constantemente por lo que, independientemente del sistema, la pieza tenderá a perder lubricación y, en consecuencia a friccionar internamente para así perder eficiencia de corte.

Yin et al²², en un trabajo que exploró la pérdida de rendimiento de piezas de alta velocidad en un trabajo de acabado clínico, observó que la velocidad de rotación se ve afectada por la velocidad de avance, la profundidad de corte y por un aumento de las presiones normales y tangenciales a la superficie. Moderar estos parámetros puede aumentar la longevidad de la pieza.

Al respecto, es importante que el odontólogo tenga en cuenta todos estos factores para que junto a la lubricación periódica de la pieza, se garantice una eficiencia lo más uniforme posible a lo largo del tiempo como extender su vida útil.

Entre las limitaciones del estudio se destacan que no se pudo establecer el número de ciclos de esterilización y tampoco se tuvo acceso a piezas de mano de alta velocidad con tiempo de uso intermedio (6 meses o 1 año).

Se concluye que la velocidad angular o de rotación de las piezas de mano de alta velocidad va disminuyendo con el tiempo, especialmente después de un año de uso. Se notó que después de dos años puede caer en más del 40%. En contraste, no hubo diferencias significativas en la velocidad de rotación entre la pieza nueva de 15 días de uso y la de dos meses. Se recomienda realizar una calibración periódica de las piezas a fin de no perder eficiencia de corte. Como perspectiva de este trabajo se concibe realizar un estudio longitudinal con piezas de mano de diferente marca con seguimiento a, mínimo, 2 años, con mediciones cada 3 meses.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses relacionados con la investigación o redacción del manuscrito.

Agradecimientos

Al personal del consultorio odontológico de Bienestar Universitario de la Universidad del Magdalena por haber permitido realizar las mediciones. AMDG.

Declaración sobre uso de Inteligencia artificial

En la elaboración de este artículo científico, los autores declaran que no se ha utilizado ninguna herramienta de inteligencia artificial (IA) para la generación, análisis o redacción del contenido presentado. Todas las investigaciones, análisis de datos, interpretaciones y redacciones han sido realizadas manualmente por los autores, asegurando así la autenticidad y el rigor académico del trabajo.

Esta declaración subraya nuestro compromiso con los principios éticos y la integridad científica, garantizando que los resultados y las conclusiones aquí presentadas son producto del esfuerzo y conocimiento humano sin la intervención de sistemas automatizados de IA.

Referencias bibliográficas

1. Barba M, García J, De Los Angeles M, Umegido GC, Nava EG, Hernández JM, et al. Bacteriological analysis of high speed handpieces used in clinical practice. *Rev ADM*. 2019;76(5):261–6.
2. Allison JR, Edwards DC, Bowes C, Pickering K, Dowson C, Stone SJ, et al. The effect of high-speed dental handpiece coolant delivery and design on aerosol and droplet production. *J Dent*. 2021;112:103746. Doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103746>
3. Choi JJE, Chen J, Choi YJ, Moffat SM, Duncan WJ, Waddell JN, et al. Dental high-speed handpiece and ultrasonic scaler aerosol generation levels and the effect of suction and air supply. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2023;44(6):926–33. Doi: <https://www.doi.org/10.1017/ice.2022.196>
4. Narayan GS, Kavitha L, Venkatesh B, Rajasekaran MS, Pandian APG, Ramachandran AK. Evolution and Mechanism of Dental Handpieces- an Overview. *Int J Curr Res*. 2018;10(02):65659–64.
5. Baxley WK. High-Speed Handpiece. *J Am Dent Assoc*. 1993;124(7):16. Doi: <https://www.doi.org/10.14219/jada.archive.1993.0268>
6. Dental Rotors. 10 reglas a respetar para el mantenimiento de las piezas de mano [Internet]. 2024 [citado 2024 sep 5];1–2.
7. American Dental Association (ADA). Air Turbine Handpieces and Power Outputs [Internet]. YouTube2015 [citado 2024 sep 4];1–2.
8. Leonard DL, Charlton DG. Performance of high-speed dental handpieces: Subjected to simulated clinical use and sterilization. *J Am Dent Assoc*. 1999;130(9):1301–11. Doi: <https://www.doi.org/10.14219/jada.archive.1999.0400>
9. Dental Store Group. Turbina de alta velocidad A1 Appledental [Internet]. Ficha técnica del equipo2019 [citado 2023 nov 23];1.
10. ADENSYS. Turbine Dr. [Internet]. All Prod.2013;1–2.
11. ADENSYS. About us [Internet]. Co. Prod.2012 [citado 2024 sep 4];8.
12. López-Martín E, Ardura D. El tamaño del efecto en la publicación científica. *Educ XX1*. 2023;26(1):9–17. Doi: <https://www.doi.org/10.5944/educxx1.36276>
13. Ministerio de Salud de Colombia. Resolución 8430 de 1993 [Internet]. Bogotá D.C.: 1993.
14. Chua H, Choi JJE, Ramani RS, Ganjigatti R, Waddell JN. The cooling efficiency of different dental high-speed handpiece coolant port designs. *Heliyon*. 2019;5(8):e02185. Doi: <https://www.doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02185>
15. DENTALEZ. Guide to Dental Handpiece Maintenance [Internet]. Prod. News2022 [citado 2024 sep 4];1–2.
16. Mollica FB, Camargo FP, Zamboni SC, Pereira SMB, Teixeira SC, Nogueira Junior L. Pulpal temperature increase with high-speed handpiece, Er:YAG laser and ultrasound tips. *J Appl Oral Sci*. 2008;16(3):209–13. Doi: <https://www.doi.org/10.1590/S1678-77572008000300009>
17. Hatton J, Holtzmann D, Ferrillo P, Stewart G. Effect of handpiece pressure and speed on intrapulpal temperature rise. *Am J Dent*. 1994;7(2):108–10.
18. Bhandary N, Asavari D, Bharath S. High speed handpieces. *J Int Oral Heal*. 2014;6(1):130–2.
19. Lau XE, Liu X, Chua H, Wang WJ, Dias M, Choi JJE. Heat generated during dental treatments affecting intrapulpal temperature: a review. *Clin Oral Investig*. 2023;27(5):2277–97. Doi: <https://www.doi.org/10.1007/s00784-023-04951-1>
20. Huang Y-C, Chen Y-H. Use of Long Short-Term Memory for Remaining Useful Life and Degradation Assessment Prediction of Dental Air Turbine Handpiece in Milling Process. *Sensors*. 2021;21(15):4978. Doi: <https://www.doi.org/10.3390/s21154978>
21. Worthington L, Martin MV. An investigation of the effect of repeated autoclaving on the speed of some dental turbines in general dental practice. *J Dent*. 1998;26(1):75–7. Doi: [https://www.doi.org/10.1016/S0300-5712\(96\)00073-5](https://www.doi.org/10.1016/S0300-5712(96)00073-5)
22. Yin L, Song XF, Qu SF, Huang T, Mei JP, Yang ZY, et al. Performance evaluation of a dental handpiece in simulation of clinical finishing using a novel 2DOF in vitro apparatus. *Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med*. 2006;220(8):929–38. Doi: <https://www.doi.org/10.1243/09544119JHEIM98>