
Tesi doctoral

Estudio in vitro de la eficiencia de corte, longevidad y fuerza aplicada de diferentes fresas de diamante sobre zircónia

Arnau Brufau Cochs



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la licència [Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia [Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

This doctoral thesis is licensed under the [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International \(CC BY-NC-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



TESIS DOCTORAL

Estudio *in vitro* de la eficiencia de corte, longevidad
y fuerza aplicada de diferentes fresas de diamante sobre zirconia

Arnau Brufau Cochs

DIRECTORES:

Dr. Lluís Giner Tarrida y Dra. María Arregui Gambús

Sant Cugat, 2023

Estudio in vitro de la eficiencia de corte, longevidad y fuerza aplicada de diferentes fresas de diamante sobre zirconia

Arnau Brufau Cochs

TESIS DOCTORAL

Universitat Internacional de Catalunya, 2023

Directores:

Dr. Lluís Giner Tarrida

Dra. María Arregui Gambús

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud por la
Universitat Internacional de Catalunya

Línea de investigación:

Investigación básica y clínica aplicada a la odontología



AGRADECIMIENTOS

A los directores de este trabajo, el Dr. Lluís Giner Tarrida y la Dra. María Arregui Gambús, por su determinación y convicción durante estos 6 años, para desarrollar este trabajo en su totalidad, ya que fueron muchos los momentos en los que planteé reducir el tamaño muestral o incluso quitar alguna parte del estudio. Gracias por ayudarme a llegar a la meta.

A mis compañeros y amigos del postgrado de Residencia Clínica de Prótesis de la UIC, y en especial al Dr. Francisco Real y al Dr. Óscar Figueras, quiénes han sido claves para el desarrollo de este trabajo. Al Dr. Real (“Kiko”), por proponerme cómo potencial doctorando para esta línea de investigación, porque en todo momento confió en que esta tesis doctoral tiraría adelante y sobre todo por su pragmatismo para resolver las diferentes crisis existenciales que han ido surgiendo. Al Dr. Figueras por su paciencia infinita mientras me ayudaba en una de las partes más cruciales de este trabajo, la estadística. La ayuda de Óscar en este trabajo, como en tantos otros en la Universidad Internacional de Catalunya, ha sido estadísticamente significativa.

Al resto de compañeros de la UIC, amigos de mi padre la mayoría, quiénes han estado pendientes de la evolución de mi tesis y han tenido siempre una complicidad en facilitarme su desarrollo, simplemente dándome ánimos o comentando y debatiendo alguna parte del estudio, además de ofrecerse como voluntarios “obligados” para realizar la parte práctica del Estudio 3.

A mis padres Magí y Marta por su apoyo durante las innumerables tardes en su casa, mi antigua casa, mientras cuidaban y jugaban, primero con su nieta Ona y después también con su otra nieta, Jana, creando un clima relajado que lo hizo todo más fácil. Lo mismo puedo decir de mis suegros, Carme y Joan, ya que sin ellos esta tesis tampoco hubiera sido posible.

A mi mujer Marta y a mis 2 hijas Ona y Jana, por quererme y estar siempre a mi lado.

1. ÍNDICE

1.	ÍNDICE	VII
1.1	Índice de figuras.....	XIII
1.2	Índice de tablas	XV
2.	RESUMEN.....	17
3.	PRÓLOGO	21
4.	ESTADO DE LA CUESTIÓN	25
4.1	Instrumentos de corte.....	27
4.1.1	Turbina	29
4.1.2	Contraángulo.....	30
4.1.3	Desinfección turbinas y contraángulos.....	33
4.2	Eficiencia de corte y longevidad de las fresas.....	36
4.2.1	El instrumento de corte utilizado: contraángulo o turbina	37
4.2.2	El tejido dental / material de restauración que se retira.....	37
4.2.3	La fuerza aplicada por el operador	37
4.2.4	El tipo de fresa utilizado	39
4.3	Zirconia	44
4.3.1	Evolución de la zirconia.....	46

4.3.2	Zirconias actuales y próximas generaciones.....	48
4.4	Eficiencia de corte sobre zirconia.....	51
4.4.1	Longevidad de las fresas sobre zirconia.....	53
4.4.2	Eficiencia de corte sobre zirconia en función del instrumento de corte.	54
4.4.3	Eficiencia de corte sobre zirconia en función de la fuerza aplicada.....	54
5.	HIPÓTESIS.....	55
5.1	Respecto a la eficiencia de corte.	57
5.2	Respecto a la longevidad de las fresas.....	57
5.3	Respecto a la fuerza aplicada.....	57
6.	OBJETIVOS.....	59
6.1	Objetivo principal.....	61
6.2	Objetivos secundarios.....	61
7.	MATERIALES Y MÉTODOS	63
7.1	Materiales.....	65
7.1.1	Materiales Estudio 1: eficiencia de corte	68
7.1.2	Materiales Estudio 2: longevidad de las fresas	68

7.1.3	Materiales Estudio 3: fuerza aplicada al instrumento rotatorio	69
7.2	Métodos	70
7.2.1	Métodos Estudio 1 (eficiencia de corte) y Estudio 2 (longevidad de las fresas)	70
7.2.2	Métodos Estudio 3 (fuerza aplicada al instrumento rotatorio)	76
7.3	Análisis estadístico	77
8.	RESULTADOS:	79
8.1	Resultados Estudio 1	81
8.2	Resultados Estudio 2	84
8.2.1	Fotografías realizadas con el SEM	90
8.3	Resultados Estudio 3	91
9.	DISCUSIÓN	95
9.1	Discusión de la metodología	97
9.2	Discusión de resultados	100
9.3	Validación de hipótesis	106
9.4	Limitaciones del estudio	107
10.	CONCLUSIONES	109

11.	PERSPECTIVAS DE FUTURO	113
12.	BIBLIOGRAFIA.....	117
13.	ANEXOS.....	127
13.1	Anexo 1: Resultados.	129
13.1.1	Tabla 1: Resultados Estudio 1	129
13.1.2	Tabla 2: Resultados Estudio 2.....	130
13.1.3	Tabla 3: Resultados Estudio 3.....	134

1.1 Índice de figuras

Figura 1: número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 1.....	68
Figura 2: número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 2.....	69
Figura 3: grupos del Estudio 3, número y tipo de fresa utilizado en cada grupo.	69
Figura 4: fotografías de la máquina diseñada en la universidad para medir la eficiencia de corte.....	71
Figura 5: parámetros de funcionamiento del Micromotor Optima MX (Bien-Air, Bienne, Suiza).	73
Figura 6: máquinas utilizadas para la desinfección, limpieza y lubricado del instrumental rotatorio	75
Figura 7: fotografías de la máquina utilizada en el Estudio 3.	76
Figura 8: eficiencia de corte según el tipo de fresa utilizado.	82
Figura 9: eficiencia de corte según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas.	83
Figura 10: eficiencia de corte según los 5 tipos de fresas y según la fuerza aplicada	83
Figura 11: eficiencia de corte según el tipo de fresa utilizado.	85
Figura 12: eficiencia de corte según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas.....	86

Figura 13: eficiencia de corte según la fuerza aplicada y según los 5 tipos de fresas.....	87
Figura 14: eficiencia de corte en función de los 5 tipos fresas y de los 3 intervalos de corte.....	88
Figura 15: fotografías realizadas con el SEM a 240x de las fresas.....	90
Figura 16: fuerza aplicada según la experiencia del profesional y el tipo de instrumento rotatorio.....	92
Figura 17: fuerza aplicada en función de sexo del profesional.....	92

1.2 Índice de tablas

Tabla 1: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa..	81
Tabla 2: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas.....	82
Tabla 3: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa usado y la fuerza aplicada.....	83
Tabla 4: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función de la fuerza aplicada y el instrumento rotatorio.....	84
Tabla 5: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa	85
Tabla 6: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar del tipo de fresa en función del instrumento rotatorio.....	86
Tabla 7: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar del tipo de fresa en función de la fuerza aplicada.....	87
Tabla 8: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función de la fuerza aplicada y el instrumento rotatorio.....	87
Tabla 9: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función del intervalo de corte.....	88
Tabla 10: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función del instrumento rotatorio, del intervalo de corte y del tipo de fresa utilizado.....	89
Tabla 11: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de instrumento rotatorio usado y según el intervalo de corte.....	89
Tabla 12: Fuerza aplicada media \pm desviación estándar en función de la experiencia del profesional.....	91
Tabla 13: Fuerza aplicada media \pm desviación estándar según el tipo de instrumento rotatorio usado y el sexo del profesional.....	93

2. RESUMEN

Introducción: La eficiencia de corte de las fresas de diamante sobre zirconia depende de varios factores como son los instrumentos de corte, la longevidad de las fresas y el propio substrato de corte.

Materiales y métodos: se comparó la eficiencia de corte y la longevidad de 5 tipos de fresas de diamante, 3 de ellas específicas para zirconia (ZrO₂, ZrO₆, 4ZR) y 2 convencionales (315SC y 6881), con 2 tipos de instrumentos rotatorios, turbina dental y contraángulo multiplicador (ratio 1:5), aplicando dos tipos de fuerza (1,5N y 3N). Además, se realizó un estudio comparativo de la fuerza aplicada por el profesional en función de las variables siguientes: instrumento rotatorio, período de experiencia clínica y sexo del profesional.

Resultados: el contraángulo multiplicador fue significativamente más eficiente que la turbina dental. Se encontraron diferencias significativas en la eficiencia de corte y en la longevidad entre los tipos de fresas estudiados cuando se utilizó el contraángulo. Con la turbina no se obtuvieron diferencias significativas. No se encontraron diferencias entre las fresas específicas para zirconia y las convencionales. La fuerza aplicada influyó significativamente en la eficiencia de corte, tanto en la turbina como en el contraángulo multiplicador, siendo la fuerza de 3N más eficiente. No se obtuvieron diferencias significativas entre la fuerza aplicada según la experiencia clínica del profesional y tampoco se obtuvieron diferencias significativas según el sexo del profesional.

Conclusiones: el contraángulo multiplicador fue el instrumento rotatorio más eficiente en el corte sobre zirconia. La fuerza de 3N fue más eficiente que la de 1,5N. Existen diferencias significativas en la eficiencia de corte y en la longevidad de las fresas entre los diferentes tipos de fresas estudiados.

Introduction: The cutting efficiency of diamond burs on zirconia depends on several factors such as cutting instruments, the longevity of the burs, and the cutting substrate itself.

Materials and methods: the cutting efficiency and longevity of 5 types of diamond burs, 3 of them specific for zirconia (Zr02, Zr06, 4ZR) and 2 conventional (315SC and 6881), with 2 types of rotary instruments, air turbine and electric handpiece (ratio 1:5), were compared applying two types of force (1.5N and 3N). In addition, a comparative study of the force applied by the professional was carried out according to the following variables: rotary instrument, period of clinical experience, and sex of the professional.

Results: the electric handpiece was significantly more efficient than the dental turbine. Significant differences in cutting efficiency and longevity were found between the types of burs studied when the electric handpiece was used. With the turbine, no significant differences were obtained. No differences were found between the specific burs for zirconia and the conventional ones. The cutting efficiency was significantly influenced by the type of force applied, both in the turbine and in the electric handpiece, being the most efficient force of 3N. No significant differences were obtained between the force applied according to the clinical experience of the professional and no significant differences were found according to the professional's sex.

Conclusions: the electric handpiece was significantly more efficient than the air turbine with all bur types studied. The 3N force was more efficient than the 1.5N force. There are significant differences in cutting efficiency and longevity between the different types of burs studied.

3. PRÓLOGO

Los materiales utilizados en odontología han ido variando durante los últimos años buscando mejorar las propiedades mecánicas y la estética. Uno de los materiales en auge es la zirconia, material que tiene como principal característica su dureza y la capacidad de mimetismo con los tejidos dentales por sus propiedades estéticas. Estas dos características lo hacen una alternativa muy viable respecto a otros materiales restauradores como son las distintas cerámicas de uso odontológico, entre las que destaca el disilicato de litio, las resinas de composite o las restauraciones con núcleo metálico que precisan de recubrimiento cerámico estético. Por estas propiedades, la zirconia se puede utilizar en gran variedad de tratamientos restauradores como coronas, puentes, incrustaciones e incluso en la restauración de arcadas completas sobre dientes naturales o implantes.

Las restauraciones protésicas odontológicas requieren habitualmente distintos tipos de procedimientos clínicos, como el tallado, el ajuste y el pulido, para su correcta integración en el medio oral. En el caso de la zirconia debe cuestionarse cuál es el instrumental específico más idóneo para poder realizar estos procedimientos clínicos. La elección se basará principalmente en el tipo de instrumento rotatorio, así como, en el tipo de fresas de corte e influirá en aspectos tan importantes como el tiempo clínico del procedimiento, el rendimiento y la vida útil de la propia fresa. El procedimiento clínico de tallado de una corona o puente de zirconia es el ejemplo más significativo en donde la elección del instrumental será más determinante.

Los instrumentos rotatorios que se utilizan para realizar estos procedimientos de tallado sobre zirconia son la turbina de aire y el contraángulo eléctrico multiplicador. Respecto a la elección de la fresa de corte, las opciones son múltiples en función del material del que esté hecha la fresa, su forma, su longitud, su calibre y el tamaño del grano de la misma. La literatura científica disponible para la elección del instrumental idóneo para trabajar sobre zirconia, tanto del instrumental rotatorio como de las fresas de corte, básicamente se focaliza en la eficiencia de corte. Una eficiencia de corte óptima reducirá el tiempo de trabajo y mejorará la comodidad del procedimiento clínico. Entre los diferentes factores que afectan a la eficiencia de corte, uno de ellos es la fuerza

aplicada por el operador sobre el instrumental rotatorio; y aunque sea un factor determinante, hay pocos estudios relacionados con este tema. Además, no existen estudios en los que se analice la experiencia clínica de los operadores y si este factor influye en la fuerza aplicada.

El propósito de este estudio *in vitro* es estudiar la eficiencia de corte de los instrumentos rotatorios, turbina y contraángulo, sobre zirconia, así como estudiar la eficiencia de corte de diferentes fresas de diamante sobre zirconia, ya sean fresas específicas para tal fin o fresas de diamante convencionales, teniendo en cuenta diversas variables. También se pretende validar la metodología empleada para saber si es eficiente, repetitiva y similar a la metodología de la clínica diaria.

4. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La eficiencia de corte de las fresas de diamante sobre zirconia depende de varios factores. Centraremos el marco teórico en los instrumentos de corte, los factores que influyen en la eficiencia de corte, la longevidad de las fresas y del propio substrato de corte, la zirconia.

4.1 Instrumentos de corte

Históricamente, los primeros instrumentos utilizados para la eliminación de la estructura de los dientes consistían en hachas, cinceles de bordes afilados y azadas. Existen evidencias de instrumentos de corte, como taladros de arco, utilizados para tratar dientes dañados que datan del año 7000 a.C.¹ Los Mayas y otras culturas antiguas usaban taladros de arco primitivos y otros dispositivos para cambiar la forma de los dientes y dejarlos en forma de punta o rectangular. Estos instrumentos rotatorios manuales también se utilizaron para preparar cavidades ornamentales redondas en los dientes.²

No es hasta 1868 que hay registros documentados de la primera pieza de mano giratoria accionada por aire, fabricada por Green, y que se accionaba con un pedal conectado a un fuelle.³ En 1871, Morrison introdujo su motor dental de pedal que utilizaba fresas de acero hechas a mano. Estos dispositivos accionados con pedal permitieron un aumento significativo en la velocidad de rotación con respecto a los taladros manuales de mango largo.^{4,5}

En la década de 1870, las velocidades máximas que podían alcanzar los motores dentales de pedal y eléctricos eran de 700 rpm y 1000 rpm, respectivamente.^{6,7} En 1891, la empresa S.S. White fabrica las primeras fresas de acero hechas a máquina, conocidas como “*revelation burs*”.⁶ En 1942 se introdujeron las fresas de diamante que se podían utilizar a 5000 rpm, 5 años más tarde se introdujeron las fresas de carburo de tungsteno que se podían utilizar a 12.000 rpm, y por esta razón reemplazaron las fresas de acero.⁶⁻⁸

Eshelman et al.⁸ recopilaron un trabajo de Nelsen et al.⁹ donde se explicó el desarrollo de una pieza de mano impulsada por agua con la turbina colocada en la cabeza de la pieza de mano. Esta pieza de mano podía alcanzar una

velocidad de rotación de 61.000 rpm. Para accionar esta turbina se suministraba agua a la pieza de mano a través de un pequeño tubo de plástico interno a alta presión que hacía girar la turbina ubicada en el cabezal y simultáneamente, se usaba un tubo exterior más grande para devolver el agua al depósito. Aunque no tuvo gran popularidad, fue el prototipo de las piezas de mano dentales que hoy conocemos cómo turbinas. La primera turbina comercializada fue la Kern Turbojet que podía alcanzar velocidades de 100.000 rpm.^{6,7} En 1955, la pieza de mano Page-Chayes fue la primera pieza de mano angular, también conocida como contraángulo, accionada por correas que funcionó con éxito a una velocidad de más de 100.000 rpm.⁷

Dos años más tarde John Borden presentó su pieza de mano Airotor, operada por aire que permitía velocidades de rotación de hasta 200.000 rpm. Es a partir de este diseño que han evolucionado todas las piezas de mano actuales de alta velocidad accionadas por aire, las turbinas dentales.^{5-7,10}

Así pues, desde la introducción de los instrumentos dentales rotatorios manuales, se ha buscado una eficiencia de corte cada vez mayor. La necesidad de preparaciones dentales más precisas ha aumentado significativamente debido a la proliferación de materiales y técnicas utilizadas en la odontología estética y restauradora contemporánea. La elección y el uso óptimo de los instrumentos rotatorios es clave para lograr preparaciones más precisas. Los objetivos y principios para crear estas cavidades o preparaciones siguen siendo los mismos: extraer una cantidad mínima de tejido dental causando la menor lesión a los tejidos periodontales y pulpares, con la menor molestia para el paciente.^{5-8,10,11}

Actualmente existen técnicas alternativas y menos invasivas al uso de los sistemas rotatorios tradicionales para la realización de tratamientos como la eliminación de caries, la preparación de dientes para restauraciones, la limpieza y el pulido de dientes, e incluso la eliminación de restauraciones envejecidas o dañadas. Estas opciones menos invasivas incluyen el láser dental, los sistemas de abrasión por aire comprimido, y los sistemas de remoción química de caries.¹¹⁻¹³

Sin embargo, actualmente en la práctica diaria, se siguen utilizando principalmente dos instrumentos rotatorios para trabajar sobre tejidos dentales y/o materiales restauradores: la turbina de uso odontológico y los distintos tipos de contraángulo eléctrico.

4.1.1 Turbina

El mecanismo de acción de la turbina es mediante aire comprimido que se introduce en la pieza de mano, impulsando un pequeño rotor o turbina montado sobre cojinetes en su cabezal y que genera velocidades rotatorias de 300.000 a 500.000 rpm (velocidades de rotación promedio de 340.000 rpm). Este aire comprimido se utiliza, además, para enfriar los engranajes. Las líneas de agua de la unidad dental proporcionan agua para enfriar e irrigar las superficies de los dientes y/o de los materiales restauradores, ya que el calor generado durante el uso de las piezas de mano puede dañar la pulpa dental o dichos materiales. La velocidad de rotación es una velocidad constante que depende de la presión del aire y se reduce rápidamente por cualquier aumento en la resistencia, por lo que, la turbina se considera un instrumento rotatorio de bajo torque.¹⁴

Entre las ventajas que presenta este instrumento, destaca su uso en odontología durante más de 70 años siendo el tipo de pieza de mano de alta velocidad más popular debido a su capacidad para eliminar rápidamente la estructura dental, el toque ligero requerido para utilizarla, su buen tamaño y peso ergonómicos (peso medio de 45g) que permiten un corte suave y preciso.^{5,15,16} Otras ventajas son el bajo riesgo de daño pulpar cuando se utiliza correctamente, su facilidad de reparación y el proceso de mantenimiento fácil. Existen dos tamaños, estándar y mini, ampliamente disponibles en la mayoría de fabricantes. Tiene un precio moderado (más económico que el contraángulo multiplicador).^{5,14}

En cuanto a los inconvenientes destaca su bajo torque, lo que produce una pérdida de velocidad o atascamiento cuando se aplican fuerzas moderadas o altas, o cuando se aplican pequeñas fuerzas de trabajo laterales.¹⁵⁻¹⁷ Algunos autores consideran que esta desventaja es una excelente característica de

seguridad, ya que evita que se aplique una presión excesiva. Es importante destacar que las turbinas se conectan al equipo dental mediante unos adaptadores, y que existen distintos tipos de adaptadores según la casa comercial, por lo que no todas las turbinas son compatibles con ellos. El ruido agudo, la vibración, la poca concentricidad y la creación de aerosoles y vapores son otros de sus inconvenientes.^{15,18} También se ha indicado que puede requerir reparaciones más frecuentes en comparación al contraángulo.⁵

4.1.2 Contraángulo

El mecanismo de acción es diferente al de la turbina, ya que se acciona con un micromotor eléctrico. Tiene una potencia constante, un torque alto con pocas paradas en todo su rango de velocidad (10.000-200.000 revoluciones por minuto). Dependiendo de la influencia que el contraángulo eléctrico ejerza sobre la velocidad de rotación transmitida por el micromotor, podemos distinguir los siguientes tipos de contraángulos eléctricos de uso odontológico:

- **Contraángulos de transmisión directa:** se trata de aquellos que no afectan a la velocidad que imprime el micromotor (relación 1:1). La velocidad que generan los micromotores es idéntica a la que recibe la fresa (de 10.000 a 40.000 rpm.). Se distingue por el color azul y se suelen utilizar para la remoción de caries, pulido de restauraciones a velocidad controlada y colocación de postes en dientes endodonciados.¹⁹
- **Contraángulos multiplicadores de velocidad:** se rotulan con color rojo y aumentan la velocidad del micromotor. Encontramos diferentes ratios, relación 1:5 normalmente, de manera que la velocidad que recibe la fresa es 5 veces superior a la que genera el micromotor. La velocidad de trabajo recomendada por los fabricantes es de 200.000 rpm.³ Suelen utilizarse para las mismas finalidades que la turbina: remoción o corte de tejidos o materiales dentales duros, pulido, etc.^{18,20}
- **Contraángulos reductores de velocidad:** suelen emplearse para llevar a cabo procedimientos quirúrgicos y para la colocación de implantes. Su rotulación es de color verde. Encontramos diferentes ratios, pero distinguimos 2 tipos de reducción principalmente:

- 5:1: la velocidad generada por el micromotor se reduce en 5, de manera que las velocidades de trabajo habituales son de entre 2.000 y 8.000 rpm, lo que resulta ideal para realizar cualquier tipo de trabajo más preciso en casos de odontología conservadora y endodoncia.²¹
- 20:1: la velocidad del micromotor se reduce en 20, trabajando a velocidades de trabajo habituales de 600 a 1000 rpm o incluso inferiores a 50 rpm, lo que supone una gran disminución de calor generado, lo que es idóneo para trabajos muy precisos como la colocación de implantes dentales, tratamientos de endodoncia o determinadas prácticas de tipo quirúrgico.^{22,23}

Dependiendo del movimiento que se transmite por el contraángulo encontramos otros tipos de contraángulos específicos para otras finalidades:

- Contraángulo de *stripping* con movimiento oscilatorio axial: utilizado para tallar el esmalte, reduciendo el tamaño del diente para ganar espacio durante algunos tratamientos de ortodoncia.²⁴
- Contraángulo de endodoncia con movimientos rotatorios y recíprocos. Encontramos diferentes tipos de contraángulos con diferentes ratios de reducción para utilizarse en endodoncia que suelen trabajar a velocidades de rotación inferiores a 350 rpm con fresas de níquel titanio.²⁵
- Contraángulo de endodoncia con movimiento de pistón: se trata de un contraángulo que transforma el movimiento rotatorio en movimiento lineal creando un movimiento de pistón a alta velocidad con el objetivo de disminuir la probabilidad de crear escalones o falsas vías y conseguir una menor probabilidad de fractura de las limas.²⁶

Al igual que con la turbina, este tipo de instrumento presenta sus ventajas e inconvenientes. Dentro de las primeras destacan que se puede mantener una velocidad constante en las piezas de mano eléctricas incluso aplicando fuerzas moderadas o altas, ya que están equipadas con un sistema de retroalimentación para evitar que la fresa disminuya la velocidad cuando el operador aplica carga. Por ello tienen un funcionamiento más suave debido a su potencia constante y alto torque, lo que puede proporcionar a los profesionales una mayor

retroalimentación táctil para un rendimiento de corte más controlado, lo que permite corte suave a alto torque.^{5,15,17,27} Las piezas de mano eléctricas tienen un mejor efecto refrigerante, ya que suelen tener puertos de salida de agua adicionales en comparación con la turbina de aire. Además, en contraste con el ruido agudo de las turbinas dentales, que se ha asociado con una posible pérdida de audición de odontólogos y personal auxiliar, los contraángulos multiplicadores son silenciosos, y son menos irritantes para los pacientes. La vibración reducida de las piezas de mano de alta velocidad accionadas con motor eléctrico puede mejorar la comodidad de los procedimientos de tratamiento tanto para el paciente como para el profesional. Esta vibración reducida también disminuye la probabilidad de que los operadores experimenten fatiga y calambres en las manos.^{5,27} Otra ventaja es la flexibilidad de uso de una gran variedad de contraángulos que emplean el mismo micromotor. En contraposición, hay distintos adaptadores de turbina por lo que no todos son compatibles. Además, las piezas de mano eléctricas tienen el potencial de reducir la contaminación microbiana pues, al generar menos aerosoles producen menos atomización de patógenos en el aire y permiten menos la colonización bacteriana.²⁷ Se ha descrito también que tiene un rendimiento de corte más concéntrico y una mayor longevidad.⁵

Cómo inconvenientes principales, las piezas de mano eléctricas son más caras, y la cabeza del contraángulo es más grande y pesada que la de la turbina.^{15,28} Al peso medio del contraángulo de 65g hay que sumar el peso del micromotor de aproximadamente 60g. Los tamaños minis están disponibles en un pequeño número de fabricantes. Este inconveniente del tamaño y peso es especialmente importante para los profesionales con manos más pequeñas.¹⁵ El contraángulo multiplicador cuesta aproximadamente el doble que una turbina de aire y requiere la compra adicional de un micromotor eléctrico. Su proceso de mantenimiento requiere seguir estrictamente las instrucciones del fabricante para evitar averías.⁵

Hay informes contradictorios en la literatura sobre el efecto de las vibraciones de las piezas de mano dentales. Se ha sugerido que tales vibraciones pueden causar el agrietamiento del esmalte en los dientes, aunque

hay otros estudios que no mostraron diferencias estadísticas en la cantidad de grietas en el esmalte entre la turbina de aire y la pieza de mano eléctrica.⁵ Varios autores han informado que las piezas de mano eléctricas ofrecen niveles más bajos de vibración en comparación con la turbina de aire y, por lo tanto, pueden ser más cómodas de operar.^{15,17,27,28}

El contraángulo multiplicador, en comparación con la turbina de aire, se maneja con mayor precisión permitiendo la creación de márgenes más finos que mejoran los resultados de las preparaciones dentales, aunque según algunos estudios no se ha podido demostrar con resultados estadísticamente significativos.¹⁸ Geminiani et al.²⁹ compararon la diferencia entre los márgenes producidos por contraángulos y turbinas con diferentes tipos de fresa de diamante concluyendo que la pieza de mano eléctrica producía superficies más suaves y más lisas que la turbina, independientemente del tipo de fresa. Otros estudios contradijeron estas afirmaciones y concluyeron que no había diferencias significativas entre la rugosidad del margen entre turbina y contraángulo.¹⁵

Watson et al.³⁰ en un estudio en el que compararon la calidad del tallado de 80 profesionales en dientes naturales concluyeron que el operador recibe más información táctil cuando talla tejidos duros con piezas de mano de alto torque que cuando lo hace con una turbina de aire. Por tanto, cabría esperar que hubiera diferencias en su eficiencia de corte.

4.1.3 Desinfección turbinas y contraángulos

Las piezas de mano dentales se encuentran entre los instrumentos más utilizados en odontología. Son dispositivos médicos invasivos reutilizables que deben limpiarse, descontaminarse, lubricarse y esterilizarse después de su uso. En las piezas de mano dentales, el movimiento de las fresas se transmite mecánicamente a través de ejes y engranajes y lo inicia un motor eléctrico o neumático. Los componentes internos de las piezas de mano son complejos y consisten en canales estrechos de agua y aire, el rotor impulsor y los ejes y engranajes.³¹⁻³⁴

Las piezas de mano se contaminan externa e internamente durante su uso. La contaminación puede tener su origen en las líneas de agua de la unidad dental, el suministro de aire comprimido y/o la cavidad oral.³³ Las superficies externas se contaminan con fluidos orales y fragmentos de tejido durante su uso, los cuales albergan microorganismos orales. Las líneas de agua de la unidad dental son propensas a la contaminación con biopelícula microbiana, ya sea por el suministro de agua o por la aspiración de fluidos orales de las piezas de mano durante su uso. Aunque estos canales no entran en contacto directo con la cavidad oral, se ha demostrado que pueden contaminarse.^{33,35} Las pausas en el tratamiento dental, cuando el instrumento giratorio se detiene, implican aspiración en el interior de los canales de rociado de agua/aire. Esto da como resultado la contaminación de estos canales con saliva y, posiblemente, con residuos de sangre de la boca del paciente. Los conductos internos constan de varios canales de aire y agua conectados a la unidad dental y frecuentemente se encuentran contaminados con proteínas de origen humano.^{31,33,35}

Existe cierta controversia en relación a si los contraángulos pueden estar relacionados en el fenómeno de contaminación cruzada, y por lo tanto en la transmisión de enfermedades patológicas. En la práctica dental, se ha debatido durante mucho tiempo si se requiere la esterilización del instrumental rotatorio entre dos tratamientos, como es práctica estándar para el resto del instrumental clínico. En muchos casos, el instrumental rotatorio, sólo se limpia en superficie con un desinfectante de superficies alcohólico. Sin embargo, de acuerdo con la recomendación del Instituto Robert Koch (Alemania), estos instrumentos deben clasificarse en las clases de riesgo B semicrítico o B crítico para su uso en pacientes, lo que implica esterilizaciones tras su uso.³³

Las pautas actuales estipulan que piezas de mano dentales deben descontaminarse y esterilizarse entre pacientes mediante esterilización a vapor utilizando un autoclave de vacío y con sus diversos ciclos validados de forma independiente.³¹⁻³⁴ La eficacia de la esterilización por vapor puede verse comprometida por material orgánico y, por lo tanto, es vital que las piezas de mano dentales se limpien adecuadamente antes de la esterilización. Las superficies externas de las piezas de mano dentales comúnmente se descontaminan frotándolas manualmente con una solución de limpieza seguida

de una inspección visual. Las superficies externas también se pueden limpiar y desinfectar térmicamente en una lavadora-desinfectadora. Así pues, los contraángulos y turbinas deberían seguir las siguientes etapas de preparación después de cada paciente: limpieza, cuidado, desinfección, envasado y esterilización.³⁴ El cuidado, embalaje y esterilización del instrumental rotatorio no son un problema para ninguna consulta dental. Sin embargo, la situación es diferente para la limpieza y desinfección interna porque la mayoría de los dispositivos en el mercado están aprobados sólo para el cuidado, pero no para la limpieza y desinfección de acuerdo con la normativa europea EN-ISO- 15883-4:2008.³¹⁻³⁴

La normativa EN-ISO-15883-4:2008 detalla varios métodos para evaluar la limpieza de la superficie de los dispositivos médicos reutilizables después de la desinfección; sin embargo, no existe un procedimiento específico para evaluar la eficacia de la desinfección mediante el lavado de los componentes internos de las piezas de mano. Limpiar y descontaminar los componentes internos de las piezas de mano es un desafío debido a su construcción compleja y porque no están diseñados para el desmontaje rutinario, por lo tanto, no es posible garantizar que los componentes internos estén libres de contaminación. Varios fabricantes de dispositivos desarrollados para limpiar las piezas de mano afirman que su equipo puede garantizar una limpieza adecuada, sin embargo, hay poca evidencia directa independiente disponible.^{31,32}

Rociar una solución de limpieza en los canales y componentes de transmisión es uno de los enfoques más utilizados para la limpieza y desinfección de los elementos internos de las piezas de mano. Los líquidos de limpieza suelen contener alcoholes que desnaturalizan las proteínas, que son muy difíciles de eliminar de las superficies metálicas. Además, el proceso es muy difícil de validar debido a la inaccesibilidad de los componentes internos de las piezas de mano.^{31,32}

Un estudio demostró que el uso de alcohol al 70 % para desinfectar la superficie externa de las piezas de mano de alta velocidad fue ineficaz.³⁶ Las piezas de mano no son adecuadas para la inmersión en desinfectantes, lo que puede provocar la corrosión del metal. Las lavadoras-desinfectadoras permiten un proceso reproducible que se puede validar para los componentes externos de

los dispositivos médicos y es el método preferido para limpiar y descontaminar las piezas de mano. Las lavadoras desinfectadoras no son obligatorias para las prácticas dentales en todos los países. Algunos estudios demostraron la eficacia de las lavadoras desinfectadoras para limpiar las superficies exteriores de las piezas de mano y unos pocos han demostrado su eficacia para reducir la contaminación orgánica en los componentes internos.³⁵

4.2 Eficiencia de corte y longevidad de las fresas

Uno de los factores más determinantes en la elección del instrumento de corte rotatorio es la eficiencia de corte. La eficiencia de corte de un instrumento rotatorio se puede considerar como la capacidad de ese instrumento para eliminar una cantidad máxima de tejido dental con un mínimo de esfuerzo y tiempo involucrado en la operación.³⁷ Otros autores definen la eficiencia de corte como las diferencias de peso antes y después del corte del substrato.³⁸ Estrechamente relacionado con este concepto de eficiencia de corte del instrumento está el concepto de longevidad, vida funcional o vida útil, que puede considerarse el intervalo de tiempo en el que el instrumento puede usarse efectivamente para cortar tejido dental. Tanto la eficiencia como la vida funcional del instrumento giratorio están sin duda interrelacionadas, y ambas características son importantes para el profesional para trabajar sobre tejido o materiales dentales con un mínimo de tiempo y esfuerzo. La investigación en este campo está centrada en los estudios *in-vitro*, ya que clínicamente existen muchos factores difíciles de controlar, como pueden ser: los años de experiencia clínica del operador, el tacto y la fuerza aplicada por el mismo, el tipo de fresa, la dureza del diente o el material restaurador a cortar, el caudal de refrigerante, el tipo de pieza de mano utilizada y las revoluciones por minuto con las que gira la fresa. Todos estos factores pueden influir en los resultados obtenidos en cuanto a esta eficiencia de corte.^{15-17,39-42}

De estos factores podemos considerar como principales:

1. El instrumento de corte utilizado: contraángulo o turbina.
2. El tejido dental/material de restauración sobre el que se trabaja.
3. La fuerza aplicada por el operador.
4. El tipo de fresa utilizada.

4.2.1 El instrumento de corte utilizado: contraángulo o turbina

Uno de los factores determinantes en la eficiencia de corte es el tipo de instrumento de corte.^{39,41,42} Los estudios que comparan piezas de mano eléctricas y turbina de aire han mostrado resultados mixtos; el rendimiento relativo depende del sustrato que se talla, las condiciones del tallado y los criterios utilizados para la comparación.²⁰

4.2.2 El tejido dental/material de restauración que se retira

Las piezas de mano eléctricas de alta velocidad tienen un torque más alto, lo que hace que el corte de material duro sea más eficiente que la turbina.⁴² Según Campbell⁵ no hay diferencias significativas en la eficiencia de corte para materiales con altos valores de dureza como aleaciones de metales, metales nobles, óxido de aluminio y zirconia. El mismo estudio concluye que el contraángulo tiene una mayor eficiencia de corte para materiales con valores de dureza Vickers más bajos (120-250 kg/mm²) como amalgama, aleación de metales muy nobles y Macor (tipo de cerámica que simula el esmalte dental). Los valores de dureza de Vickers para el esmalte y la dentina están cerca de este rango (268 kg/mm² esmalte y 62 kg/mm² dentina). Por esto, la pieza de mano eléctrica puede ser más eficaz para cortar tejidos dentales duros que la turbina de aire; las ventajas de no estancamiento y del torque constante del contraángulo serían el motivo de esta eficiencia de corte mayor.⁵

4.2.3 La fuerza aplicada por el operador

La influencia de la fuerza aplicada al instrumento rotatorio se considera también un factor determinante en la eficiencia del mismo.³⁹⁻⁴² Clínicamente, el nivel de fuerza aplicado puede variar considerablemente durante la preparación del diente, ya que el profesional reacciona a las condiciones cambiantes relacionadas con la velocidad de corte. Estas condiciones dependen principalmente del sustrato (esmalte, dentina o materiales de restauración) y tareas específicas (preparación inespecífica versus preparación de la línea de terminación). Estos factores influyen en el aumento o disminución de la resistencia al avance del instrumento de corte rotatorio.¹⁶

La posibilidad de intentar una preparación del diente más rápida, aumentando la fuerza aplicada, está limitada por 2 factores:

- generación de calor: el aumento potencial de la temperatura se puede dar con mayor facilidad con presiones más altas de la pieza de mano, especialmente si se usa un flujo de agua insuficiente.⁴³
- el torque del instrumento de corte: las piezas de mano neumáticas de alta velocidad, tienen un torque relativamente bajo, que conlleva una disminución en las revoluciones por minuto cuando se aplican fuerzas moderadas o altas.¹⁶

Aunque hay poca bibliografía que haga referencia a la fuerza que aplica un operador cuando utiliza el material rotatorio, Siegel et al.⁴⁴, antes de iniciar un estudio *in-vitro*, realizaron un estudio piloto con 6 odontólogos concluyendo que la fuerza media aplicada era de 99,3g justificando así el rango de 50 a 150 g comúnmente reportado en la literatura (equivalentes a un rango de 0,5 a 1,5N).

En el estudio de Watson et al.³⁰ compararon la turbina y el contraángulo y utilizaron un dispositivo que permitía configurar la tasa de avance del corte. Con una tasa de avance del corte de 1 mm/min fue necesario aplicar fuerzas de 0,1-0,2 N para la turbina y contraángulo, y con una tasa de avance del corte de 5 mm/min se aplicaron fuerzas de 1,1 N para la turbina y fuerzas de 0,4 N para el contraángulo.

Elias et al.⁴⁵ compararon la fuerza aplicada por odontólogos entre dos marcas de turbinas de aire diferentes y con diferentes fresas de tungsteno. En su estudio el substrato de corte fueron terceros molares extraídos intactos. Obtuvieron que la fuerza media aplicada de los dos tipos de turbina fue de 1,31 N y además encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las dos marcas de turbina de aire. Otro dato interesante de este estudio fue el valor de fuerza máxima registrado (sin estancamiento) de una de las dos turbinas de aire empleadas, que fue de 2,75 N.

En dos estudios de Ercoli et al.^{16,27} utilizaron la turbina y el contraángulo y mediante una célula de carga registraron los valores de fuerza aplicados y se registraron fuerzas de entre 1 y 1,3N. Nakamura et al.⁴² aplicaron valores de fuerza sobre el contraángulo multiplicador correspondientes a 0,9N, basándose en el artículo de Siegel et al.⁴⁴, y también fuerzas 1,8N para valorar su efecto sobre la eficiencia de corte. Concluyeron que la fuerza de 1,8N sólo era más efectiva para el corte en los primeros 30 segundos, ya que, si se comparaba con la fuerza de 0,9 N durante 5 minutos de corte, la fuerza que producía una eficiencia de corte más alta era la de 0,9N.

En los estudios de Funkenbusch et al.^{20,46} de 2015 y 2016 utilizaron un dispositivo para registrar la fuerza aplicada. El dispositivo utilizado estaba configurado para seguir diferentes tasas de avance en función de la resistencia encontrada. Las fuerzas registradas fueron de 0,5 a 1,5N y seleccionaron las fuerzas de 0,75N y 1,5N para compararlas. Los valores de mayor eficiencia de corte fueron para los valores de fuerza más elevados, sobre todo para el contraángulo.

Hay muchos estudios dónde esta fuerza aplicada al instrumento rotatorio se basó en estudios previos. Se puede resumir que la fuerza aplicada al instrumento rotatorio va de 0,5 N a 3 N según los artículos revisados.^{3,38-41,47-51}

4.2.4 El tipo de fresa utilizado

La norma ISO 6360-1:2004, la cual reúne todos los estándares internacionales relacionados con los instrumentos rotatorios y sus accesorios, asigna a cada fresa dental un código numérico de 15 dígitos que identifica las características tanto generales como específicas de cada una individualmente o de un grupo de ellas. Dicho código se elabora de la siguiente forma:

1- El primer grupo de tres dígitos identifica el **material** con el cual está elaborada la parte activa de la fresa dental. En este sentido, los números correspondientes a cada material son:

- 3XX Acero
- 5XX Carburo de Tungsteno
- 6XX Siliconada No Diamantada
- 8XX Diamante
 - 802, 803, 804, 805 Siliconada Diamantada
 - 807 Diamante sinterizado para laboratorio
- 010 Cepillos de Nylon

2- El segundo grupo de tres dígitos **identifica los mangos y la longitud total de la fresa**, indicando si es para instrumentos de turbina, contraángulo o piezas de mano.

- 1XX Pieza de Mano o *Hand Piece*
 - 103 Pieza de Mano corta
 - 104-124 Pieza de Mano estándar
 - 106 Pieza de Mano extra larga
 - 123 Pieza de Mano gruesa corta
- 2XX contraángulo o *Right Angle*
 - 204 contraángulo
 - 205 contraángulo largo
 - 206 contraángulo extra largo
- 3XX Turbina o *Friction Grip*
 - 313 Turbina Corta
 - 314 Turbina
 - 315 Turbina Larga
 - 316 Turbina Extra Larga

3- El tercer grupo de tres dígitos identifica **la forma de las fresas** dentales y es la categoría más diversa de todas:

- 001 – 698 son los dígitos que marcaran la forma de las fresas de Carburo de tungsteno.
- 001 – 896 son los dígitos que marcaran la forma de las fresas de diamante.

4- El cuarto grupo de tres dígitos identifican las características particulares de la fresa dental, como el **tamaño del grano de la parte activa**. Adicionalmente, cada fresa dental contiene una **banda de color** que rodea la región del cuello y que identifica la granulometría de la parte activa:

- Negro: fresas dentales de grano super grueso, de máximo 180 micras.
- Verde: fresas de grano grueso, de máximo 150 micras.
- Azul: fresas dentales de grano medio, de máximo 106 micras.
- Rojo: fresas de grano fino, de máximo 63 micras.
- Amarillo: fresas dentales de grano superfino, de máximo 40 micras.
- Blanco: fresas de grano ultra fino, de máximo 14 micras.

5- El quinto grupo de tres dígitos identifica **el diámetro de la parte activa de la fresa dental**. El diámetro de las fresas dentales va de 0,5mm a 8mm, así por ejemplo los dígitos 005 = 0,5 mm y los dígitos 080 = 8 mm.

La selección de fresas se basa en varios factores: forma, procedimiento clínico que se está realizando, sustrato que se está cortando, su método de esterilización y durabilidad. La justificación para la selección de fresas y su aplicación es un tema con poca literatura relacionada en las bases de datos. El motivo principal de esta escasez de estudios al respecto es la disponibilidad de una gran variedad de fresas dentales en diferentes tamaños y grosores que complica mucho la realización de estudios comparativos.⁵²

4.2.4.1 Fresas de diamante

Las fresas de diamante tienen una amplia utilización tanto clínicamente como en el laboratorio dental.⁵³ Se componen por un mango o vástago de acero inoxidable, una capa adhesiva y partículas de diamante.⁵⁴ La parte activa de la fresa está compuesta por partículas de diamante incrustadas en un recubrimiento de níquel.⁵⁵ La capa adhesiva se puede construir mediante métodos de galvanoplastia, deposición por vapor químico y soldadura:

- Las fresas de diamante consideradas como convencionales se fabrican recubriendo pequeñas partículas de diamante industrial o mineral en vástagos de acero inoxidable mediante un proceso galvánico.^{53,54,56}

Con la galvanoplastia las partículas de diamante se adhieren a la capa adhesiva a través de un enclavamiento mecánico con la capa de níquel. Este proceso se produce a temperaturas por debajo de los 100°C.⁵⁵ Esta tecnología data de la década de 1950 y tiene algunas limitaciones inherentes, debido a la heterogeneidad de las formas de los granos, la dificultad de automatización y la corta vida útil.⁵³ De esta manera, las fresas que se han fabricado mediante un proceso galvánico podrían mostrar una menor eficiencia de corte. Sin embargo, el proceso de galvanoplastia tiene la ventaja de la versatilidad y el bajo coste, lo que lo hace ampliamente utilizado en la industria.^{53,55}

- Con la soldadura las partículas de diamante se adhieren a la capa adhesiva mediante los enlaces químicos que se forman a alta temperatura, lo que genera una fuerte unión de las partículas de diamante.⁵⁴
- Con la deposición de vapor químico (CVD, por sus siglas en inglés *chemical vapour deposition*) las partículas de diamante se adhieren a la capa adhesiva formando una película continua que ofrece una mejora en la eficiencia de corte y una vida útil más larga. Sin embargo, la CVD de los recubrimientos de diamante también ha demostrado ser problemática. Generalmente, la adhesión de las películas de diamante a los sustratos es pobre y la densidad de las partículas de diamante puede disminuir durante su uso.⁵³

Está disponible una nueva tecnología para la fabricación de fresas de diamante, basadas en diamante soldado y tecnología de difusión al vacío (WDVDT por sus siglas en inglés: *welded diamond and vacuum diffusion technology*). Según los fabricantes, esta tecnología pretende ofrecer una amplia gama de ventajas sobre las fresas galvanizadas convencionales, como una alta concentración de grano de diamante de alrededor del 80%, heterogeneidad en el tamaño del grano, alta velocidad de procesamiento, alta resistencia al desgaste, reducción en la producción de grietas y microfracturas en la superficie del diente, y una supuesta reducción en los costos de producción.⁵⁶

También es importante destacar que se ha documentado que el proceso de autoclavado de las fresas de diamante puede disminuir la eficiencia de corte.⁵⁴ La esterilización repetida de las fresas de diamante puede afectar la matriz que une las partículas de diamante al mango, produciendo pérdida de partículas de diamante y disminuyendo así su efectividad de corte. Una alternativa a la esterilización con autoclaves son los agentes químicos utilizados para la esterilización en frío que son económicos y fáciles de usar. Sin embargo, estos agentes requieren largos tiempos de exposición para destruir efectivamente todos los microorganismos, y esta exposición prolongada puede producir la corrosión del instrumento. Las fresas de diamante desechables se han propuesto como otra alternativa y han demostrado ser tan eficientes como las fresas tradicionales.^{53,57,58}

4.2.4.2 Fresas de carburo tungsteno

El tungsteno es una aleación de acero, cobalto y carburo de tungsteno con el que se consigue un material de una gran resistencia para preparar cavidades y trabajar sobre distintos materiales restauradores.⁵⁹

Además, las fresas de carburo suelen utilizarse habitualmente en cirugías de tratamiento de periimplantitis con implantoplastia.⁶⁰

Su ventaja respecto a las fresas de diamante es que dejan una superficie más lisa. Una fresa de diamante funciona mejor cuando se necesita una preparación amplia en el esmalte, pero dada la propensión de la fresa a obstruirse, el alisado de la dentina y la eliminación de caries pueden realizarse de manera más eficiente con la fresa de carburo de tungsteno.⁴⁷

Cuando se utilizan las fresas de tungsteno para realizar procesos de pulido y acabado sobre zirconia, algunos estudios han reportado que se obtiene un acabado del óxido de zirconio liso, pero, aun así, no se recomienda su uso, ya que tienen un impacto negativo en la resistencia a la flexión. El acabado con fresas de diamante es el protocolo de acabado preferido ya que la reducción de la resistencia a la flexión es menor en comparación con el grupo de carburo.⁶¹

4.2.4.3 Fresas de acero

Este tipo de fresas están especialmente pensadas para la remoción de caries, extracción de dentina o la preparación de cavidades y para el aplanamiento de la raíz.⁶² Se fabrican específicamente para contraángulo o para piezas de mano.

4.2.4.4 Fresas de cerámica

Este tipo de fresas se utiliza principalmente para finalidades quirúrgicas y es muy escasa la información disponible en artículos de revistas indexadas.⁶³ También se ha encontrado literatura dónde se utiliza una fresa de cerámica para la remoción de caries, y los autores concluyeron que las fresas de cerámica fueron tan efectivas como las fresas de carburo de tungsteno convencionales en la excavación de caries de dentina.⁶⁴

4.3 Zirconia

El zirconio (Zr) es un metal que ocupa la posición 40 de la tabla periódica y se encuentra en la naturaleza en forma del mineral Circón ($ZrSiO_4$). Cuando en odontología hablamos de zirconia generalmente nos referimos al “policristal tetragonal de zirconia estabilizado con Ytria”, abreviado como Y-TZP (por sus siglas en inglés). La Y-TZP, es una cerámica utilizada en odontología y en la industria, que surge de la necesidad de estabilizar químicamente la zirconia u óxido de zirconio (ZrO_2), que es un polvo blanco, con Itria (Y_2O_3).⁶⁵⁻⁶⁸

El uso de la zirconia (ZrO_2) estabilizada con Ytria como cerámica de alto rendimiento tiene sus orígenes en un artículo clásico de Garvie et al.⁶⁹ publicado en el año 1975. En la práctica dental, la cerámica de zirconia se ha utilizado para postes endodónticos y *brackets* en ortodoncia desde principios de la década de 1990. Desde finales de la década de 1990, con el mayor uso clínico del tratamiento con implantes y el desarrollo de la tecnología CAD-CAM para odontología, la zirconia se ha utilizado para fabricar prótesis dentales fijas de cerámica sobre dientes o implantes.³⁸ Desde entonces, el uso en odontología de cerámicas a base de ZrO_2 como material restaurador en prótesis dentales ha aumentado significativamente debido a las propiedades mecánicas superiores

del ZrO_2 , como su alta resistencia mecánica, su biocompatibilidad, así como su alta resistencia al desgaste y fricción. Además, también se han utilizado implantes de zirconio, debido a estas propiedades.⁶⁷

La zirconia se ha desarrollado en diferentes formas, dependiendo de la selección de polvo, aditivos de sinterización, tratamiento térmico y otros factores de procesamiento. La zirconia pura tiene 3 fases principales: monoclinica (m) a temperatura ambiente, tetragonal (t) por encima de $\sim 1.170^\circ C$ y cúbica (c) por encima de $\sim 2.370^\circ C$. Mientras que la fase m en sí misma no posee unas propiedades mecánicas destacables, la resistencia mejorada y la tenacidad a la fractura se logran mediante la fase t o tetragonal.³⁴ La zirconia pura, al enfriarse por debajo de $950^\circ C$, experimenta una transformación de fase tetragonal a monoclinica, acompañada de una expansión de volumen (aproximadamente 4,5%), que puede conducir a una falla catastrófica. Por esta razón, la zirconia pura se combina con óxidos estabilizantes como CaO, MgO, Y_2O_3 o CeO_2 para retener la fase tetragonal a temperatura ambiente.³⁸

De los diversos óxidos utilizados para estabilizar el óxido de zirconio, el óxido de itrio (Y_2O_3) ha demostrado ser el más eficaz para proporcionar una combinación de alta resistencia y tenacidad. Concretamente, el policristal de zirconia tetragonal estabilizado con itria (3Y-TZP) con el 3 % en moles de itria (5,2% de agua) se convirtió en la zirconia más utilizada para las restauraciones protésicas.^{38,68}

Existen dos fenómenos principales que se desarrollan debido a las propiedades de la transformación de fase de zirconia: el endurecimiento y la degradación a baja temperatura (LTD, por sus siglas en inglés). La transformación de fase con endurecimiento ocurre cuando se forman grietas en la superficie por fuerzas externas o tensión. El estrés local inducido por las grietas desencadena una transformación de la fase tetragonal a monoclinica de las partículas cercanas a la grieta. El aumento del volumen causado por la transformación de fase resulta en la formación de estrés de compresión local cerca de la grieta, lo que previene la propagación de grietas adicionales, reforzando así el material. En cambio, LTD es un deterioro negativo provocado por el estrés del medio ambiente en presencia de moléculas de agua, vapor o fluidos corporales. Esta lenta transformación de la superficie se desarrolla

cuando las moléculas de agua penetran en la red de zirconia. Cuando las moléculas de agua entran, los granos tetragonales se transforman en granos monoclinicos y, en consecuencia, el volumen aumenta de 3% a 5%. Como resultado, las microfisuras y tensiones se propagan a las partículas cercanas en el sistema tetragonal, y el flujo adicional de moléculas de agua desencadena una cascada de transformación de fase tetragonal a monoclinica y microfisuras.^{38,68}

La transformación de fase tetragonal a monoclinica y la creación de microfisuras en la zirconia se puede inducir mediante procedimientos de desgaste o ajuste. Como resultado, las tensiones de compresión residuales en la superficie de zirconia pueden aumentar la resistencia a la flexión media. Sin embargo, cuando el desgaste es severo induce defectos profundos en la superficie que pueden actuar como una fuente de concentración de tensión. Así que, si la profundidad del defecto de superficie excede la capa de compresión, este defecto comprometería la resistencia.^{38,68} De esta manera, el desgaste o ajuste de la zirconia tiene dos efectos que se contrarrestan en la zirconia: o bien produce una tensión de compresión en la superficie que puede mejorar positivamente la resistencia del material deteniendo la propagación de grietas o puede inducir defectos en la superficie que pueden exceder la profundidad de la capa de compresión e influir negativamente en la resistencia del material.⁶⁵ Sin embargo, no está claro hasta qué punto los procedimientos clínicos típicos que generan calor, como el pulido, afectan la transformación de fase de la zirconia.⁶⁶ Es importante destacar que las fresas más adecuadas para realizar el tratamiento de pulido y acabado sobre zirconia son las fresas de diamante, ya que la reducción de la resistencia a la flexión es menor en comparación con las fresas de carburo de tungsteno.⁶¹

4.3.1 Evolución de la zirconia

La zirconia 3Y-TZP se consideró la primera generación de zirconias, contenían 0,25% en peso de alúmina (Al_2O_3) y demostraron resistencias superiores a 1 GPa en flexión. Sin embargo, estos tipos de zirconia tenían una alta opacidad debido a las fases de zirconia no cúbicas que producían la dispersión de la luz. Por ello esta primera generación de zirconia se indicó

principalmente para materiales de núcleo en coronas y puentes fijos con recubrimiento de porcelana, tanto en sector posterior como anterior. Las tasas de fracaso clínico de estas zirconias a largo plazo, principalmente están relacionadas con el astillado, pero también se han descrito casos en los que el fallo era debido a la delaminación interfacial. En algunos estudios se observó que el fallo de las zirconias 3Y-TZP fue más alto comparado con las restauraciones cerámicas con núcleo de metal. Esta primera generación de zirconias también se ha promocionado como una alternativa a los implantes y pilares de titanio por su coloración más similar a la de los dientes naturales, por su biocompatibilidad de integración con los tejidos duros y blandos, así como por su menor afinidad por la placa bacteriana y la periimplantitis. Además, también se ha descrito una mayor resistencia al desgaste y a la corrosión. Sin embargo, los estudios clínicos han indicado que las tasas de fractura temprana de los implantes de zirconia tienden a ser más altas que el titanio por lo que la mejora en la integridad mecánica se convierte en una preocupación primordial.⁶⁸

Con el objetivo de mejorar la cerámica monolítica para conseguir una cerámica con una translucidez adecuada, se desarrolló la segunda generación de 3Y-TZP.^{68,70} Se refinó la zirconia en gran medida reduciendo drásticamente la concentración de aditivo de alúmina y eliminando la porosidad al sinterizar el material a una temperatura más alta. Esto condujo a una leve mejora en la translucidez, que se consideraba adecuada para restauraciones monolíticas en sector posterior, pero, todavía eran insuficientemente estéticas para su uso como restauraciones monolíticas en el sector anterior, aunque al menos allanaron el camino para nuevas mejoras.⁶⁸

La siguiente etapa en el desarrollo monolítico de la zirconia vino con un movimiento para incluir alguna fase transparente en el producto final para reducir la opacidad, dando lugar a las zirconias de 3ª generación.^{68,70} Esto se logró mediante el uso de un mayor contenido de óxido de itrio para producir zirconias parcialmente estabilizadas, 4% en moles (4Y-PSZ) o 5% en moles (5Y-PSZ), con mayores cantidades de fase c, que es menos opaca. Esta translucidez mejoró notablemente, pero la resistencia y la tenacidad disminuyeron porque la zirconia cúbica no sufre transformación inducida por el estrés y por lo tanto no se

producía la reversión a la fase m que es la que posee mejores propiedades mecánicas como la resistencia mejorada y la tenacidad a la fractura. Los materiales 5Y-PSZ más translúcidos se indicaron para un uso amplio en el sector anterior, tanto para coronas individuales o puentes, pero también para su uso en puentes en el sector posterior. Sin embargo, un estudio de Sulaiman et al.⁷¹ reveló una tasa de fracaso superior al 2% durante 5 años en la zona anterior. Falta todavía consenso en si se puede utilizar estas zirconias 5Y-PSZ en aplicaciones de restauraciones mínimamente invasivas, tales como carillas, incrustaciones y recubrimientos. En consecuencia, se debe ejercer la precaución adecuada en la colocación de esta clase de cerámicas restauradoras de zirconia de quinta generación, y evaluar cada caso en función de las características del paciente.

Es importante destacar la reducción significativa en la resistencia y la tenacidad en las generaciones sucesivas y más translúcidas, y por ello es necesaria una mayor precaución en la implementación clínica.

Los tamaños de grano típicos de primera y segunda generación se encuentran en el rango de 0,5 a 1 μm , abarcando el espectro de longitud de onda de la luz visible y explicando (junto con la birrefringencia de fase t) la opacidad característica. Un tamaño de grano más grande ($\sim 1.5 \mu\text{m}$), con mayor contenido de fase c, explica la translucidez mejorada en materiales de tercera, cuarta y quinta generación.⁶⁸

4.3.2 Zirconias actuales y próximas generaciones

Actualmente, el óxido de zirconio (ZrO_2) o zirconia, es uno de los materiales más utilizados en odontología restauradora porque ofrece alta resistencia y estética^{39,42,72-75} Sin embargo, las cerámicas Y-TZP actuales en el mercado carecen de la estética de la cerámica de vidrio y, por lo tanto, sus indicaciones están algo más restringidas en el sector anterior.^{42,72,73} En este sentido, Y-TZP tiene que competir con silicatos a base de litio.^{3,42,72,73}

En los últimos años, la continua investigación y progreso en el campo de los materiales protésicos para aplicaciones dentales CAD-CAM ha llevado a la introducción en el mercado de materiales prometedores; se trata de las zirconias reforzadas con silicato de litio (ZLS). Estas cerámicas ZLS tienen una matriz vítrea, que contiene una estructura cristalina homogénea hecha de cristales de silicato de litio, está reforzada con rellenos tetragonales de zirconia (alrededor del 10% en peso) que permiten valores de resistencia más altos que los disilicatos de litio. La mayor translucidez media, junto con los valores adecuados de resistencia a la flexión biaxial, hacen que este material sea una opción adecuada para restauraciones estéticas mínimamente invasivas de un solo diente, como *inlays*, *onlays*, coronas parciales, carillas, coronas anteriores y posteriores, tanto sobre dientes como sobre implantes. Las restauraciones muestran una mayor translucidez y facilidad de pulido intraoral que los bloques de feldespato y de disilicato, pero al mismo tiempo presentan una mayor fragilidad.⁷²

Los desafíos para el desarrollo futuro de restauraciones totalmente cerámicas giran principalmente en torno al uso de cerámicas monolíticas. El objetivo es evitar los problemas propios de la utilización de cerámicas de recubrimiento como son las diferencias entre tensiones residuales y el consiguiente astillado y delaminación de la cerámica, así como para aliviar los requisitos de espesor del material. Se están realizando esfuerzos para mejorar la estética del zirconia monolítica mediante el uso de diferentes dopantes. Por ejemplo, la incorporación de 0,2% en moles de óxido de lantano (La_2O_3) a las cerámicas 3Y-TZP mejora la translucidez y la resistencia al envejecimiento, pero también disminuye las propiedades mecánicas. Además, la mejora de translucidez no es tan alta como la que se consigue con las cerámicas 5Y-PSZ. La experimentación adicional con diferentes dopantes y protocolos de sinterización asociados para producir fases más translúcidas parecería ser una línea de investigación prometedora, con la debida atención a la compensación generalizada entre la resistencia y la estética.⁶⁸

4.3.2.1 Zirconias graduadas

Un enfoque para lograr un zirconia más estética, sin comprometer las propiedades mecánicas, implica infiltrar la superficie externa con un vidrio feldespático para producir una sección transversal con una composición graduada.⁶⁸ La infiltración de vidrio adecuada reduce el módulo elástico en las superficies de las restauraciones consiguiendo valores más reducidos y parecidos a las porcelanas dentales y las vitrocerámicas, con la consiguiente disminución de los esfuerzos de tensión en las interfaces de cementación donde se inician las grietas radiales inducidas por flexión. Los valores de los módulos aumentan continuamente desde la cara externa con infiltración de feldespatos en la superficie exterior hacia las capas internas de zirconia a $\sim 150 \mu\text{m}$ de profundidad. La zona con zirconia graduada es, de alguna manera, análoga a una cerámica vítrea de recubrimiento, pero con un cambio continuo en lugar de brusco en las propiedades elásticas a través de la sección transversal, eliminando así la amenaza de delaminación en una débil interfaz interna. Las pruebas de fractura en muestras de zirconias infiltradas en relación con los controles sin infiltrar indican aumentos significativos en la capacidad de carga. Se están realizando esfuerzos para optimizar el protocolo de infiltración con glaseados alternativos y tratamientos térmicos. Los beneficios secundarios importantes de la infiltración de vidrio incluyen un aumento sustancial en la resistencia de la unión en la interfaz de cementación y la capacidad de construir una coincidencia de tonos del color de la superficie de la cerámica, lo que disminuye la necesidad de un recubrimiento posterior.^{68,76}

4.3.2.2 Zirconias nanoestructuradas

Como hemos mencionado anteriormente, la poca translucidez de la zirconia se debe a las fases birrefringentes t y m. La incorporación de zirconia en fase c conduce a alguna mejora en la transmisión de la luz, pero con una disminución concurrente en las propiedades mecánicas.⁶⁸ Una forma alternativa de aumentar la transmisión de la luz de Y-TZP es reducir el tamaño de grano muy por debajo de la longitud de onda de la luz visible. Es necesario un tamaño de grano $<100 \text{ nm}$ para producir una transmitancia aceptable en cerámica Y-

TZP. La producción de zirconias con tamaños de grano a nanoescala es tecnológicamente desafiante, comenzando con la utilización de nanopulvos homogéneos bien dispersos que contienen concentraciones controladas de aditivos estabilizantes. Tales nanopulvos de zirconia ahora están disponibles comercialmente. Se deben idear técnicas de procesamiento innovadoras para evitar la porosidad y el crecimiento excesivo de granos durante la sinterización. Estas rutas de procesamiento se están desarrollando actualmente. Con las zirconias nanoestructuradas la translucidez de esta microestructura se mejora notablemente en relación con el 3Y-TZP de segunda generación. Las primeras pruebas mecánicas de zirconias 3Y-TZP nanoestructuradas revelan mejoras en la resistencia, con tamaños de falla intrínseca más pequeños. También es probable que el tamaño de grano pequeño inhiba las transformaciones de reversión $t \rightarrow m$, reduciendo así la tenacidad, pero también reduciendo la susceptibilidad a la fatiga y la degradación química. Una vez más, la translucidez mejorada disminuye la necesidad de revestimiento. Esta área de investigación está en fases muy iniciales, pero los primeros estudios confirman su viabilidad.³⁹

En resumen, este tipo de zirconias están demostrando mejoras sustanciales en la translucidez al tiempo que preservan, incluso mejoran, las propiedades mecánicas.^{68,77}

4.4 Eficiencia de corte sobre zirconia

En condiciones clínicas, las restauraciones dentales parecen tener una vida útil limitada. Un metaanálisis mostró que las prótesis dentales fijas tienen una tasa de supervivencia a 10 años de poco menos del 90%, mientras que otro estudio que analizó coronas individuales informó de una esperanza de vida media de 9 años.³⁹ Las prótesis dentales de metal, metal-cerámica y totalmente cerámicas pueden requerir remoción y reemplazo debido a problemas estéticos, caries secundaria, estructura dental fracturada o afectación pulpar o periapical. Las prótesis de zirconia también pueden requerir remoción y retratamiento debido a estas complicaciones. Estas complicaciones sobre restauraciones de zirconia pueden aparecer alrededor de 4 años después del tratamiento.³⁸

En estas circunstancias, puede ser conveniente cortar y quitar una corona en fragmentos para minimizar el daño dental y la incomodidad para el paciente.³⁹ Además, durante el proceso de evaluación clínica, es posible que sea necesario ajustar o pulir la superficie de una restauración de zirconia para conseguir contactos oclusales y proximales adecuados.³⁸

Se ha demostrado una eficiencia de corte sustancialmente menor sobre zirconia comparado con la porcelana feldespática cuando se utilizan fresas de diamante, resultando en un mayor tiempo de trabajo clínico, más ansiedad para el paciente y un riesgo potencial de daño en la estructura dental existente.²⁵ Recientemente se han comercializado fresas de diamante específicas para cortar zirconia.^{38,39} Sin embargo, se dispone de datos limitados sobre la eficiencia y las características de corte de los instrumentos rotatorios específicamente destinados a la remoción de este material.³⁸

Algunos estudios han concluido que las fresas de carburo de tungsteno no deben usarse para trabajar sobre zirconia en procedimientos clínicos de ajuste y pulido. Esto es debido a que el pulido con fresa de carburo de tungsteno sobre zirconia estabilizada con itria (Y-TZP) causa microfisuras en la superficie y debajo de la misma. Estas microfisuras producen una gran reducción en la resistencia de este material.⁷⁵

La velocidad y la eficiencia de corte de una fresa dependen de varios factores, como son el tipo de fresa utilizada, el caudal de agua refrigerante, la dureza del sustrato, la fuerza aplicada por el operador, el tipo de pieza de mano utilizada, el torque máximo del propio instrumento rotatorio y las revoluciones por minuto con las que se trabaja.^{39,40} Múltiples estudios han medido la eficiencia de corte de las fresas de diamante, ya que los dentistas tienden a elegir las fresas de diamante más que las fresas de carburo de tungsteno o acero inoxidable.³⁹⁻⁴¹ Algunos de estos estudios han concluido que los parámetros que demuestran las condiciones óptimas para lograr la mejor eficiencia de corte de una fresa de diamante incluyen la utilización de 0,9N de fuerza y el uso de una pieza de mano eléctrica o turbina con un caudal de agua refrigerante de al menos 25 ml/min.³⁹

En el estudio de Kim et al.³⁸ publicado en el año 2017, se evaluaron y compararon la eficiencia de corte, la durabilidad y el patrón de desgaste de algunas fresas de diamante diseñadas específicamente para la remoción de zirconia con algunas fresas de diamantes convencionales. Utilizaron como sustrato de corte bloques de zirconia tetragonal estabilizada con itria al 3% (3Y-TZP) y utilizaron como instrumento de corte un contraángulo multiplicador. Los resultados obtenidos mostraron una eficiencia de corte mayor de las fresas de diamantes convencionales respecto a las específicas para zirconia.

4.4.1 Longevidad de las fresas sobre zirconia

Varios estudios han demostrado una reducción en la eficiencia de corte de las fresas de diamante después del uso repetido. En general, a medida que aumenta el número de cortes, disminuye la eficiencia de corte. Además, esta disminución es mayor después del primer corte. Muchos aspectos pueden estar relacionados con este hecho, como la abrasión y/o la deposición de restos de sustrato y la pérdida de granos de diamante y material de la matriz.³⁹⁻⁴¹

En relación con la durabilidad de las fresas, en el estudio de Emir et al.⁴¹ publicado en el año 2018 se utilizaron un tipo de fresas de diamante convencional sobre tres superficies diferentes: diente natural, cromo-cobalto sinterizado y zirconia pre-sinterizada. Se concluyó que después de 5 usos se debía cambiar la fresa en cualquiera de los materiales utilizados en el estudio y se especificó que el mayor desgaste de las fresas se obtuvo en el grupo de zirconia y se consideró que sería debido a la mayor dureza de este material.

En el estudio de Peters et al.³⁹ publicado en 2019 se utilizó una turbina para cortar especímenes de zirconia sinterizada utilizando fresas de corte de diamante convencionales, fresas de diamante específicas para zirconia y fresas de carburo de tungsteno. Los resultados mostraron mayor eficiencia de corte para las fresas de diamante que las de tungsteno. No se encontraron diferencias significativas de la eficiencia de corte entre las fresas de diamante convencionales y las fresas de diamante específicas para zirconia. En relación a la durabilidad o longevidad de las fresas, observaron que ésta era mayor en las fresas específicas para zirconia, seguidas por las fresas de diamante convencionales y en último lugar las fresas de carburo de tungsteno.

4.4.2 Eficiencia de corte sobre zirconia en función del instrumento de corte.

Otro de los factores determinantes en la eficiencia de corte es el tipo de instrumento de corte.^{16,20,27,39,41,42,46} Los estudios que comparan piezas de mano eléctricas y de turbina de aire han mostrado resultados mixtos, y el rendimiento relativo depende del material sobre el que se trabaja, las condiciones de corte y los criterios utilizados para la comparación.^{16,20,27,46} En un estudio se señaló que las piezas de mano eléctricas de alta velocidad tienen un torque más alto, lo que hace que el corte de material duro sea más eficiente que la turbina de aire.²⁰

Es por ello que la mayoría de artículos revisados donde se estudió la eficiencia de corte sobre zirconia utilizaron como instrumento rotatorio el contraángulo multiplicador.^{38,42,74} Sin embargo, también hay algún estudio que ha utilizado la turbina para medir la eficiencia de corte sobre zirconia.³⁹

No se encontraron artículos donde se comparó la eficiencia de corte de la turbina y el contraángulo multiplicador sobre zirconia.

4.4.3 Eficiencia de corte sobre zirconia en función de la fuerza aplicada.

De la misma manera también se ha valorado la influencia de la fuerza aplicada al instrumento de corte como un factor determinante en la eficiencia de corte sobre zirconia.³⁹⁻⁴²

Según algunos estudios, la mayoría de los dentistas aplican una fuerza de corte media de 50 g a 150 g (correspondiente a 0,5 - 1,5 N) sobre el diente cuando se utiliza una turbina.^{42,74} Por ello en la mayoría de los estudios donde el substrato es zirconia se utilizan estas fuerzas de aproximadamente 0,5 a 1,5N.^{39,41,42,74} Sin embargo, algún estudio utiliza fuerzas de 2 N.³⁸

5. HIPÓTESIS

5.1 Respecto a la eficiencia de corte.

- Hipótesis nula 1: No existen diferencias significativas entre la eficiencia de corte sobre zirconia de los cinco tipos de fresa de diamante estudiados utilizando la turbina o el contraángulo durante los 2 primeros minutos de corte aplicando una fuerza de 1,5 o 3 N.
- Hipótesis alternativa 1: existen diferencias significativas entre la eficiencia de corte sobre zirconia de los cinco tipos de fresa de diamante estudiados utilizando la turbina o el contraángulo durante los 2 primeros minutos de corte aplicando una fuerza de 1,5 o 3N.

5.2 Respecto a la longevidad de las fresas.

- Hipótesis nula 2: No existen diferencias significativas en relación a la longevidad de las fresas estudiadas sobre sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo en tres intervalos de tiempo aplicando una fuerza de 1,5 o 3N.
- Hipótesis alternativa 2: existen diferencias significativas en relación a la longevidad de las fresas estudiadas sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo en tres intervalos de tiempo aplicando una fuerza de 1,5 o 3N.

5.3 Respecto a la fuerza aplicada

- Hipótesis nula 3: no existen diferencias significativas entre la fuerza aplicada por el operador, según el grado de experiencia clínica cuando se trabaja sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo.
- Hipótesis alternativa 3: existen diferencias significativas entre la fuerza aplicada por el operador, según el grado de experiencia clínica cuando se trabaja sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo principal

Comparar la eficiencia de corte y la longevidad de cinco tipos de fresas de diamante sobre zirconia ejerciendo diferentes condiciones de fuerza mediante dos tipos de instrumentos rotatorios: turbina dental y contraángulo multiplicador.

6.2 Objetivos secundarios

1. Comparar la eficiencia de corte de los 5 tipos de fresas de diamante mediante dos tipos de instrumentos rotatorios.
2. Comparar la eficiencia de corte de los 5 tipos de fresas de diamante con la aplicación de 1,5N y 3N.
3. Comparar la longevidad de los 5 tipos de fresas de diamante mediante los dos tipos de instrumentos rotatorios.
4. Comparar la longevidad de los 5 tipos de fresas de diamante ejerciendo fuerzas de 1,5 y 3N.
5. Comparar la eficiencia de corte de los 5 tipos de fresas según los 3 intervalos de tiempo y según el instrumento rotatorio.
6. Comparar la eficiencia de corte y longevidad de las fresas de diamante específicas para trabajar sobre zirconia con las fresas convencionales.
7. Comparar la fuerza ejercida por profesionales de odontología, distribuidos en 3 períodos de experiencia clínica diferentes, con dos tipos de instrumentos rotatorios.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Materiales

Para llevar a cabo este estudio, se utilizaron dos tipos de instrumentos rotatorios: 1) Turbina de uso odontológico (Bora L, Bien-Air, Bienne, Suiza); y 2) Contraángulo eléctrico multiplicador de uso odontológico CA 1:5 (Bien-Air, Bienne, Suiza).

El equipo dental dónde se conectó la turbina fue un equipo Sirona (Dentsply Sirona, North Carolina, Estados Unidos) del laboratorio de la universidad. El contraángulo se conectó al micromotor Optima MX INT (Bien-Air, Bienne, Suiza) de los equipos dentales del laboratorio de la universidad.

Se estudiaron 5 tipos de fresas de diamante distintas. Todas fueron cilíndricas con punta redondeada, con el diámetro de 1,4 o 1,6 mm y con longitudes de la parte activa de 6 u 8 mm.

Las fresas estudiadas fueron las siguientes:

1. Fresa 315SC (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland) fresa de diamante convencional (no específica para zirconia), con diámetro de 1,4 mm, de forma cilíndrica, de 8 mm de longitud y con punta redondeada en la parte activa; con grano de tamaño grueso de 125 micras (color verde). Se utilizaron 60 fresas 315SC. Número de Lote: FG.01.21.00646.
2. Fresa Zr02 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland): fresa de diamante específica para zirconia, con diámetro de 1,4 mm, de forma cilíndrica, de 6 mm de longitud y con punta redondeada en la parte activa; con grano de tamaño estándar de 60 a 90 micras (sin color). Se utilizaron 60 fresas Zr02. Número de Lote: FG. 12.20.05717.
3. Fresa Zr06 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland): fresa de diamante específica para zirconia, con diámetro de 1,6 mm, de forma cilíndrica, de 6 mm de longitud y con punta redondeada en la parte activa; con grano de tamaño estándar de 60 a 90 micras (sin color). Se utilizaron 60 fresas Zr06. Número de Lote: FG.12.20.05715.

4. Fresa 4ZR (Komet, Lemgo, Alemania): fresa de diamante específica para zirconia, con diámetro de 1,4 mm, de 8 mm de longitud y con punta redondeada en la parte activa. Se utilizaron 60 fresas 4ZR. Número de Lote: 00192285.
5. Fresa 6881 (Komet, Lemgo, Alemania): fresa de diamante convencional (no específica para zirconia), con diámetro de 1,4 mm, de 8 mm de longitud y con punta redondeada en la parte activa; con grano de tamaño grueso de 125 micras (color verde). Se utilizaron 180 fresas 6881. Número de Lote: 00196289.

Para valorar la eficiencia de las distintas fresas, se utilizó como sustrato de corte 2 tipos de cerámica zirconia:

- a) 50 planchas de esta zirconia estabilizada con Ytria (3Y-TZP) (CeramTec GmbH, Plochingen, Alemania). Se utilizaron con medidas estandarizadas de 20x20x3mm.
- b) 50 planchas de esta zirconia sin estabilizar con Ytria (CeramTec GmbH, Plochingen, Alemania). Se utilizaron con medidas estandarizadas de 20x20x3mm.

Se utilizaron dos máquinas para desarrollar la parte experimental del trabajo:

1. Para medir la eficiencia de corte se utilizó una máquina de corte diseñada en la universidad en base a estudios previos.⁵⁰ Esta máquina funciona de manera muy similar a una balanza convencional: en un lado encontramos un soporte para el instrumento rotatorio (turbina o contraángulo multiplicador) y en el otro un soporte para poner los contrapesos correspondientes. Estos contrapesos permiten regular la fuerza con la que cae el instrumento rotatorio. Se configuró y calibró la máquina con los contrapesos necesarios para conseguir que la fuerza aplicada del instrumental rotatorio sobre el sustrato fuera de 1,5N o 3N. El sustrato se colocó en un soporte de metacrilato fijado a la base.

2. Para medir la fuerza aplicada por el operador sobre el instrumento rotatorio se utilizó una máquina compuesta por una célula de carga de la empresa Mecmesin (West Sussex, United Kingdom) y un soporte para el substrato de corte, la plancha de zirconia. El soporte fue especialmente diseñado para este estudio con un brazo de palanca que permite maximizar la sensibilidad del aparato. Esta máquina está preparada para medir la fuerza con la que se aplica el instrumento de corte, turbina o contraángulo multiplicador, sobre la plancha de zirconia.

Otros materiales utilizados:

- Pie de rey digital (Digital Caliper, Apex Ce Specialists Limited, Cork, Irlanda).
- Balanza digital de precisión (DIPSE TP Series 500 x 0,01g, Dipse, Oldenburg, Alemania).
- Dique de goma Nic Tone (MDC DENTAL, Zapopan, México).
- Assistina 301 plus (W&H Ibérica, Valencia, España).
- Lubricare Bien Air (Bien-Air, Bienne, Suiza).
- Cronómetro digital online (<https://reloj-alarma.es>).
- Lápiz.

Tanto los instrumentos de corte como las fresas fueron estudiados en diferentes condiciones, por lo que se dividieron en 3 grupos de estudio:

- Estudio 1: eficiencia de corte según el tipo de fresa, el instrumento rotatorio y la fuerza aplicada.
- Estudio 2: longevidad de las fresas según el tipo de fresa, el instrumento rotatorio y la fuerza aplicada.
- Estudio 3: fuerza aplicada al instrumento rotatorio según la experiencia del profesional, entre otras variables.

7.1.1 Materiales Estudio 1: eficiencia de corte

Se utilizaron 100 fresas para cada uno de los 2 instrumentos de corte (N = 200), 50 fresas para cada uno de los tipos de fuerza que se aplicaron (1,5N y 3N), y se utilizaron 40 fresas para cada subgrupo:

- 40 fresas 315SC (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas Zr02 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas Zr06 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas 6881 (Komet, Lemgo, Alemania).
- 40 fresas 4ZR (Komet, Lemgo, Alemania).

El tiempo de corte de cada fresa fue de 2 minutos. Se utilizó como sustrato la zirconia estabilizada con Ytria (3Y- TZP).

En la figura 1 se puede observar el número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 1.

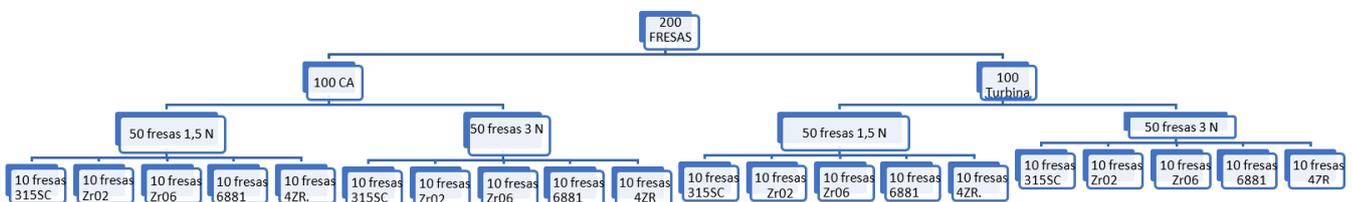


Figura 1: número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 1.

7.1.2 Materiales Estudio 2: longevidad de las fresas

Se utilizaron 100 fresas para cada uno de los 2 instrumentos de corte (N = 200), 50 fresas para cada uno de los tipos de fuerza que se aplicaron (1,5N y 3N), y se utilizaron 40 fresas para cada subgrupo:

- 40 fresas 315SC (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas Fresa FG Zr02 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas Fresa FG Zr06 (Intensiv SA, Montagnola, Switzerland).
- 40 fresas 6881 (Komet, Lemgo, Alemania).
- 40 fresas 4ZR (Komet, Lemgo, Alemania).

El tiempo total de corte de cada fresa fue de 12 minutos y se dividieron en 3 períodos de corte de 4 minutos cada uno. De manera que cada fresa realizó 3 cortes y por tanto el número total de cortes del estudio 2 fue de 600 cortes de 4 minutos cada uno. Se utilizó como sustrato la zirconia estabilizada con Ytria (3Y-TZP).

En la figura 2 se puede observar el número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 2.

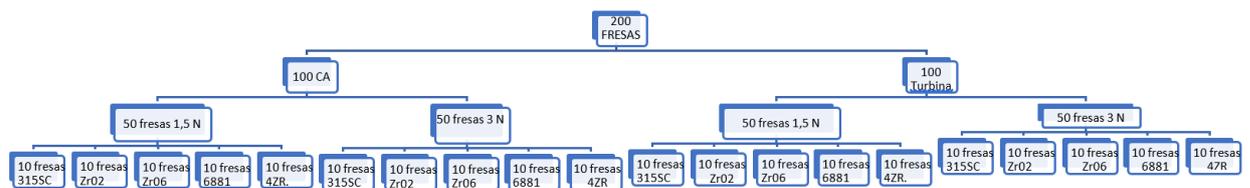


Figura 2: número y tipo de fresas utilizados en cada grupo y subgrupo de fresas del Estudio 2.

7.1.3 Materiales Estudio 3: fuerza aplicada al instrumento rotatorio

Se utilizaron 60 fresas para cada uno de los 2 instrumentos de corte (N = 120). Se utilizaron 40 fresas para cada uno de los 3 grupos de períodos de experiencia clínica, sólo se usó 1 tipo de fresa, la fresa 6881.

El tiempo de corte fue de 3 minutos. Se utilizó como sustrato la zirconia sin estabilizar con Ytria.

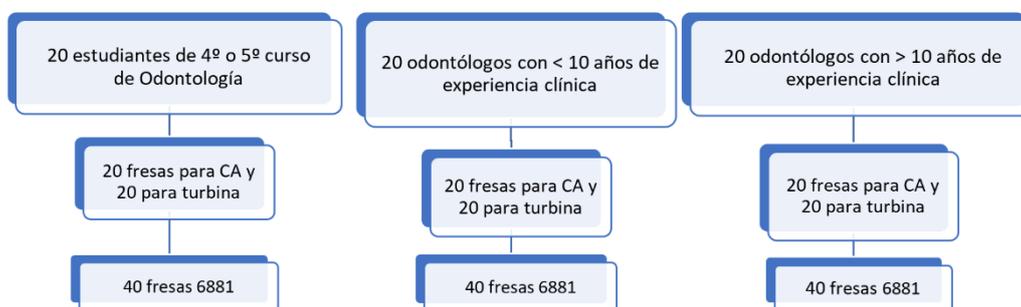


Figura 3: grupos del Estudio 3, número y tipo de fresa utilizado en cada grupo.

En este estudio, a diferencia de los dos anteriores, se necesitó la colaboración de 60 participantes voluntarios, los cuales deberían ser odontólogos graduados o licenciados, para los grupos con experiencia laboral, y

ser estudiantes de odontología de 4^o o 5^o curso, para el tercer grupo de estudio. De cada participante se tuvo en cuenta las siguientes variables: año de graduación y sexo. Los participantes se clasificaron en 3 grupos en función de su experiencia profesional, de la siguiente manera:

1. Grupo 1 (n = 20): estudiantes de odontología de 4^o y 5^o curso que han tenido contacto con el material rotatorio durante 3 o 4 años, y a nivel experiencia clínica de 2 o 3 años.

2. Grupo 2 (n = 20): odontólogos que tienen una experiencia clínica inferior a 10 años en los campos de la odontología conservadora y restauradora, la prostodoncia o la endodoncia.

3. Grupo 3 (n = 20): odontólogos que tienen una experiencia clínica superior a 10 años en los campos de la odontología conservadora y restauradora, la prostodoncia o la endodoncia.

7.2 Métodos

7.2.1 Métodos Estudio 1 (eficiencia de corte) y Estudio 2 (longevidad de las fresas)

Se montó el instrumento de corte en la máquina diseñada en la universidad para medir la eficiencia de corte (figura 4). El contraángulo multiplicador (Bien Air, Bienne, Suiza) o turbina Bora L (Bien Air, Bienne, Suiza), se montaron en una pared vertical que permite el movimiento perpendicularmente sobre el sustrato. A su vez el instrumento de corte se conectó con su acoplamiento correspondiente: en el caso del contraángulo multiplicador se conectó al micromotor Optima MX INT (Bien-Air, Bienne, Suiza) y en el caso de la turbina se conectó al equipo dental mediante el acoplamiento Unifix Luz (Bien-Air, Bienne, Suiza). Seguidamente, en el otro extremo de la máquina, se colocaron las piezas de contrapesos suficientes para conseguir estabilizar la máquina, de la misma forma que se equilibra una balanza convencional. El peso necesario para equilibrar la máquina dependió del peso

de la turbina o contraángulo, el peso del acoplamiento de la turbina o del micromotor y por último del peso del tramo de manguera correspondiente. Los contrapesos que se colocaron consisten en piezas de acero inoxidable de peso conocido y medidos con una balanza de alta precisión. Estos contrapesos tienen una forma que facilita la adaptación al soporte de la máquina. El sustrato de corte, la plancha de zirconia estabilizadas con Ytria, se montó en el soporte de metacrilato de la base de la máquina. Para evitar el movimiento y las vibraciones de la plancha de zirconia se colocó un fragmento de dique de goma Nic Tone (MDC DENTAL, Zapopan, México) entre el soporte de la máquina y la plancha de zirconia.

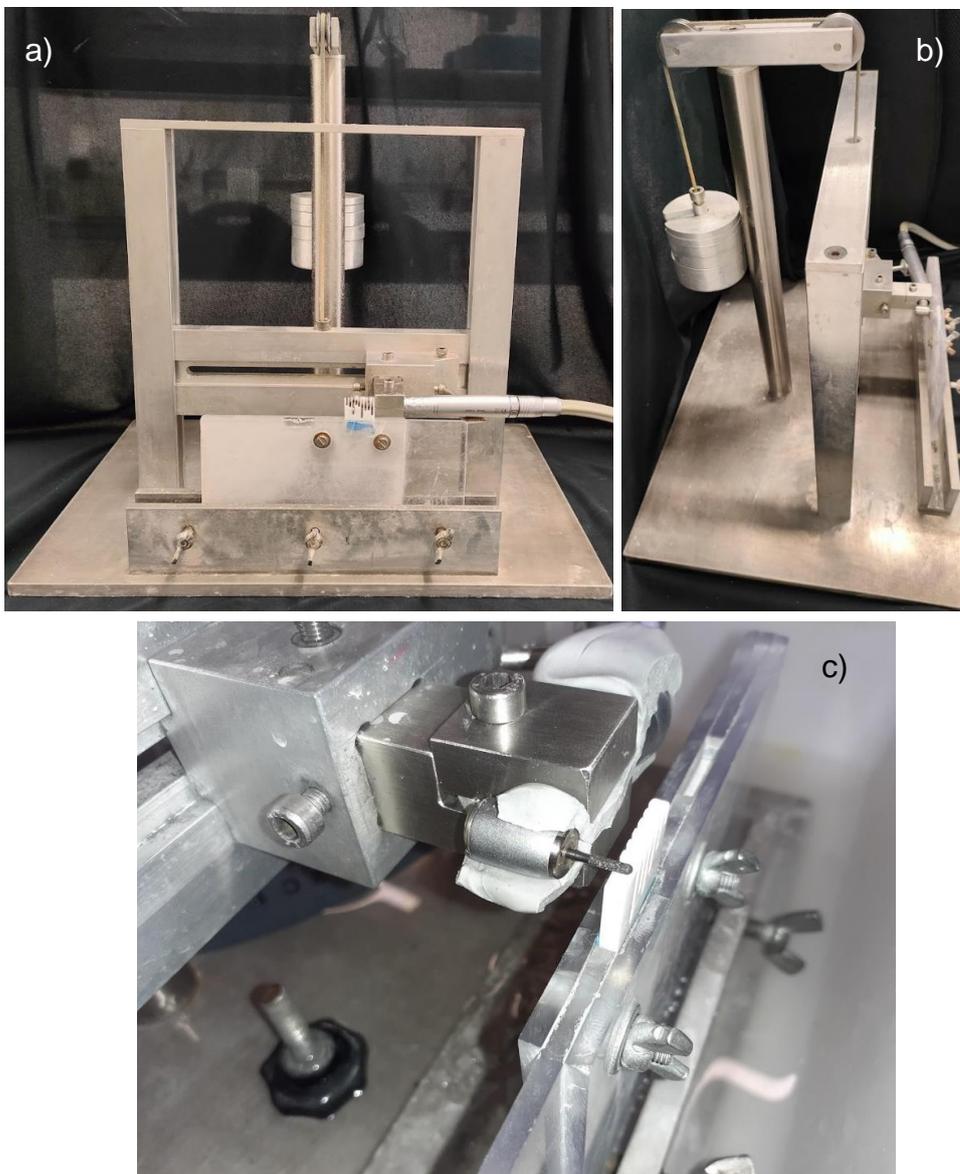


Figura 4: fotografías de la máquina diseñada en la universidad para medir la eficiencia de corte.
a) vista frontal b) vista lateral c) detalle del instrumento rotatorio posicionado antes del corte.

Una vez equilibrada la máquina con el instrumento de corte y los contrapesos, se retiraron los contrapesos correspondientes a 150g o 300g. De esta forma se consiguió determinar que la fuerza con la que caía la turbina o el contra ángulo multiplicador, y que es la que se aplicó sobre el sustrato, fuera de 1,5N o 3N respectivamente. Para el procedimiento de corte, la parte activa de la fresa se puso en contacto con el sustrato de corte (planchas de zirconia estabilizadas con Ytria) y se mantuvo en funcionamiento durante el intervalo de tiempo de 2 o 4 minutos, en función de si el corte se realizaba para el Estudio 1 (tiempo de 2 minutos) o para el Estudio 2 (tiempo de 4 minutos).

De esta manera, esta máquina, permite el movimiento perpendicular del instrumento de corte al sustrato, consiguiendo que la parte activa de la fresa entre en contacto con la superficie de corte con la fuerza deseada. La máquina fue calibrada y probada con cada fresa del estudio para asegurar un correcto desempeño durante la prueba de corte.

La turbina de aire de alta velocidad se hizo funcionar conectada con el acoplamiento Unifix Luz (Bien-Air, Bienne, Suiza) al equipo dental del laboratorio de Odontología de la Universidad Internacional de Catalunya. Las características de funcionamiento para la turbina fueron las siguientes:

- Presión de entre 2,5 y 3 bars de los compresores de la Universidad.
- Velocidades de rotación de hasta 320.000 rpm.
- Tasa de suministro de agua refrigerante: la irrigación de la turbina se calibró para que fuera la máxima que permite la turbina BORA L (Bien-Air, Bienne, Suiza) que fue de aproximadamente 50 ml/min.

El contraángulo multiplicador CA 1:5 L (Bien-Air, Bienne, Suiza) se conectó al micromotor Optima MX INT (Bien-Air, Bienne, Suiza) (figura 5) y se hizo funcionar con los siguientes parámetros:

- Relación 1:5
- Revoluciones por minuto (RPM): 200.000
- Torque: 0,70 Ncm
- Tasa de suministro de agua refrigerante: la irrigación del contraángulo se calibró para que fuera la máxima que permite contraángulo multiplicador CA 1:5 L (Bien-Air, Bienne, Suiza) que fue de aproximadamente 120 ml/min.



Figura 5: parámetros de funcionamiento del Micromotor Optima MX (Bien-Air, Bienne, Suiza).

Las planchas de zirconia 20x20x3 mm se marcaron con un lápiz y un pie de rey digital (Digital Caliper, Apex Ce Specialists Limited, Cork, Irlanda) antes de colocarlos en la máquina de corte. Se realizaron marcas consecutivas cada 4 mm sobre las planchas de zirconia, para determinar la posición correcta de la fresa y la distancia de cada corte realizado en la plancha de zirconia. Esto proporcionó una mejor visión de las líneas de corte hechas por las fresas una vez que se realizaron todos los cortes y permitió aprovechar al máximo el número de cortes que se pudieron hacer sobre cada plancha.

Una vez realizadas las calibraciones de la máquina y las pruebas de funcionamiento oportunas, se realizaron los cortes correspondientes para estudiar la eficiencia de corte de las fresas (Estudio 1) así como la longevidad de las mismas (Estudio 2).

- Estudio 1: se realizó 1 corte de 2 minutos con cada tipo de fresa con la turbina y con el contraángulo para estudiar la eficiencia de corte de las fresas a una fuerza de 1,5N. Se hicieron un total de 100 cortes de 2 minutos: 50 cortes de 2 minutos con la turbina y 50 cortes de 2 minutos con el contraángulo. Después se repitió el procedimiento con la fuerza de 3N, por lo que se utilizaron un total de 200 fresas y se realizaron un total 200 cortes (figura 1).

- Estudio 2: se realizaron 3 cortes consecutivos de 4 minutos (total de 12 minutos) con cada tipo de fresa con la turbina y el contraángulo para estudiar la eficiencia de corte y longevidad de las fresas con fuerzas de 1,5N y 3N en 3 intervalos de corte (4, 8 y 12 minutos). Tal y cómo muestra la figura 2 se utilizaron 200 fresas, y se hicieron un total de 600 cortes de 4 minutos: 300 cortes de 4 minutos con la turbina y 300 cortes de 4 minutos con el contraángulo.

La eficiencia de corte se definió como las diferencias de peso del substrato (planchas de zirconia) antes y después del corte.³⁸ Todas las planchas de zirconia se limpiaron con ultrasonidos antes de comenzar la prueba para eliminar las impurezas, durante 1 minuto, después se secaron con aire a presión y se pesaron, con la balanza de precisión DIPSE TP Series 500 x 0,01g (Dipse, Oldenburg, Alemania), obteniendo así el peso del substrato inicial.

Después de cada uno de los cortes, tanto para el Estudio 1 cómo para el Estudio 2, se midió:

- La profundidad del corte se midió en mm mediante un pie de rey digital (Digital Caliper, Apex Ce Specialists Limited, Cork, Irlanda).
- El peso final de la plancha de zirconia después del corte mediante la misma balanza utilizada para medir el peso inicial.

El tiempo de corte se midió mediante un cronómetro digital online (<https://reloj-alarma.es>).

Posteriormente se calculó la diferencia de peso de la plancha, antes y después de cada corte, para determinar la cantidad de sustrato eliminado durante el proceso de corte. Seguidamente se dividió el resultado obtenido por el tiempo de corte (2 o 4 minutos) obteniendo así la eficiencia del corte en unidades de g/min.

Todos los datos se registraron en una hoja de cálculo, para posteriormente poder realizar el análisis de los datos.

La turbina y el contraángulo fueron limpiados, desinfectados y engrasados tal y como indica el fabricante después de cada jornada de uso. Para la desinfección, limpieza y lubricado de la turbina se utilizó la máquina Assistina 301 plus (W&H Ibérica, Valencia, España), para la desinfección, limpieza y lubricado del contraángulo se utilizó la máquina Lubricare Bien Air (Bien-Air, Bienne, Suiza) (figura 6).



Figura 6: máquinas utilizadas para la desinfección, limpieza y lubricado del instrumental rotatorio
a) Assistina 301 plus (W&H Ibérica, Valencia, España)
b) Lubricare Bien Air (Bien-Air, Bienne, Suiza).

Antes de iniciar el estudio se seleccionaron al azar un total de 20 fresas, una de cada uno de los 20 subgrupos, y se marcaron en la zona del vástago con una muesca horizontal para poder obtener imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) y posicionar de la misma manera las fresas antes y después de su utilización con los mismos aumentos: 32x, 120x y 240x. Se utilizó el SEM que se encuentra en los Centros Científicos y Tecnológicos de la Universidad de Barcelona (CCITUB, Barcelona, España) con los aumentos mencionados y a 20,00 kV. Se obtuvieron en total 120 fotografías con el SEM que permitieron comparar las fresas antes y después de su utilización.

7.2.2 Métodos Estudio 3 (fuerza aplicada al instrumento rotatorio)

Para el Estudio 3 se usó otra máquina, que está compuesta con una célula de carga de la empresa Mecmesin (West Sussex, United Kingdom) y un soporte especialmente diseñado para soportar el substrato de corte, la plancha de zirconia (figura 7). El soporte fue diseñado por un profesor del grado de bioingeniería de la Universidad Internacional de Catalunya que colaboró en el desarrollo del estudio. Este soporte customizado permitió maximizar la sensibilidad del aparato hasta el punto de multiplicarla en 2,15 veces, gracias al brazo de palanca que se generaba al conectarlo sobre la célula de carga. Esta máquina está preparada para medir la fuerza con la que se aplica el instrumento rotatorio, turbina o contra ángulo multiplicador, sobre la plancha de zirconia. Estas planchas de zirconia utilizadas en el Estudio 3, a diferencia de las utilizadas en el Estudio 1 y 2, fueron planchas de zirconia sin estabilizar con Ytria, fabricadas por la empresa CeramTec GmbH (Plochingen, Alemania) con medidas estandarizadas de 20x20x3mm.

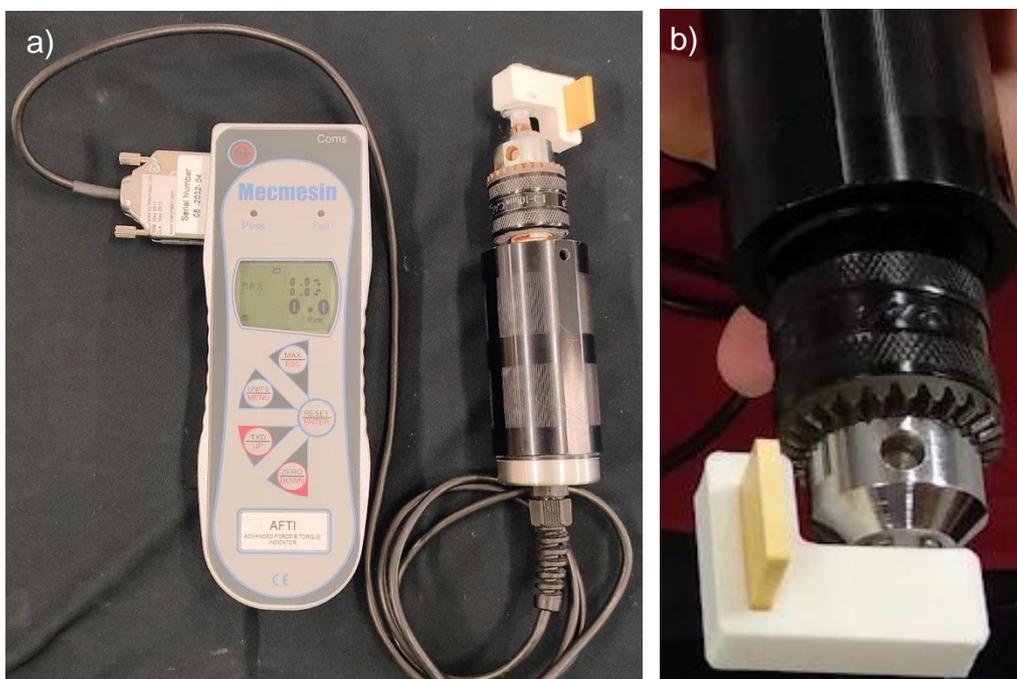


Figura 7: fotografías de la máquina utilizada en el Estudio 3.
a) Detalle de la máquina con sus diferentes componentes
b) Detalle del soporte customizado para el substrato de corte, la plancha de zirconia.

Para medir la fuerza aplicada durante el corte con los diferentes instrumentos rotatorios, se procedió de la siguiente manera: las planchas de zirconia se fijaron al soporte customizado. Este dispositivo de sujeción o soporte, permitía que la fresa permaneciera perpendicular al sustrato durante el proceso de corte. Se pidió a cada participante que cortara sobre la zirconia durante 3 minutos con el contraángulo y con la turbina. El tipo de fresa utilizado en ambos casos fue la fresa 6881 (Komet, Lemgo, Alemania). Se usó una fresa nueva para cada instrumento de corte y para cada voluntario, de manera que cada uno de los 60 participantes usó 2 fresas (N = 120) (figura 3). Se indicó a cada participante que el objetivo del estudio era valorar cuál de los dos instrumentos rotatorios mencionados era más eficiente para cortar zirconia. Se explicó que se tenía que cortar la plancha de zirconia simulando que estaba cortando una corona de zirconia en boca y que la finalidad era cortarla de la manera más eficiente posible, siendo la velocidad de corte el objetivo principal. La fuerza aplicada por parte del participante se mostró en el dispositivo durante todo el período de corte, que fue de 3 minutos para cada instrumento rotatorio (total de 6 minutos por participante) y los valores de la fuerza se registraron en el 1º, 2º y 3º minuto tanto para el contraángulo multiplicador como para la turbina. Luego se realizó el promedio de los 3 valores registrados para cada instrumento. Las unidades con las que se registró la fuerza aplicada fueron de N y con una precisión de 1 decimal. También se pesó la plancha de zirconia antes y después de los cortes para obtener los datos necesarios para calcular la eficiencia de corte. Todos los datos se registraron en una hoja de cálculo, para su posterior análisis.

7.3 Análisis estadístico.

Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Statgraphics Centurion XVI (Statgraphics Technologies, Inc, Virginia, EE. UU). La distribución normal de los datos recolectados y la homogeneidad de las varianzas se verificaron mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la prueba de Levene, respectivamente. Este análisis estadístico se realizó para cada uno de los estudios realizados. Posteriormente, se comprobó la significación estadística de

las diferencias observadas en los datos recogidos con un análisis de varianza. A partir de entonces, se realizó un análisis multifactorial de ANOVA para determinar las diferencias entre los grupos estudiados. La significación estadística se fijó en 0,05.

8. RESULTADOS:

8.1 Resultados Estudio 1

Se realizaron 200 cortes de 2 minutos con dos tipos de instrumentos rotatorios, 5 tipos de fresas y dos tipos de fuerza aplicada (ver figura 1, página 68). A continuación, se exponen los resultados obtenidos según cada factor estudiado (instrumento, fresa y fuerza aplicada) y según la combinación de los mismos.

Tras determinar la normalidad de la muestra, se comparó la eficiencia de corte de los instrumentos rotatorios mediante el test ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas ni los tipos de fresas utilizados) y se observó que el contraángulo multiplicador mostró mayor eficiencia de corte ($0,1406 \pm 0,0739$ g/min) que la turbina ($0,0342 \pm 0,0121$ g/min), mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los dos instrumentos (p -valor $< 0,05$).

En cuanto a la eficiencia de corte de los 5 tipos de fresas, al realizar un test ANOVA, (sin diferenciar las fuerzas aplicadas ni los instrumentos rotatorios) se observó que había diferencias estadísticamente significativas entre las fresas (p -valor $< 0,05$). Tal y como se puede observar en la tabla 1, al analizar el comportamiento de las fresas, la fresa Zr06 obtuvo el valor más alto, por lo que se consideró la fresa con más eficiencia de corte, seguida de las fresas 315SC y Zr02, y las menos eficientes fueron las fresas 6881 y 4ZR. De mayor a menor eficiencia de corte se podrían ordenar de la siguiente forma $Zr06 > 315SC = Zr02 > 6881 > 4ZR$ (figura 8).

Tabla 1: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa. Diferentes letras (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

Fresa	Eficiencia de corte
Zr06	$0,1029 \pm 0,0913$ ^a
315SC	$0,0922 \pm 0,0831$ ^b
Zr02	$0,0841 \pm 0,0712$ ^{bc}
6881	$0,0802 \pm 0,0623$ ^c
4ZR	$0,0779 \pm 0,0631$ ^c

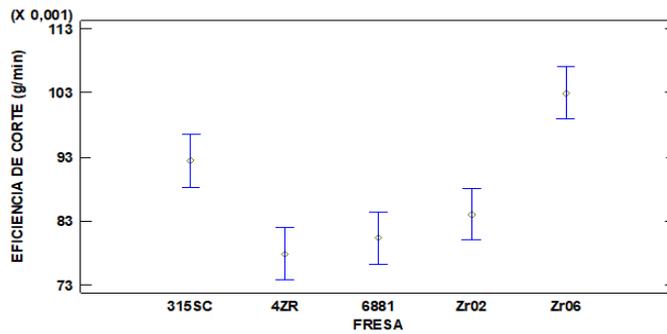


Figura 8: Eficiencia de corte según el tipo de fresa utilizado.

En cuanto a la eficiencia de corte en función de la fuerza aplicada, al realizar el análisis ANOVA (sin diferenciar los instrumentos rotatorios ni los tipos de fresas), se observó que la fuerza de 3N mostró mayor eficiencia de corte ($0,1248 \pm 0,0882$ g/min) que la fuerza de 1,5N ($0,0501 \pm 0,0271$ g/min), mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellas (p-valor < 0,05).

En relación a la eficiencia de corte según el instrumento rotatorio usado y los 5 tipos de fresas, al realizar el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas) se observó que no había diferencias estadísticamente significativas entre los 5 tipos de fresas utilizados con la turbina (p-valor > 0,05). En cambio, sí que se observaron diferencias estadísticamente significativas con el contraángulo multiplicador (p-valor < 0,05), pudiéndose establecer 3 grupos de fresas distintos: las menos eficientes fueron el grupo de las fresas 4ZR, 6881, después se encuentran las fresas Zr02, 315SC y, por último, la fresa más eficiente fue la fresa Zr06 (tabla 2 y figura 9).

Tabla 2: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas. Letras *minúsculas* indican diferencias significativas por columnas. Letras *mayúsculas* indican diferencias estadísticas por filas.

Fresa	Eficiencia de corte	
	Contraángulo	Turbina
Zr06	$0,1701 \pm 0,0865$ ^{aA}	$0,0358 \pm 0,0114$ ^{aB}
315SC	$0,1521 \pm 0,0817$ ^{bA}	$0,0322 \pm 0,0113$ ^{aB}
Zr02	$0,1365 \pm 0,0670$ ^{bcA}	$0,0316 \pm 0,0117$ ^{aB}
6881	$0,1240 \pm 0,0618$ ^{cdA}	$0,0364 \pm 0,0137$ ^{aB}
4ZR	$0,1205 \pm 0,0646$ ^{dA}	$0,0353 \pm 0,0127$ ^{aB}

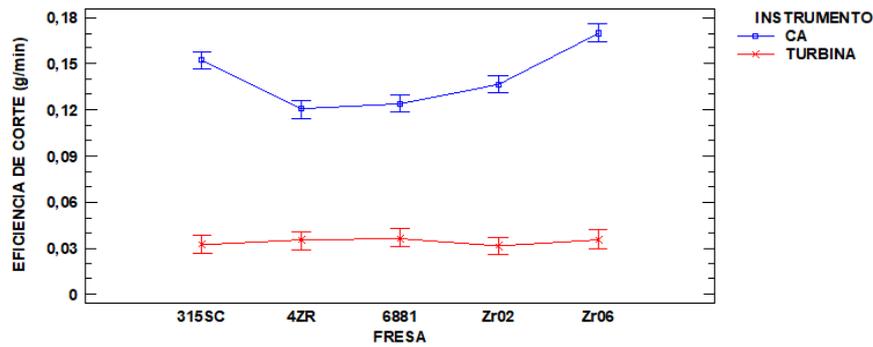


Figura 9: Eficiencia de corte según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas.

Respecto a la eficiencia de corte según los 5 tipos de fresas y según las fuerzas aplicadas, al realizar el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar los instrumentos rotatorios) no se apreciaron diferencias significativas entre los 5 tipos de fresas utilizados con la fuerza de 1,5N (p -valor $> 0,05$). Por el contrario, con 3N sí que se apreciaron diferencias significativas entre algunas fresas. Concretamente, las fresas 4ZR, 6881 y Zr02 fueron significativamente menos eficientes (p -valor $< 0,05$) que las fresas 315SC y Zr06. (tabla 3 y figura 10).

Tabla 3: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa usado y la fuerza aplicada. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Eficiencia de corte		
Fresa	3 N	1,5 N
Zr06	0,1453 \pm 0,1107 ^{aA}	0,0606 \pm 0,0328 ^{aB}
315SC	0,1348 \pm 0,0995 ^{aA}	0,0496 \pm 0,0274 ^{aB}
Zr02	0,1181 \pm 0,0837 ^{bA}	0,0500 \pm 0,0310 ^{aB}
6881	0,1143 \pm 0,0715 ^{bA}	0,0462 \pm 0,0225 ^{aB}
4ZR	0,1118 \pm 0,0733 ^{bA}	0,0440 \pm 0,0193 ^{aB}

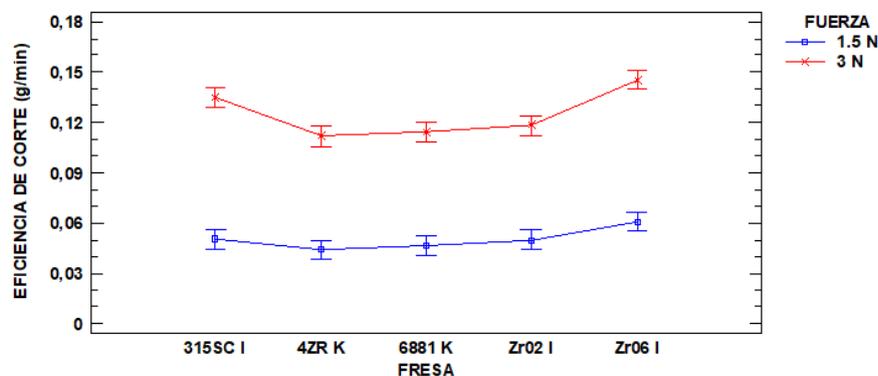


Figura 10: eficiencia de corte según los 5 tipos de fresas y según la fuerza aplicada.

Respecto a la eficiencia de corte según el instrumento rotatorio usado y según la fuerza aplicada, al realizar el análisis multifactorial ANOVA (sin tener en cuenta el tipo de fresa utilizado), se puso de manifiesto diferencias estadísticas entre los grupos estudiados (p -valor $< 0,05$) que fueron de mayor a menor eficientes: contraángulo con 3N $>$ contraángulo con 1,5N $>$ turbina con 3N $>$ turbina con 1,5N (tabla 4).

Tabla 4: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función de la fuerza aplicada y el instrumento rotatorio. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Instrumento rotatorio	Eficiencia de corte	
	1,5N	3N
Contraángulo	0,0739 \pm 0,0156 ^{aA}	0,2074 \pm 0,0414 ^{aB}
Turbina	0,0262 \pm 0,0092 ^{bA}	0,0423 \pm 0,0093 ^{bB}

8.2 Resultados Estudio 2

Se realizaron 600 cortes de 4 minutos con dos tipos de instrumentos rotatorios, 5 tipos de fresas y dos tipos de fuerza aplicada (ver figura 2, página 69). A continuación, se exponen los resultados obtenidos de la eficiencia de corte según cada factor estudiado (instrumento, fresa, fuerza aplicada e intervalo de corte) y según la combinación de ellos.

Tras determinar la normalidad de la muestra, se comparó la eficiencia de corte de los instrumentos rotatorios mediante el test ANOVA (sin diferenciar el tipo de fresas, ni las fuerzas aplicadas ni los intervalos de corte) y se observó que el contraángulo multiplicador fue significativamente más eficiente ($0,1101 \pm 0,0579$ g/min) que la turbina ($0,0223 \pm 0,0076$ g/min) (p -valor $< 0,05$).

En cuanto a la eficiencia de corte de las fresas, al realizar el análisis ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas, ni los tipos de fresas ni el intervalo de corte) se observó que había diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$). Al analizar el comportamiento de las fresas (tabla 5) se podrían ordenar de la siguiente forma, de mayor a menor eficientes: Zr06 = 315SC $>$ Zr02 = 6881K $>$ 4ZR (figura 11).

Tabla 5: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de fresa. Diferentes letras (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

Fresa	Media eficiencia de corte (g / min)
Zr06	0,0743 \pm 0,0719 ^a
315SC	0,0715 \pm 0,0710 ^a
Zr02	0,0649 \pm 0,0604 ^b
6881	0,0633 \pm 0,0539 ^b
4ZR	0,0571 \pm 0,0538 ^c

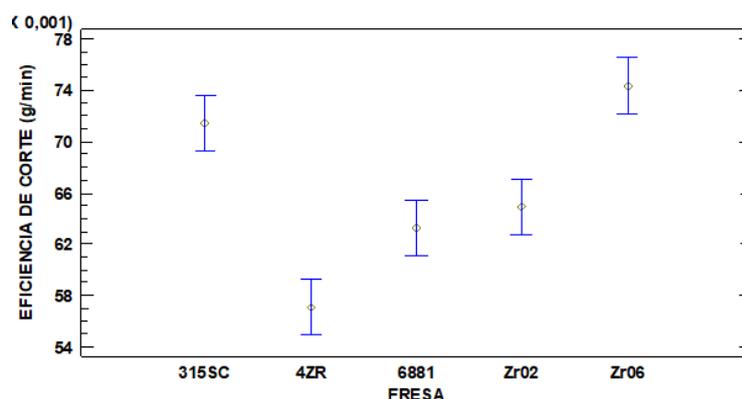


Figura 11: Eficiencia de corte según el tipo de fresa utilizado.

En cuanto a la eficiencia de corte en función de la fuerza aplicada, al realizar el análisis ANOVA, (sin diferenciar los tipos de fresas, ni los instrumentos rotatorios ni los intervalos de corte), se observó que la fuerza de 3N fue significativamente más eficiente (0,0962 g/min \pm 0,0754 g/min) que la fuerza de 1,5N (0,0363 \pm 0,0221 g/min) (p-valor < 0,05).

En cuanto a la eficiencia de corte según el instrumento rotatorio usado y los 5 tipos de fresas, al realizar el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas ni los intervalos de corte) se observó que no había diferencias estadísticamente significativas entre los 5 tipos de fresas utilizados con la turbina (p-valor > 0,05). En cambio, en el grupo del contraángulo multiplicador, sí que se obtuvieron diferencias significativas, pudiéndose establecer 3 grupos de fresas estadísticamente distintos (p-valor < 0,05), que se podrían ordenar de más a menos eficientes de la siguiente manera: Zr06 = 315SC > Zr02 > 6881 = 4ZR (tabla 6 y figura 12).

Tabla 6: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar del tipo de fresa en función del instrumento rotatorio. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Eficiencia de corte		
Instrumento rotatorio	Contrangulo	Turbina
Zr06	0,1264 \pm 0,0696 ^{aA}	0,0223 \pm 0,0101 ^{aB}
315SC	0,1230 \pm 0,0695 ^{aA}	0,0199 \pm 0,0106 ^{aB}
Zr02	0,1096 \pm 0,0565 ^{bA}	0,0203 \pm 0,0103 ^{aB}
6881	0,1000 \pm 0,0553 ^{cA}	0,0266 \pm 0,0117 ^{aB}
4ZR	0,0917 \pm 0,0576 ^{cA}	0,0225 \pm 0,0099 ^{aB}

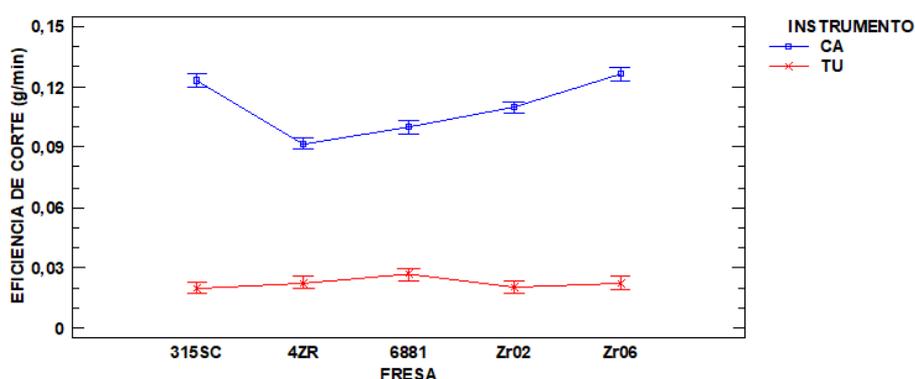


Figura 12: Eficiencia de corte según el instrumento rotatorio y los 5 tipos de fresas.

En cuanto a la eficiencia de corte según la fuerza aplicada sobre el instrumento de corte y según los 5 tipos de fresas, al realizar el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar los instrumentos rotatorios ni los intervalos de corte) se observó que no había diferencias estadísticamente significativas entre los 5 tipos de fresas utilizados con la fuerza de 1,5N (p -valor $>$ 0,05). Sí que se obtuvieron diferencias significativas con la fuerza de 3N, pudiéndose establecer 3 grupos de fresas estadísticamente distintos (p -valor $<$ 0,05), que se podrían ordenar de más a menos eficientes de la siguiente manera: Zr06 = 315SC $>$ Zr02 = 6881 $>$ 4ZR (p -valor $<$ 0,05) (tabla 7 y figura 13).

Tabla 7: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar del tipo de fresa en función de la fuerza aplicada. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Eficiencia de corte		
Fresa	3N	1,5N
Zr06	0,1073 \pm 0,0868 ^{aA}	0,0414 \pm 0,0263 ^{aB}
315SC	0,1066 \pm 0,0853 ^{aA}	0,0363 \pm 0,0254 ^{aB}
Zr02	0,0939 \pm 0,0712 ^{bA}	0,0360 \pm 0,0241 ^{aB}
6881	0,0917 \pm 0,0632 ^{bA}	0,0349 \pm 0,0170 ^{aB}
4ZR	0,0814 \pm 0,0665 ^{cA}	0,0328 \pm 0,0151 ^{aB}

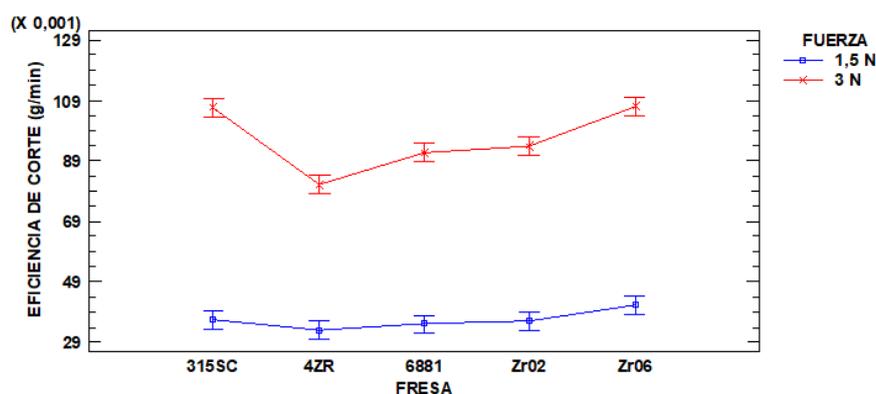


Figura 13: eficiencia de corte según la fuerza aplicada sobre el instrumento de corte y los 5 tipos de fresas.

Al comparar la eficiencia de corte según el instrumento rotatorio usado y según las fuerzas aplicadas mediante el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar los tipos de fresas utilizados ni los intervalos de corte) se puso de manifiesto diferencias estadísticas entre los 4 grupos estudiados (p -valor $<$ 0,05) que fueron de más a menos eficientes: CA 3N $>$ CA 1,5N $>$ TURBINA 3N $>$ TURBINA 1,5N (tabla 8).

Tabla 8: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función de la fuerza aplicada y el instrumento rotatorio. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Eficiencia de corte		
Instrumento rotatorio	3N	1,5N
Contraángulo	0,1654 \pm 0,0403 ^{aA}	0,0549 \pm 0,0147 ^{aB}
Turbina	0,0270 \pm 0,0110 ^{bA}	0,0177 \pm 0,0081 ^{bB}

Al estudiar la eficiencia de corte según el intervalo de corte, el análisis ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas, ni los tipos de fresas, ni los instrumentos rotatorios), se puso de manifiesto diferencias estadísticas entre los

3 intervalos de corte estudiados (p -valor $< 0,05$) que fueron de mayor a menor en cuanto a la eficiencia de corte: intervalo de 0 a 4 minutos $>$ intervalo de 4 a 8 minutos $>$ intervalo de 8 a 12 minutos (tabla 9, figura 14).

Tabla 9: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función del intervalo de corte. Diferentes letras (a, b, c) indican diferencias estadísticamente significativas.

Intervalo de corte	Media eficiencia de corte (g / min)
0 a 4 minutos	0,0786 \pm 0,0688 ^a
4 a 8 minutos	0,0635 \pm 0,0600 ^b
8 a 12 minutos	0,0566 \pm 0,0573 ^c

Respecto a la eficiencia de corte según los 5 tipos de fresas y según el intervalo de corte, el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar las fuerzas aplicadas ni los instrumentos rotatorios) puso de manifiesto diferencias estadísticas (p -valor $> 0,05$) (figura 14).

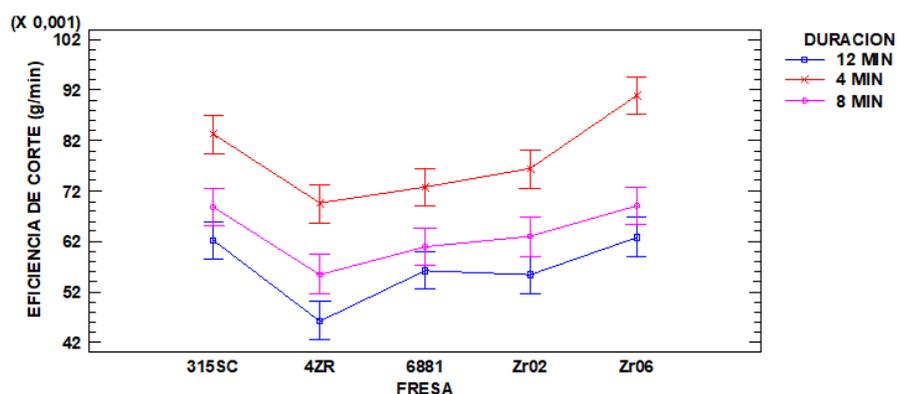


Figura 14: eficiencia de corte en función de los 5 tipos fresas y de los 3 intervalos de corte.

Respecto a la eficiencia de corte según los tipos de fresas, según los instrumentos rotatorios y según los intervalos de tiempo, el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciarla fuerza aplicada) puso de manifiesto diferencias estadísticas entre algunos grupos de fresas tal y como se muestra en la tabla 10 (p -valor $< 0,05$). Con el contraángulo no se observaron diferencias significativas entre los intervalos de corte de 8 y 12 minutos. Tampoco se observaron diferencias significativas entre las fresas con la turbina en el intervalo de 4 minutos (p -valor $> 0,05$).

Tabla 10: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar en función del instrumento rotatorio, del intervalo de corte y del tipo de fresa utilizado. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Fresa	Longevidad					
	Contraángulo			Turbina		
	4 minutos	8 minutos	12 minutos	4 minutos	8 minutos	12 minutos
Zr06	0,1516 \pm 0,0758 ^{aA}	0,1174 \pm 0,0625 ^{aA}	0,1103 \pm 0,0653 ^{aA}	0,0304 \pm 0,0104 ^{aA}	0,0209 \pm 0,0071 ^{abB}	0,0155 \pm 0,0063 ^{bB}
Zr02	0,1253 \pm 0,0620 ^{abA}	0,1068 \pm 0,0573 ^{aA}	0,0968 \pm 0,0486 ^{aA}	0,0275 \pm 0,0099 ^{aA}	0,0193 \pm 0,0983 ^{bB}	0,0141 \pm 0,0068 ^{bB}
6881	0,1128 \pm 0,0594 ^{abA}	0,0961 \pm 0,0561 ^{aA}	0,0911 \pm 0,0504 ^{aA}	0,0325 \pm 0,0134 ^{aA}	0,0255 \pm 0,0107 ^{aB}	0,0214 \pm 0,0079 ^{aB}
315SC	0,1370 \pm 0,0754 ^{abA}	0,1162 \pm 0,0674 ^{aA}	0,1073 \pm 0,0651 ^{aA}	0,0264 \pm 0,0112 ^{aA}	0,0186 \pm 0,0092 ^{bB}	0,0146 \pm 0,0078 ^{bB}
4ZR	0,1144 \pm 0,0633 ^{bA}	0,0965 \pm 0,0586 ^{aA}	0,0800 \pm 0,0595 ^{aA}	0,0299 \pm 0,0098 ^{aA}	0,0201 \pm 0,0079 ^{abB}	0,0175 \pm 0,0073 ^{bB}

Al estudiar la eficiencia de corte según el instrumento rotatorio y según el intervalo de corte, el análisis multifactorial ANOVA (sin diferenciar el tipo de fresa ni la fuerza aplicada) puso de manifiesto diferencias estadísticas entre el contraángulo y la turbina (p -valor $< 0,05$). Se puso de manifiesto que en cualquier intervalo de corte el instrumento rotatorio más eficiente fue el contraángulo multiplicador. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tres intervalos de corte con el contraángulo. Con la turbina los intervalos de 4 a 8 minutos y de 8 a 12 minutos no tuvieron diferencias significativas entre ellos (p -valor $> 0,05$) (tabla 11).

Tabla 11: Eficiencia de corte media \pm desviación estándar según el tipo de instrumento rotatorio usado y según el intervalo de corte. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Instrumento rotatorio	Eficiencia de corte		
	4 min	8 min	12 min
Contraángulo	0,1278 \pm 0,0675 ^{aA}	0,1061 \pm 0,0595 ^{aB}	0,0966 \pm 0,0579 ^{aC}
Turbina	0,0294 \pm 0,0110 ^{bA}	0,0209 \pm 0,0091 ^{bB}	0,0167 \pm 0,0076 ^{bB}

8.2.1 Fotografías realizadas con el SEM.

Se muestran las fotografías realizadas con el SEM más representativas de los tipos de fresas antes y después de realizar el Estudio 2, y una breve descripción de cada una de ellas (figura 15).

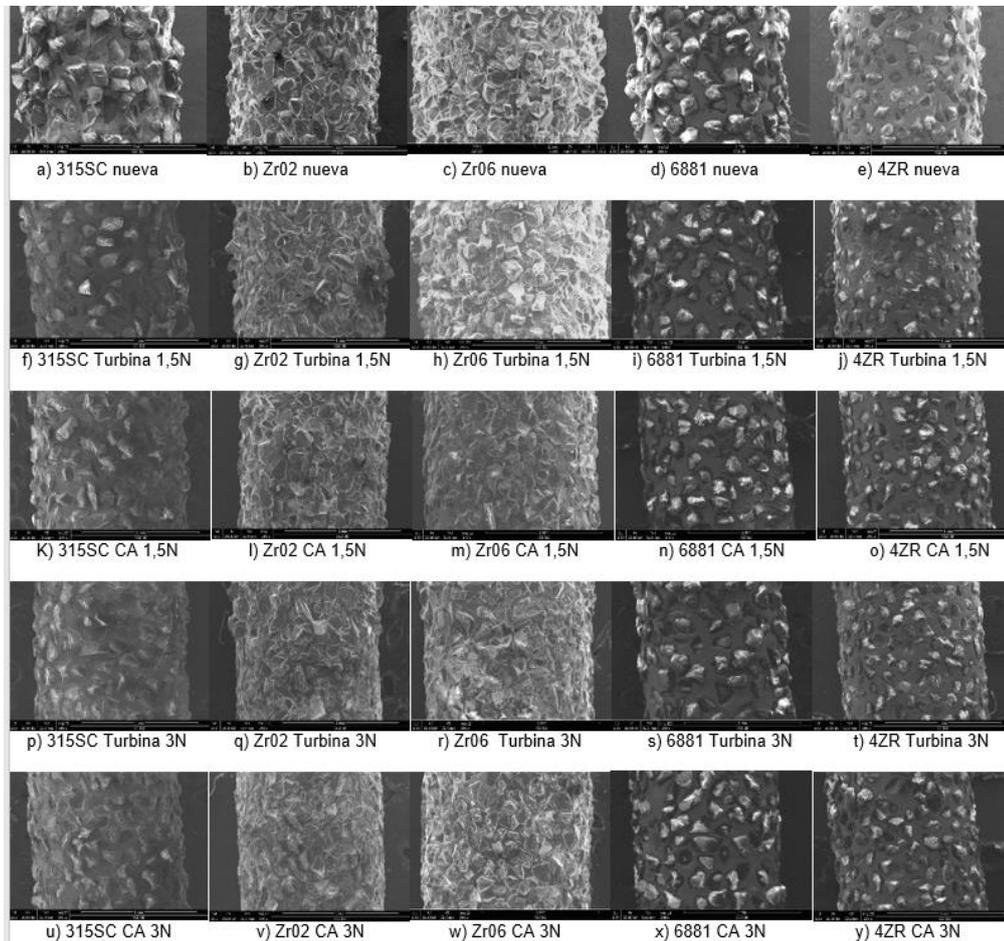


Figura 15: Fotografías realizadas con el SEM a 240x de los 5 tipos de fresas antes y después de utilizarlas con diferentes instrumentos rotatorios y diferentes fuerzas.

Después del análisis visual de las fotografías realizadas con el SEM de las fresas nuevas a 240x, se apreció cualitativamente que los 5 tipos de fresas estudiados tenían un tamaño de grano similar, pero fue la fresa 315SC y la 6881 las fresas en las que se apreció partículas de diamante de mayor tamaño. Además, también se apreció que estas fresas fueron las que presentaron una mayor heterogeneidad de partículas de diamante (figuras 15a - 15d).

Las fotografías del SEM también revelaron que las fresas de diamante Zr02 (figura 15b), y sobre todo la fresa Zr06 (figura 15c), mostraron una incrustación cualitativamente mayor de las partículas de diamante respecto a las otras fresas estudiadas.

En la figura 15 se puede apreciar el desgaste de las fresas antes y después de utilizarlas. Se observó cómo algunos granos de diamante se desprendieron de las fresas durante el ciclo de corte, formando cráteres en dichas áreas, especialmente en las fresas 6881 y 4ZR con la fuerza de 3N (figuras 15x - 15y).

8.3 Resultados Estudio 3

En esta parte del estudio se evaluó la fuerza real que realizan los odontólogos al realizar el corte de zirconia. Se realizaron 120 cortes de 3 minutos con dos tipos de instrumentos rotatorios, 1 tipo de fresa y 3 grupos de odontólogos divididos según su experiencia clínica (ver figura 3, página 69). A parte de los años de experiencia laboral, también se tuvo en cuenta el sexo del profesional. A continuación, se exponen los resultados obtenidos según cada factor estudiado (fuerza aplicada, instrumento rotatorio, eficiencia de corte y sexo del profesional) y según la combinación de ellos.

Tras determinar la normalidad de la muestra, se realizó el test ANOVA y se observó que la fuerza aplicada con el contraángulo multiplicador ($7,2617 \pm 1,9539$ N) fue mayor que la fuerza aplicada con la turbina ($2,1417 \pm 0,5992$ N) mostrando diferencias estadísticamente significativas entre ellas (p -valor $< 0,05$).

Al estudiar la fuerza aplicada al instrumento rotatorio según la experiencia del profesional (estudiantes de grado, menos de 10 años de experiencia y más de 10 años), se realizó el test ANOVA y se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas (p -valor $> 0,05$) entre los 3 grupos estudiados (tabla 12, figura 16).

Tabla 12: Fuerza aplicada media \pm desviación estándar en función de la experiencia del profesional.

Experiencia del profesional	Fuerza aplicada media (N)
4 o 5 ° Curso	5,2125 \pm 3,4112
<10 años	4,4800 \pm 2,7259
>10 años	4,4125 \pm 2,6482

Valorando la eficiencia de corte según el periodo de experiencia clínica del profesional en función del tipo de instrumento rotatorio, se realizó el test ANOVA y se observó que la eficiencia de corte más alta se mostró en el grupo de mayor experiencia clínica (> de 10 años) cuando se utilizó el contraángulo, pero no fue estadísticamente significativo respecto a los demás grupos (p-valor > 0,05) (figura 16). También destacada la eficiencia de corte significativamente mayor del contraángulo sobre la turbina en cualquier período de experiencia clínica del profesional (p-valor < 0,05).

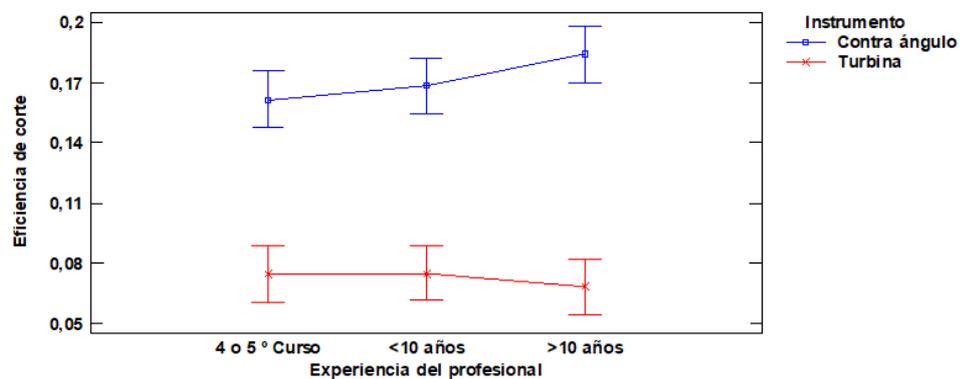


Figura 16: fuerza aplicada según la experiencia del profesional y el tipo de instrumento rotatorio.

Al estudiar la fuerza aplicada al instrumento rotatorio en función del sexo del profesional, se realizó el test ANOVA y se observó que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los 2 grupos estudiados (p-valor>0,05) (figura 17). Aunque no se observan diferencias, los hombres aplicaron una fuerza media ligeramente superior ($4,8261 \pm 3,0364$) a las mujeres ($4,6243 \pm 2,9068$).

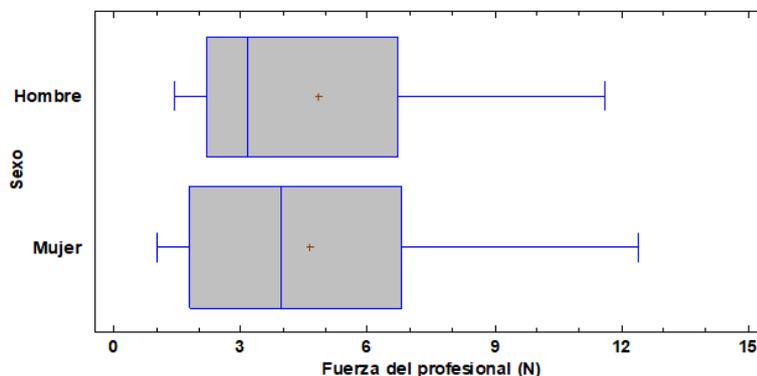


Figura 17: fuerza aplicada en función de sexo del profesional.

Valorando la fuerza aplicada, se realizó un test multifactorial ANOVA con los factores siguientes: sexo del profesional e instrumento rotatorio utilizado. Se puso de manifiesto que no hubo diferencias estadísticamente significativas en función del sexo del profesional (p-valor > 0,05), pero sí en función del instrumento rotatorio (p-valor < 0,05) (tabla 13).

Tabla 13: Fuerza aplicada media \pm desviación estándar según el tipo de instrumento rotatorio usado y el sexo del profesional. Letras minúsculas indican diferencias significativas por columnas. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas por filas.

Fuerza aplicada operador (N)		
Sexo del profesional	Turbina	Contraángulo
Hombres	2,3094 \pm 0,3031 ^{aA}	7,3502 \pm 0,3031 ^{aB}
Mujeres	2,0448 \pm 0,2390 ^{aA}	7,2051 \pm 0,2390 ^{aB}

9. DISCUSIÓN

9.1 Discusión de la metodología

Para el Estudio 1 (eficiencia de corte) y Estudio 2 (longevidad de las fresas) se utilizó una máquina diseñada en la universidad para medir la eficiencia de corte. Esta máquina ya fue utilizada en estudios previos para medir la eficiencia de corte de fresas de carburo de tungsteno sobre vitrocerámica mecanizable Macor (un tipo de cerámica que simula el comportamiento del esmalte dental).⁵⁰ Otros estudios han utilizado también máquinas customizadas para medir la eficiencia de corte.^{3,16,20,27,38,41,42,46,47,51,73,74} En el presente trabajo, para obtener unos resultados fiables consiguiendo una estandarización de todos los cortes realizados tanto para el Estudio 1 cómo para el Estudio 2 se llevaron a cabo una serie de procesos de calibración. El procedimiento de calibración se realizó meticulosamente al inicio cada jornada y consistió básicamente en el óptimo posicionamiento de las planchas de zirconia con el dique de goma interpuesto entre la plancha y el soporte para evitar el movimiento y vibración del sustrato durante el corte, también se posicionó el instrumento rotatorio con una silicona de adición para evitar el movimiento y conseguir una mejor adaptación del instrumento al soporte; y por último también se lubricaron los rodamientos y engranajes de la máquina para facilitar el desplazamiento del brazo vertical. Al final de cada jornada, también se realizó de manera sistemática el proceso de desmontaje, limpieza y desinfección del instrumental rotatorio, así como la limpieza y secado de la máquina. Debe destacarse que todos estos procedimientos, tanto al inicio, como al final de la jornada, siguieron unos criterios precisos y se llevaron a cabo de forma estricta, maximizándose así, la estandarización del método utilizado.

Para el Estudio 3 (fuerza aplicada al instrumento rotatorio), la sistemática para conseguir la estandarización de los cortes realizados fue más complicada debido al factor humano involucrado. A todos los voluntarios que participaron en el estudio, se les informó de igual manera y se les explicó que se tenía que simular las condiciones clínicas para estandarizar al máximo posible el proceso de corte. Durante el proceso de corte el profesional no podía ver la fuerza que estaba ejerciendo, de esta manera se evitaron correcciones influenciadas por los propios datos de la máquina, por lo que el profesional aplicó la fuerza más eficiente según su experiencia clínica.

Con el análisis estadístico de los resultados obtenidos de los Estudios 1 y 2 se ha podido apreciar que la máquina utilizada muestra un funcionamiento que es reproducible durante los cortes. Esto se puede apreciar en la figura 14 (página 88), dónde se puede observar que, con diferentes intervalos de corte, el patrón de la eficiencia de cada tipo de fresa es prácticamente el mismo.

Para el Estudio 3 la máquina midió la fuerza aplicada sobre el instrumento rotatorio, mediante una célula de carga de la empresa Mecmesin (West Sussex, United Kingdom) y un soporte diseñado y fabricado específicamente para este estudio. Otros estudios también han utilizado máquinas customizadas para medir la fuerza aplicada sobre el instrumento de corte^{20,45-47}. Debe destacarse que este soporte customizado permitió maximizar la sensibilidad del aparato, expresada en N, hasta al punto de duplicarla. Se comprobó mediante la aplicación de pesos conocidos sobre el soporte que los valores registrados por la célula de carga eran correctos con un error del 0,01%.

El instrumental rotatorio seleccionado para esta tesis doctoral fue la turbina Bora L (Bien-Air, Bienne, Suiza) y el contraángulo eléctrico multiplicador CA 1:5 (Bien-Air, Bienne, Suiza). Existen una gran variedad de contraángulos multiplicadores, de micromotores y de turbinas que se han utilizado para estudiar la eficiencia de corte de diferentes fresas.^{3,5,10,16,20,27,28,38-42,45-47,50,51,58,73-75} Algunos estudios han reportado diferentes velocidades de rotación según el modelo de turbina^{78,79}. Sin embargo, en el estudio de Leonard et al.⁸⁰ dónde se compararon 9 modelos de turbina teniendo en cuenta la longevidad, la potencia y la velocidad de la turbina, entre otros parámetros, se concluyó que no hubo diferencias significativas entre los 9 modelos de turbina. En el caso del contraángulo multiplicador, en los diversos estudios revisados dónde se utilizaron diferentes modelos de contraángulo multiplicador, la velocidad de rotación que seleccionaron fue la misma de 200.000 rpm.^{3,5,10,15,20,27,28,38,51,74}

Las fresas seleccionadas en este estudio fueron fresas de diamante de diferentes tipos. Se seleccionaron fresas de diamante con forma cilíndrica y punta redondeada de 1,4 mm de diámetro tanto específicas para cortar zirconia cómo convencionales de grano grueso. La fresa Zr06 es la única que tiene un

diámetro superior al resto (de 1,6 mm). Este grosor aumentado de la fresa Zr06 podría influir en una eficiencia de corte superior, aunque al aumentar el grosor también aumenta la resistencia del corte al sustrato.

Respecto a la estandarización de los distintos parámetros que influyen en el funcionamiento del instrumental rotatorio (contrángulo multiplicador y turbina), que se han descrito en el apartado de materiales y métodos (página 72), se tuvo en cuenta en cada jornada de uso estos parámetros fueran los preestablecidos. De esta manera en el caso de la turbina, se vigiló que el manómetro de la presión de aire del equipo dónde se conectaba la turbina indicaba los valores mencionados de presión (2,5-3 Bar) y por consiguiente se asumía que las velocidades de rotación eran las indicadas por el fabricante (320.000 rpm). En el panel del equipo dónde se conectó la turbina se comprobó que el caudal de agua refrigerante fuese de 50 ml/min. En el caso del contrángulo se comprobaron todos los parámetros de funcionamiento preestablecidos en el panel electrónico del micromotor Optima MX int (Bien-Air, Bienne, Suiza).

Respecto a la limpieza, desinfección y lubricación del instrumental rotatorio, se realizaba después de cada jornada de uso mediante las máquinas Assistina 301 plus (W&H Ibérica, Valencia, España) y Lubricare Bien Air (Bien-Air, Bienne, Suiza) para la turbina y contraángulo, respectivamente. En cada jornada de trabajo se realizaron aproximadamente 20 cortes de 4 minutos. De manera que el tiempo de trabajo del instrumental rotatorio (turbina o contraángulo multiplicador) fue de aproximadamente 80 minutos cada jornada de trabajo. La mayoría de las piezas de mano de turbinas de aire que se utilizan hoy en día son del tipo de cojinete de bolas y requieren una lubricación periódica por motivos de reducción del desgaste, reducción de la fricción y protección contra la corrosión. La mayoría de los fabricantes recomiendan una lubricación de rutina antes de la esterilización en autoclave, y esto normalmente se realiza inyectando en la línea de aire en el conector un rociado corto de aceite de una lata presurizada⁸¹. En este estudio no se esterilizó el instrumental rotatorio porque no había ningún riesgo biológico.

9.2 Discusión de resultados

Uno de los aspectos novedosos de esta tesis doctoral comparado con la literatura es el gran número de variables estudiados: diferentes instrumentos rotatorios (turbina y contraángulo), diferentes fuerzas (1,5 y 3N), diferentes fresas de diamante (específicas para zirconia y también convencionales), diferentes intervalos de tiempo (2, 4, 8 y 12 minutos) y especialmente el uso del sustrato de zirconia. Además, también se estudió la fuerza aplicada en función de la experiencia del profesional. Es por esto que no se han encontrado artículos que sigan exactamente la misma metodología. En algunos casos se comparaba solo un instrumento rotatorio o solo un tipo de fuerza u otros tipos de fresa de diamante y además no son muchos los artículos encontrados dónde el sustrato de corte fuese zirconia. Todo ello hace más difícil la comparación de los resultados con otros estudios, sin embargo, a continuación, se discutirán con los estudios revisados más relevantes.

Según los resultados del presente estudio, la eficiencia de corte del contraángulo multiplicador es significativamente mayor que la de la turbina sobre el sustrato de zirconia. Esta eficiencia de corte mayor del contraángulo sobre la turbina también se ha reportado en otros estudios, aunque el sustrato de corte no siempre haya sido la zirconia.^{12,40} Aunque, algunos estudios no encontraron diferencias significativas entre la eficiencia de corte entre la turbina y el contraángulo.²⁰

Los resultados observados en relación a la mayor eficiencia del contraángulo pueden ser debidos a que el contraángulo multiplicador es un instrumento rotatorio que permite la aplicación de fuerzas elevadas manteniendo la misma velocidad de rotación de la fresa, en cambio con la turbina cuando se aplican fuerzas elevadas la velocidad de rotación disminuye hasta el punto de que la fresa se detiene. La velocidad de rotación de la fresa aplicada en este estudio con el contraángulo multiplicador fue la más alta posible, de 200.000 rpm (40.000 rpm de velocidad del motor con una relación de 1:5). Esta velocidad de rotación se ha utilizado en muchos estudios.^{3,5,10,15,20,27,28,38,51,74} La combinación de máxima velocidad de rotación con fuerzas moderadas (1,5N) y altas (3N) podría ser el motivo de esta mayor eficiencia.

En el estudio de 2009 de Ercoli et al.¹⁶ compararon la eficiencia de corte de la turbina sobre el substrato vitrocerámica Macor con 1 fresa de carburo de tungsteno y 9 fresas de diamante. Luego repitieron el mismo estudio con el contraángulo.²⁷ Concluyeron que el contraángulo era más eficiente que la turbina especialmente con la fresa de carburo de tungsteno. Estos resultados de los estudios de Ercoli et al.^{16,27} concuerdan con los obtenidos en este estudio, aunque es importante destacar que el substrato de corte que utilizaron fue vitrocerámica Macor (que simula esmalte dental) en lugar de zirconia y además se utilizaron fresas de diamante y de tungsteno. En el presente estudio sólo se han comparado fresas de diamante sobre zirconia.

En el estudio de 2010 de Choi et al.³ se compraron la turbina y el contraángulo multiplicador con 2 tipos de fresas de carburo de tungsteno y 2 fresas de diamante sobre 6 sustratos diferentes (vitrocerámica mecanizable Macor, óxido de zirconio, óxido de aluminio, amalgama de plata, metales nobles y metales muy nobles). Concluyeron que la pieza de mano eléctrica era más eficiente que la turbina para cortar aleaciones de metales muy nobles, amalgama de plata y Macor. Sin embargo, es importante destacar que no encontraron diferencias significativas en la eficiencia de corte entre la turbina y contraángulo sobre el óxido de zirconio. Así pues, cuando hablamos del sustrato óxido de zirconio (zirconia) los resultados de eficiencia de corte de este estudio no concuerdan con los del estudio de Choi et al. de 2010. Esto podría ser debido a que utilizaron fresas de tungsteno y diamante, en lugar de únicamente fresas de diamante. Otro factor que podría influir en estas diferencias son las fuerzas aplicadas sobre el instrumento rotatorio. En el caso del estudio de 2010 de Choi et al. se utilizó una fuerza de 0,9N y en nuestro estudio se utilizaron fuerzas más elevadas de 1,5N y 3N.

En el estudio de 2016 de Funkenbusch et al.²⁰ se estudió la eficiencia de corte del contraángulo sobre bloques de vitrocerámica Macor con fresas de diamante de diferente grosor y se compararon sus resultados con un estudio anterior que seguía la misma metodología y la única diferencia era que se utilizó la turbina en lugar del contraángulo.⁴⁶ Se indicó que la eficiencia de corte fue superior con el contraángulo multiplicador, aunque no de manera significativa.

En este caso también utilizaron un sustrato de corte distinto a la zirconia, la vitrocerámica Macor, que podría ser uno de los motivos por los que no encontraron diferencias significativas entre los instrumentos rotatorios. Otro motivo podría ser que la fuerza que se aplicó a los instrumentos rotatorios fue inferior con un rango de 0,5 a 1,5N en lugar de 1,5 y 3N.

Respecto a la eficiencia de corte de las distintas fresas de diamante estudiadas, con la turbina no se apreciaron diferencias significativas entre los tipos de fresas. Esto concuerda con el estudio de Siegel et al.⁴⁷ publicado en el año 1996, donde utilizaron diferentes tipos de fresas de diamante desechables y convencionales sobre el sustrato de corte vitrocerámica Macor. En los resultados se observó que no hubo diferencias significativas entre el conjunto de las fresas utilizadas. Esto puede deberse a que la turbina tiene un torque bajo y cuando se aplican fuerzas moderadas o altas la fresa se detiene y por ello es más difícil apreciar las diferencias entre las fresas estudiadas.

Respecto a la eficiencia de corte de las distintas fresas de diamante estudiadas, con el contraángulo se obtuvieron diferencias significativas entre algunos grupos de fresas (tabla 2 - página 82, tabla 6 - página 86). En el estudio de 2000 de Siegel et al.⁴⁸ donde utilizaron un contraángulo multiplicador y distintas fresas de diamante de grano medio, grueso y supergrueso también obtuvieron diferencias significativas de la eficiencia de corte entre algunos grupos. Sin embargo, el estudio concluyó que las fresas de grano supergrueso eran más eficientes que las de grano medio. En el presente estudio se observó que las fresas Zr06 (de grano medio) y la fresas 315SC (de grano grueso) fueron las más eficientes de manera significativa; y estas dos fresas no obtuvieron diferencias significativas entre ellas. De manera que en este estudio no hay coincidencia de resultados con el de Siegel del año 2000 en que el tamaño del grano de las fresas influya de manera significativa en la eficiencia de corte, y esto puede ser debido a las diferencias en cuanto a la metodología utilizada, ya que los valores de fuerza son inferiores a los utilizados en este estudio, así como también puede influir la diferencia en el sustrato, y el tipo de fresas, que aunque en todos los casos fueron fresas de diamante, las fresas utilizadas fueron de

casas comerciales distintas; también hay que destacar el hecho que en este estudio se han evaluado fresas específicas para trabajar con zirconia.

Respecto a la eficiencia de corte de las fresas específicas para cortar zirconia en comparación con las fresas de diamante convencional, en este estudio no se han encontrado diferencias significativas. Como se puede observar en la figura 11 (página 85), se diferenciaron 3 grupos de fresas con diferencias estadísticamente significativas, de más a menos eficientes encontramos: la fresa ZR06 (específica para zirconia) juntamente con la fresa 315SC (diamante convencional), en segundo lugar, están las fresas Zr02 (específica para zirconia) y 6881 (diamante convencional) y por último se encuentra la fresa 4ZR (específica para zirconia). De esta manera, aunque la fresa más eficiente fue la fresa Zr06, no se puede considerar que las fresas de diamante específicas para cortar zirconia (Zr02, Zr06 y 4Zr) sean más eficientes en el corte sobre zirconia que las fresas de diamante convencionales (315SC, 6881). Esto concuerda con el estudio de Kim et al.³⁸, dónde se utilizó el contraángulo y 6 fresas de diamante, 2 específicas para zirconia y 4 de diamante convencional, con una fuerza de 2N sobre el sustrato de zirconia. En este estudio tampoco se encontraron diferencias significativas entre las fresas de diamante convencionales y las específicas para zirconia. Esto podría estar relacionado a que las fresas para cortar zirconia no deben tener tanta diferencia en cuanto a tamaño del grano del diamante. Tampoco debe haber mucha diferencia entre el aglutinante que se ha utilizado para adherir el diamante al vástago si se compara con las fresas convencionales, ya que los fabricantes no especifican exactamente el tipo de grano en todas las fresas estudiadas en este estudio.

Respecto al análisis de las fotografías realizadas con el SEM, si se comparan las fotos realizadas a 240x de los 5 tipos de fresas estudiadas (figura 15, página 90), podemos ver que en todas las fresas se pueden distinguir claramente los granos de diamante y su tamaño. Después del análisis cualitativo visual de estas fotografías, se puede considerar que los 5 tipos de fresas estudiados tienen un tamaño similar, pero las fresa 315SC y la fresa 6881 son las fresas con partículas de diamante de mayor tamaño. La fresa 315SC fue una de las fresas más eficientes y también fue una de las fresas más longevas

cuando se utilizó el contraángulo. La fresa 6881 fue la fresa más longeva cuando se utilizó la turbina, por lo que este tamaño aumentado de las partículas de diamante podría ser una característica favorable para la eficiencia de corte. Algunos estudios han informado que con el aumento del tamaño de las partículas de diamante y con una mayor irregularidad de la forma de las partículas de diamante aumenta la eficiencia de corte.³² Otros estudios han demostrado que la eficiencia de corte de las fresas de diamante convencionales depende tanto del tamaño del grano de la fresa de diamante como de la duración del procedimiento de corte.^{42,49,56,73} Sin embargo, en el estudio de Gonzaga et al.⁴⁰ observaron que a medida que aumentaba el tamaño del diamante, también aumentaba el tiempo de corte del sustrato, (en ese caso se trataba de resina de composite), y por lo tanto disminuía la eficiencia de corte.

Las fotografías del SEM también revelaron que las fresas de diamante Zr02 y, sobre todo la fresa Zr06, tenían una incrustación cualitativamente mayor de las partículas de diamante respecto a las otras fresas estudiadas, siendo la fresa Zr06 la fresa con mayor densidad de partículas de diamante. Estas fresas Zr02 y Zr06 son específicas para zirconia por lo que se podría considerar que estas fresas son más favorables para cortar zirconia y que incluso por este motivo podrían ser fresas específicas para zirconia. Sin embargo, la fresa 4ZR, que también se considera específica para zirconia no mostró una gran densidad de partículas de diamante, de hecho, la fresa 4ZR fue la fresa dónde se observó la menor densidad de partículas. Se consideró pues, que no hay una relación clara entre la densidad de granos de diamante y la especificidad de las fresas para trabajar sobre zirconia. Algunos estudios han especulado que la menor disponibilidad de partículas de diamante expuestas podría ser la razón principal de la menor eficiencia de corte.⁵⁶ En este estudio la fresa Zr06 fue una de las más eficientes y una de las fresas con mayor densidad de partículas y la fresa 4ZR fue una de las menos eficientes y la fresa con menor densidad de partículas. Sin embargo, la fresa Zr02 mostró una incrustación de partículas de diamante mayor respecto a la fresa 315SC, y en cambio esta última fue igual de eficiente que la fresa Zr06 (con el contraángulo multiplicador) por lo que no se puede considerar que una mayor incrustación de partículas de diamante resulte en una mayor eficiencia de corte.

En las mismas fotografías del SEM se puede apreciar el desgaste de las fresas antes y después de utilizarlas. También se puede apreciar cómo algunos granos de diamante se han desprendido de las fresas y se han formado cráteres en aquellas áreas donde se han extraído las partículas de diamante durante el ciclo de corte. Este proceso de desgaste y/o desprendimiento de las partículas de diamante también se ha reportado en otros estudios.^{56,73}

Respecto a la forma de las partículas de diamante, algunos estudios han reportado que la heterogeneidad en la forma de las partículas de diamante hace que la superficie sea irregular, favoreciendo la retención de restos dentales, microorganismos y materiales, haciendo que las fresas sean más difíciles de esterilizar y menos duraderas.^{40,47} Después del análisis visual de las fotografías realizadas con el SEM de las fresas nuevas a 240x se apreció cualitativamente que la fresa 315SC y la fresa 6881 fueron las fresas con mayor heterogeneidad de partículas de diamante. La fresa 315SC fue una de las fresas más eficientes en el corte y también una de las más longevas por lo que en este estudio, no se puede considerar que la heterogeneidad en la forma de las partículas sea un factor en contra de la eficiencia de corte.

Respecto a los resultados obtenidos de la eficiencia de corte en función de la fuerza aplicada, se han encontrado diferencias significativas entre las fuerzas de 1,5 y 3N, siendo la fuerza de 3N la que mayor eficiencia de corte obtuvo. Estas diferencias en la eficiencia de corte en función de la fuerza aplicada también se han documentado en otros estudios.^{20,46}

Según los resultados obtenidos en este estudio, con la turbina las fuerzas habituales aplicadas por el profesional estuvieron entre 2 y 3N. Estos valores de fuerza se corresponden con los valores de fuerza utilizados en los estudios de Kim et al.³⁸ y Gonzaga et al.⁴⁰ en 2020. Con el contraángulo se aplicaron unas fuerzas de entre 6 y 8N. Estas fuerzas tan elevadas son debidas al torque más alto del propio del contraángulo. En el estudio de Gonzaga et al.⁴⁰ se utilizaron fuerzas de 3N; en el resto de estudios revisados se utilizaron fuerzas menores (de 0,9N, 1N o 2N). Estas diferencias podrían deberse a que la mayoría de los estudios revisados han utilizado valores de fuerza basados en artículos antiguos^{3,38-41,47,49,50} y en cambio son pocos los que hayan estudiado la fuerza real que aplican los profesionales.^{16,42,45-47}

Respecto a la fuerza aplicada en función de la experiencia clínica del profesional, no se obtuvieron diferencias significativas entre la fuerza aplicada entre los 3 períodos de experiencia clínica estudiados. Este resultado no se puede comparar con la literatura, ya que no se han encontrado estudios en los que se tuviera en cuenta la experiencia del profesional y su posible relación con la fuerza aplicada.

Respecto a la fuerza aplicada en función del sexo del profesional no se obtuvieron diferencias significativas. En la literatura no se encontraron estudios en los que se valorará la fuerza aplicada al instrumento rotatorio en función de esta variable.

9.3 Validación de hipótesis:

Respecto a la eficiencia de corte, se valida la hipótesis alternativa 1 que dice que existen diferencias significativas entre la eficiencia de corte sobre zirconia de los cinco tipos de fresa de diamante estudiados utilizando la turbina o el contraángulo durante los 2 primeros minutos de corte aplicando una fuerza de 1,5 o 3N.

Respecto a la longevidad de las fresas, se valida la hipótesis alternativa 2 que dice que existen diferencias significativas en relación a la longevidad de las fresas estudiadas sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo en tres intervalos de tiempo aplicando una fuerza de 1,5 o 3N.

Respecto a la fuerza aplicada, se acepta la hipótesis nula 3 que dice que no existen diferencias significativas entre la fuerza aplicada por el operador, según el grado de experiencia clínica cuando se trabaja sobre zirconia utilizando la turbina o el contraángulo.

9.4 Limitaciones del estudio.

Este estudio, en sus tres partes (eficiencia de corte, longevidad de las fresas y fuerza aplicada por el operador), se ha realizado *in vitro* por lo que las condiciones clínicas del medio oral no se han podido reproducir.

En los Estudio 1 y 2, se utilizó una máquina que demostró ser útil para medir la eficiencia de corte obteniendo unos resultados consistentes, fiables y concordantes con lo esperado después de su utilización con un gran número de fresas, pero el proceso de calibración resultó ser de vital importancia ya que pequeños cambios pudieron influir en los resultados. Estas calibraciones se realizaron cada jornada de uso, pero las jornadas fueron largas, donde se realizaron aproximadamente 80 cortes de media, por lo que la máquina podría no estar igual de calibrada al final de la jornada que al inicio.

Las fotografías que se realizaron con el SEM antes y después del Estudio 2 se tomaron de la misma manera, se realizó una marca en las fresas seleccionadas para poder posicionarlas del mismo modo en el microscopio antes y después de utilizarlas, además, las fotografías se realizaron con los mismos aumentos y con los mismos parámetros del microscopio electrónico, pero los parámetros fotográficos, de brillo, contraste, saturación y nitidez no fueron exactamente los mismo por lo que la comparación de estas fotografías se realizó de manera cualitativa en lugar de cuantitativa.

En el Estudio 3 se utilizaron planchas de zirconia no estabilizadas con itria, que no se utilizan clínicamente, además las condiciones de corte *in vitro* pudieron permitir fuerzas más elevadas de las que se esperaría *in vivo* por diferentes motivos, entre ellos, la mayor comodidad de trabajo fuera de boca, la mayor facilidad de corte de una plancha rectangular en comparación con una prótesis fija de zirconia. También es importante destacar que la precisión requerida por parte del profesional en un estudio *in vitro* no es la misma que la requerida cuando se trabaja clínicamente con pacientes reales y que todo ello podría influir en la fuerza que aplicó el profesional sobre el instrumento rotatorio.

Así mismo, en el Estudio 3 el número de participantes fue de 60, por lo que un número mayor de participantes podría dar más consistencia a los resultados obtenidos. Otra limitación es que solo se distinguió los grupos de experiencia del profesional según los años de experiencia contando como referencia el año de graduación y no se tuvo en cuenta la especialidad de cada profesional.

10. CONCLUSIONES

La fresa más eficiente en el corte sobre zirconia ejerciendo diferentes condiciones de fuerza mediante dos tipos de instrumentos rotatorios es la fresa Zr06. Las fresas más longevas son la Zr06 y la 315SC.

1. Las fresas más eficientes cuando se utiliza el contraángulo para cortar zirconia son la Zr06 y la 315SC. Con la turbina no hay diferencias significativas entre las fresas.
2. Las fresas más eficientes cuando se aplica una fuerza de 3N para cortar zirconia son la Zr06 y la 315SC. Con la fuerza de 1,5N no hay diferencias significativas entre las fresas.
3. Las fresas más longevas cuando se utiliza el contraángulo para cortar zirconia son la Zr06 y la 315SC. Con la turbina no hay diferencias significativas entre las fresas.
4. Las fresas más longevas cuando se aplica una fuerza de 3N para cortar zirconia son la Zr06 y la 315SC. Con la fuerza de 1,5N no hay diferencias significativas entre las fresas.
5. La eficiencia de corte de las fresas es significativamente mayor en el intervalo de 4 minutos. Con la turbina no hay diferencias entre los intervalos de 8 y 12 minutos, sin embargo, sí las hay con el contraángulo.
6. No hay diferencias significativas en la eficiencia de corte ni en la longevidad entre las fresas específicas para zirconia y las convencionales.
7. No hay diferencias significativas entre la fuerza aplicada entre los 3 períodos de experiencia clínica estudiados cuando se utiliza cualquiera de los dos instrumentos rotatorios estudiados, sin embargo, la fuerza aplicada por los profesionales fue significativamente más alta cuando utilizaron el contraángulo.

11. PERSPECTIVAS DE FUTURO

La eficiencia de corte de las fresas de diamante, así como la fuerza aplicada por el operador sobre el instrumento de corte, son factores a tener en cuenta que determinan el tiempo clínico necesario para cortar zirconia, la vida útil de los instrumentos de corte (turbina o contraángulo) y también la longevidad de las fresas utilizadas. Estos factores son de gran importancia para el día a día de una clínica dental, y por ello son temas de gran vigencia. Además, atendiendo a la aparición constante de nuevos materiales y nuevas técnicas de fabricación de prótesis fijas de zirconia, así como las mejoras y perfeccionamiento tanto de los instrumentos de corte como de las propias fresas de diamante, la necesidad de estudios similares es evidente.

Los resultados obtenidos en cuanto a la eficiencia de corte significativamente superior del contraángulo respecto a la turbina en condiciones *in vitro*, nos plantean la posibilidad de realizar estudios *in vivo*.

Otros aspectos a abordar en futuros estudios son:

1. Las diferencias en el aumento de temperatura de la cámara pulpar cuando se corta zirconia sobre dientes en función de si se utiliza la turbina o el contraángulo como instrumento de corte.
2. Las diferencias en la eficiencia de corte sobre zirconia aplicando fuerzas superiores a 1,5 o 3N, como por ejemplo 5N.
3. Comparación estadística entre las averías más frecuentes de turbina y contraángulo cuando se trabaja sobre zirconia tanto con estudios *in-vitro* como *in vivo*.
4. Comparación con el SEM de manera cuantitativa del desgaste de las fresas con diferentes condiciones de fuerza y con diferentes instrumentos rotatorios.
5. Comparación de las fuerzas ejercidas por el profesional para trabajar sobre zirconia según la especialidad del profesional.

12. BIBLIOGRAFIA

1. Oxilia G, Peresani M, Romandini M, et al. Earliest evidence of dental caries manipulation in the Late Upper Palaeolithic. *Sci Rep* 2015;5:12150.
2. Versiani MA, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Pulp pathosis in inlayed teeth of the ancient Mayas: A microcomputed tomography study. *Int Endod J* 2011;44(11):1000–1004.
3. Choi C, Driscoll CF, Romberg E. Comparison of cutting efficiencies between electric and air-turbine dental handpieces. *J Prosthet Dent*. 2010;103(2):101–107.
4. Ring ME, Hurley N. James beall morrison: The visionary who revolutionized the practice of dentistry. *J Am Dent Assoc* 2000;131(8):1161–1167.
5. Campbell SC. Are Friends Electric?: A Review of the Electric Handpiece in Clinical Dental Practice. *Dent Update* 2013;40(3):194–6, 199–200.
6. Dyson JE, Darvell BW. The development of the dental high-speed air turbine handpiece. Part 1. *Aust Dent J* 1993;38(1):49–58.
7. Dyson JE, Darvell BW. The development of the dental high-speed air turbine handpiece. Part 2. *Aust Dent J* 1993;38(2):131–143.
8. Robert Eshleman J, Sarrett DC. How the development of the high-speed turbine handpiece changed the practice of dentistry. *J Am Dent Assoc*. 2013;144(5):474–477.
9. Nelsen RJ, Pelander CE, Kumpula JW. Hydraulic turbine contra-angle handpiece. *J Am Dent Assoc* 1953;47(3):324–329.
10. Poole RL, Lea SC, Dyson JE, Shortall ACC, Walmsley AD. Vibration characteristics of dental high-speed turbines and speed-increasing handpieces. *J Dent* 2008;36(7):488–493.
11. Cardoso M, Coelho A, Lima R, et al. Efficacy and patient's acceptance of alternative methods for caries removal-A systematic review. *J Clin Med*. 2020;9(11):1–28.
12. Paschoal MAB, Belém FV, Clementino LC, Martins PA. Application of lasers in dentistry: a bibliometric study of the top 100 most-cited papers. *Braz Oral Res* 2022;36(7):e104.

13. Sharma N, Sisodia S, Jain A, Bhargava T, Kumar P, Rana KS. Evaluation of the Efficacy of Recent Caries Removal Techniques: An In Vitro Study. *Cureus* 2023;15(1):e34432.
14. Huang YC, Chen YH. Use of long short-term memory for remaining useful life and degradation assessment prediction of dental air turbine handpiece in milling process. *Sensors* 2021;15(7):4978.
15. Pei D dan, Meng Y chen, Fayed AS, You Y fei, Wu Z xiao, Lu Y. Comparison of crown fit and operator preferences between tooth preparation with electric and air-turbine handpieces. *J Prosthet Dent*. 2021;125(1):111–116.
16. Ercoli C, Rotella M, Funkenbusch PD, Russell S, Feng C. In vitro comparison of the cutting efficiency and temperature production of 10 different rotary cutting instruments. Part I: Turbine. *J Prosthet Dent* 2009;101(4):248–261.
17. Lee DH, Cho SA, Lee CH, Lee KB. The Overuse of the Implant Motor: Effect on the Output Torque in Overloading Condition. *Clin Implant Dent Relat Res* 2015;17(3):435–441.
18. Kenyon BJ, Zyl I Van, Louie KG. Comparison of cavity preparation quality using an electric motor handpiece and an air turbine dental handpiece. *J Am Dent Assoc* 2005;136(8):1101–1105.
19. Alomari QD, Barrieshi KM, Al-Awadhi SA. Effect of post length and diameter on remaining dentine thickness in maxillary central and lateral incisors. *Int Endod J* 2011;44(10):956–966.
20. Funkenbusch PD, Rotella M, Chochlidakis K, Ercoli C. Multivariate evaluation of the cutting performance of rotary instruments with electric and air-turbine handpieces. *J Prosthet Dent* 2016;116(4):558–563.
21. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections - An in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 2004;37(6):392–398.

22. Ezzie E, Fleury A, Solomon E, Spears R, He J. Efficacy of retreatment techniques for a resin-based root canal obturation material. *J Endod* 2006;32(4):341–344.
23. Krafft T, Winter W, Wichmann M, Karl M. Applicability of strain measurements on a contra angle handpiece for the determination of alveolar bone quality during dental implant surgery. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40(5).
24. Kaaouara Y, Mohind H Ben, Azaroual MF, Zaoui F, Bahije L, Benyahia H. In vivo enamel stripping: A macroscopic and microscopic analytical study. *Int Orthod* 2019;17(2):235–242.
25. Silva EJNL, Orlowsky NB, Herrera DR, Machado R, Krebs RL, Souza Coutinho-Filho T De. Effectiveness of rotatory and reciprocating movements in root canal filling material removal. *Braz Oral Res* 2015;29(1):1–6.
26. Noguchi I, Suzuki K, Yoshida T, et al. Development of Innovative Contra-angle Handpiece Device with Piston Movement for Root Canal Preparation. *J Endod* 2021;47(4):641–647.
27. Ercoli C, Rotella M, Funkenbusch PD, Russell S, Feng C. In vitro comparison of the cutting efficiency and temperature production of ten different rotary cutting instruments. Part II: Electric handpiece and comparison with turbine. *J Prosthet Dent* 2009;101(5):319–331.
28. Teich ST, Faddoul FF, Al-Rawi W. Students' satisfaction with electrical handpieces in an educational setting. *Eur J Dent Educ*. 2012;16(1):12–16.
29. Geminiani A, Abdel-Azim T, Ercoli C, Feng C, Meirelles L, Massironi D. Influence of oscillating and rotary cutting instruments with electric and turbine handpieces on tooth preparation surfaces. *J Prosthet Dent* 2014;112(1):51–58.
30. Watson TF, Flanagan D, Stone DG. High and low torque handpieces: cutting dynamics, enamel cracking and tooth temperature. *Br Dent J*. 2000;188(12):680–686.

31. Sasaki JI, Imazato S. Autoclave sterilization of dental handpieces: A literature review. *J Prosthodont Res.* 2020;64(3):239–242.
32. Offner D, Brisset L, Musset AM. Evaluation of the mechanical cleaning efficacy of dental handpieces. *Journal of Hospital Infection* 2019;103(1):e73–e80.
33. Büchter A, Kruse-Loesler B. Development of a validated process for manual preparation of dental transmission instruments. *Clin Oral Investig* 2011;15(5):605–608.
34. Röhm-Rodowald E, Jakimiak B, Chojecka A, Zmuda-Baranowska M, Kanclerski K. [Assessment of decontamination processes: cleaning, disinfection and sterilization in dental practice in Poland in the years 2011-2012]. *Przegl Epidemiol* 2012;66(4).
35. Deasy EC, Scott TA, Swan JS, O'Donnell MJ, Coleman DC. Effective cleaning and decontamination of the internal air and water channels, heads and head-gears of multiple contra-angle dental handpieces using an enzymatic detergent and automated washer-disinfection in a dental hospital setting. *J Hosp Infect* 2022;128:80–88.
36. Pinto FMG, Bruna CQ de M, Camargo TC, et al. The practice of disinfection of high-speed handpieces with 70% w/v alcohol: An evaluation. *Am J Infect Control* 2017;45(1):e19–e22.
37. Henry EE, Peyton FA. The Relationship Between Design and Cutting Efficiency of Dental Burs. *J Dent Res* 1954;33(2):281–92
38. Kim JS, Bae JH, Yun MJ, Huh JB. In vitro assessment of cutting efficiency and durability of zirconia removal diamond rotary instruments. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2017;117(6):775–783.
39. Peters OA, Du D, Ho MY, Chu R, Moule A. Assessing the cutting efficiency of different burs on zirconia substrate. *Australian Endodontic Journal* 2019;45(3):289–297.

40. Gonzaga C, Falcão Spina D, Paiva Bertoli F De, Feres R, Franco Fernandes A, Cunha L Da. Cutting efficiency of different diamond burs after repeated cuts and sterilization cycles in autoclave. *Indian Journal of Dental Research* 2019;30(6):915–919.
41. Emir F, Ayyildiz S, Sahin C. What is the changing frequency of diamond burs? *Journal of Advanced Prosthodontics* 2018;10(2):93–100.
42. Nakamura K, Katsuda Y, Ankyu S, et al. Cutting efficiency of diamond burs operated with electric high-speed dental handpiece on zirconia. *Eur J Oral Sci* 2015;123(5):375–380.
43. Allison JR, Edwards DC, Bowes C, et al. The effect of high-speed dental handpiece coolant delivery and design on aerosol and droplet production. *J Dent* 2021;112.103746.
44. Siegel SC, Patel T. Comparison of cutting efficiency with different diamond burs and water flow rates in cutting lithium disilicate glass ceramic. *J Am Dent Assoc* 2016;147(10):792–796.
45. Elias K, Amis AA, Setchell DJ. The magnitude of cutting forces at high speed. *J Prosthet Dent* 2003;89(3):286–91.
46. Funkenbusch PD, Rotella M, Ercoli C. Designed experiment evaluation of key variables affecting the cutting performance of rotary instruments. *J Prosthet Dent* 2015;113(4):336–342.
47. Siegel SC, Fraunhofer JA Von. Assessing the cutting efficiency of dental diamond burs. *Journal of the American Dental Association* 1996;127(6):763–772.
48. Siegel SC, Fraunhofer JA Von. Cutting efficiency of three diamond bur grit sizes. *J Am Dent Assoc* 2000;131(12):1706–1710.
49. Siegel SC, Fraunhofer JA Von. Dental cutting: The historical development of diamond burs. *J Am Dent Assoc* 1998;129(6):740–745.
50. Cristofaro RGR Di, Giner L, Mayoral JR. Comparative study of the cutting efficiency and working life of carbide burs. *J Prosthodont* 2013;22(5):391–396.

51. Rotella M, Ercoli C, Funkenbusch PD, Russell S, Feng C. Performance of single-use and multiuse diamond rotary cutting instruments with turbine and electric handpieces. *J Prosthet Dent* 2014;111(1):56–63.
52. Sharma S, Shankar R, Srinivas K. An epidemiological study on the selection, usage and disposal of dental burs among the dental practitioner's. *J Clin Diagn Res.* 2014;8(1):250–254.
53. Borges CF, Magne P, Pfender E, Heberlein J. Dental diamond burs made with a new technology. *J Prosthet Dent* 1999;82(1):73–79.
54. Yu Y, Zhan Q, Yang T, Teng W. The Influence of Autoclaving on Diamond Burs Fabricated via Different Methods. *Int J Prosthodont* 2021;34(4):451–457.
55. Zhou HM, Li QF, Li L, Zheng ZF. A Ni/surface-modified diamond composite electroplating coating on superelastic NiTi alloy as potential dental bur design. *Mater. Sci. Forum* 2009;610–613:1339–1342.
56. Sethi T, Nayakar R. Cutting Efficiency of Welded Diamond and Vacuum Diffusion Technology Burs and Conventional Electroplated Burs on the Surface Changes of the Teeth - An In vitro Study. *Contemp Clin Dent* 2021;12(3):259–265.
57. Fraunhofer JA Von, Smith TA, Marshall KR. The effect of multiple uses of disposable diamond burs on restoration leakage. *J Am Dent Assoc* 2005;136(1):53–57.
58. Pilcher ES, Tietge JD, Draughn RA. BASIC SCIENCE RESEARCH Comparison of Cutting Rates Among Single-Patient-Use and Multiple-Patient-Use Diamond Burs. *J Prosthodont* 2000;9:66–70.
59. Jackson MJ, Sein H, Ahmed W. Diamond coated dental bur machining of natural and synthetic dental materials. *J Mater Sci Mater Med* 2004;15(12):1323-31.
60. Sivoletta S, Brunello G, Michelon F, Concheri G, Graiff L, Meneghello R. Implantoplasty: Carbide burs vs diamond sonic tips. An in vitro study. *Clin Oral Implants Res* 2021;32(3):324–336.

61. Kheur M, Lakha T, Shaikh S, et al. A Comparative Study on Simulated Chairside Grinding and Polishing of Monolithic Zirconia. *Materials* 2022;15(6). 2202.
62. Divya G, Prasad MG, Vasa AAK, Vasanthi D, Ramanarayanan B, Mynampati P. Evaluation of the efficacy of caries removal using Polymer Bur, Stainless Steel Bur, Carisolv, Papacarie – An invitro comparative study. *J Clin Diagn Res* 2015;9(7):ZC42–ZC46.
63. Taher Agha M, Polenik P. Laser Treatment for Melanin Gingival Pigmentations: A Comparison Study for 3 Laser Wavelengths 2780, 940, and 445 nm. *Int J Dent* 2020;9. 3896386.
64. Dammaschke T, Vesnic A, Schafer E. In vitro comparison of ceramic burs and conventional tungsten carbide bud burs in dentin caries excavation. *Quintessence Int* 2008;39(6):495-499.
65. Khayat W, Chebib N, Finkelman M, Khayat S, Ali A. Effect of grinding and polishing on roughness and strength of zirconia. *J Prosthet Dent* 2018;119(4):626–631.
66. Caglar I, Ates SM, Duymus ZY. The effect of various polishing systems on surface roughness and phase transformation of monolithic zirconia. *J Adv Prosthodont* 2018;10(2):132–137.
67. Gautam C, Joyner J, Gautam A, Rao J, Vajtai R. Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. *Dalton Trans* 2016;45(48):19194–19215.
68. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res* 2018;97(2):140–147.
69. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? *Nature* 1975;258(12):703-704.
70. Angelis F De, Buonvivere M, Sorrentino E, Rondoni GD, D’Arcangelo C. Wear Properties of Conventional and High-Translucent Zirconia-Based Materials. *Materials* 2022;15(20).

71. Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Donovan TE, Cooper LF, Walter R. Fracture rate of monolithic zirconia restorations up to 5 years: A dental laboratory survey. . J Prosthet Dent 2016;116(3):436–439.
72. Zarone F, Mauro MI Di, Ausiello P, Ruggiero G, Sorrentino R. Current status on lithium disilicate and zirconia: A narrative review. BMC Oral Health 2019;19(1):134
73. Ohkuma K, Kazama M, Ogura H. The grinding efficiency by diamond points developed for yttria partially stabilized zirconia. Dent Mater J 2011;30(4):511–516.
74. Keeling FL, Taft RM, Haney SJ. Bur Choice When Removing Zirconia Restorations. J Prosthodont 2023;32(4):347–352.
75. Wang Y, Lam WYH, Luk HWK, Øilo M, Shih K, Botelho MG. The adverse effects of tungsten carbide grinding on the strength of dental zirconia. Dent Mater 2020;36(4):560–569.
76. Schünemann FH, Galárraga-Vinueza ME, Magini R, et al. Zirconia surface modifications for implant dentistry. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl 2019;98:1294–1305.
77. Sarkar D, Swain SK, Adhikari S, Reddy BS, Maiti HS. Synthesis, mechanical properties and bioactivity of nanostructured zirconia. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl 2013;33(6):3413–3417.
78. Monaghan DM, Wilson NHF, Darvell BW. The performance of air-turbine handpieces in general dental practice. Oper Dent 2005;30(1):16-25.
79. Worthington L, Martin' M V. An investigation of the effect of repeated autoclaving on the speed of some dental turbines in general dental practice. J Dent 1998;26(1):75-77
80. Leonard DL, Charlton DG. Performance of high-speed dental handpieces: Subjected to simulated clinical use and sterilization. Journal of the American Dental Association 1999;130(9):1301–1311.
81. Pong ASM, Dyson JE, Darvell BW. Discharge of lubricant from air turbine handpieces. Br Dent J 2005;198(10):637–640.

13. ANEXOS

13.1 Anexo 1: Resultados.

13.1.1 Tabla 1: Resultados Estudio 1

Eficiencia de corte (g / min). Corte de 2 min. CA - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 1)	0,0750	0,0800	0,0700	0,0650	0,0600	0,0700	0,0850	0,0850	0,0800	0,0725
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 2)	0,0900	0,0500	0,0600	0,0750	0,0550	0,0750	0,0800	0,1200	0,0750	0,0850
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 8)	0,0800	0,1050	0,0950	0,0850	0,0750	0,0850	0,0850	0,1150	0,1025	0,0850
4ZR (Komet) (subgrupo 9)	0,0700	0,0500	0,0600	0,0600	0,0600	0,0700	0,0550	0,0600	0,0650	0,0650
6881 (Komet) (subgrupo 10)	0,0700	0,0750	0,0500	0,0650	0,0650	0,0600	0,0700	0,0600	0,0800	0,0600
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 2 min. Turbina Bora L - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 3)	0,0150	0,0100	0,0300	0,0450	0,0150	0,0150	0,0250	0,0350	0,0300	0,0200
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 4)	0,0350	0,0200	0,0150	0,0300	0,0250	0,0100	0,0300	0,0150	0,0250	0,0300
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 5)	0,0200	0,0250	0,0300	0,0350	0,0250	0,0300	0,0350	0,0300	0,0300	0,0400
6881 (Komet) (subgrupo 6)	0,0050	0,0150	0,0200	0,0150	0,0350	0,0350	0,0400	0,0300	0,0300	0,0400
4ZR (Komet) (subgrupo 7)	0,0250	0,0200	0,0100	0,0300	0,0350	0,0350	0,0300	0,0200	0,0250	0,0350
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 2 min. Turbina Bora L - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 11)	0,0550	0,0500	0,0400	0,0450	0,0500	0,0500	0,0300	0,0550	0,0400	0,0450
4ZR (Komet) (subgrupo 12)	0,0600	0,0500	0,0450	0,0400	0,0400	0,0500	0,0550	0,0250	0,0350	0,0400

315SC (Intensiv SA) (subgrupo 13)	0,0350	0,0400	0,0450	0,0450	0,0400	0,0350	0,0300	0,0400	0,0450	0,0450
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 14)	0,0550	0,0450	0,0500	0,0300	0,0350	0,0350	0,0400	0,0300	0,0325	0,0450
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 15)	0,0400	0,0300	0,0500	0,0300	0,0250	0,0300	0,0400	0,0500	0,0600	0,0600
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 2 min. CA - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 16)	0,2100	0,2050	0,1800	0,1700	0,1950	0,2050	0,1550	0,1700	0,1600	0,1750
4ZR (Komet) (subgrupo 17)	0,1600	0,1400	0,2050	0,1650	0,2150	0,2050	0,1900	0,2250	0,1500	0,1400
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 18)	0,1600	0,2000	0,1600	0,2100	0,2550	0,1950	0,2000	0,2300	0,1500	0,2050
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 19)	0,1950	0,3350	0,2550	0,2700	0,2650	0,2450	0,2300	0,2800	0,2200	0,1950
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 20)	0,2650	0,2200	0,2350	0,2300	0,2450	0,2050	0,2600	0,2350	0,1600	0,2400

13.1.2 Tabla 2: Resultados Estudio 2

Eficiencia de corte (g / min). Corte de 4 min. CA - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 1)	0,0750	0,0700	0,0675	0,0700	0,0300	0,0650	0,0775	0,0900	0,0725	0,0725
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 2)	0,0700	0,0550	0,0600	0,0700	0,0550	0,0775	0,0700	0,0875	0,0600	0,0725
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 8)	0,0700	0,0950	0,0825	0,0700	0,0675	0,0775	0,0800	0,0950	0,1025	0,0800
4ZR (Komet) (subgrupo 9)	0,0625	0,0500	0,0575	0,0400	0,0500	0,0650	0,0525	0,0600	0,0525	0,0550
6881 (Komet) (subgrupo 10)	0,0600	0,0600	0,0525	0,0600	0,0500	0,0550	0,0600	0,0550	0,0675	0,0550
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 4 min. Turbina Bora L - 1,5 N										

315SC (Intensiv SA) (subgrupo 3)	0,0125	0,0125	0,0150	0,0375	0,0150	0,0175	0,0250	0,0275	0,0250	0,0150
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 4)	0,0275	0,0200	0,0200	0,0250	0,0225	0,0075	0,0175	0,0175	0,0225	0,0225
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 5)	0,0225	0,0200	0,0225	0,0275	0,0275	0,0250	0,0375	0,0275	0,0100	0,0325
6881 (Komet) (subgrupo 6)	0,0050	0,0200	0,0200	0,0225	0,0275	0,0300	0,0250	0,0275	0,0100	0,0325
4ZR (Komet) (subgrupo 7)	0,0225	0,0150	0,0100	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300	0,0200	0,0225	0,0300
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 4 min. Turbina Bora L - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 11)	0,0475	0,0400	0,0375	0,0450	0,0475	0,0575	0,0250	0,0475	0,0425	0,0425
4ZR (Komet) (subgrupo 12)	0,0525	0,0375	0,0350	0,0350	0,0400	0,0375	0,0425	0,0225	0,0275	0,0275
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 13)	0,0275	0,0400	0,0350	0,0375	0,0375	0,0250	0,0300	0,0075	0,0425	0,0425
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 14)	0,0500	0,0425	0,0250	0,0300	0,0350	0,0325	0,0375	0,0250	0,0325	0,0375
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 15)	0,0350	0,0350	0,0325	0,0225	0,0225	0,0250	0,0350	0,0500	0,0500	0,0475
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 4 min. CA - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 16)	0,2000	0,1950	0,1450	0,1675	0,1925	0,1900	0,1325	0,1575	0,1375	0,1625
4ZR (Komet) (subgrupo 17)	0,1575	0,1125	0,1875	0,1575	0,1925	0,2000	0,1650	0,1975	0,1300	0,1375
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 18)	0,1550	0,1800	0,1600	0,2075	0,2275	0,1775	0,1950	0,1950	0,1425	0,1875
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 19)	0,1925	0,2900	0,2225	0,2575	0,2050	0,2300	0,1750	0,2425	0,2050	0,1925
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 20)	0,2350	0,2125	0,2125	0,2150	0,2075	0,2000	0,2375	0,2250	0,1525	0,2200

Eficiencia de corte (g / min). Corte de 8 min. CA - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 1)	0,0425	0,0425	0,0700	0,0575	0,0500	0,0525	0,0600	0,0725	0,0550	0,0550
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 2)	0,0475	0,0500	0,0425	0,0600	0,0475	0,0675	0,0625	0,0625	0,0425	0,0450
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 8)	0,0475	0,0850	0,0675	0,0600	0,0475	0,0675	0,0600	0,0625	0,0450	0,0500
4ZR (Komet) (subgrupo 9)	0,0450	0,0475	0,0475	0,0250	0,0425	0,0375	0,0375	0,0500	0,0450	0,0500
6881 (Komet) (subgrupo 10)	0,0500	0,0575	0,0400	0,0425	0,0425	0,0450	0,0400	0,0475	0,0450	0,0500
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 8 min. Turbina Bora L - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 3)	0,0075	0,0075	0,0100	0,0250	0,0150	0,0075	0,0100	0,0150	0,0075	0,0125
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 4)	0,0250	0,0125	0,0175	0,0175	0,0100	0,0025	0,0075	0,0075	0,0125	0,0175
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 5)	0,0100	0,0100	0,0175	0,0175	0,0225	0,0225	0,0225	0,0175	0,0175	0,0175
6881 (Komet) (subgrupo 6)	0,0050	0,0075	0,0125	0,0200	0,0250	0,0275	0,0275	0,0175	0,0175	0,0175
4ZR (Komet) (subgrupo 7)	0,0175	0,0075	0,0150	0,0225	0,0200	0,0175	0,0300	0,0175	0,0175	0,0300
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 8 min. Turbina Bora L - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 11)	0,0375	0,0150	0,0325	0,0300	0,0425	0,0300	0,0300	0,0425	0,0275	0,0350
4ZR (Komet) (subgrupo 12)	0,0250	0,0100	0,0150	0,0225	0,0300	0,0275	0,0375	0,0100	0,0125	0,0175
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 13)	0,0150	0,0225	0,0325	0,0225	0,0250	0,0200	0,0250	0,0225	0,0350	0,0350
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 14)	0,0250	0,0175	0,0225	0,0225	0,0325	0,0300	0,0350	0,0150	0,0200	0,0350

Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 15)	0,0350	0,0250	0,0150	0,0225	0,0125	0,0300	0,0350	0,0200	0,0275	0,0200
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 8 min. CA - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 16)	0,1125	0,1725	0,1300	0,1625	0,1925	0,1825	0,1025	0,1650	0,1200	0,1225
4ZR (Komet) (subgrupo 17)	0,1425	0,0700	0,1275	0,1325	0,1675	0,1575	0,1625	0,1750	0,1225	0,1325
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 18)	0,1525	0,1475	0,1750	0,1875	0,1775	0,1550	0,1825	0,1500	0,1250	0,1550
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 19)	0,1950	0,2100	0,1675	0,1725	0,1375	0,1750	0,1700	0,1950	0,1375	0,1950
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 20)	0,2100	0,2050	0,1625	0,1800	0,1500	0,1550	0,1975	0,2050	0,1500	0,2100
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 12 min. CA - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 1)	0,0325	0,0400	0,0600	0,0550	0,0450	0,0500	0,0850	0,0475	0,0475	0,0375
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 2)	0,0400	0,0550	0,0450	0,0450	0,0475	0,0750	0,0625	0,0675	0,0400	0,0450
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 8)	0,0350	0,0700	0,0450	0,0625	0,0450	0,0475	0,0550	0,0650	0,0375	0,0325
4ZR (Komet) (subgrupo 9)	0,0350	0,0425	0,0450	0,0250	0,0400	0,0350	0,0275	0,0425	0,0425	0,0425
6881 (Komet) (subgrupo 10)	0,0575	0,0575	0,0450	0,0450	0,0375	0,0450	0,0400	0,0450	0,0450	0,0475
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 12 min. Turbina Bora L - 1,5 N										
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 3)	0,0050	0,0050	0,0125	0,0300	0,0125	0,0100	0,0050	0,0150	0,0075	0,0075
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 4)	0,0200	0,0075	0,0100	0,0125	0,0125	0,0025	0,0050	0,0050	0,0075	0,0150
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 5)	0,0050	0,0075	0,0150	0,0175	0,0175	0,0100	0,0275	0,0150	0,0175	0,0175

6881 (Komet) (subgrupo 6)	0,0125	0,0125	0,0125	0,0125	0,0300	0,0225	0,0175	0,0150	0,0175	0,0150
4ZR (Komet) (subgrupo 7)	0,0225	0,0050	0,0125	0,0175	0,0250	0,0225	0,0200	0,0125	0,0150	0,0300
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 12 min. Turbina Bora L - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 11)	0,0275	0,0175	0,0225	0,0275	0,0400	0,0275	0,0275	0,0150	0,0225	0,0200
4ZR (Komet) (subgrupo 12)	0,0250	0,0075	0,0125	0,0200	0,0225	0,0250	0,0250	0,0050	0,0125	0,0125
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 13)	0,0150	0,0250	0,0225	0,0200	0,0175	0,0150	0,0075	0,0100	0,0225	0,0275
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 14)	0,0225	0,0125	0,0175	0,0250	0,0250	0,0200	0,0200	0,0100	0,0125	0,0200
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 15)	0,0275	0,0175	0,0075	0,0150	0,0075	0,0175	0,0175	0,0125	0,0250	0,0125
Eficiencia de corte (g / min). Corte de 12 min. CA - 3 N										
6881 (Komet) (subgrupo 16)	0,1350	0,1350	0,1150	0,1675	0,1875	0,1675	0,0925	0,1300	0,1050	0,1225
4ZR (Komet) (subgrupo 17)	0,1425	0,0100	0,1000	0,1450	0,0000	0,1650	0,1375	0,1675	0,1225	0,1325
Zr02 (Intensiv SA) (subgrupo 18)	0,1325	0,1175	0,1475	0,1300	0,1750	0,1400	0,1725	0,1125	0,1350	0,1500
Zr06 (Intensiv SA) (subgrupo 19)	0,1975	0,1975	0,1425	0,1575	0,2000	0,1550	0,1500	0,1750	0,1375	0,1975
315SC (Intensiv SA) (subgrupo 20)	0,2125	0,1825	0,1625	0,1775	0,1025	0,2150	0,1575	0,1625	0,1375	0,1800

13.1.3 Tabla 3: Resultados Estudio 3

Fuerza del profesional	Experiencia del profesional	Sexo	Instrumento de corte	Eficiencia de corte
1,7	>10 años	Hombre	Turbina	0,08
3,2	>10 años	Hombre	Turbina	0,07

2,9	>10 años	Hombre	Turbina	0,08
2,8	>10 años	Hombre	Turbina	0,09
2,8	>10 años	Hombre	Turbina	0,10
2,3	>10 años	Mujer	Turbina	0,08
2,1	>10 años	Hombre	Turbina	0,04
1,0	>10 años	Mujer	Turbina	0,06
1,9	>10 años	Mujer	Turbina	0,06
2,7	>10 años	Hombre	Turbina	0,06
1,8	>10 años	Mujer	Turbina	0,06
2,2	>10 años	Hombre	Turbina	0,10
1,7	>10 años	Mujer	Turbina	0,06
1,8	>10 años	Mujer	Turbina	0,06
1,6	>10 años	Hombre	Turbina	0,07
1,7	>10 años	Mujer	Turbina	0,03
3,0	>10 años	Hombre	Turbina	0,10
1,3	>10 años	Mujer	Turbina	0,07
1,7	>10 años	Mujer	Turbina	0,04
2,8	>10 años	Hombre	Turbina	0,06
4,8	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,19
6,7	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,16
6,4	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,24
4,8	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,25
11,6	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,29
8,1	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,22
3,1	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,13
7,4	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,09

7,9	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,09
6,5	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,10
6,1	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,06
5,6	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,17
6,6	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,20
6,7	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,17
5,4	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,27
7,0	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,09
9,7	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,29
6,4	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,25
6,8	>10 años	Mujer	Contra ángulo	0,27
5,9	>10 años	Hombre	Contra ángulo	0,15
1,8	<10 años	Mujer	Turbina	0,08
2,3	<10 años	Mujer	Turbina	0,08
2,5	<10 años	Hombre	Turbina	0,10
1,5	<10 años	Mujer	Turbina	0,05
2,5	<10 años	Mujer	Turbina	0,07
2,1	<10 años	Mujer	Turbina	0,07
1,9	<10 años	Mujer	Turbina	0,07
1,6	<10 años	Hombre	Turbina	0,05
2,4	<10 años	Hombre	Turbina	0,07
1,5	<10 años	Mujer	Turbina	0,04
2,0	<10 años	Hombre	Turbina	0,05
3,0	<10 años	Mujer	Turbina	0,06
2,8	<10 años	Mujer	Turbina	0,09
1,4	<10 años	Mujer	Turbina	0,10

3,1	<10 años	Mujer	Turbina	0,10
1,6	<10 años	Mujer	Turbina	0,07
1,1	<10 años	Mujer	Turbina	0,05
3,0	<10 años	Hombre	Turbina	0,11
1,8	<10 años	Mujer	Turbina	0,11
1,8	<10 años	Mujer	Turbina	0,04
5,6	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,19
4,9	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,20
5,0	<10 años	Hombre	Contra ángulo	0,21
6,6	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,16
7,1	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,11
6,4	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,15
5,3	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,15
7,6	<10 años	Hombre	Contra ángulo	0,10
6,0	<10 años	Hombre	Contra ángulo	0,18
6,7	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,06
8,0	<10 años	Hombre	Contra ángulo	0,21
7,1	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,26
5,3	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,22
7,1	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,20
7,3	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,16
8,7	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,19
12,4	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,05
8,1	<10 años	Hombre	Contra ángulo	0,26
5,9	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,17
6,4	<10 años	Mujer	Contra ángulo	0,14

3,4	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,12
1,5	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,09
2,4	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,11
3,5	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,05
2,2	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,07
2,8	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,08
2,9	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,10
1,6	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,07
2,2	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,12
1,7	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,07
1,8	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,06
2,2	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,07
1,6	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,10
2,7	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,10
1,7	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,06
2,2	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,06
1,8	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,04
2,3	4 o 5 ° Curso	Mujer	Turbina	0,08
1,4	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,04
1,9	4 o 5 ° Curso	Hombre	Turbina	0,05
7,2	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,12
9,2	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,12
6,0	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,13
6,8	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,14
10,9	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,21
7,6	4 o 5 ° Curso	Mujer	Contra ángulo	0,17

8,6	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,18
5,7	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,13
8,4	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,21
6,6	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,15
6,2	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,17
11,9	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,20
11,3	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,21
9,8	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,20
6,1	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,22
9,1	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,18
9,3	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,11
4,4	4 o 5 º Curso	Mujer	Contra ángulo	0,11
10,0	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,10
9,6	4 o 5 º Curso	Hombre	Contra ángulo	0,17