



Revisión de alcance sobre el manejo de los residuos del fresado de zirconia

Autores:

Lizeth Daniela Arboleda Estrella y María de los Ángeles García Moreno

Manejo de los residuos del fresado de zirconia

Directores:

Iván Felipe Restrepo Salas y Claudia Patricia Sánchez Arteaga

Grupo de investigación

BEO

Línea de investigación

Propiedades físicas, mecánicas y biológicas de los biomateriales

Facultad de salud

Tecnología en mecánica dental

**Universidad Santiago de Cali
Santiago de Cali - Colombia**

2025

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecer a Dios y nuestros padres por hacer posible este sueño y brindarnos la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera que poco a poco nos deja muchas enseñanzas tanto en lo académico como en lo personal, por ejemplo, superarnos, creer en nuestras aptitudes y capacidades, hacer sacrificios y valorar todo lo que tenemos. A la universidad Santiago de Cali por darnos la oportunidad de estudiar y disfrutar este lindo proceso. A nuestros tutores la Dra. Claudia Patricia Sánchez Arteaga y al Dr. Iván Felipe Restrepo que realizan su rol con excelencia, por brindarnos su conocimiento, su apoyo y ayudarnos en todo el proceso para llevar a cabo nuestro trabajo de grado y así culminar nuestra etapa final de este lindo proceso.

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a Dios por darnos la fortaleza para llegar hasta aquí. A nuestros padres por sus sacrificios y motivarnos a seguir adelante, a nuestros profesores por su paciencia y por inspirarnos a dar lo mejor de nosotros. A nuestros amigos por brindarnos su compañía. Finalmente, a nosotras mismas por nuestro esfuerzo y dedicación durante todo este proceso.

CONTENIDO

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO GENERAL	12
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
PREGUNTA DE REVISIÓN	12
MÉTODO	12
FUENTES DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	13
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA.....	13
CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD.....	13
GESTIÓN DE DATOS	14
CONDICIÓN	15
POBLACIÓN.....	15
INTERVENCIÓN	15
COMPARADOR	15
RESULTADOS	17
CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

REVISIÓN DE ALCANCE EVALUATIVA SOBRE EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DEL FRESADO DE ZIRCONIA

RESUMEN

Los residuos del polvo del fresado de la zirconia cada día se incrementan debido al crecimiento en el desarrollo de la tecnología que se llevan a cabo en diferentes laboratorios dentales a nivel mundial, lo cual sugiere una necesidad de darle un uso a esos residuos en su correcta reutilización. El impacto tanto económico como ambiental que genera los desechos de la zirconia es muy influyente ya que podría disminuir la cantidad de zirconia que termina en los vertederos, los laboratorios podrían ahorrar en la reutilización del polvo del fresado de zirconia que representa una oportunidad significativa para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la industria dental. El propósito general de este proyecto es identificar, analizar e informar lo que se considera como un residuo, convertirlo en un recurso valioso, promoviendo así la optimización de un nuevo material sostenible y eficiente. Este enfoque no solo beneficia el medio ambiente y a la economía de los laboratorios, sino también impulsa a la innovación y concientización en toda la industria dental.

Palabras claves:

Reutilización, zirconia, reciclaje, fresado y polvo de zirconia.

INTRODUCCIÓN

La zirconia dental es un material utilizado en odontología en forma de dióxido de zirconio para la elaboración de prótesis y restauraciones, como coronas, puentes e implantes. La zirconia es un material totalmente biocompatible con el organismo, o sea, antialérgico, ya que al no llevar metal (níquel, cromo o cobalto), evitamos el riesgo de alergias en personas predispuestas (Torres, 2017). El químico alemán Martin Heinrich Klaproth fue quien descubrió el zirconio al analizar una piedra de circón en 1789, aunque él no logró aislar el metal puro. Fue entonces que el sueco Jons Jakob Berzelius consiguió aislar el zirconio en forma impura mediante la reducción del fluoruro de zirconio con potasio en el año 1824 (OIEA, 2024). El zirconio comenzó a utilizarse en el ámbito médico en la década de 1970 como material para reemplazos de cadera. En odontología, su aplicación inició en la década de 1990 con su uso en postes para conductos radiculares y pilares protésicos. Posteriormente, su empleo se expandió hacia la fabricación de prótesis parciales fijas e implantoportadas (Zhang, 2019). Con la evolución del zirconio en la industria de la odontología al identificar y utilizar correctamente los estabilizadores con itrio, fue completamente exitoso al permitir su uso aprobado.

Existen diferentes tipos de zirconia utilizados en odontología que varían según su composición, translucidez, resistencia y aplicaciones clínicas, una de las clasificaciones de zirconia dental es de acuerdo a su contenido de estabilizador de itrio principalmente, que son componentes esenciales que permiten mantener fases cúbicas o tetragonales del zirconio posterior al sinterizado sin sufrir fracturas ni

cambios dimensionales, una mayor cantidad molar de estabilizador brindará propiedades físicas como la translucidez que es inversamente proporcional a sus propiedades mecánicas. Se debe agregar un mínimo de 3% molar de estabilizador de itrio para mantener el material estable a temperatura ambiente; esta variedad se describe como zirconia 3Y o 3Y-TZP.

La zirconia con menor contenido de itrio 3Y-TZP tiene mejores propiedades mecánicas y menos translucidez, mientras que un mayor contenido de itrio 5Y-TZP tiene mayor translucidez, pero presenta propiedades mecánicas inferiores. Sin embargo, sigue siendo más resistente que el disilicato de litio. Son 4 generaciones de zirconio:

- 1ª generación (3Y-TZP/0.25 Al₂O₃) alta resistencia, baja translucidez.
- 2ª generación (3Y-TZP/0.05 Al₂O₃) alta resistencia, baja translucidez.
- 3ª generación (5Y-TZP/0.05 Al₂O₃) mayor translucidez, resistencia reducida.
- 4ª generación (4Y-TZP/0.05 Al₂O₃) equilibrio entre resistencia y estética.

La 3ª y 4ª generación de zirconia son las más usadas por su resistencia y estética (Zhang Y. &, 2018) (Sulaiman, 2020).

El proceso asistido CAD/CAM (Diseño y manufactura asistidos por computadora) para la fabricación de restauraciones dentales de zirconio implica varias etapas:

1. Se realiza el escaneo de la boca del paciente con un escáner intraoral o de la manera convencional con el vaciado en yeso, si se realiza de la manera convencional se debe hacer un escaneo al modelo de yeso

para pasarlo al programa y posterior a esto diseñar la restauración requerida en el software CAD.

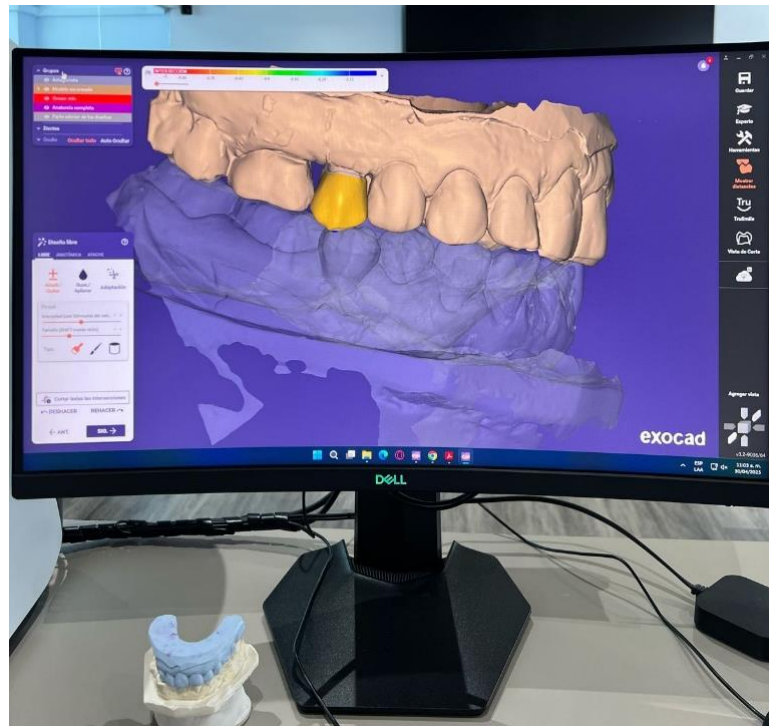


Fuente: <https://www.eurodent.com.co/producto/primescan/>

Escaneo intraoral



Fuente: propia. Escaneo de modelo en yeso



Fuente: propia. Software CAD/CAM.

2. Fresado: Una maquina talla la restauración en un bloque o disco de zirconio pre-sinterizado. En este punto el grosor del disco varía dependiendo de la restauración a fabricar, por ejemplo: 10-14mm: coronas unitarias. 16-22mm: puentes de varios elementos. 25-30mm: estructuras grandes o implantes.



Fuente: propia. Maquina fresadora.



Fuente: propia. Disco de zirconio previamente tallado.

3. Sinterización: el zirconio se lleva al horno a 1.400-1.600 °C para alcanzar su dureza.
4. Estratificado o maquillado: Una vez sinterizada la restauración, según la indicación del odontólogo, se realiza la estratificación cerámica y glaseado o si fue técnica de maquillaje, solamente se pigmenta y glasea la restauración por medio de cocciones en el horno.



Fuente: <https://dentalnader.com/2023/04/27/consejos-para-la-aplicacion-de-la-tecnica-de-estratificacion/>

El proceso de fresado descrito anteriormente corresponde al fresado en seco, y es la manera correcta de trabajarlo, ya que durante el mecanizado libera partículas en forma de polvo fino. Si se realiza el fresado en húmedo, este polvo se mezcla con el líquido refrigerante, formando una pasta que puede adherirse a las herramientas de corte y a los componentes de la fresadora, afectando su funcionamiento y reduciendo su vida útil. Además, esta mezcla puede ser abrasiva y dañina para el sistema de aspiración y los mecanismos internos del equipo. Como conclusión si tu laboratorio o clínica maneja principalmente el zirconio, el fresado en seco es la mejor opción. Si trabajas con otro tipo de material de cerámica como disilicato de litio, el fresado en húmedo dará resultados más óptimos.

OBJETIVO GENERAL

Identificar técnicas para la reutilización de los residuos del fresado de zirconia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar una forma eficiente y simple de reutilizar los residuos de zirconia para fabricar nuevos bloques, sin comprometer sus propiedades mecánicas y físicas.
- Analizar métodos eficientes y seguros para el reaprovechamiento del polvo del fresado de zirconia en la fabricación de nuevos materiales.
- Concientizar sobre los procesos de reutilización económicamente viables.

PREGUNTA DE REVISIÓN

¿Cuáles son las técnicas adecuadas para la reutilización de los residuos del fresado de zirconia?

MÉTODO

La presente investigación de revisión de alcance utiliza como método hallar las pruebas publicadas más significativas sobre “el manejo de los residuos del fresado de zirconia”. Este enfoque se distingue de otros tipos de revisiones sistemáticas en que no selecciona ni descarta estudios basándose en sus metodologías de

investigación utilizando las palabras claves reutilización, zirconia, reciclaje. En plataformas de búsqueda como Google académico, Scielo, Mendeley.

FUENTES DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Las principales fuentes de búsqueda para la información obtenida, fue en internet utilizando bases de datos como Mendeley, Scielo, Google académico y nuestra biblioteca virtual de la universidad Santiago. Empleando palabras claves en inglés como reuse of zirconium, zirconium milling waste, y palabras en español como reutilización de zirconia, impacto de la zirconia en el medio ambiente, reciclaje, polvo de zirconia.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Debido a que existe poca información se tuvo que recurrir a investigar y consultar en diferentes páginas y libros con respecto a la reutilización del fresado de zirconia, fueron indispensables buscar primero los procesos básicos del fresado, al igual que conocer un poco más acerca del elemento químico de metal Zirconio, para así poder llegar a la correcta reutilización.

CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

El criterio al momento de elegir la información sobre el manejo de los residuos del fresado de zirconia de uso odontológico fue emplear una rejilla dentro de la investigación, en la cual se indagaron artículos de diferentes temas sobre la

contaminación ambiental que generan los residuos utilizados en los laboratorios dentales, entre ellos se excluyeron artículos que hacen énfasis a residuos materiales como yesos, materiales de impresión, acrílicos entre otros. Por consiguiente, los artículos que se incluyeron en nuestro tema son los que hablan sobre el impacto ambiental que generan los residuos de zirconia y su manejo correcto para una nueva reutilización.

GESTIÓN DE DATOS

Se elaboró una matriz de búsqueda que recopila información relevante sobre cada artículo consultado referente para el trabajo de grado. Esta matriz incluye el enlace, título, tema, nombre de la revista, base de datos, autores, palabras clave y año de publicación. En algunos casos, no fue posible obtener todos los datos mencionados; sin embargo, se hizo el mayor esfuerzo por extraer la información más relevante de cada artículo.

DATOS DE IDENTIFICACION										AUTORIA			
#	REFERENCIA VANCOUVER	TITULO	AÑO	BASE DE DATOS	TOPICO DE BUSQUEDA	BUSCADO UTILIZADO	PALABRAS CLAVE	RESUMEN DEL ARTICULO	Url artículo (directa o similar) al texto completo	NOMBRE DE LA REVISTA	AUTORES APELLIDO Y NOMBRE	PAIS	UNIVERSIDAD
1	Alqutabi AV, Ghulam O, Kraem M, Binomshawi S, Taha M, Elmally W, et al. Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review. <i>Malaculor</i> . 2022 Mar 4;27(5):16-99.	Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review	2022	scopus	zirconia*don tal*restriccion	Google Académica	translucent; manolithic; zirconia; seing; cementation; transformation toughening	The aim of this article is to comprehensively review the revolution of dental zirconia (Zir), including its types, properties, applications, and cementation procedures. A comprehensive	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25243300/	MDPI Journals	Ahmed Yaron Alqutabi, Omar Ghulam, Majid Kraem, Sahal Binomshawi, Hazan Taha, Wasil Elmally and Muhammed Sahal Zafar	Saudi Arabia	Taibah
2	Nisut Juntavee, Apa Juntavee, Thiradi Phattarasapkechai. Biscial Flexural Strength of Different Manolithic Zirconia upon Part-Sintering Process. <i>European Journal of Dentistry</i> . 2022 Jan 15;16(03):595-99.	Biscial Flexural Strength of Different Manolithic Zirconia upon Part-Sintering Process	2022	scopus	zirconia*print orizado	Google Académica	flexural strength, glazing, heat treatment, polishing, part-sintering, process, zirconia	Objective: Different part-sintering processes are expected to be a reason for alteration in the strength of zirconia. This study evaluated the effect of part-sintering	http://www.thieme.com/ebooks/download.aspx?doi=10.1055/s-0041-1735937		Nisut Juntavee, Apa Juntavee, Thiradi Phattarasapkechai	Tailandia	Khan Kaen
3	Biolon V, Inakachi M, Munk J, Zhang F, Vanmaneeol K, Minakuchi S, et al. Bonding Effectiveness to Differently Sintered Dental Zirconia. <i>The Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials</i> . 2015 Jun 1; [Cited 2023 Apr 22];17(3):235-42. Available from: http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26114165/	Bonding Effectiveness to Differently Sintered Dental Zirconia	2015	scopus	zirconia*print orizado	Google Académica	strength, tribomechanical zirconia sintering, zirconia, compaction, cement, seing	Purpose: To evaluate the effect of different mechanical pre-treatments on the bond durability to dental zirconia. Materials and Methods: Fully sintered IPS e.max ZirCAD (Voclar Vivadent) blocks were	http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26114165/		Vincent Biolon, Marianne Inakachi, Jui Du, Munk J, Fui Zhang, F Kim, Vanmaneeol K, Shunroku Minakuchi, J Jassir Mouqabir Iqbal, Nasir Hussain, Hossain	Bélgica	Louvain
4	Effect of part-sintering heat treatment on flexural strength of zirconia for dental applications. <i>ProQuest (Eureka)</i> . https://www.proquest.com/10142024144193 . Available from: http://www.proquest.com/openview/93d491544005c9c6b709d3e297ca244d17947e47/1-10142024144193	Effect of part-sintering heat treatment on flexural strength of zirconia for dental applications	2016	scopus	zirconia*tratamiento	Google Académica	zirconia	Purpose: the purpose of this study was to evaluate the effect of sintering heat treatment on flexural strength and reliability of 3Y-TZP, sintered at various temperatures.	http://www.proquest.com/openview/93d491544005c9c6b709d3e297ca244d17947e47/1-10142024144193	Insus Research Online	Isabella L. Doney, Therie Superville, Julio A. Halluay Deberah V. Dauren,	USA	Insus
5	Andrés D, Franco F, Alfaro D, Atahualpa V, Ortúzar M, Saavedra D, et al. Tratamiento de superficie en restauraciones de zirconia para hacerlas más confiables y adherir. Reporte de un caso clínico: zirconia esmaltada o esmalte de superficie. <i>Revista de la Asociación Colombiana de Odontología</i> . 2022;36(1):1-6. Available from: https://www.elsevier.com/locate/S0034714022000011	Superficie treatment in zirconia restorations to make their adhesion more reliable. Report of a clinical case: zirconia surface treatment	2022	scopus	zirconia*tratamiento	Google Académica	Zirconia, Adhesión, Tratamiento de Superficie, Silena, Fuerza de Adhesión.	This 2 case report describes the best way to establish a chemical bond between zirconia (Y-TZP) and a resin cement. Researchers have found that an etching	https://www.elsevier.com/locate/S0034714022000011		Diego Andrés Fernández Franco, David Alfaro Velasco, Atahualpa, María Ortúzar Díaz Saavedra, Marcela Carolina Calderón	Ecuador	Universidad Central del Ecuador

Fuente: Elaboración propia, Tabla de Extracción de Artículos Científicos

CONDICIÓN

Desinformación por parte de los laboratorios dentales al no reciclar o reutilizar de manera correcta el polvo de zirconia resultante después del fresado.

POBLACIÓN

Artículos científicos acerca del óxido de zirconio, zirconia dental, reutilización del polvo de fresado de zirconia.

INTERVENCIÓN

No hay una intervención ya que se va a realizar un estudio de revisión literaria.

COMPARADOR

Durante la investigación se encontraron dos artículos que presentan distintos procesos para aprovechar de manera eficiente los residuos de zirconia. Ambos estudios demuestran que es posible reutilizar el material previamente empleado sin comprometer su calidad, ofreciendo soluciones viables y sostenibles para la industria. El artículo titulado como **“Fabricación de prótesis dentales y discos a partir de polvo reciclado de zirconio estabilizado (Noreña, 2020)”**, habla sobre la fabricación de discos de zirconio combinando polvo reciclado y comercial mediante prensado isostático en frío, aplicando alta presión uniforme. Para ello, los residuos de mecanizado se tamizan y trituran hasta alcanzar un tamaño adecuado,

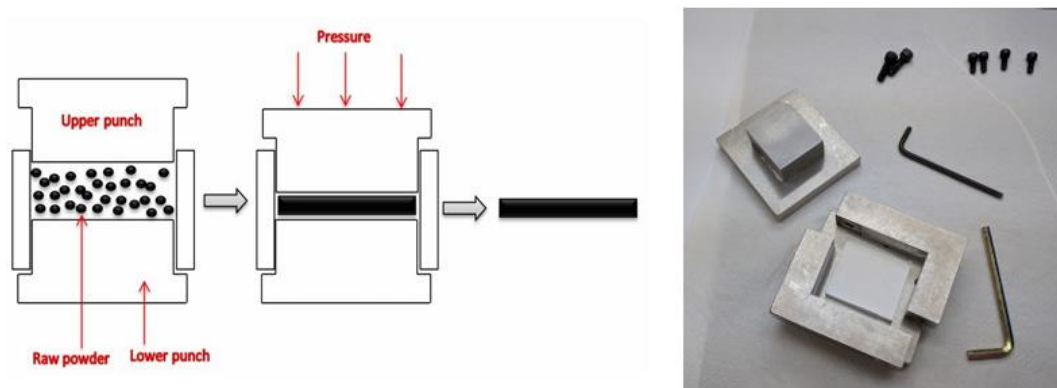
luego se mezclan en distintos porcentajes y se compactan en un molde elastomérico. Los discos se sinterizan a 1500°C, obteniendo piezas de 17 mm de diámetro y 2 mm de espesor, evaluadas en pruebas mecánicas para validar su uso en odontología.

El segundo estudio **“Una solución simple para reciclar y reutilizar bloques de zirconia dental CAD/CAM a partir de sus residuos”** propone un método para reciclar residuos de zirconia generados durante la fabricación dental. El proceso consiste en pulverizar los residuos, tamizarlos y someterlos a un tratamiento con ácido nítrico al 0,5 M. Posteriormente, los polvos se compactan en seco y se pre-sinterizan a temperaturas entre 950 °C y 1000 °C. Los resultados indican que el zirconia reciclado mantiene propiedades mecánicas y estructurales similares a las del material original, destacando una resistencia a la flexión de 897 MPa en comparación con los 904 MPa del control. Este método ofrece una vía eficiente para reutilizar residuos de zirconia en aplicaciones dentales (Ding, 2020). Ambos estudios buscan reciclar residuos de zirconia dental, pero se utilizan métodos diferentes, en el primer estudio se enfoca en la combinación de zirconia reciclada y comercial mediante prensado isostático en frío, logrando piezas compactas y resistentes. En cambio, el otro estudio propone un tratamiento químico para reutilizar únicamente zirconia reciclada, obteniendo propiedades mecánicas similares al material original sin necesidad de prensado isostático. Se decidió utilizar el segundo estudio, ya que proporciona un procedimiento más detallado sobre cómo reutilizar la zirconia. Seguidamente, se explicará este proceso en profundidad.

RESULTADOS

Tras una exhaustiva búsqueda en diversas bases de datos académicas, se encontró muy poca información sobre el tema principal de este proyecto. Sin embargo, debido a la falta de datos específicos y la escasez de estudios previos, se llevó a cabo una investigación minuciosa hasta localizar el artículo completo necesario para el desarrollo del proyecto y se encontró en **ResearchGate**, plataforma en la cual, autores suben sus propios trabajos, lo que facilita el acceso a publicaciones científicas, artículo encontrado que se titula como **“Una solución sencilla para reciclar y reutilizar bloques de zirconio CAD/CAM dentales a partir de sus residuos”**, dicho documento explora un método para reciclar y reutilizar bloques de zirconia dental utilizados en procesos CAD/CAM. A través de las imágenes incluidas a continuación, ilustran diferentes fases del proceso de reciclaje, desde el tratamiento previo del material hasta la sinterización y el análisis de las propiedades finales.

1. Figura 1: Proceso de prensado en seco y molde desmontable



Fuente: (Ding, 2020)

Explicación: La imagen muestra el proceso inicial de reciclaje de la zirconia. A la izquierda, se observa el proceso de prensado en seco, donde el polvo reciclado se compacta en un molde de acero inoxidable (visible a la derecha). Este molde es desmontable, lo que permite extraer con facilidad la muestra prensada antes de continuar con el proceso de sinterización.

Sinterización previa: Se someten a un calentamiento controlado a diferentes temperaturas (800 °C - 1100 °C) para eliminar impurezas y aglomerar partículas.

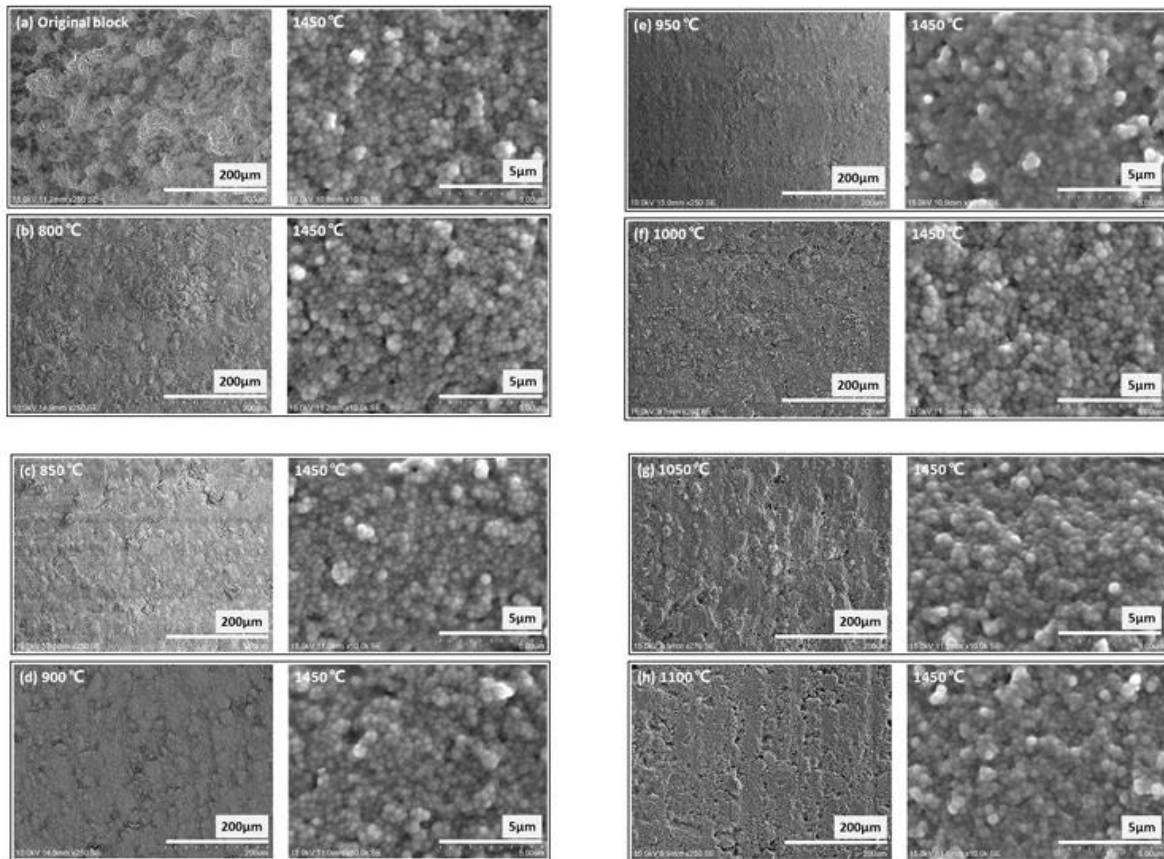
Formación de nuevos bloques: El polvo tratado se compacta en moldes y se vuelve a sinterizar a altas temperaturas (hasta 1450 °C) para formar bloques sólidos listos para su reutilización.

Análisis de las propiedades finales de la zirconia reciclado

Resultados obtenidos:

- Los bloques reciclados tienen composición química y estructura cristalina similares a los bloques originales.
- Las propiedades mecánicas, como dureza y resistencia a la flexión, son prácticamente equivalentes a las de la zirconia nueva.
- Se observó que la temperatura de sinterización influye en la distribución de partículas y la densidad del material, siendo 950 °C y 1000 °C las más adecuadas para el reciclaje.

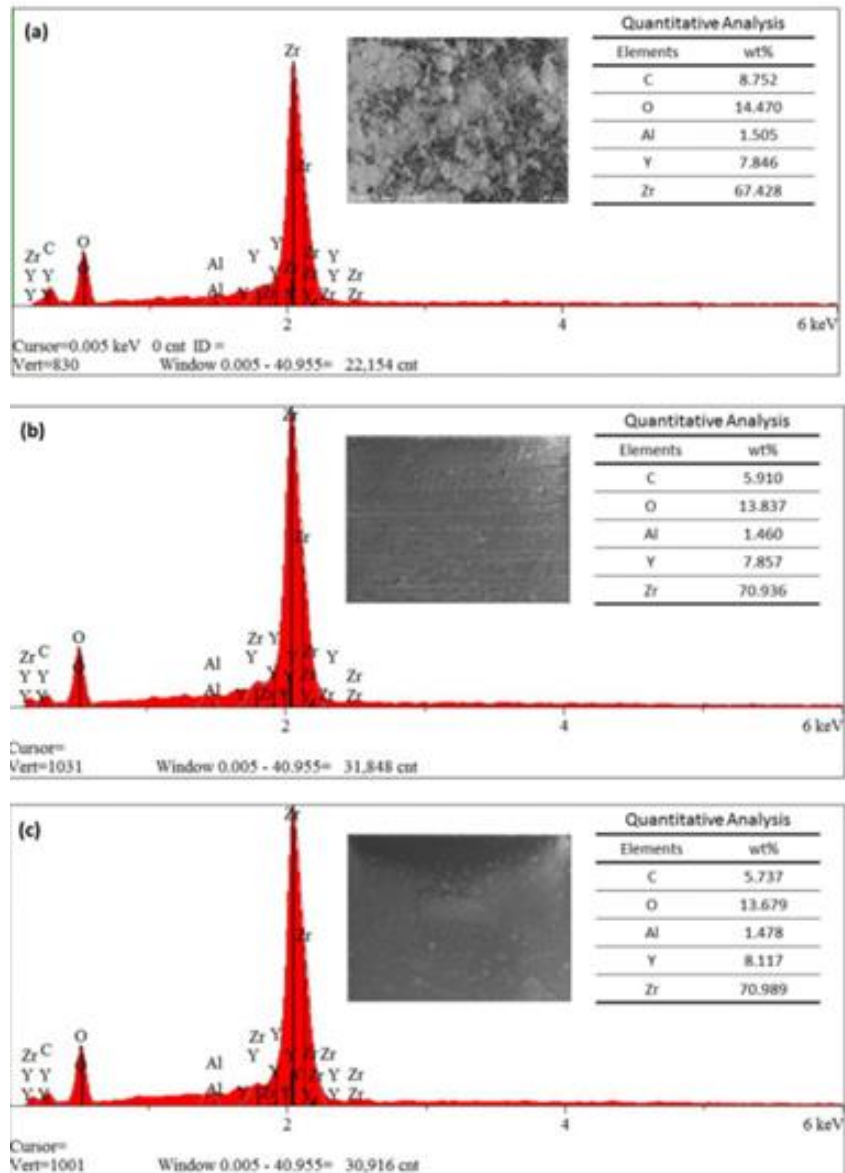
2. Figura 4: Microestructura superficial del zirconia reciclada



Fuente: (Ding, 2020)

Explicación: Se presentan imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM) que muestran la morfología superficial de los bloques de zirconia reciclada tras ser sinterizados a diferentes temperaturas (800°C a 1100°C). Se observa que, a temperaturas más bajas, la superficie es más áspera y las partículas no están distribuidas uniformemente. Conforme la temperatura aumenta, la distribución mejora y la superficie se vuelve más lisa, indicando una mejor sinterización.

3. Figura 6: Análisis de composición química por espectroscopia de rayos X (EDX)

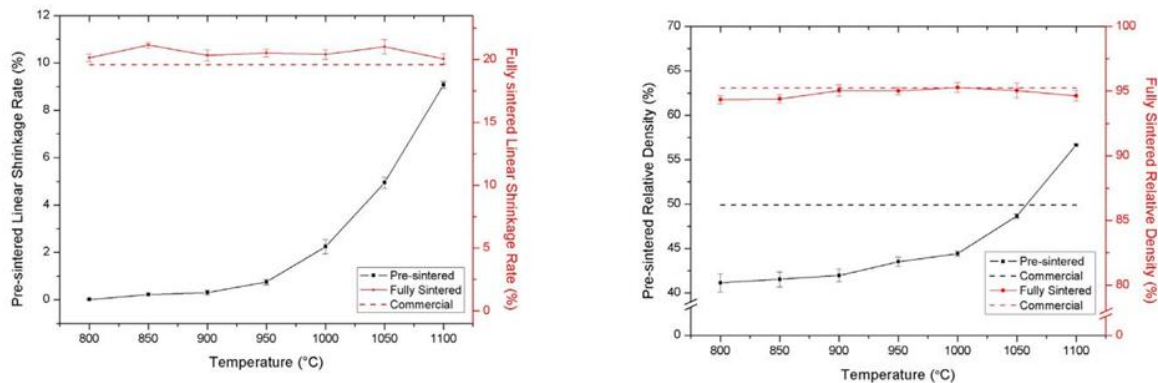


Fuente: (Ding, 2020)

Explicación: Esta imagen muestra los resultados del análisis EDX, comparando la composición química de tres muestras: polvo de zirconia reciclada, un bloque pre-sinterizado a 950°C y un bloque de control sin reciclar. Se evidencia que la zirconia

reciclada conserva una composición química similar a la original, lo que sugiere que el proceso de reciclaje no altera significativamente la composición del material.

4. Figura 7: Tasa de contracción lineal en bloques de zirconia reciclada



Fuente: (Ding, 2020)

La imagen presenta un gráfico con curvas de contracción lineal para diferentes muestras.

Gráfico de la izquierda: Contracción lineal antes y después de la sinterización

- Eje X (horizontal): Temperatura de pre-sinterización (°C), variando entre 800 y 1100 °C.
- Eje Y izquierdo (negro): Tasa de contracción lineal antes de la sinterización final (%).
- Eje Y derecho (rojo): Tasa de contracción lineal después de la sinterización final (%).

Curvas:

- La línea negra representa la contracción antes de la sinterización final y muestra un aumento con la temperatura de pre-sinterización hasta alrededor de 950-1000 °C, estabilizándose posteriormente.

- La línea roja indica la contracción después de la sinterización final, manteniéndose relativamente constante en todo el rango de temperaturas de pre-sinterización.

Interpretación: La contracción lineal antes de la sinterización final aumenta con la temperatura de pre-sinterización hasta cierto punto (950-1000 °C), lo que sugiere una mayor densificación del material. Después de la sinterización final, la contracción se estabiliza, indicando que el material ha alcanzado una densidad cercana a la del material original.

Gráfico de la derecha: Densidad relativa antes y después de la sinterización

- Eje X (horizontal): Temperatura de pre-sinterización (°C), en el mismo rango de 800 a 1100 °C.
- Eje Y izquierdo (negro): Densidad relativa antes de la sinterización final (%).
- Eje Y derecho (rojo): Densidad relativa después de la sinterización final (%).

Curvas:

- La línea negra muestra que la densidad relativa antes de la sinterización final aumenta con la temperatura de pre-sinterización, alcanzando valores más altos alrededor de 950-1000 °C.
- La línea roja indica que la densidad relativa después de la sinterización final se mantiene alta y constante, cercana al 100%, en todo el rango de temperaturas de pre-sinterización.

Interpretación: La densidad relativa antes de la sinterización final mejora con temperaturas de pre-sinterización más altas hasta 950-1000 °C, lo que sugiere una mejor compactación del material reciclado. Después de la sinterización final, la densidad relativa es consistentemente alta, indicando que el proceso de reciclaje produce un material con propiedades densas similares al original.

Los gráficos demuestran que pre-sinterizar el polvo de zirconia reciclado a temperaturas entre 950 y 1000 °C optimiza la contracción y la densidad del material, lo que sugiere que el reciclaje es una alternativa viable para reducir el desperdicio de material en la industria dental. Además, el análisis confirma que el reciclaje no introduce defectos significativos en la zirconia, manteniendo su resistencia y estructura, lo que significa que pueden reutilizarse sin afectar su rendimiento. Pues esto ofrece una solución ecológica y económica para reducir el desperdicio en la industria dental. (Ding, 2020).

En los laboratorios dentales, la gestión de residuos es un aspecto fundamental, ya que se generan desechos de diversos materiales, entre ellos el polvo de la zirconia resultante del proceso de fresado. Dado el impacto ambiental que implica su eliminación, es crucial considerar estrategias que contribuyan a una gestión más sostenible de estos residuos. En este sentido, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 12, enfocado en la “Producción y Consumo Responsables”, siendo una de sus metas principales reducir la generación de desechos mediante la prevención, reducción, reciclado y reutilización, entre otros factores que al implementar esta estrategia basada en el ODS número 12, los laboratorios dentales no solo contribuirían a la reducción de residuos, sino que también mejorarían la eficiencia en el uso de materiales y promoverían una odontología más sustentable y alineada con los principios del desarrollo sostenible.

Tradicionalmente, estos desechos han sido descartados sin un aprovechamiento adicional. Sin embargo, con el aumento de la conciencia ambiental y la necesidad

de optimizar el uso de los recursos, la industria dental ha comenzado a investigar nuevas formas de reutilizar este material, evitando así su desperdicio.

La recuperación del polvo de fresado de la zirconia podría cambiar significativamente la manera en que los laboratorios y clínicas gestionan sus residuos. Además, esta práctica no solo reduciría el impacto ambiental, sino que también impulsaría el desarrollo de nuevas aplicaciones en el campo de los materiales dentales. Como resultado, se lograría darles un segundo uso a esos residuos y así promover una práctica más sostenible en el sector.

CONCLUSIONES

- En conclusión, a partir del análisis de dicho artículo realizado a lo largo del proyecto, se afirma que es posible reciclar la zirconia utilizada en odontología sin afectar su calidad. Esto ofrece una alternativa sostenible y rentable para reducir residuos en la industria dental, mejorando la eficiencia del uso de materiales y minimizando costos (Ding, 2020).
- Otro enfoque titulado como Nuevas perspectivas para el reciclaje de residuos de zirconio dental resultantes del proceso de fabricación CAD/CAM nos habla que esos residuos pueden ser recolectados, tratados térmicamente y reutilizados como materia prima para la industria joyera, de pigmentos y refractaria (Gouveia, 2017).
- Existen muy pocas empresas o industrias que reutilizan el zirconio, sin embargo, actualmente la empresa llamada CHEMOURS es capaz de utilizar este material para poder crear baldosas, materiales refractarios o inclusive ayudar a la herrería producida por ellos mismos (Chemours).
- Por otro lado, este artículo va más enfocado al medio ambiente que se titula "Biorremediación asistida por microbios y plantas de ambientes contaminados con metales pesados" nos habla acerca de la biorremediación microbiana y asistida por plantas de ambientes contaminados por metales pesados, que consiste en utilizar organismos vivos como bacterias hongos y plantas para la degradación rápida de estos metales que se pueden acumular en los suelos agrícolas y entrar a la cadena alimentaria, lo que puede provocar cáncer al consumir alimentos contaminados. (Ojuederie, 2017)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reis LAM. Recycling and melting process of the zirconium alloy chips. Brazilian Journal of Radiation Sciences [Internet]. 2019 Feb 19; 7(2A). Available from: <https://www.mendeley.com/catalogue/d3abd8c8-910d-3297-8055-0c2bf990bde0/>
2. Recicla.me [Internet]. Recicla.me. 2024 [cited 2024 Oct 8]. Available from: https://www.recicla.me/site/ficha_residuo.aspx?ID=126
3. Vestal BK, Travis J, Albert A, Bruffey S, McFarlane J, Collins ED, et al. A novel protocol to recycle zirconium from zirconium alloy cladding from used nuclear fuel rods. Journal of Nuclear Materials [Internet]. 2023 Feb 14 [cited 2024 Oct 8] Available from: <https://www.mendeley.com/catalogue/310a4d59-41fe-3605-b7f2-b3984d60e8a9/>
4. RECICLAGEM DE SUCATA DE ZIRCÔNIO | J2 Metals [Internet]. J2 Metals Brasil. 2019 [cited 2024 Oct 8]. Available from: <https://www.j2metals.com.br/es/reciclagem-de-zirconio>
5. Google Académico [Internet]. Google.es. 2024 [cited 2024 Oct 8]. Available from: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=reciclaje+polvo+de+zirconio+&oq=#d=gs_qabs&t=1728356638596&u=%23p%3DRpH86O0VQmAJ
6. Sachkov VI, Nefedov RA, Medvedev RO, Amelichkin IV, Sachkova AS, Shcherbakov PS, et al. Zircon Concentrate Enrichment by Dry Magnetic Separation and Centrifugal Air Separation. Minerals [Internet]. 2023 Mar 1

[cited 2024 Apr 1];13(3):397. Available from: <https://www.mdpi.com/2075-163X/13/3/397>

7. Reyes-Santias F, Casal B, Cantareron D, Blazquez C, Figueiras A, Pascual M. ¿INFLUYE LA MOVILIDAD SOCIAL EN EL ESTADO DE SALUD? UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA (*) [Internet]. [cited 2024 Oct 8]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8248246.pdf>
8. Briffa J, Sinagra E, Blundell R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. Heliyon 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020315346>
9. Pabón SE, Benítez R, Sarria RA, Gallo JA, Pabón SE, Benítez R, et al. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. Entre Ciencia e Ingeniería [Internet]. 2020 Jun 1;14(27):918 Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009
10. Nistor, L., Grădinaru, M., Rîcă, R., Mărașescu, P., Stan, M., Manolea, H., Ionescu, A., & Moraru, I. (2019). Zirconia use in dentistry – manufacturing and properties. Current Health Sciences Journal, 45(1), 28–35. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov.translate.google/articles/PMC6592671/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=rq#

11. Torres M. ¿Sabes qué es el circonio y por qué se utiliza en odontología? [Internet]. Dental Galindo. 2017 [citado el 21 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.dentalgalindo.com/blog/sabes-que-es-el-zirconio-y-por-que-se-utiliza-en-odontologia/>
12. Researchgate.net. [citado el 21 de marzo de 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344638867_A_simple_solution_to_recycle_and_reuse_dental_CADCAM_zirconia_block_from_its_waste_residuals
13. Chemours.com. [citado el 18 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://www.chemours.com/es/brands-and-products/chemours-minerals/products/zircon-sands>
14. Biocerámica Zirconia. (2020, octubre). Fabricación de prótesis dentales y estructuras en zirconia. Blogspot.com <https://bioceramicazirconia.blogspot.com/2020/10/fabricacion-de-protesis-dentales-y.html>
- 15.1. Arya NR, Gupta R, Weber DKK. Zirconia Biomaterials. StatPearls [Internet]. 2023 [citado el 30 de marzo de 2025];1–5. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/e7a56e3b-ea81-36ec-bc20-6cabd1df6405/>
16. Santillán-Guerra AM, Ticona-Orellana VM, Escuza-González SR, Delgado-Castillo SM, Huamán-Laredo WI, Atoche-Socola KJ, et al. Las PROPIEDADES ÓPTICAS Y MECÁNICAS DEL ZIRCONIO TRANSLÚCIDO COMO MATERIAL RESTAURADOR ÓPTIMO EN

- PRÓTESIS FIJA UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA. Rev Cient Odontol [Internet]. 2022;10(3):e121. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21142/2523-2754-1003-2022-121>
17. Burgos T, Julio C. SISTEMA DE MAQUINADO DE ÚLTIMA GENERACIÓN (CAD CAM). AUNAR; 2015. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/643>
18. Singh R, Kumar R, Tiwari S, Vishwakarma S, Kakkar S, Rajora V, et al. Sobre el reciclaje secundario de filamento de HDPE reforzado con ZrO₂, preparado a partir de residuos domésticos, para la posible impresión 3D de rodamientos. J Thermoplast Compos Mater [Internet]. 2021 [citado el 3 de abril de 2025];34(9):1254–72. Disponible en: <https://www.mendeley.com/catalogue/6e9dcaa7-5b4d-3e6d-b049-a3ecae45f0e0/>
19. Burgos T, Julio C. SISTEMA DE MAQUINADO DE ÚLTIMA GENERACIÓN (CAD CAM). AUNAR; 2015. <http://repositorio.aunar.edu.co:8080/xmlui/handle/20.500.12276/643>
20. Rosales AM, Hernández GET, Goez MCA, Morales MAE. LA TÉCNICA CAD CAM EN LABORATORIO DENTAL [Internet]. Educa.co. [citado el 3 de abril de 2025]. Disponible en: <https://repositorio.usc.edu.co/server/api/core/bitstreams/0f516537-295d-4213-afa6-066f18623899/content>
21. Alqutaibi AY, Ghulam O, Krsoum M, Binmahmoud S, Taher H, Elmalky W, et al. Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review.

Molecules. 2022 Mar 4;27(5):1699.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35268800/>

22. Niwut Juntavee, Apa Juntavee, Thipradi Phattharasophachai. Biaxial Flexural Strength of Different Monolithic Zirconia upon Post-Sintering Processes. European Journal of Dentistry. 2022 Jan 11;16(03):585–93.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35016234/>

23. Bielen V, Inokoshi M, Munck JD, Zhang F, Vanmeensel K, Minakuchi S, et al. Bonding Effectiveness to Differently Sandblasted Dental Zirconia. The Journal of Adhesive Dentistry [Internet]. 2015 Jun 1 [cited 2023 Apr 22];17(3):235–42. Available from:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26114165/>

24. Effect of post- processing heat treatment on flexural strength of zirconia for dental applications - ProQuest [Internet]. www.proquest.com. [cited 2024 Mar 19]. Available from:

<https://www.proquest.com/openview/934d9b54a005c9c6b705de8e297ca344/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>

25. Andrés D, Franco F, Alfonso D, Atahualpa V, Cristina M, Segovia D, et al. Tratamiento de superficie en restauraciones de zirconia para hacer más confiable su adhesión. Reporte de dos casos clínicos: seguimiento a corto plazo Surface treatment in zirconia restorations to make their adhesion more reliable. Report of two clinical cases: short-term follow-up Odontología 24(1) (2022): e3579 Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial. Available from:

<https://cdn.fsbx.com/v/t59.2708->

[21/306215918_589382082917453_2497625668213402612_n.pdf/18562.pdf?nc_cat=104&ccb=1-7&nc_sid=0cab14&nc_ohc=6zaWToL-Q_0AX-LLIJU&nc_ht=cdn.fbsbx.com&oh=03_AVI6llf7vno736eZNe-wdD9ePb9YOfqE7lwTF1LwFOY7Ng&oe=63220B2C&dl=1](https://www.researchgate.net/publication/328115918_589382082917453_2497625668213402612_n.pdf/18562.pdf?nc_cat=104&ccb=1-7&nc_sid=0cab14&nc_ohc=6zaWToL-Q_0AX-LLIJU&nc_ht=cdn.fbsbx.com&oh=03_AVI6llf7vno736eZNe-wdD9ePb9YOfqE7lwTF1LwFOY7Ng&oe=63220B2C&dl=1)

26. Fabiane Carneiro Lopes, Regina Guenka Palma-Dibb, Livia Bueno Campi, Roselino RB, Érica Alves Gomes, Volni Augusto Canevese, et al. Surface topography and bond strength of CAD–CAM milled zirconia ceramic luted onto human dentin: effect of surface treatments before and after sintering. *Applied Adhesion Science*. 2018 Dec 1;6(1). <https://appliedadhesionscience.springeropen.com/articles/10.1186/s40563-018-0110-7>
27. ansen JU, Lümke mann N, Letz I, Pfefferle R, Sener B, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019 Oct;122(4):396–403. [https://www.thejpd.org/article/S0022-3913\(19\)30149-0/abstract](https://www.thejpd.org/article/S0022-3913(19)30149-0/abstract)
28. Nonaka K, Mitsuji Teramae, Pezzotti G. Evaluation of the Effect of High-Speed Sintering and Specimen Thickness on the Properties of 5 mol% Yttria-Stabilized Dental Zirconia Sintered Bodies. *Materials*. 2022 Aug 18;15(16):5685–5. https://www.mdpi.com/1996-1944/15/16/5685?type=check_update&version=2
29. Echeverri DM, Garzón H. Cementation of structures for zirconia-based fixed partial dentures. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2013; 24(2): 321-335.

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-246X2013000100011&script=sci_arttext

30. Echeverri DM, Garzón H. Cementation of structures for zirconia-based fixed partial dentures. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 2013; 24(2): 321-335.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-246X2013000100011&script=sci_arttext
31. Carvalho CF, Freitas RX, Melo-Silva CL, Melo-Silva TCF, Machado-Santos L, Lins JFC. Effect of surface treatment of yttria-stabilized zirconia. *Dental Materials*. 2011 Jan;27:e59.
https://www.researchgate.net/publication/271961994_Effect_of_Surface_Treatment_of_Yttria_Stabilized_Zirconia_for_Dental_Prostheses
32. STURZ CRC, FABER FJ, SCHEER M, ROTHAMEL D, NEUGEBAUER J. Effects of various chair-side surface treatment methods on dental restorative materials with respect to contact angles and surface roughness. *Dental Materials Journal*. 2015;34(6):796–813.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/dmj/34/6/34_2014-098/_pdf
33. Niwut Juntavee, Apa Juntavee, Thipradi Phattharasophachai. Fracture toughness of different monolithic zirconia upon post-sintering processes. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*. 2021 Jan 1;e1006–14.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34667496/>
34. Alao AR, Stoll R, Song XF, Miyazaki T, Hotta Y, Shibata Y, et al. Surface quality of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal in CAD/CAM milling, sintering, polishing and sandblasting processes. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* [Internet]. 2017 Jan 1 [cited 2023 May

10];65:102–16.

Available

from:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616116302818?via%3Dihub>

35. FISCHER J, GROHMANN P, STAWARCZYK B. Effect of Zirconia Surface Treatments on the Shear Strength of Zirconia/Veneering Ceramic Composites. *Dental Materials Journal*. 2008;27(3):448–54.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18717175/>
36. Patil A, D. Davidson Jebaseelan. 3-D Surface Morphological Characterization of CAD/CAM Milled Dental Zirconia: An In Vitro Study of the Effect of Post-Fabrication Processes. *Materials*. 2022 Jul 4;15(13):4685–5.
<https://www.mdpi.com/1996-1944/15/13/4685>
37. Casucci A, Osorio E, Osorio R, Monticelli F, Toledano M, Mazzitelli C, et al. Influence of different surface treatments on surface zirconia frameworks. *Journal of Dentistry*. 2009 Nov;37(11):891–7.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19616882/>
38. Subaşı MG, In An Ö. Evaluation of the topographical surface changes and rough
https://www.researchgate.net/publication/350944504_Surface_Roughness_Assessment_of_the_Sandblasted_and_Acid-Etched_Zirconia_Ceramic
39. Gouveia, P. F., Souza, J. C. M., Schabbach, L. M., Henríquez, B., & Mesquita-Guimarães, J. (2017). New perspectives for recycling waste zirconia powder from CAD/CAM processing. *Journal of Cleaner Production*, 149, 482–489.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617305619>