



Facultad de
Odontología
UNIVERSIDAD DE
LA REPÚBLICA



Escuela de Graduados
Facultad de Odontología



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

ZIRCONIA DENTAL: Revisión de los protocolos actuales para su fijación adhesiva

Dra. Maria Clara Rodriguez Dohir

Tutor: Dr. Guillermo Grazioli

**Carrera de Especialización en
Odontología Restauradora Integral**

Escuela de Graduados - Facultad de Odontología
Universidad de la República

Uruguay, año 2023

SUMARIO

- 1. INTRODUCCIÓN**
- 2. OBJETIVOS**
 - 2.1. GENERAL**
 - 2.2. ESPECÍFICOS**
- 3. DISEÑO METODOLÓGICO**
 - 3.1. SENTIDO ÉTICO**
 - 3.2. METODOLOGÍA**
 - 3.3. RESULTADOS**
- 4. DESARROLLO**
 - 4.1. ODONTOLOGÍA RESTAURADORA, GENERALIDADES**
 - 4.2. RESTAURACIONES DENTALES DIRECTAS**
 - 4.3. RESTAURACIONES DENTALES INDIRECTAS**
 - 4.4. MATERIALES RESTAURADORES INDIRECTOS**
 - 4.4.1. ALEACIONES METÁLICAS
 - 4.4.2. RESINAS COMPUESTAS INDIRECTAS
 - 4.4.3. CERÁMICAS
 - 4.4.3.1. ZIRCONIA
 - 4.5. CEMENTADO CONVENCIONAL Y FIJACIÓN ADHESIVA**
- 5. DISCUSIÓN**
 - 5.1. LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE INTERNA**
 - 5.2. TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE INTERNA**
 - 5.2.1. MICRO MECÁNICO
 - 5.2.2. QUÍMICO
 - 5.3. AGENTES DE FIJACIÓN**
- 6. CONCLUSIONES**
- 7. REFERENCIAS**
- 8. AGRADECIMIENTOS**

GLOSARIO

ZrO₂: dióxido de circonio

Y-TZP: policristal de circonio tetragonal estabilizado con itrio

CAD-CAM: *computed aided design/computed aided manufacturing* (en español diseño asistido por ordenador - fabricación asistida por ordenador)

Zr: zirconio

H₂O: agua

H₂O₂: agua oxigenada

Al₂O₃: óxido de aluminio

10-MDP: 10-metacriloxidecilfosfato dihidrogenado

TBS: recubrimiento triboquímico de sílice

SE: energía superficial

GCSD: *glass-ceramic spray deposition* (en español deposición de vitrocerámica pulverizada)

HF: ácido fluorhídrico

γ-MPTS: monómero de silano con funcionalidad metacrilato

BMP: fosfato de ácido bis 2-metacriloxietilo

4-META: anhídrido 4-metacriloxietil trimelítico

PMGDM: dimetracrilato de glicerol piromelítico

Fenil-P: hidrogenofosfato de 2-metacriloxietilfenilo

Penta-P: monofosfato de pentaacrilato de dipentaeritritol

RESUMEN

Objetivo: Revisar el estado del arte sobre las diferentes estrategias de adhesión a la zirconia dental descritas en la literatura, así como los agentes adhesivos y técnicas disponibles en la práctica clínica actual.

Material y métodos: Se realizó una búsqueda sistemática en PubMed y BVS-Odontología, involucrando el concepto de adhesión a zirconia, complementándose con una búsqueda manual. Los estudios seleccionados para la revisión cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión aplicados.

Resultados: De 355 artículos encontrados, 30 se incluyeron en esta revisión.

Conclusiones: La evidencia disponible sugiere que no existe un consenso en cuanto al protocolo adhesivo ideal en restauraciones de zirconia. La mayoría de los estudios analizados coinciden en realizar una limpieza de la superficie luego de la prueba de la restauración en boca, para luego combinar pretratamientos mecánico de arenado y químico con imprimadores que contengan 10-MDP a la superficie de zirconia, previo a su fijación adhesiva con agentes de fijación resinosos.

Palabras clave: zirconium- therapeutic use, dental bonding, dental restoration-permanent, dental adhesives, cementation, y sus correspondientes denominaciones en idioma español.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a la evolución de los materiales y los requerimientos de los tratamientos dentales, las restauraciones de cerámica libres de metal se han convertido en los materiales de elección, por sobre los materiales ceramo-metálicos. La superioridad estética, la biocompatibilidad y las ventajas funcionales de dichas restauraciones, han ampliado la gama de indicaciones clínicas.

Los materiales cerámicos se dividen por su microestructura y composición en dos clases principales: a base de sílice (incluyen a la cerámica feldespática, leucita y disilicato de litio), y a base de óxidos metálicos (alúmina y zirconia). (1)

La zirconia dental, también conocida como dióxido de circonio (ZrO_2), es un material cerámico altamente resistente y biocompatible, que ha ganado mucha popularidad dentro de la odontología restauradora actual, debido a sus propiedades mecánicas y estéticas superiores. Estas características hacen que la zirconia sea uno de los materiales restauradores actuales de elección en la fabricación de restauraciones dentales, ampliando las aplicaciones clínicas y la gama de indicaciones para las restauraciones cerámicas libres de metal, desde la restauración de un solo diente hasta las rehabilitaciones implantosoportadas de toda la boca. (2)

Sin embargo, lograr una adhesión efectiva, confiable y duradera entre las restauraciones de zirconia y las superficies dentales naturales presenta desafíos, debido a la composición y estructura del mencionado material cerámico. La naturaleza de la superficie de zirconia, que presenta una baja energía superficial y falta de grupos reactivos, hace que la adhesión directa a este material sea un reto.

La zirconia, es un material polimórfico que presenta tres formas dependientes de la temperatura que son: 1) monoclinica (de temperatura ambiente a $1.170\text{ }^{\circ}\text{C}$) con un comportamiento mecánico reducido que contribuye a una disminuida cohesión de las partículas cerámicas y por lo tanto de la densidad; 2) tetragonal ($1.170\text{-}2.370\text{ }^{\circ}\text{C}$) que permite una cerámica con propiedades mecánicas mejoradas y 3) cúbica ($2.370\text{ }^{\circ}\text{C}$ al punto de fusión) con propiedades mecánicas moderadas. (3) La aleación de zirconia pura con óxidos estabilizadores como el magnesio, cerio, itrio y calcio, permite la retención de la estructura tetragonal a temperatura ambiente, lo cual favorece la aparición de un fenómeno llamado endurecimiento por transformación.

Durante este fenómeno, la zirconia tetragonal estabilizada, en respuesta a estímulos mecánicos, como estrés tensional, se transforma a su fase monoclinica más estable con un incremento local en volumen de aproximadamente 4%. El control de la tensión inducida por dicha transformación, detiene de manera eficiente la propagación de grietas y conduce a una alta tenacidad. (4) Este proceso de transformación es el que confiere a la zirconia su fuerza y resistencia.

De los tipos de cerámicas con base en zirconia de uso odontológico a la fecha (cerámicas de alúmina reforzadas con zirconia, policristal de circonio tetragonal estabilizado con itrio (Y-TZP), y zirconia parcialmente estabilizada con magnesio), el Y-TZP es la forma más utilizada en odontología por su alta resistencia flexural de 900 a 1.200 MPa. (5)

Mientras las cerámicas tradicionales se componen principalmente de una matriz vítrea y una fase cristalina de relleno, los materiales cerámicos de alta resistencia como la alúmina y la zirconia, son primariamente cristalinos, lo cual los hace químicamente más estables y no fácilmente hidrolizables, por lo tanto no son vulnerables al protocolo de grabado con ácido fluorhídrico y silanización para generar rugosidad y activación química de la superficie, como se hace normalmente en las cerámicas a base de sílice. (6) Por esto las restauraciones con estructuras en zirconia fueron inicialmente cementadas de forma convencional; sin embargo, existen investigaciones más actuales que se han centrado en encontrar mecanismos que sin afectar su estructura y propiedades, hagan de la zirconia una superficie más propicia para una fijación adhesiva y de esta forma obtener los beneficios de la mejor retención, mayor resistencia a la microfiltración y mejor resistencia a la fractura y fatiga de la restauración, que se le atribuyen a la fijación adhesiva. Se han desarrollado diferentes estrategias y técnicas para mejorar la adhesión a la zirconia dental. Estas incluyen tratamientos de superficie, sistemas adhesivos específicos para zirconia y el uso de agentes de unión química y mecánica. El objetivo principal de estas técnicas es promover una interacción fuerte y duradera entre la superficie de zirconia y el adhesivo dental, proporcionando una unión resistente y estable.

La comprensión de los principios fundamentales de la adhesión a la zirconia es esencial para el éxito clínico y la longevidad de las restauraciones realizadas en dicho material dental.

2. OBJETIVOS

El objetivo de esta monografía es revisar las diferentes estrategias de adhesión a la zirconia dental descritas en la literatura, así como los agentes adhesivos y técnicas disponibles en la práctica clínica actual.

Se explorarán los principios fundamentales de la adhesión a la zirconia, incluyendo la estructura y composición química de este material. Se discutirá la importancia de la preparación de la superficie de zirconia y los métodos utilizados para mejorar la adhesión.

2.1. GENERAL

- Revisar en la literatura disponible, las diferentes estrategias adhesivas para la fijación indirecta de restauraciones dentales de zirconia a la estructura dental.

2.2. ESPECÍFICOS

- Explorar los principios fundamentales de la adhesión a la zirconia, incluyendo la estructura y composición química de este material.
- Indagar en la importancia de la preparación de la superficie de la zirconia y los diferentes métodos utilizados actualmente para lograrla.
- Analizar la influencia de los agentes adhesivos y cementos utilizados en las técnicas de adhesión a zirconia.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Para cumplir con los objetivos propuestos, se realizó una revisión de la literatura a través de la consulta a diferentes bases de datos; Medline y BVS-Odontología, involucrando el concepto de adhesión a zirconia.

A continuación se mencionan los criterios éticos en los cuales se inspiró la creación de la monografía y se describe la metodología empleada en la búsqueda bibliográfica, así como los resultados obtenidos.

3.1. SENTIDO ÉTICO

Es finalidad del presente trabajo monográfico, intentar contribuir con la ciencia, en específico con la Facultad de Odontología de la Universidad de la República. Se procura responder a la interrogante planteada. Para ello se realiza una extensa, profunda e inclusiva búsqueda de información al respecto. Todo ello valiéndose de rigor científico, honestidad y objetividad en la información hallada, realizando un detallado análisis crítico de lo hasta el momento publicado. Los hallazgos y opiniones, han sido incluidos teniendo en cuenta los mismos principios éticos. Se considera que de dicho análisis se extraerán herramientas para que el profesional odontólogo que acceda a esta monografía, mejore el desarrollo de su práctica clínica en lo que respecta a la rehabilitación oral de sus pacientes mediante la utilización de materiales a base de zirconia.

3.2. METODOLOGÍA

La monografía realizada es de tipo descriptiva narrativa. En su elaboración se consultaron las siguientes bases de datos:

- Medline
- BVS-Odontología

Se utilizaron los siguientes descriptores Mesh en idioma inglés: “zirconium”, “therapeutic use”, “dental bonding”, “dental restoration, permanent”, “dental adhesives”, “dental cements”, “cementation”, “resin cements”, y sus correspondientes denominaciones en idioma español. A continuación se combinaron entre sí las palabras clave escogidas, utilizando operadores booleanos AND - OR (Cuadro 1).

Cuadro 1: Criterio de búsqueda

Base de datos Medline - PUBMED
(((((zirconium[MeSH Terms]) AND (therapeutic use[MeSH Terms])) AND (dental restoration, permanent[MeSH Terms])) AND (dental bonding[MeSH Terms])) OR (dental adhesives[MeSH Terms])) OR (cementation[MeSH Terms])) OR (dental cements[MeSH Terms])) OR (resin cements[MeSH Terms])(zirconium[MeSH Terms]) AND (cementation[MeSH Terms])) AND (dental bonding[MeSH Terms])

Los criterios de inclusión/ exclusión utilizados en la búsqueda fueron:

- Tipo de artículos: texto completo (estudios in vitro, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y/o metanálisis)
- Fecha de publicación: desde Enero del año 2018 hasta Setiembre del año 2023
- Idiomas: inglés, español

3.3. RESULTADOS

De la búsqueda inicial con las palabras clave, se obtuvieron 1389 citas. A los resultados de dicha búsqueda, se les aplicaron los criterios de inclusión antes mencionados, obteniendo 355 citas, mayoritariamente a partir de Medline. De éstas, se seleccionaron a través de título y resumen, los artículos para ser leídos en forma completa (Cuadro 2).

Se completó la búsqueda con lectura y rastreo de bibliografía referenciada en dichos artículos.

Se consultaron además capítulos de libros relacionados al tema, así como también artículos de años anteriores a los incluidos en los criterios de inclusión/exclusión de la búsqueda, por ser considerados de gran relevancia en el área.

Cuadro 2: Resultados de la búsqueda

	Selección por búsqueda	Selección por título y resumen	Selección de lectura de artículo completo
Medline	290	72	23
BVS	63	16	7

4. DESARROLLO

4.1. ODONTOLOGIA RESTAURADORA, GENERALIDADES

La odontología restauradora se define como la especialidad odontológica que estudia y aplica de forma integrada el diagnóstico, tratamiento y pronóstico dentales. Los tratamientos preventivos o restauradores deben obtener como resultado el mantenimiento o el restablecimiento de la forma, la función y la estética, así como el de la integridad fisiológica del diente en relación armónica con la estructura dental remanente, los tejidos blandos y el sistema estomatognático. (7)

4.2. RESTAURACIONES DENTALES DIRECTAS

Evaluando la extensión del daño y el remanente dental existente, la ubicación del diente afectado y su relación con los dientes vecinos, la estética deseada, entre otros factores clínicos, se toma la decisión de realizar una restauración directa o indirecta. Las restauraciones dentales directas, como lo indica su nombre, se confeccionan y el material endurece directamente en la pieza dental afectada, son la opción de elección en casos de reconstrucciones de pequeña o mediana extensión. Antiguamente el material más utilizado para realizar este tipo de restauraciones era la amalgama dental, pero actualmente se encuentra en desuso. Hoy en día existen distintos tipos de materiales plásticos, como ser las resinas compuestas y ionómeros de vidrio, los cuales se eligen según cada caso en particular. (7)

4.3. RESTAURACIONES DENTALES INDIRECTAS

Las restauraciones dentales indirectas son bloques rígidos fabricados en ciertos materiales dentales, que fijados en una preparación dentaria previamente realizada, permiten devolver la anatomía, función, resistencia y estética, a dientes afectados en tal medida que no puedan ser rehabilitados con restauraciones directas. Existen varios materiales dentales utilizados para la fabricación de dichas restauraciones, cada uno con sus características y propiedades particulares. Entre los más utilizados encontramos las aleaciones metálicas, las resinas compuestas y las cerámicas. (8)

La odontología restauradora actual, de mínima intervención, se basa fundamentalmente en los principios de adhesión. El surgimiento de dicha odontología

adhesiva, marca un antes y un después en la rehabilitación oral, permitiendo reconstruir, en los casos que amerite, la anatomía y función dentales alteradas, por medio de restauraciones indirectas de espesores mínimos con preparaciones dentales extremadamente conservadoras. (9)

Con la tecnología CAD-CAM (*computed aided design/computed aided manufacturing*), el proceso de diseño y fabricación de las restauraciones dentales indirectas requiere menos tiempo, es menos sensible a la técnica y no requiere múltiples pasos en comparación con el método convencional. Además, los materiales CAD-CAM tienen una estructura homogénea debido a su fabricación industrial y pueden fresarse. (10)

4.4. MATERIALES RESTAURADORES INDIRECTOS

4.4.1. ALEACIONES METÁLICAS

Las aleaciones metálicas han sido ampliamente utilizadas en la fabricación de restauraciones dentales indirectas, debido a sus propiedades, entre las que se pueden destacar la resistencia a la tracción, pasivación, compresión, dureza superficial, compatibilidad biológica, bajo costo, entre otros. Las aleaciones nobles, que se componen de metales como el oro, el platino y la plata, y las aleaciones no nobles, que se componen de metales como el níquel, el cobalto, el cromo y el titanio, son dos tipos de aleaciones que se utilizan en odontología. (8) Las aleaciones de metales nobles se caracterizan por su estabilidad electrolítica y su biocompatibilidad, lo que las hace ideales para restauraciones a largo plazo. Además, presentan una excelente adaptación marginal, lo que resulta en una mejor integridad y estabilidad de la restauración. Una gran desventaja es el alto costo de estos materiales. Por otro lado, las aleaciones de base no noble, además de ser menos costosas, ofrecen excelente resistencia a la tracción, pasivación y durabilidad, aunque pueden presentar mayor riesgo de alergias y reacciones adversas en algunos pacientes.

Todos los materiales metálicos utilizados para restauraciones dentales presentan propiedades deseables, como alta resistencia a la fractura, buena adaptación marginal y larga durabilidad. Además son altamente resistentes a la corrosión y no se ven afectados por la humedad y la exposición a fluidos orales. Estas propiedades mecánicas y químicas hacen de los metales una opción confiable y duradera en la odontología restauradora. Sin embargo, es importante tener en cuenta dos grandes desventajas, la estética deficiente, y la incapacidad de unirse químicamente a la

estructura dental, lo cual implica tallados más invasivos que permitan retención mecánica de la restauración. (11)

4.4.2. RESINAS COMPUESTAS INDIRECTAS

Gracias a su versatilidad de presentaciones, en la actualidad las resinas compuestas han tomado un gran protagonismo como material restaurador directo e indirecto. La composición de la resina compuesta puede variar dependiendo del tipo de resina utilizada y del fabricante, pero en general, consiste en una matriz polimérica de resina orgánica, reforzada con partículas de relleno inorgánicas, dispersas en la matriz polimérica. También posee agentes de unión o acoplamiento que mejoran la unión de las dos partes antes mencionadas, pigmentos y fotoiniciadores. Las propiedades y comportamiento clínico de las resinas compuestas dependen de su composición y estructura.

Las resinas ofrecen una amplia gama de colores y son altamente estéticas. A su vez su fijación a la estructura dental es meramente adhesiva, lo cual permite realizar tallados dentales más conservadores, sin necesidad de un diseño cavitario específico. Sin embargo, las resinas compuestas pueden desgastarse con el tiempo y son menos resistentes a la fractura en comparación a otros materiales restauradores indirectos. A su vez, este tipo de material es sensible a la técnica, por lo tanto se debe tener un correcto aislamiento absoluto, considerar el tipo de resina para cada situación, buena manipulación del material, correcta polimerización y otros aspectos que, si bien son mejorados durante su manipulación en técnicas indirectas, siempre deben ser tomados en cuenta. (12)

4.4.3. CERÁMICAS

La creciente demanda estética en los tratamientos dentales, incluso en zonas posteriores, ha logrado que las cerámicas ocupen un lugar de importancia en la odontología restauradora actual. Gracias a sus propiedades de alta resistencia al desgaste, biocompatibilidad y estética, se han vuelto cada vez más populares, demostrando ser ideales en situaciones como la restauración de carillas, coronas, prótesis fijas y restauraciones sobre implantes. Sin embargo cabe mencionar ciertas desventajas, tales como su fragilidad de manipulación fuera de boca, además de un costo elevado. A su vez, los materiales cerámicos pueden causar desgastes de los tejidos dentales naturales por lo que un correcto manejo de la oclusión es otra característica a tomar en cuenta. Para evitar una alta tasa de fallas clínicas, el

prostodoncista debe enfocar su preocupación en el diseño de la preparación y el espesor futuro de la restauración, según el tipo de cerámica elegida.

Los materiales cerámicos se dividen por su microestructura y composición en dos clases principales: a base de sílice (conocidas como cerámicas vítreas, donde se incluyen a la cerámica feldespática, leucita y disilicato de litio), y a base de óxidos metálicos (conocidas como cerámicas policristalinas donde se incluyen la alúmina y la zirconia). (1)

La fase cristalina de los materiales cerámicos puede determinar sus propiedades de resistencia. Las cerámicas de óxidos metálicos, en su mayoría cerámicas de zirconia, muestran los valores más altos (800–1300 MPa), seguidas por las cerámicas de alúmina (650 MPa). En comparación, las cerámicas de silicato, como el disilicato de litio, muestran una menor resistencia a la flexión (300–400 MPa); las cerámicas reforzadas con leucita muestran alrededor de 100 MPa, mientras que la resistencia al corte de la cerámica feldespática alcanza hasta 110 MPa. (1)

Para que el material cerámico desarrolle todas sus propiedades mecánicas, las superficies involucradas requieren un pretratamiento sistemático de descontaminación y acondicionamiento de la superficie antes de aplicar el cemento. Teniendo en cuenta la composición química de la cerámica, las técnicas de fijación y los tratamientos superficiales serán particulares para cada una de ellas. Las restauraciones de cerámica a base de sílice se graban obligatoriamente con ácido fluorhídrico y se silanizan. Las cerámicas de óxidos metálicos son sistemas sin base de vidrio, lo cual limita la eficacia del grabado con ácido fluorhídrico, y requiere métodos de pretratamiento de superficie alternativos a los que se aplican a los materiales a base de sílice. Su estructura cristalina de grano fino proporciona resistencia y tenacidad con translucidez limitada.

Las cerámicas de óxidos metálicos generalmente se fabrican con tecnologías CAD-CAM y se desarrollaron como alternativas a las restauraciones de cerámica sobre metal.

4.4.3.1. ZIRCONIA

El zirconio (Zr) es un metal blando de color plateado extraído como un mineral de silicato llamado Zircón. El dióxido de circonio (ZrO_2), mejor conocido como zirconia, es una forma cristalina de zirconio, siendo una cerámica y no un metal. Este sólido inorgánico no metálico mayoritariamente cristalino, se utilizó por primera vez en medicina con fines ortopédicos en 1969. Debido a una mayor conciencia sobre la

estética, la toxicidad y los problemas alérgicos asociados con aleaciones específicas, tanto los pacientes como los odontólogos han centrado su atención en las restauraciones libres de metal del color de los dientes. Como resultado, en la segunda mitad del siglo XX, se volvió más frecuente el desarrollo de nuevas cerámicas dentales de alta resistencia que parecen ser menos quebradizas y menos susceptibles a fallas por tensión. A finales de la década de 1990, se lanzó la primera cofia de zirconia fabricada con CAD-CAM para ofrecer una estructura resistente y estética para restauraciones de cerámica sobre zirconia. El primer producto popular fue Nobel Procera® Zirconia (Nobel Biocare, EE. UU.), seguido de Lava TM Zirconia (3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU.) a principios de la década de 2000. (13)

El dióxido de circonio es un material cerámico altamente resistente y biocompatible, que ha ganado mucha popularidad dentro de la odontología restauradora actual, debido a sus propiedades mecánicas y estéticas superiores. Estas características hacen que la zirconia sea uno de los materiales restauradores actuales de elección en la fabricación de restauraciones dentales, ampliando las aplicaciones clínicas y la gama de indicaciones para las restauraciones cerámicas libres de metal, desde la restauración de un solo diente hasta las rehabilitaciones implantosoportadas de toda la boca. (2) La zirconia ha reemplazado a las estructuras metálicas para las restauraciones sobre dientes e implantes ya que su uso es adaptable a muchas opciones de tratamiento, con una mejor calidad de adhesión, biocompatibilidad, resistencia y estética. Algunas de las aplicaciones de la zirconia en odontología incluyen postes, coronas, puentes dentosoportados o implantosoportados, pilares de implantes, sobredentaduras, brackets para Ortodoncia, carillas e incrustaciones. (13) Los implantes dentales de zirconia están creciendo en popularidad como una alternativa a los implantes de titanio, mostrando excelentes valores en cuanto a oseointegración, niveles de margen óseo estables y bajo riesgo de fractura del implante. (14)

En comparación con otros materiales cerámicos, la zirconia desarrolla una mayor resistencia, fuerza y rendimiento mecánico, mostrando una resistencia a la flexión de más de 900 MPa y un módulo elástico de 210 GPa. (15)

La estructura de zirconia se fresa con tecnología CAD-CAM. (2) Las restauraciones generalmente se fresan a partir de bloques de zirconia en etapa verde o presinterizados (en etapa blanca) antes de la sinterización completa. Sólo unos pocos sistemas CAD-CAM fresan bloques completamente sinterizados, que tienen

una dureza y resistencia a la flexión significativamente mayores, lo que hace que el proceso de fresado requiera mucho tiempo y desgaste para el equipo de fresado. (16) Los bloques presinterizados ya fresados, luego se sinterizan a alta temperatura. Para contrarrestar la contracción por sinterización, las restauraciones protésicas se esculpen para que sean al menos un 25% más grandes que el diseño previsto (dependiendo del tipo de lote). El rango óptimo de temperatura de sinterización es 1350-1550°C. (13)

Los materiales de zirconia han evolucionado hacia varias formulaciones, según la composición del polvo, los aditivos de sinterización, el tratamiento térmico y otros factores de procesamiento. (17)

En los comienzos, luego del fresado, la estructura se debía recubrir con cerámicas vítreas debido a su opacidad. Sin embargo, se reportaron complicaciones importantes respecto al *chipping* o astillado de las restauraciones a base de zirconia. Para superar este problema, se desarrollaron las restauraciones monolíticas de zirconia de contorno completo, fabricadas con CAD-CAM, que no requerían la aplicación de una cerámica de recubrimiento. Aunque el espesor óptimo de cerámica vítrea se recomienda que esté entre 0,75 y 1,25mm, la zirconia monolítica se puede utilizar en casos con espacio interoclusal limitado debido a su capacidad para resistir cargas elevadas con solo 0,5mm de espesor oclusal. (10) Los flujos de trabajo digitales, la fabricación CAD-CAM y la eliminación de procedimientos de estratificación de cerámica que requieren mucho trabajo han hecho que las restauraciones monolíticas sean más predecibles y rentables. (16)

La translucidez de esta segunda generación de materiales de zirconia mejoró ligeramente en comparación con los materiales de primera generación, manteniendo valores similares de resistencia a la flexión. Sin embargo, la personalización y el sombreado individual debían lograrse mediante infiltración de tinte líquido al material en etapa verde o en fase de presinterizado, y cocción de tinción y glaseado externo después de la sinterización. Para simplificar el proceso, algunos fabricantes han introducido bloques de zirconia pre coloreados, algunos de ellos con múltiples capas de tonos ligeramente diferentes entre las áreas de dentina y esmalte para simular mejor la apariencia de los dientes naturales. (2)

La última generación de materiales de zirconia tiene un grado de translucidez significativamente mayor, lo que mejora su estética. El uso de materiales de zirconia multicapa altamente translúcidos, en particular, proporciona una gran variedad de

posibilidades estéticas, específicamente para los dientes anteriores. Si se adhiere correctamente, se puede utilizar incluso para onlays y carillas. (16)

Sin embargo, lograr una adhesión efectiva, confiable y duradera entre las restauraciones de zirconia y las superficies dentales naturales presenta desafíos, debido a la composición y estructura del mencionado material cerámico. La naturaleza de la superficie de zirconia, que presenta una baja energía superficial y falta de grupos reactivos, hace que la adhesión directa a este material sea un reto.

La zirconia es un material polimórfico que presenta tres formas dependientes de la temperatura, que son: 1) monoclinica (de temperatura ambiente a 1.170 °C) con un comportamiento mecánico reducido que contribuye a una disminuida cohesión de las partículas cerámicas y por lo tanto de la densidad; 2) tetragonal (1.170- 2.370 °C) que permite una cerámica con propiedades mecánicas mejoradas y 3) cúbica (2.370 °C al punto de fusión) con propiedades

mecánicas moderadas. (3) La aleación de zirconia pura con óxidos estabilizadores como el magnesio, cerio, itrio y calcio, permite la retención de la estructura tetragonal a temperatura ambiente.

De los tipos de cerámicas con base en zirconia de uso odontológico a la fecha (cerámicas de alúmina reforzadas con zirconia, policristal de zirconio tetragonal estabilizado con itrio (Y-TZP), y zirconia parcialmente estabilizada con magnesio), el Y-TZP es la forma más utilizada en odontología por su alta resistencia flexural de 900 a 1.200 MPa. (5)

La principal cualidad del Y-TZP fue descrita por Garvie en 1975, el denominado fenómeno de resistencia a la transformación, mediante el cual la zirconia parcialmente estabilizada en fase tetragonal, en respuesta a estímulos mecánicos como la presencia de una zona de alto estrés tensional (grieta), sufre un cambio de fase en dicha zona, pasando a cristalizar esa área en fase monoclinica. Dicho cambio trae consigo un aumento de volumen de la partícula de zirconia de aproximadamente un 5% capaz de sellar la grieta. Así pues, finalmente lo que se consigue es el control de la tensión en dicha área, evitando la propagación de la grieta y conduciendo a una

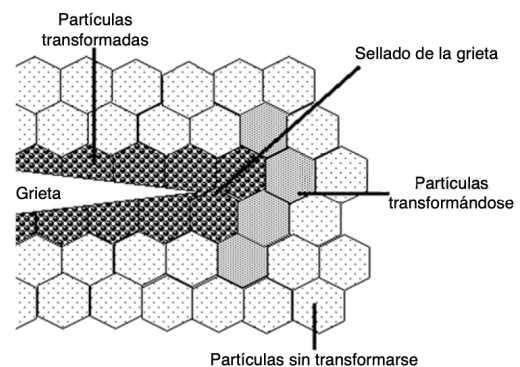


Figura 1. Representación del proceso de resistencia a la transformación inducida por estrés. Ilustración obtenida de Ríos Szalay 2017 (18)

alta tenacidad. (4) Este proceso de transformación es el que confiere a la zirconia su fuerza y resistencia. (Figura 1) (18)

La zirconia presenta una conductividad térmica inferior a la alúmina por lo que se reduce la probabilidad de desencadenar hipersensibilidad en caso de cambios térmicos bruscos. A su vez presenta una radiopacidad similar a la de los metales, permitiendo un excelente contraste radiográfico.

Las cerámicas de Y-TZP se utilizaron primero como materiales de cofia y estructura para ser revestidos con capas de cerámica feldespática y, más recientemente, para fabricar restauraciones monolíticas de contorno completo. El contenido de itrio en la zirconia define en gran medida sus propiedades mecánicas y ópticas. Las diferentes generaciones de zirconia previamente descritas, se clasifican según su contenido de itrio en 3Y-TZP, 4Y-TZP y 5Y-TZP, cada una con propiedades mecánicas, propiedades ópticas y, en consecuencia, indicaciones clínicas específicas. (Cuadro 3) Las diferencias en el contenido de itrio, el cual se utiliza para estabilizar la fase de zirconia tetragonal, provocan diferencias en el contenido de partículas cúbicas. La mayor cantidad de partículas cúbicas ofrece una transmisión de luz significativamente mayor pero una menor resistencia a la flexión. (19)

3Y-TZP está parcialmente estabilizado en la fase tetragonal y tiene la mayor tenacidad a la fractura y resistencia a la flexión (>1000 MPa) entre las generaciones de zirconia. Están indicados como cofia y estructura para todas las coronas bicapa de cerámica sin metal, prótesis parciales fijas, pilares de implantes, estructuras soportadas por dientes e implantes, barras de sobredentadura y reconstrucciones de boca completa. Las propiedades denominadas “resistencia activa al agrietamiento” o “endurecimiento por transformación” son exclusivas de este material debido a que sufre una transformación de fase tetragonal a monoclinica que limita la propagación de grietas, mejorando su tenacidad a la fractura y resistencia a la flexión. (3)

4Y-TZP y 5Y-TZP de alta translucidez son generaciones más recientes de zirconia. La estética mejorada al aumentar el contenido de itrio al 4 % y al 5 % mol los hace aplicables para restauraciones monolíticas de contorno completo, sin necesidad de una capa de cerámica de recubrimiento adicional. (13) El mayor contenido de itrio da como resultado un mayor porcentaje de partículas de fase cúbica, que hacen que esas composiciones sean más translúcidas y menos susceptibles a la degradación a baja temperatura que el 3Y-TZP. (17) El endurecimiento por transformación, uno de los factores clave para una resistencia a la flexión superior, no ocurre con estas

composiciones. En consecuencia, su resistencia a la flexión y resistencia a la fractura reducidas limita sus indicaciones clínicas a restauraciones unitarias o de prótesis parciales fijas de tramo corto. (19)

La zirconia de alta translucidez tiene valores de resistencia a la flexión entre 550 MPa y 800 MPa, dependiendo del grado de translucidez; cuanto mayor es la translucidez, menor es la resistencia a la flexión. (2)

3Y-ZP

IPS e.max[®] ZirCad LT and MO (Ivoclar Vivadent)
ivoclarvivadent.com (accessed on 22 December 2021)

BruxZir[®] (Glidewell Laboratories)
glidewelldental.com (accessed on 22 December 2021)
KATANA[™] HT (Kuraray Noritake) KATANAZir.com
(accessed on 22 December 2021)

Lava[™] Plus, 3M ESPE

Zpex 3Y (Tosoh)

Zenostar MO (Wieland Dental)

4Y-TZP

IPS e.max ZirCAD MT
(Ivoclar Vivadent) ivoclarvivadent.com (accessed
on 22 December 2021)

KATANA[™] ST/STML (Kuraray Noritake)
KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)

Zpex[®] 4, Kraun, (Tosoh) kraun.eu (accessed on
22 December 2021)

Zenostar MT (Wieland Dental)

5Y-TZP

Cercon[®] XT, **Dentsply Sirona**, dentsplysirona.com
(accessed on 22 December 2021)

BruxZir Anterior (**Glidewell Laboratories**)
glidewelldental.com (accessed on 22 December 2021)

KATANA[™] UT/UTML (Kuraray Noritake)
KATANAZir.com (accessed on 22 December 2021)

Lava Esthetic, 3M ESPE

Zpex Smile (Tosoh)

Prettue Zir (Zirconzhan)

Cuadro 3: Tipos de zirconia dental basados en la concentración de itrio. Tabla obtenida de Alqutaibi 2022 (13)

Mientras las cerámicas tradicionales se componen principalmente de una matriz vítrea y una fase cristalina de relleno, los materiales cerámicos de alta resistencia como la alúmina y la zirconia, son primariamente cristalinos, lo cual los hace químicamente más estables y no fácilmente hidrolizados, por lo tanto no son vulnerables al protocolo de grabado con ácido fluorhídrico y silanización para generar rugosidad y activación química de la superficie, como se hace normalmente en las cerámicas a base de sílice. (6) Por esto las restauraciones con estructuras en zirconia fueron inicialmente cementadas de forma convencional; sin embargo, existen investigaciones más actuales que se han centrado en encontrar mecanismos que sin afectar su estructura y propiedades, hagan de la zirconia una superficie más propicia para una fijación adhesiva y de esta forma obtener los beneficios de la mejor retención, mayor resistencia a la microfiltración y mejor resistencia a la fractura y fatiga de la restauración, que se le atribuyen a la fijación adhesiva. Se han desarrollado diferentes estrategias y técnicas para mejorar la adhesión a la zirconia dental. Estas incluyen tratamientos de superficie, sistemas adhesivos específicos para zirconia y el uso de agentes de unión química y mecánica. El objetivo principal de estas técnicas es promover una interacción fuerte y duradera entre la superficie de zirconia y el adhesivo dental, proporcionando una unión resistente y estable. (13)

4.5. CEMENTADO CONVENCIONAL Y FIJACIÓN ADHESIVA

El cementado convencional y la fijación adhesiva son dos técnicas utilizadas en odontología para alojar de forma definitiva las restauraciones dentales indirectas sobre las preparaciones cavitarias. Estas técnicas difieren en la forma en que se adhiere la restauración al diente.

El cementado convencional implica el uso de cemento dental clásico (por ejemplo cemento Fosfato de zinc o cemento Ionómero de Vidrio) para unir la restauración al diente. No se realiza ningún tratamiento específico de las superficies. El cemento actúa únicamente como relleno y permite la retención por traba micromecánica y fricción. Este tipo de cementado es efectivo y se ha utilizado durante muchos años con buenos resultados.

Por otro lado, en la fijación adhesiva, se utilizan agentes adhesivos y cementos que logran una unión micromecánica y/o química con la estructura dental y la restauración, lo que proporciona una mayor retención y resistencia a la fractura. En este tipo de técnica, se realizan diferentes tratamientos de superficie, tanto en la

restauración como en el diente, lo cual favorece la unión química entre ambas estructuras. (20)

La fijación adhesiva requiere múltiples pasos para preparar las superficies de unión del diente y la restauración. Como estos procedimientos requieren mucho tiempo, son sensibles a la técnica y susceptibles a la contaminación, podría llevar a que los profesionales opten por la realización de un cementado convencional. (16)

No obstante, la fijación adhesiva ofrece varias ventajas sobre el cementado convencional, entre ellas proporciona una unión más fuerte y duradera entre la restauración y el sustrato, lo que reduce el riesgo de que la restauración se desprenda o se fracture. (1) Además, permite una mayor conservación de la estructura dental, ya que requiere una preparación mínima en comparación con el cementado convencional, que basa su retención en el diseño cavitario. Sin embargo, la fijación adhesiva también requiere una técnica más precisa y sensible, y un mayor tiempo de trabajo. Es necesario seguir cuidadosamente los pasos del protocolo adhesivo y asegurarse de que el diente y la restauración estén limpios y secos para lograr una unión efectiva. Además, el adhesivo y el cemento utilizados pueden tener un costo más alto en comparación con el cemento convencional. (5)

Se ha reportado que las restauraciones cerámicas fijadas adhesivamente a la estructura dental, en comparación con las cementadas de forma convencional, son más resistentes, que la adhesión mejora la longevidad de dichas restauraciones y que los agentes de fijación resinosos, comercialmente conocidos como cementos resinosos, presentan una excelente habilidad para minimizar la filtración de las restauraciones completamente cerámicas; sin embargo, es de gran importancia tener en cuenta que estos son estudios in vitro en donde se han analizado principalmente restauraciones elaboradas en cerámicas vítreas. (5)

Por esta razón, y debido al auge en la utilización de la zirconia como material restaurador, sumado a la carencia de consensos claros, se revisará a continuación la literatura disponible sobre la fijación adhesiva de dicha cerámica de alta resistencia.

5. DISCUSIÓN

Los protocolos de adhesión adecuados facilitan la unión del material de restauración al diente, mejoran la adaptación marginal, previenen las microfiltraciones y aumentan la resistencia a la fractura del diente preparado y de la restauración misma.

La composición del cemento de resina y los métodos de pretratamiento aplicados al material restaurador y a las superficies dentales influyen en gran medida en la longevidad de las restauraciones cerámicas adheridas.

A la hora de analizar las diferentes estrategias de fijación adhesiva a la zirconia descritas en la literatura, se abarcan los siguientes puntos:

- Limpieza de la superficie interna
- Tratamiento de la superficie interna
- Selección del agente de fijación resinoso

5.1. LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE INTERNA

El primer requerimiento para lograr la correcta adhesión, es trabajar sobre una superficie libre de contaminantes. Durante las fases clínicas de prueba, la restauración suele contaminarse con sangre, saliva y otros contaminantes, que pueden depositarse sobre el material e interferir negativamente con el mecanismo de adhesión. Los cementos e imprimadores, por la presencia de grupos fosfato en su estructura, interactúan con la superficie de zirconia. Si hay contaminantes presentes, los sitios donde los monómeros fosfatados interactúan con la superficie estarían ocupados, por lo que estos monómeros se vuelven inactivos. Por esta razón, es fundamental una adecuada limpieza de la superficie contaminada de zirconia, para lograr longevidad en el tratamiento restaurador.

Los tratamientos simples como la limpieza con agua (H_2O), agua oxigenada (H_2O_2), etanol, acetona, la aplicación de ácido fosfórico o la limpieza ultrasónica mostraron los peores resultados en cuanto a la eliminación de contaminantes. (21)

La limpieza mecánica mediante arenado con polvo de partículas de óxido de aluminio (Al_2O_3) muestra ser un método muy eficaz para eliminar contaminantes, aunque de acuerdo a varios estudios in vitro, puede debilitar la estructura de la restauración de zirconia si se realiza varias veces sobre ésta. (13)

La limpieza química con agentes limpiadores específicos tales como Ivoclean (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Katana Cleaner (Kuraray Noritake Dental Inc.) o ZirClean (BISCO Dental Inc., Schaumburg, IL, USA), parece ser una alternativa válida teniendo en cuenta los costos, la practicidad, y la conservación intacta de la topografía interna de la estructura de zirconia. Ivoclean es una solución altamente alcalina (pH=13) de partículas de óxido de zirconio, que se aplica fuera de boca en las superficies internas de las restauraciones de zirconia, para limpiarlas previo a ser cementadas. Los contaminantes son atraídos y se adhieren a esas partículas en lugar de unirse a la superficie de la restauración, siendo eliminados durante el siguiente paso de lavado y secado de la superficie, quedando ésta última absolutamente limpia. (13) ZirClean es también un gel alcalino que contiene hidróxido de potasio (pH=13), que elimina de manera similar los contaminantes de fosfato. Por el contrario, la eficacia limpiadora de Katana Cleaner es causada por las características tensoactivas de su sal con MDP. Además de su aplicación extraoral a diversos materiales dentales, este agente también se puede utilizar para limpiar las superficies dentales intraoralmente, debido a su pH. (19)

En el estudio de Maher y cols., se comprueba que la limpieza mediante arenado con partículas de aluminio y la limpieza con Ivoclean son las técnicas más efectivas para descontaminar la superficie cerámica, proporcionando los valores más altos en cuanto a la restitución de las fuerzas adhesivas entre la superficie de zirconia y el agente de unión. Por otra parte, el agente de limpieza ZirClean mostró los resultados más bajos en comparación al resto de las técnicas. (21)

Según la literatura, la aplicación del agente de limpieza sobre la superficie contaminada, debe realizarse previo a la imprimación con el sistema adhesivo. (13) Si se realiza un tratamiento con ácido fosfórico o la aplicación de Ivoclean después de la aplicación de la imprimación con el agente adhesivo, se eliminará el recubrimiento de MDP ya sea por interacción química, desbridamiento mecánico del micro cepillo o ambos. Subsecuentemente, los valores de adhesión entre las superficies y resistencia al cizallamiento disminuyen. (22)

Angkasith y cols. recomiendan la aplicación de un imprimador cerámico con 10-metacriloxidecilsfosfato dihidrogenado (10-MDP) previo a la exposición de la superficie de zirconia a los contaminantes, de manera de mejorar la fuerza de unión adhesiva. (23) Si se produce contaminación con saliva cuando la zirconia ya ha sido tratada con una imprimación de 10-MDP, sólo 20 segundos de enjuague con spray de agua

parecen ser suficientes para devolver la fuerza de unión. (13) Esto se da porque con la aplicación de la imprimación, las terminaciones de metacrilato hidrofóbico de la molécula de 10-MDP quedan expuestas en la superficie, creándose una superficie repelente al agua que reduce la posibilidad de que la saliva, compuesta en un 99% de agua, moje la cerámica. En contraparte, Maher y cols. muestran en su estudio que dicho método es inefectivo, no preservando la fuerza de unión entre la zirconia y el cemento resinoso. (21)

Otra técnica de limpieza de la superficie de zirconia prometedora es la de Plasma Atmosférico no térmico, la cual no es de fácil aplicación clínica, pero muestra resultados muy efectivos en la eliminación de contaminantes. (21)

5.2. TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE INTERNA

El pretratamiento de la superficie consiste en una serie de pasos que buscan mejorar la topografía de la superficie a nivel microscópico. El objetivo de los pretratamientos es aumentar la energía superficial y la humectabilidad generando rugosidades.

Existe un consenso respecto a que se obtienen los peores resultados en cuanto a la fuerza de unión, cuando no se realiza ningún tratamiento de superficie a la zirconia.

Según Tyor y cols., Blatz y cols. y Khanlar y cols., es necesaria una combinación de pretratamiento mecánico y químico para lograr uniones duraderas a largo plazo entre la resina y la zirconia. (19, 24, 25)

5.2.1. MICRO MECÁNICO

Según varios autores, para conseguir una buena adhesión a la zirconia, la superficie interna de la restauración debe ser tratada de forma de conseguir una rugosidad que aumente su área y energía superficial. Para dicho propósito, se describen en la literatura diferentes tipos de pretratamiento mecánico de superficie: abrasión o arenado con partículas de óxido de aluminio, recubrimiento triboquímico de sílice, irradiación láser, grabado químico, aplicación de porcelana de baja fusión, grabado por infiltración selectiva, pulverización de plasma, recubrimiento en polvo cerámico de zirconio, entre otros.

El arenado es un proceso que aprovecha la energía liberada por el impacto de partículas de óxido de aluminio, emitidas por una fuente de alta velocidad. El impacto implica la erosión del material con la formación de una superficie rugosa, limpia y humectable. Sin embargo, el arenado también puede provocar daños en la superficie, defectos y grietas. Por tanto, las características mecánicas de la zirconia pueden

verse comprometidas. Es recomendable realizar el arenado según parámetros adecuados en relación a presión, distancia de la fuente y tamaño de partícula. Ruales-Carrera y cols. y Blatz y cols., recomiendan el tratamiento con abrasión de partículas de óxido de aluminio de 50 μm , a una baja presión (2-2,5 bares), durante 5-10 segundos, a 10mm de distancia, y un ángulo de 75-90°. (2, 19, 26) Este tratamiento muestra en el estudio de Ruales-Carrera y cols., mejores resultados, en comparación al tratamiento triboquímico con partículas de alúmina recubiertas de sílice de 30 μm , aplicadas durante el mismo tiempo, misma presión y misma distancia. (26)

Le y cols. concluyen en su estudio que el arenado con partículas de óxido de aluminio es el tratamiento de superficie más efectivo para aumentar la rugosidad superficial de la zirconia, no existiendo diferencias significativas entre las superficies de zirconia convencional y zirconia de alta translucidez. Recomiendan realizar el tratamiento con partículas de óxido de aluminio de 110 μm , con una presión de aire de 2 bares. Si se aumenta el tamaño de dichas partículas (250 μm) y la presión (4 bares), puede resultar en una degradación de la superficie de la zirconia, reduciendo así la fuerza de este material cerámico. (27)

En contraparte, Comino-Garayoa y cols, encontraron que la fuerza de unión no se ve afectada por la variación en el tamaño de las partículas y la presión a la cual son aplicadas. (28)

A pesar de que se logran peores resultados adhesivos cuanto más tiempo transcurre entre el arenado y la aplicación del imprimador, muchos clínicos, especialmente aquellos que no tienen acceso a una arenadora, optan por indicarle al laboratorio dental que realice el arenado de sus restauraciones de zirconia. (19)

El recubrimiento triboquímico de sílice (TBS) consiste en un proceso de arenado que se realiza utilizando partículas de alúmina recubiertas de sílice, las cuales impactan contra la superficie de la zirconia, creando una superficie irregular y liberación de sílice. La presencia de este componente vítreo permite el uso de silano como agente de unión, el cual se une tanto al composite como a la sílice depositada sobre la zirconia, mejorando la adhesión. El TBS se realiza principalmente mediante dos métodos: el sistema Rocatec que consiste en un pre tratamiento tradicional mediante arenado, y un posterior uso de partículas de alúmina recubiertas de sílice de 110 μm , y el sistema CoJet Sand (3M ESPE, Seefeld, Germany) que utiliza partículas de alúmina recubiertas de sílice de 30 μm . El método triboquímico, no logra ser uniforme

en la superficie de la zirconia, pero es más resistente al termociclado que otros tratamientos. Según cálculos termodinámicos, el enlace entre sílice y silano es más resistente a la hidrólisis que el enlace entre zirconia y 10-MDP. Varios estudios coinciden en que el TBS, seguido de la aplicación de un imprimador que contenga silano, es más estable que el arenado de alúmina seguido de la aplicación de imprimadores a base de 10-MDP. (22) Altan y cols. encontraron que el TBS mediante el sistema CoJet logra los valores más altos de fuerza de unión, seguido por el arenado. Aplican el tratamiento por 15 segundos, a 2,8 bares de presión y una distancia de 10 mm, seguido de la aplicación de un silano (ESPE Sil, 3M ESPE). (10) En el sistema CoJet, las partículas cubiertas en sílice no solo hacen áspera la superficie, sino que también favorecen la retención química al unir el silano y la superficie de zirconia recubierta de sílice.

Para evitar daños a la superficie cerámica, en especial cuando se trabaja con zirconias de última generación, las cuales son menos resistentes, Khanlar y cols., proponen en su estudio el uso de materiales abrasivos más suaves y redondos en lugar de las partículas de aluminio duras y afiladas, como ser la utilización de perlas de vidrio. A partir de los resultados obtenidos, concluyen que este tratamiento mediante perlas de vidrio no es tan efectivo para lograr rugosidad en la superficie de zirconia, independientemente de la presión utilizada. (24) Las perlas de vidrio son más blandas y pueden tener menos efectos adversos sobre las propiedades mecánicas de la zirconia. Sin embargo, las fuerzas de unión que logran son similares a las de las superficies de zirconia no tratadas. (39)

El tratamiento mediante irradiación con láser es otro método alternativo propuesto para el acondicionamiento micro mecánico de la superficie interna de zirconia. Se han descrito diferentes tipos de láser, con diferentes parámetros de potencia, intensidad de energía, distancia y duración. Comino-Garayoa y cols. concluyen que la aplicación de estas técnicas no aumenta la fuerza de unión, en comparación al arenado con partículas de aluminio. (28) La dificultad se presenta en que si el láser se aplica con alta intensidad de energía, genera deterioros en el material, como grietas y sobrecalentamiento, mientras que si se aplica con valores de energía más bajos, no se obtienen resultados satisfactorios en cuanto a la adhesión. A su vez, disponer de un equipo láser de estas características es otra limitante en la técnica. (22)

La zirconia es considerada un material inerte, por lo cual su superficie cristalina no puede ser grabada por un ácido fluorhídrico. De todas maneras, se han propuesto variadas soluciones ácidas para lograr acondicionar la superficie de zirconia, basadas en combinaciones de ácido fluorhídrico y nítrico aplicado a una temperatura de 100°C. Estas soluciones resultan ser menos efectivas que otros tratamientos de superficie como el arenado, por lo cual no se aconseja su uso. A su vez suelen ser técnicas que comprometen la seguridad clínica en su utilización. (22) Le y cols. mostraron en su estudio que el tratamiento de la superficie de zirconia con ácido fluorhídrico no tiene ningún efecto sobre ella, tanto para la zirconia convencional como para la zirconia de alta translucidez. (27)

La introducción de plasma a baja presión como un tratamiento de superficie alternativo, mostró buenos resultados en cuanto a la adhesión, al mejorar la energía superficial (SE) del material sin aumentar la rugosidad y, por lo tanto, causando menos daño que las partículas de aluminio. Consiste en un gas semi ionizado en un ambiente desequilibrado que produce una cantidad considerable de grupos químicamente activos como radicales OH a bajas temperaturas y convierte una superficie inerte en una reactiva con aumento de energía sin cambiar las propiedades de la sustancia. La superficie de zirconia es altamente hidrófoba con una baja concentración de grupos OH. Durante la aplicación de plasma, la humedad del gas y la atmósfera se combina con los electrones de alta energía de la superficie para producir radicales OH. El plasma también rompe los enlaces entre C-C y C-H en impurezas orgánicas adheridas a la zirconia, lo que resulta en la formación de radicales peróxido activados y aumenta la composición de grupos funcionales (p. ej., C-O y C-OH) en la superficie. El aumento de la composición polar del oxígeno aumenta la hidrofiliidad de la superficie mediante la reducción del ángulo de contacto. (29) Sin embargo, varios factores influyen en los resultados, como el tipo de gas utilizado o el tiempo de exposición. El oxígeno y el argón son los gases utilizados con mayor frecuencia. Se requiere de un dispositivo específico para llevar a cabo este tratamiento. Sevilla y cols. obtuvieron los mejores resultados en cuanto a la disminución del ángulo de contacto en los grupos a los que se les aplicó plasma, lo que indica un aumento en la hidrofiliidad de la superficie de zirconia. El ángulo de contacto es una forma de calcular la SE, que indica la humectabilidad de una superficie. Se sugiere que los resultados están relacionados con un aumento de átomos de oxígeno en la superficie, lo que conduce a una mayor polaridad. El

aumento de la hidrofiliidad de la superficie de zirconia después del tratamiento con plasma mejora el SE y la humectabilidad. Además, se ha informado que existe una fuerte correlación entre el ángulo de contacto y la fuerza de adhesión a la zirconia. (30) Por otra parte, el tratamiento con plasma combinado al arenado con partículas de óxido de aluminio mostraron los mejores resultados en cuanto a fuerza de unión. Se realizó dicho tratamiento mediante el arenado con partículas de óxido de aluminio de 50 μm a 2 bares de presión, aplicado a 10mm de distancia por 15 segundos, sumado al Plasma de oxígeno 100%, a 0.25-0.30 mbar, 40kHz y 1000W por 5 minutos. Es importante destacar que los estudios sobre plasma son in vitro, por lo cual las variables clínicas no están consideradas. (30)

La deposición de vitrocerámica pulverizada (o sus siglas en inglés GCSD referentes a *Glass-ceramic spray deposition*) es una técnica de tratamiento de superficie que puede mejorar la eficacia de la unión de las restauraciones de zirconia. GCSD implica rociar polvos de vitrocerámica sobre zirconia y luego sinterizar a una temperatura adecuada. Entonces se puede formar una capa fina y densa de disilicato de litio. Esta capa se unirá mecánicamente a la superficie de la zirconia y aumentará la unión de la misma al cemento resinoso. GCSD se aplica a zirconia reforzada, no en la etapa verde. Por lo tanto, no afecta las propiedades físicas de la zirconia durante el proceso de cristalización, fortalecimiento y contracción a alta temperatura, ni afecta la resistencia final ni las propiedades del material después de la sinterización. Las únicas operaciones clínicas posteriores necesarias son el grabado, la imprimación y la cementación. Las características de alta densidad y distribución molecular desigual del GCSD hacen posible que la zirconia alcance una mejor fuerza de unión comparable a la cerámica de vidrio tradicional. (31)

Peng y cols. confirmaron que la GCSD acompañada de un grabado con ácido fluorhídrico (HF) adecuado puede mejorar significativamente la resistencia de la unión entre zirconia y cemento de resina. Se determinó que la concentración óptima de grabado con HF para GCSD era del 5%, durante 90-120 segundos. (32)

Estas nuevas técnicas alternativas como plasma o GCSD, mejoran la resistencia de la unión zirconia-resina, pero requieren equipos únicos o costosos, implican procesos operativos complicados, son difíciles de estandarizar y poco prácticos para los consultorios odontológicos.

5.2.2. QUÍMICO

En los artículos revisados, la mayoría de los estudios recomiendan realizar una combinación de tratamientos, mecánico y químico. El arenado, como otros tratamientos exclusivamente mecánicos, consigue modificar la superficie de la zirconia, pero por sí solo muestra ser inefectivo en el aumento de adhesión al material cerámico. Sin embargo, es fundamental asociar estos tratamientos al uso de promotores químicos, capaces de mejorar la adhesión. Se utilizan para este fin imprimadores que contienen monómeros funcionales, en particular el 10-MDP, conocido por su deseable capacidad de enlace químico con la zirconia dental. El 10-MDP presenta un grupo funcional terminal con ácido fosfórico, que interactúa con la zirconia y forma enlaces P-O-Zr. El otro extremo de la molécula está ocupado por un grupo terminal vinilo, que permite la copolimerización con el cemento de resina. Estos dos grupos funcionales están separados por una cadena de carbonos, que es responsable de características como viscosidad, rigidez, hidrofobicidad y solubilidad. (33)

En el mercado uruguayo disponemos de agentes de imprimación específicos para zirconia, entre los cuales se encuentran el Z-Prime Plus (BISCO) y el Peak ZM (Ultradent). Según datos del fabricante, el Z-Prime Plus mejora significativamente la fuerza de unión a los sustratos de zirconia, alúmina y metal debido a su combinación de dos monómeros activos, MDP (monómero de fosfato) y BPDM (monómero de carboxilato). Esta combinación de imprimaciones le da a Z-Prime Plus un efecto que resulta en su alta fuerza de unión. Se utiliza aplicando 1-2 capas humedeciendo uniformemente la superficie de adhesión, y posteriormente secando con una jeringa de aire durante 3-5 segundos. El Peak ZM contiene 10-MDP, lo que produce una unión química que aumenta considerablemente la adhesión entre un material a base de resina y la superficie de unión de la restauración. Ultradent afirma que el imprimador Peak-ZM está pensado para ser utilizado como un tratamiento de superficie para las restauraciones realizadas con zirconia, alúmina (óxido de aluminio), metal/aleación y titanio. Para su manipulación el fabricante indica aplicar el imprimante Peak-ZM a la superficie protésica de zirconia abrasionada previamente con aire comprimido, durante 3 segundos y afinar secando durante 3 segundos a plena presión.

El monómero de silano con funcionalidad metacrilato (Gama Metacriloxi Propil Trimetoxi Silano γ -MPTS), es un agente acoplador de silano ampliamente utilizado

en odontología debido a que promueve la humectabilidad de la superficie. Sin embargo, los silanos no pueden reaccionar directamente con las cerámicas de zirconia. (24) Es necesaria la utilización de un imprimador cerámico que contenga MDP porque los agentes de acoplamiento de silano convencionales no pueden unirse a las cerámicas de óxido metálico. (1)

Algunas imprimaciones adhesivas para cerámicas comerciales recientes contienen una mezcla de silano (γ -MPTS) y monómero funcional fosfórico para simplificar los procedimientos clínicos y mejorar la adhesión de la resina a diversos materiales cerámicos. Se ha informado que su rendimiento de adhesión es superior al de una imprimación de silano sola. Pero también se ha demostrado que la imprimación de MDP sola es más adecuada para la unión eficaz del cemento de resina a la zirconia en comparación con las imprimaciones cerámicas que contienen MDP y un agente de acoplamiento de silano. (16) En el mercado encontramos el Monobond N (Ivoclar Vivadent), el cual su fabricante describe como un *primer* universal que facilita la unión adhesiva entre cementos resinosos (particularmente las líneas de productos Variolink y Multilink de la misma marca comercial) y todos los materiales utilizados para restauraciones indirectas (cerámicas vítreas, cerámicas a base de óxidos, metales, resinas y resinas reforzadas con fibra). Este agente imprimador está compuesto por una solución alcohólica de metacrilato de silano, metacrilato de ácido fosfórico y sulfuro metacrilato. En cuanto a su manipulación, el fabricante indica aplicar una fina capa de Monobond N con pincel o *microbrush* sobre las superficies pretratadas, dejar al material reaccionar durante 60 segundos y a continuación, dispersar cualquier exceso remanente con una fuerte corriente de aire.

Para simplificar los pasos en la adhesión y facilitar la manipulación a los clínicos, se crearon sistemas adhesivos que pasaron a contener promotores químicos, denominándose sistemas adhesivos universales. El objetivo era lograr la preparación de la restauración sin necesidad de añadir ningún componente más. La mayoría de estos adhesivos universales contienen 10-MDP en diferentes concentraciones y han sido los productos más estudiados en los últimos 5 años. Se ha reportado que la aplicación de un adhesivo universal con 10-MDP aumentó la adhesión a la zirconia después del arenado e incluso se ha propuesto reemplazar el acondicionamiento mecánico y la aplicación de un imprimador. La fotopolimerización o no del adhesivo antes de la aplicación del cemento no mostró relevancia en la adhesión. (28)

Ruales-Carrera y cols., muestran en su estudio la eficacia de la utilización de un adhesivo universal con MDP en combinación al tratamiento mecánico, para permitir una fuerza de unión duradera, ya que promueve un enlace químico con los óxidos metálicos, resistente al agua. (26)

En el mercado disponemos de varias marcas comerciales que cuentan con su línea de adhesivo universal. Entre los más reconocidos encontramos el Single Bond Universal (3M ESPE), el All-Bond Universal (BISCO) y el Tetric N-Bond Universal (Ivoclar Vivadent). Todos ellos son adhesivos autograbantes, conteniendo un *primer* ácido y un adhesivo en su composición, todo en una única botella. De los antes nombrados, el All-Bond Universal es el más alcalino (pH 3,5 según fabricante), por lo cual si se escoge un cemento dual para el cementado, es conveniente optar por este adhesivo en comparación a los otros dos que son más ácidos (Single Bond Universal pH 2,7 según fabricante, Tetric N-Bond Universal pH 2,5 según fabricante). El fabricante recomienda aplicar 1 capa de All-Bond Universal sobre la superficie pretratada y secar con aire para eliminar el exceso de disolvente. Luego fotopolimerizar durante 10 segundos. Se recomienda fotopolimerizar este adhesivo universal para lograr una resistencia y durabilidad óptimas. Si no se desea fotopolimerizar, sugieren utilizar Z-Prime Plus en su lugar.

El Single Bond Universal, se describe por su fabricante como un adhesivo universal que está compuesto por monómero de fosfato MDP, resinas de dimetacrilato, HEMA, Copolímero Vitrebond™, obturador, solventes (etanol y agua) iniciadores y silano. Según el fabricante, el MDP brinda un mejor rendimiento de adhesión en el esmalte, una mayor estabilidad del producto y una adhesión mejorada en el metal y los sustratos que no son de cerámica de vidrio (zirconia y alúmina), mientras que la inclusión de silano permite adherir en las superficies de cerámica de vidrio sin necesidad de un imprimador adicional.

Todos los fabricantes coinciden en que es recomendable utilizar los imprimadores y cementos de la misma marca comercial, para evitar cualquier posible interacción que altere la efectividad de los distintos productos.

El uso de un imprimador a base de 10-MDP es capaz de aumentar la fuerza de unión tanto con un cemento de resina autoadhesivo (a base de 10-MDP u otros monómeros funcionales) como con un cemento de resina tradicional. (15) Parece importante utilizar un cemento suficientemente fluido para beneficiarse de los efectos del arenado, independientemente del tipo de resina. (22)

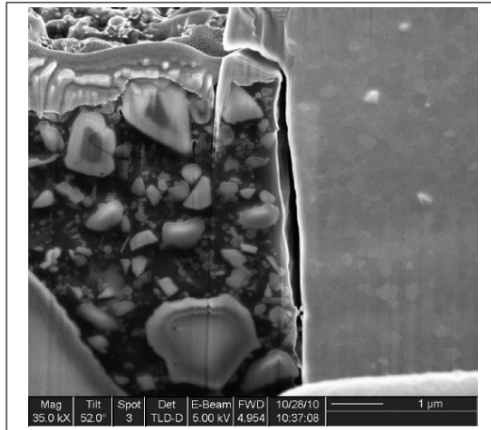


Figura 2. Sin ningún tratamiento previo de la superficie, la interfaz de unión de resina y circonio revela espacios muy abiertos y una adhesión limitada (aumento de $\times 35.000$). Imagen de Blatz 2018 (16)

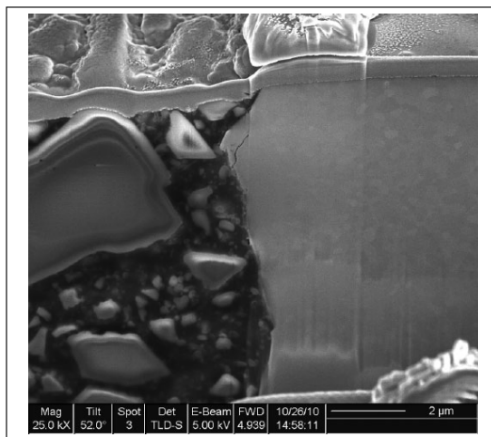


Figura 3. La abrasión de partículas de aire con alúmina ($50\ \mu\text{m}$ a $2\ \text{bar}$ durante $5\ \text{s}$) y la aplicación de una imprimación que contiene MDP proporcionan una interfaz adhesiva optimizada (aumento de $\times 25.000$). Imagen de Blatz 2018 (16)

Al-Akhali y cols. sugieren en su estudio que la imprimación de la superficie de zirconia debería realizarse inmediatamente después del arenado, ya que la fuerza de unión entre las superficies baja significativamente cuanto más tiempo pasa entre el tratamiento mecánico y la imprimación. (34)

Blatz y cols. proporcionan en su estudio imágenes obtenidas en microscopio electrónico, en las cuales se puede observar que sin ningún tratamiento previo de la superficie, la interfaz resina-cerámica revela espacios muy abiertos (Figura 2). La abrasión de partículas de aire con alúmina ($50\ \mu\text{m}$ a $60\ \mu\text{m}$ a $2\ \text{bar}$ durante $5\ \text{s}$) y la aplicación de una imprimación que contiene MDP proporcionan una interfaz adhesiva optimizada (Figura 3). (16)

Los dos métodos más populares son el arenado de la superficie con abrasión de alúmina con aire seguido de un tratamiento químico con monómero de fosfato ácido como el 10-MDP, y el

recubrimiento triboquímico de sílice seguido de silanización. (40)

5.3. AGENTES DE FIJACIÓN

Una de las grandes ventajas de las cerámicas a base de óxido versus las a base de sílice es que no requieren obligatoriamente de un cementado adhesivo para la inserción definitiva de restauraciones de cobertura total. Se pueden cementar convencionalmente siempre que la retención y el ajuste de la restauración sean adecuados. (19) Los agentes de cementación convencionales, como los tipos de cemento de ionómero de vidrio y ionómero de vidrio modificado con resina, están indicados para las restauraciones de zirconia cuando la preparación del pilar y el

espesor del material lo permiten. (1, 35) Pyo y cols. demostraron en su estudio que el cemento de ionómero de vidrio modificado con resina y el cemento autoadhesivo de resina tienen resultados clínicos similares en cuanto a la fijación de restauraciones coronarias totales de zirconia. (36) En contra parte, Ríos Szalay y cols. concluyen en su estudio que la capacidad de adhesión del ionómero de vidrio a la zirconia es nula o muy baja. (18)

La unión con resina puede estar indicada para aumentar la retención y la resistencia a la flexión, especialmente para las nuevas generaciones de zirconia de alta translucidez, las cuales son menos resistentes.

En términos de adhesión, los cementos de resina tienen mejores resultados. En cuanto a la clase de cementos resinosos, la elección puede dividirse básicamente en dos categorías: cementos tradicionales o cementos autoadhesivos. En los cementos de resina tradicionales, la fuerza de unión está ligada a la eficacia de los tratamientos preliminares. Tienen la característica de ser menos viscosos, lo que puede favorecer la penetración en las microporosidades superficiales y la resistencia en el tiempo. Los cementos de resina autoadhesivos fueron diseñados para adherirse a la estructura dental en un protocolo de un solo paso, sin los pasos de grabado, enjuague ni imprimación. Cualquier cemento de resina autoadhesivo está compuesto principalmente por los monómeros ácidos funcionales predominantes y los monómeros de dimetacrilato convencionales. Los monómeros ácidos funcionales comúnmente utilizados en los cementos de resina autoadhesivos son el fosfato de ácido bis 2-metacriloxietilo (BMP), el 10-MDP, el anhídrido 4-metacriloxietil trimelítico (4-META), el dimetacrilato de glicerol piromelítico (PMGDM), hidrogenofosfato de 2-metacriloxietilfenilo (Fenil-P) y monofosfato de pentaacrilato de dipentaeritrol (Penta-P). Según varios autores, los cementos autoadhesivos de 10-MDP dan mejores valores de adhesión. En otros estudios, no existe una superioridad clara de una categoría de cemento. (18, 22)

El bajo pH inicial y la alta hidrofiliidad de los cementos de resina autoadhesivos promueven la desmineralización de la superficie similar a lo que ocurre con los adhesivos autograbantes. Los monómeros ácidos funcionales predominantes podrían interactuar químicamente con la zirconia y la hidroxiapatita en la estructura dental. (25)

Ríos Szalay y cols. recomiendan la utilización del cemento resinoso Panavia SA Cement Automix (Kuraray Noritake Dental Inc.), por ofrecer una técnica de aplicación

simplificada sin requerir de agentes de acoplamiento, lo cual reduce la probabilidad de falla durante la manipulación del cemento. A su vez, fue el cemento que arrojó mejores resultados en cuanto a fuerza de retención, en comparación a los cementos Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) y RelyX Ultimate (3M ESPE). De todas formas, no existieron diferencias significativas en los valores obtenidos entre los 3 cementos autoadhesivos, siendo muy aceptable el desempeño de todos ellos. (18)

Tyor y cols. muestran peores resultados en cuanto a la resistencia a la fractura al utilizar el cemento autoadhesivo Calibra Universal (Dentsply Sirona, Alemania). Estos resultados podrían atribuirse a que este cemento contiene PENTA como monómero predominante, el cual presenta alta viscosidad, provocando una humectación ineficaz de toda la superficie de unión, así como un comportamiento de interpenetración micromecánica alterado. Además, se descubrió que la energía de unión de PENTA y su afinidad química por la hidroxiapatita era menor que la del MDP. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas en el resto de los cementos utilizados (Rely X U200, Panavia SA Cement Plus y Multilink Speed). (25)

Se demostró que el tipo de cemento afecta la distribución de las tensiones generadas en el complejo diente-restauración y ayuda a disipar las fuerzas oclusales aplicadas a la restauración lejos de la interfaz diente-restauración.

Khanlar y cols. muestran en su estudio que los cementos autoadhesivos pueden unirse a la zirconia, pero no pueden, por sí solos, mantener una adhesión estable a largo plazo. Por esta razón, la asociación de acondicionamiento mecánico y promotores químicos es esencial. (40) Tyor y cols. muestran en su estudio que la combinación de la imprimación que contiene MDP con los cementos de resina autoadhesivos estudiados, excepto Panavia SA Cement Plus, mejoró significativamente la resistencia a la fractura de las coronas monolíticas de zirconia. La aplicación de imprimación de zirconia aumentó la fuerza de unión del cemento de resina autoadhesivo a la superficie cerámica, debido al efecto sinérgico del MDP y los monómeros funcionales ácidos. (25) Yoshida y cols. encontraron que un exceso de MDP puede influir en la reactividad de la imprimación que contiene MDP y mejorar la fuerza de unión del cemento de resina a la zirconia. (37)

La zirconia, siendo una cerámica dental opaca, se debe cementar idealmente con un cemento de resina de curado dual o autocurado. La zirconia de alta translucidez, puede ser cementada con cementos de fotocurado siempre y cuando se utilice en espesores delgados. (13, 35)

Alsaeed y cols., y Blatz y cols., sugieren la utilización de una técnica de tres pasos denominada "APC Concept" para lograr una unión de resistencia alta y duradera entre la resina y la zirconia. (38) (35) APC-Paso A: Arenado de la superficie de zirconia con partículas de óxido de aluminio o partículas de aluminio recubiertas de sílice; APC-Paso P: *Primer* específico con MDP para lograr la imprimación de la zirconia; y APC-Paso C: Cemento de resina de curado dual o autopolimerización. (2) Alammari y Blatz concluyen en su revisión que los protocolos de fijación adhesiva aplicados con éxito a la zirconia convencional también son los más exitosos para las zirconias de alta translucidez. Sumado a esto, afirman que el tratamiento de superficie mediante arenado, la aplicación de imprimadores especiales que contengan monómero de fosfato y la utilización de cementos de resina compuesta, proporcionan fuerzas de unión duraderas a largo plazo. (39)

6. CONCLUSIONES

- No existe un consenso en cuanto al protocolo adhesivo ideal en restauraciones de zirconia.
- La mayoría de los estudios analizados coinciden en realizar una combinación de pretratamientos mecánico y químico a la superficie de zirconia.
- El tratamiento mecánico más utilizado es el arenado con partículas de óxido de aluminio. Se han examinado muchos otros tratamientos, incluido el uso de láser, grabadores ácidos, recubrimientos con plasma, entre otros. Algunos han mostrado resultados prometedores, pero su viabilidad es limitada en la rutina diaria de la práctica clínica.
- La aplicación de imprimadores con 10-MDP luego del tratamiento mecánico, mejora la fuerza de adhesión a la zirconia, ya sea por medio de imprimadores específicos o mediante el uso de sistemas adhesivos universales.
- Los cementos de resina pueden ser convencionales o autoadhesivos. Estos últimos pueden unirse a la zirconia, pero no pueden, por sí solos, mantener una adhesión estable a largo plazo. Por esta razón, la asociación de acondicionamiento mecánico y promotores químicos es esencial.
- Los protocolos de fijación adhesiva aplicados con éxito a la zirconia convencional también son los más exitosos para las zirconias de alta translucidez.

Como reflexión de la autora:

- El conocimiento de la estructura del material restaurador y el pretratamiento para su fijación adhesiva son fundamentales para la sobrevida clínica de las restauraciones de zirconia.
- El protocolo de aplicación clínica debe contemplar:
 - El acondicionamiento previo de la superficie mediante el arenado con partículas de óxido de aluminio.
 - La limpieza de la superficie con limpiadores específicos luego de la prueba en boca.

- La aplicación de agentes de imprimación con 10-MDP o en su defecto adhesivos universales con 10-MDP.
- El uso de cementos resinosos autoadhesivos o convencionales.

7. REFERENCIAS

1. Cuzic C, Pricop MO, Jivanescu A, Ursoniu S, Negru RM, Romînu M. Assessment of Different Techniques for Adhesive Cementation of All-Ceramic Systems. *Medicina*. 2022;58(1006):1-8
2. Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M. How to Bond Zirconia: The APC Concept. *Compendium*. 2016;37(9):611-8
3. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*. 2018;97(2):140-7
4. Denry I, Kelly J. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*. 2008;24(3):299-307
5. Echeverri DM, Garzón H. Cementación de estructuras para prótesis parcial fija en zirconia. *Rev Fac Odontol Univ Antioq*. 2013; 24(2): 321-35
6. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. *J Oral Rehab*. 2010;37:641–652
7. Conceição EN, Leite CV. *Odontología Restauradora: Salud y Estética*. 4ta edición. Rio Grande do Sul: Editorial Médica Panamericana; 2012. Capítulo 1:1-13
8. Abdullah Alsadon O. Adhesion concepts and techniques for laboratory-processed indirect dental restorations. *Saudi Dent J*. 2022;34(8):661-8
9. Gresnigt MMM, Cune MS, Schuitemaker J, Van Der Made SAM, Meisberger EW, Magne P. Performance of ceramic laminate veneers with immediate dentine sealing: An 11 year prospective clinical trial. *Dent Mater*. 2019;35(7):1042-52
10. Altan B, Cinar S, Tuncelli B. Evaluation of shear bond strength of zirconia-based monolithic CAD-CAM materials to resin cement after different surface treatments. *Niger J Clin Pract*. 2019;22(11):1475-82
11. Matos JDMD, dos-Santos ACM, Nakano LJN, de-Vasconcelos JEL, Andrade VC, Nishioka RS. Metal Alloys in Dentistry: An Outdated Material or Required for Oral Rehabilitation? *Int J Odontostomatol*. 2021;15(3):702-11
12. Murariu A, Dinu C, Forna DA, Stefanescu V, Topor G, Forna NC. Composite Resins - Multifunctional Restorative Material and Practical Approaches in Dental Field. *Mater Plast*. 2019;57(2):276-84
13. Alqutaibi AY, Ghulam O, Krsoum M, Binmahmoud S, Taher H, Elmalky W.

- Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review. *Molecules*. 2022;27(1699):1-19
14. Neugebauer J, Schoenbaum T, Pi-Anfruns J, Yang M, Lander B, Blatz M. Ceramic Dental Implants: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2023;38(38):30-6
 15. Afrasiabi A, Mostajir E, Golbari N. The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: in vitro. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(7):661-4
 16. Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The Effect of Resin Bonding on Long-Term Success of High-Strength Ceramics. *J Dent Res*. 2018;97(2):132-9
 17. Arellano Moncayo AM, Peñate L, Arregui M, Giner-Tarrida L, Cedeño R. State of the Art of Different Zirconia Materials and Their Indications According to Evidence-Based Clinical Performance: A Narrative Review. *Dent J*. 2023;11(1):1-18
 18. Ríos Szalay E, Garcilazo Gómez A, Guerrero Ibarra J, Meade Romero I, Miguelena Muro K. Estudio comparativo de la resistencia al desplazamiento de cuatro cementos en zirconia. *Rev Odontológica Mex*. 2017;21(4):235-40
 19. Blatz MB, Conejo J, Alammar A, Ayub J. Current Protocols for Resin-Bonded Dental Ceramics. *Dent Clin North Am*. 2022;66(4):603-25.
 20. Ghodsi S, Arzani S, Shekarian M, Aghamohseni M. Cement selection criteria for full coverage restorations: A comprehensive review of literature. *J Clin Exp Dent*. 2021;13(11):1154-61
 21. Hajjaj MS, Alzahrani SJ. Effect of Different Cleaning Methods on Shear Bond Strength of Resin Cement to Contaminated Zirconia. *Materials*. 2022;15(5068):1-10
 22. Scaminaci Russo D, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. *Dent J*. 2019;7(74):1-19
 23. Angkasith P, Burgess JO, Bottino MC, Lawson NC. Cleaning Methods for Zirconia Following Salivary Contamination. *J Prosthodont*. 2016;25(5):375-9
 24. Khanlar LN, Takagaki T, Abdou A, Inokoshi M, Ikeda M, Takahashi A. Effect of Air-Particle Abrasion Protocol and Primer on The Topography and Bond Strength of a High-Translucent Zirconia Ceramic. *J Prosthodont*. 2022;31(3):228-38
 25. Tyor S, Al-Zordk W, Sakrana AA. Fracture resistance of monolithic translucent zirconia crown bonded with different self-adhesive resin cement: influence of MDP-containing zirconia primer after aging. *BMC Oral Health*. 2023;23(636):1-10

26. Ruales-Carrera E, Cesar PF, Henriques B, Fredel MC, Özcan M, Volpato CAM. Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(4):388-97
27. Le M, Larsson C, Papia E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dent Mater J.* 2019;38(3):480-9
28. Comino-Garayoa R, Peláez J, Tobar C, Rodríguez V, Suárez MJ. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. *Materials.* 2021;14(2751):1-14
29. Salimi K, Atri F, Valizadeh S, Sahebi M, Ghodsi S, Manouchehri N. Influence of nonthermal argon plasma on the micro-shear bond strength between resin cement and translucent zirconia. *J Conserv Dent.* 2023;26(3):281-7
30. Sevilla P, Gseibat M, Peláez J, Suárez MJ, López-Suárez C. Effect of Surface Treatments with Low-Pressure Plasma on the Adhesion of Zirconia. *Materials.* 2023;16(6055):1-12
31. Kang CM, Lin DJ, Feng SW, Hung CY, Iwaguro S, Peng TY. Innovation Glass-Ceramic Spray Deposition Technology Improving the Adhesive Performance for Zirconium-Based Dental Restorations. *Int J Mol Sci.* 2022;23(12783):1-12
32. Peng TY, Kang CM, Feng SW, Hung CY, Iwaguro S, Lin DJ. Effects of glass-ceramic spray deposition manipulation on the surface characteristics of zirconia dental restorations. *Ceram Int.* 2022;48(20):29873-81
33. Li R, Wang C, Ma SQ, Liu ZH, Zang CC, Zhang WY. High bonding strength between zirconia and composite resin based on combined surface treatment for dental restorations. *J Appl Biomater Funct Mater.* 2020;18(0):1-9
34. Al-Akhali M, Al-Dobaei E, Wille S, Mourshed B, Kern M. Influence of elapsed time between airborne-particle abrasion and bonding to zirconia bond strength. *Dent Mater.* 2021;37(3):516-22
35. Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M. How to Bond Zirconia: The APC Concept. *Compendium.* 2016;37(9):611-8
36. Pyo SW, Park K, Daher R, Kwon HB, Han JS, Lee JH. Comparison of the clinical outcomes of resin-modified glass ionomer and self-adhesive resin cementations for full-coverage zirconia restorations. *J Dent.* 2023;135(104558):1-8
37. Yoshida K. Effect of 10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate Concentrations in Primers on Bonding Resin Cements to Zirconia. *J Prosthodont.*

2021;30(4):356-62

38. Alsaeed AY. Bonding CAD/CAM materials with current adhesive systems: An overview. *Saudi Dent J.* 2022;34(4):259-69
39. Alammari A, Blatz MB. The resin bond to high-translucent zirconia—A systematic review. *J Esthet Restor Dent.* 2022;34(1):117-35
40. Khanlar LN, Abdou A, Takagaki T, Mori S, Ikeda M, Nikaido T, et al. The effects of different silicatization and silanization protocols on the bond durability of resin cements to new high-translucent zirconia. *Clin Oral Investig.* 2022;26(4):3547-61

8. AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a Fede, por su apoyo incondicional y fe en mí.

A mi tutor, el Dr. Guillermo Grazioli, por ser fuente de constante motivación, guía académico y fundamental compañía en el proceso de desarrollo de la monografía.

Al equipo de funcionarios de Biblioteca de la Facultad de Odontología UDELAR, por su ayuda en el proceso de búsqueda bibliográfica.

A los docentes de la carrera de Especialidad en Odontología Restauradora Integral, en especial a los Dres. Sergio Verdera y Héctor Pacheco, por los conocimientos brindados durante los años de carrera, siempre con absoluta dedicación y generosidad.

A mis compañeros de generación, en especial a la Dra. Antonella Racua y la Dra. Cecilia Monzón, por las jornadas de estudio compartidas y la motivación a ser mejor profesional siempre.