



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Programa Macro de Investigación

SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Evaluación de técnicas de adhesión a circonio

Investigador Principal:

Dr. David Lafuente Marín

Sustentantes del Seminario de Graduación:

Bryan Herrera Anchia B13281

Joselyn Vargas Boza B26945

Jorge Ulate Sancho B47074

Natalia Ulloa Benavides B47080

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio Brenes, Costa Rica

San José, Costa Rica

Año 2019

HOJA DE APROBACIÓN DE MEMORIA

SEMINARIO DE GRADUACIÓN

Nombre del proyecto:

Evaluación de técnicas de adhesión a circonio

Sustentantes Fecha: 11/12/2019

Nombre: Carné Firma

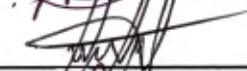
Bryan Herrera Anchia B13281



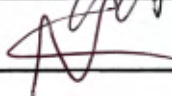
Joselyn Vargas Boza B26945



Jorge Luis Ulate Sancho B47074



Natalia Ulloa Benavides B47080



Miembros del Tribunal:

Nombre: Firma:

Kayal Ramirez Chen

Kayal Ramirez

David Lafuente

David Lafuente

Sinead Muello Knudsen

Sinead Muello Knudsen

Mauricio Montano Aguilera

Mauricio Montano Aguilera

Carlos E. Filloy

Carlos E. Filloy

DEDICATORIA

A nuestros padres, amigos, compañeros y docentes por el apoyo y motivación brindada todos estos años.

A la Universidad de Costa Rica por facilitarnos las herramientas, equipo y otros elementos esenciales para la creación de esta línea de investigación.

Gracias.

RECONOCIMIENTO

Agradecemos al Dr. David Lafuente Marín por ser nuestro guía, por la orientación, conocimiento y apoyo durante el proceso de investigación.

CARTA DEL FILÓLOGO

Cartago, 21 de noviembre de 2019

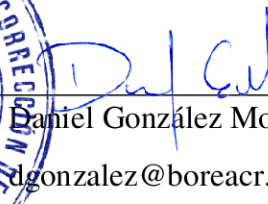
Los suscritos, Elena Redondo Camacho, mayor, casada, filóloga, cédula de identidad número 3 0447 0799 y Daniel González Monge, mayor, casado, filólogo, cédula de identidad número 1 1345 0416, vecinos de Quebradilla de Cartago, en calidad de filólogos revisamos y corregimos el trabajo final de graduación que se titula: *Evaluación de técnicas de adhesión a circonio*, sustentado por Bryan Herrera Anchia, Joselyn Vargas Boza, Jorge Ulate Sancho y Natalia Ulloa Benavides.

Hacemos constar que se corrigieron aspectos de forma, redacción, estilo y otros vicios del lenguaje que se pudieron trasladar al texto. La originalidad y la validez del contenido son responsabilidad exclusiva del autor y de sus asesores.

Esperamos que nuestra participación satisfaga los requerimientos de la Universidad de Costa Rica.



Elena Redondo Camacho
eredondo@boreacr.com
Filóloga
Carné Acfil 0247



Daniel González Monge
dgonzalez@boreacr.com
Filólogo
Carné Acfil 0245

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria.....	iii
Reconocimiento	iv
Índice general	vi
Lista de tablas.....	ix
Lista de figuras.....	x
Abreviaturas.....	xi
Resumen	xiii
Capítulo I. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.4. Objetivos del estudio.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Hipótesis nula	3
1.6. Hipótesis alternativa.....	4
Capítulo II. Marco teórico	5
2.1. Cerámicas y Porcelanas dentales.....	5

2.2. Clasificación.....	6
2.2.1. Según forma de obtención.....	6
2.2.2. Según su composición.....	7
2.3. Circonia.....	8
2.3.1. Fases de circonia.....	9
2.3.2. Tipos de circonia.....	10
2.4. Fabricación.....	16
2.5. Tratamiento de superficie en cerámicas dentales.....	17
2.6. Tratamiento superficie del circonio.....	17
2.7. Silano.....	19
2.8. Cementos resinosos.....	21
2.9. Imprimadores o primers.....	23
2.10. Procesamiento de circonia y sus efectos.....	24
2.11. Grinding.....	25
2.12. Polishing.....	26
2.13. Sandblasting.....	26
2.14. Tratamiento superficial y térmico.....	27
Capítulo III. Metodología.....	29
3.1. Formato de la muestra.....	29
3.2. División de las muestras.....	31

Capítulo IV. Desarrollo	42
4.1. Resultados.....	42
4.2. Discusión	48
4.3. Limitaciones y perspectivas	51
4.4. Conclusiones	52
Referencias bibliográficas	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de la circonia	12
Tabla 2. Características de materiales utilizados durante el procedimiento, tomado de los respectivos prospectos de la casa comercial.....	41
Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) de Circonia y Adhesivo.....	43
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de Circonia vs Silano.....	43
Tabla 5. Prueba de Scheffe para uso de adhesivo en cada tipo de zirconio.....	44
Tabla 6. Resultados de promedios de fuerza (MPa) en cada grupo de circonio utilizando los tres tipos de imprimador con y sin adhesivo, respectivamente	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Propagación de fuerzas de estrés en la circonia que ocasionan microfracturas en la misma	13
Figura 2. Reacción de hidrólisis del silano con una superficie inorgánica.....	20
Figura 3. Muestras de resina cementadas en los bloques de circonio (sin y con adhesivo, respectivamente) utilizando el imprimador Clearfil Ceramic Primer Plus...30	30
Figura 4. Diagrama organizacional de muestras	33
Figura 5. Muestras sumergidas en agua dentro del recipiente.	34
Figura 6. Muestras dentro del colocado recipiente en la incubadora	34
Figura 7. Muestra de resina en el dispositivo antes de llevar a cabo la prueba de cizalla, vista frontal.....	36
Figura 8. Muestra de resina en el dispositivo antes de llevar a cabo la prueba de cizalla, vista lateral.....	37
Figura 9. Muestras de resina en el dispositivo durante la prueba de cizallamiento, vista frontal	39

ABREVIATURAS

MPa: Megapascales.

GPa: Gigapascales.

Y₂O₃: Óxido de itrio.

3Y-TZP: 3 % moles de circonia policristalina tetragonal estabilizada con itrio.

FSZ: Circonia estabilizada completamente.

PSZ: Circonia estabilizada parcialmente.

TZP: Policristales tetragonales de circonia.

-TZP: Policristales tetragonales de circonia estabilizados con itrio.

Mg-PSZ: Circonia estabilizada parcialmente con magnesio.

ZTA: Circonia endurecida con alúmina.

ZrO₂: Dióxido de circonio.

5Y-ZP: 5 % moles de circonia policristalina estabilizada con itrio.

CAD/CAM: Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing.

Al₂O₃: Óxido de aluminio.

MDP: Metacriloxietil dihidrógeno fosfato.

Bis-GMA: bisfenol glicidil metacrilato.

MPS: γ - metacril-oxipropil trimetoxi-silano.

s/cm²: Segundo por centímetro cuadrado.

µm: Micrómetros.

gr: Gramos.

mm: Milímetro.

kg/cm² : Kilogramo por centímetro cuadrado.

SiO₂: Dióxido de silicio.

ANOVA: Análisis de varianza.

HEMA: Hidroxietil Metacrilato.

CCPP: Clearfil Ceramic Primer Plus.

BPDM: Dimetacrilato de bifenilo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo de estudio la comparación sobre la influencia del uso de diferentes imprimadores con y sin el uso de adhesivo. Esto en la resistencia de adhesión entre bloques de resina y tres diferentes tipos de circonia al usar un mismo cemento resinoso.

Se utilizaron 236 muestras de resina (Brilliant Universal Duo-Shade Nano Composite) en forma de cilindros de 2 mm de diámetro, usando un molde de teflón. Estas muestras fueron cementadas a 3 diferentes tipos de circonio (Katana Zirconia Ultra Translucent Multi Layered, Katana Zirconia Multi Layered y NexxZr T High Translucent Zirconia), el número de muestras para cada tipo de circonia fue de 71, 75 y 90 muestras respectivamente.

Estas muestras estaban sumergidas en bloques de acrílico y fueron arenadas previamente. Se hicieron pruebas de adhesión del circonio a la resina con un mismo cemento de fotocurado (Variolink Esthetic LC), pero con tres tipos diferentes de imprimador (Monobond N, Clearfil Ceramic Primer Plus y Z-Prime plus) cada uno con y sin adhesivo. El adhesivo utilizado fue el Tetric N-Bond (Ivoclar Vivadent). Posteriormente, estas muestras se sometieron a pruebas de cizalla para evaluar la resistencia de adhesión.

Gracias a los análisis de resultados se puede concluir que los tres tipos de circonio presentaron un desempeño adhesivo similar con la resina compuesta. Además, los tres tipos de imprimadores cerámicos utilizados presentaron una resistencia adhesiva similar. El uso del adhesivo de grabado total fue perjudicial en la resistencia adhesiva

de las circonias a la resina compuesta.

Capítulo I. Introducción

1.1. Introducción

Hasta mediados del siglo pasado las restauraciones metal-porcelana era el tratamiento por excelencia en el campo de la prótesis fija, sin embargo, la tendencia de occidente por la estética dental ha cambiado por completo el paradigma de las restauraciones. Las coronas cerámicas comenzaron a emplearse en odontología porque ofrecen una mejor estética y biocompatibilidad que las metal-cerámica empleadas hasta ese momento.¹ El desarrollo de las restauraciones totalmente cerámicas se ha producido en las últimas dos décadas, como consecuencia del avance en materia de innovaciones tecnológicas y materiales.

Existen diferentes tipos de cerámicas, pero la circonia o zirconia, llamada comúnmente zirconio, se ha impuesto sobre el resto para la fabricación de estructuras, tanto de coronas individuales como de prótesis múltiples fijas. Esto se debe a sus características en alta resistencia a la fractura, a cambios térmicos y su longevidad, lo que la convierte en un material con excelentes cualidades. Incluso se han desarrollado muchos tipos de circonia de uso dental para abarcar las diferentes necesidades restaurativas.

La odontología restaurativa actual se basa en la adhesión a esmalte-dentina. En el caso de la circonia, la adhesión ha sido un reto, tanto para los clínicos como para los investigadores debido a las características estructurales de este material.¹ Por esto, uno de los enfoques de investigación recae en la eficacia y eficiencia en la adhesión de estos materiales, ya que se busca el mejor rendimiento posible. La adhesión a

cerámicas vítreas está consolidada, sin embargo, cuando se habla de cerámicas policristalinas todavía no está tan claro el protocolo ideal para la adhesión química a las mismas. Diversos imprimadores químicos, sistemas adhesivos y tratamientos de superficie han sido estudiados en adhesión a circonia, pero todavía es necesario descubrir cómo interactúan entre sí los diferentes materiales que se usan en la actualidad. Esto para determinar el mejor protocolo adhesivo para cada caso clínico en específico.

1.2. Justificación

Como se mencionó, la circonia ofrece altas propiedades estéticas y mecánicas. Sin embargo, la adhesión a este material ha demostrado complicarse, debido a la dificultad de crear retenciones mecánicas, por su dureza y composición química. Además, influye la superficie inerte que hace que la circonia no sea tan reactiva con los materiales usados comúnmente para adhesión con cerámicas vítreas y materiales resinosos.¹

La gran cantidad de investigaciones y trabajos respecto a la circonia permiten un avance en los conocimientos y técnicas de adhesión. Por esto, con la finalidad de reforzar los conocimientos, así como comparar con otros estudios y someter a prueba la eficiencia de los productos que se utilizan cotidianamente en la práctica clínica profesional, se pretende evaluar la resistencia adhesiva entre el cemento resinoso y diferentes tipos de circonia. Se usarán imprimadores o primer como agentes de unión para determinar el efecto ejercido por los mismos. A la vez, se busca indagar el efecto que puede producir la presencia o ausencia de adhesivo en conjunto con los

imprimadores químicos.

1.3. Planteamiento del problema

¿Cómo influye el uso de diferentes imprimadores con y sin el uso de adhesivo, en la resistencia de adhesión entre bloques de resina y tres diferentes tipos de circonia utilizando un mismo cemento resinoso de fotocurado?

1.4. Objetivos del estudio

1.4.1. Objetivo general

Comparar cómo influye el uso de diferentes imprimadores con y sin adhesivo, en la resistencia de adhesión entre bloques de resina y tres tipos distintos de circonia, utilizando un mismo cemento resinoso de fotocurado.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la resistencia adhesiva de bloques de resina a tres tipos diferentes de circonio de uso dental.
2. Evaluar la resistencia adhesiva de bloques de resina a circonio, según el uso de tres diferentes imprimadores o agentes de unión al circonio.
3. Evaluar el efecto del uso de adhesivo de grabado total en la resistencia adhesiva de bloques de resina a circonio de uso dental.

1.5. Hipótesis nula

No existe diferencia en la adhesión de los bloques de resina a los diferentes

circonios utilizados bajo diferentes protocolos adhesivos.

1.6. Hipótesis alternativa

Existe diferencia en la adhesión de los bloques de resina a los diferentes circonios utilizados bajo diferentes protocolos adhesivos.

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Cerámicas y Porcelanas dentales

El crecimiento constante en el interés de las personas por mantener restauraciones más estéticas en boca, o bien la resistencia de los pacientes al uso de materiales restauradores metálicos, así como la demanda creciente de materiales con alta estética adecuados para el sector posterior, han impulsado el mejoramiento de las propiedades de muchos materiales dentales de uso habitual. Uno de estos materiales es la cerámica, llamada habitualmente porcelana. La cerámica definida, del griego *keramos*, es una matriz de vidrio de baja fusión reforzada con un relleno de alta fusión. Se obtiene al elevar la temperatura por arriba del punto de fusión de la matriz y por debajo del punto de fusión del relleno.²

De manera errónea, los términos porcelana y cerámica son usados diariamente como sinónimos en la odontología, sin embargo, la porcelana es un tipo de cerámica con características en su composición. La cerámica incluye los derivados de compuestos inorgánicos no metálicos que se procesan a altas temperaturas para obtener el producto vítreo. Materiales como boruros, carburos, nitruros y óxidos forman parte de los numerosos tipos de cerámicas existentes. Su estructura cristalina le confiere una increíble dureza, sin embargo, al mismo tiempo, lo hace un material muy frágil y susceptible a fractura.² Por otro lado, cuando se habla de porcelana, se refiere a una cerámica que incluye en su composición (originalmente) aluminosilicato, cuarzo y feldespato.²

2.2. Clasificación

Existen muchas clasificaciones para las cerámicas dentales. Según su forma de obtención se pueden encontrar diversas categorías de cerámicas que difieren entre autores. Sin embargo, las más usadas comúnmente se describen a continuación:

2.2.1. Según forma de obtención

- **Condensadas:** consiste en el cocimiento de los polvos cerámicos en un horno a temperatura y presión controladas, de modo que se logra que se cristalicen y se obtiene el producto con las propiedades que se desean. Cuando las partículas vítreas se exponen a altas temperaturas comienzan a fluir entre los componentes de relleno, esto crea la matriz vítrea y su contenido para la unión de todas las partículas.²
- **Prensadas:** mediante esta técnica igualmente se calienta la cerámica para que fluya y se inyecta en un molde de material refractario obtenido por la técnica de la cera perdida. Sin embargo, al incluir la presión se permite una matriz vítrea más homogénea y compacta, lo que implica una mejora en las propiedades mecánicas del material reflejada en más alta cristalinidad, buena dispersión cristalina y cristales, más pequeños que en la técnica de sinterización.²
- **Slip Casting:** consiste en la aplicación de una solución acuosa que contiene partículas cerámicas sobre los troqueles refractarios, se logra una base que se pule para dar la forma y, posteriormente, se puede sinterizar con feldespato. La idea es que la cofia sea de una porcelana con mejores

propiedades físicas como cerámicas con alúmina o circonio para dar resistencia y, a la vez, mejores propiedades ópticas que una base de metal regular.²

- Infiltradas por vidrio: esta forma de obtener una restauración busca la resistencia con una base porosa de alúmina a la cual se le infiltra una matriz vítrea que le da estética.²
- Maquinadas: consiste en bloques preformados de cerámica que se cortan mediante sistemas de máquinas fresadoras de alta precisión. Al venir preformado tiene la ventaja de que estos bloques han sido fabricados con altos estándares de presión, temperatura y contenido, de manera que se obtiene una restauración con las más altas propiedades mecánicas que se han podido obtener hasta el momento. El proceso de maquinado incluye programas computacionales que ayudan a diseñar la restauración en una computadora, de manera que se obtienen restauraciones muy predecibles.²

2.2.2. Según su composición

Según Gracis *et al.*, la clasificación de las cerámicas, según su composición es un paso lógico en la dirección correcta, ya que la comprensión de la composición cerámica es esencial para obtener resultados óptimos.³ Hasta ahora, los intentos han demostrado ser demasiado generales y poco prácticos, desafortunadamente. Es por esta razón y otras consideraciones que los autores propusieron un nuevo enfoque para clasificar los materiales restauradores cerámicos en tres familias, según la presencia de atributos específicos en su formulación, de la siguiente manera:

1. Cerámica de matriz de vidrio: materiales cerámicos inorgánicos no metálicos que contienen una fase de vidrio. Se subdividen en:
 - Cerámicas de feldespato.
 - Cerámicas sintéticas.
 - Cerámicas infiltradas en vidrio.

2. Cerámicas policristalinas: materiales cerámicos inorgánicos no metálicos que no contienen ninguna fase de vidrio. Se subdividen en:
 - Alúmina.
 - Circonia estabilizada.
 - Alúmina endurecida con circonia.
 - Circonia endurecida con alúmina (actualmente en desarrollo).

3. Cerámicas de matriz de resina: matrices de polímeros que contienen predominantemente compuestos refractarios inorgánicos que pueden incluir porcelanas, vidrios, cerámicas y vitrocerámicas. Se divide en varios subgrupos, según su composición.

2.3. Circonia

En la actualidad, la circonia es un material dental muy utilizado, ya que ha mostrado tener características estéticas y de resistencia muy deseables en odontología.⁴ Se ha incorporado en los últimos 15 años, de una manera vertiginosa, en el quehacer odontológico, debido a sus propiedades físicas, como alta dureza,

resistencia a la fractura, buen pulido, variedad de colores, fluorescencia y opalescencia. La circonia ha mostrado ser útil en varios procedimientos odontológicos, como material principal para coronas y puentes, postes endodónticos, implantes, etc.⁴ Esta misma es el circonio con dióxidos cristalinos, lo cual lo convierte en circonia.⁴

De manera general, la circonia tiene una resistencia a la flexión de más de 1000 MPa,⁵ rondando así desde los 800 hasta los 1500 MPa.⁶ Además, posee una dureza que ronda desde los 9.4 hasta los 11.5 MPa⁶ y un módulo de elasticidad de 210 GPa.⁴

2.3.1. Fases de circonia

La circonia ha evolucionado en diversas variantes, según la selección del polvo, los aditivos de sinterización, el tratamiento térmico y otros factores de procesamiento,⁷ puede estar presente en 3 principales fases, como cúbica, tetragonal o monoclinica.⁴

La circonia pura se encuentra estable cuando está en su fase monoclinica, desde temperatura ambiente y hasta los 1170 grados Celsius (aproximadamente). Al calentarla, por encima de los 1170 grados, cambia a su fase tetragonal y después a su fase cúbica, donde llega a su punto de fusión a los 2370 grados Celsius.⁴

Al enfriar, entre los 100-1070 grados Celsius, la circonia cambia nuevamente de su fase tetragonal a su fase monoclinica.⁴ Aunque la fase monoclinica no posee propiedades mecánicas excepcionales, la resistencia mejorada y la resistencia a la fractura se logran mediante la incorporación medida de dopantes en el polvo. De este modo, la fase tetragonal se estabiliza parcialmente en la microestructura a temperatura ambiente.

Las transformaciones de reversión de la fase tetragonal a la fase monoclinica,

activadas por tensiones aplicadas externamente, dan como resultado la expansión y el cambio de forma entre los granos individuales, lo que absorbe energía y brinda resistencia al daño.⁷ Esta misma transformación (de tetragonal a monoclinica) se acompaña de una deformación y un gran aumento de volumen (4 %).

El aumento de volumen puede cerrar las grietas, lo que implica aumentos en la resistencia a la fractura del material. El uso de este endurecimiento de la transformación requiere que las fases tetragonal o cúbica se estabilicen a temperatura ambiente, mediante la aleación de circonia pura con óxidos como itrio, magnesio, calcio y cerio. Estos elementos estabilizarán total o parcialmente cualquiera de estas fases.³

De los diversos dopantes utilizados, el itrio (Y_2O_3) ha demostrado ser el más efectivo para lograr una combinación de alta resistencia y dureza. Por lo tanto, el 3 % en moles de circonia policristalina tetragonal estabilizada con itrio (3Y-TZP) se ha convertido en la cerámica dental básica para restauraciones protésicas. Además de estabilizar a la circonia en fase tetragonal o cúbica el itrio le brinda propiedades más estéticas lo que hace a la circonia cada vez más translúcida conforme aumentan los moles de itrio. Sin embargo, cuanta más translucidez, menores serán las propiedades mecánicas del material, por lo que se debe tomar esto en cuenta en el momento de usar esta porcelana en restauraciones orales.⁷

2.3.2. Tipos de circonia

Gracis *et al.*, mencionan una clasificación de las cerámicas de circonia, según su microestructura, como circonia estabilizada completamente (FSZ), circonia

estabilizada parcialmente (PSZ) y policristales tetragonales de circonia (TZP).³ En FSZ, la circonia se encuentra en su forma cúbica y contiene más de 8 % en moles de óxido de itrio (Y₂O₃). La PSZ está formada por partículas tetragonales o monoclinicas nanométricas en una matriz cúbica y las TZP son materiales monolíticos principalmente de fase tetragonal estabilizados más comúnmente con itria o ceria.³

Las circonias en odontología son todas de tipo TZP, más comúnmente Y-TZP, ya que esta forma tiene la mayor resistencia y dureza a la fractura después del mecanizado y la sinterización.³ Por otra parte, según Madfa *et al.*, aunque existe una amplia variedad de sistemas cerámicos en odontología, se utilizan principalmente tres tipos de circonia en materiales dentales.⁴ Estos son la circonia reforzada con policristales de yttria tetragonal (3Y-TZP), la circonia estabilizada parcialmente con magnesio (Mg-PSZ) y la circonia endurecida con alúmina (ZTA).

2.3.2.1. Circonia reforzada con policristales de itrio tetragonal

La mayoría de los materiales dentales se utilizan a base de circonia reforzado con policristales de yttria tetragonal (3Y-TZP), ya que al estar reforzado con 3 moles de yttria, estabiliza la circonia en el momento de calentarse.⁸ Esto otorga ciertas características al circonio que son muy beneficiosas, como el ser biocompatible, tener alta resistencia flexural, entre otras. Ciertas propiedades mecánicas de la circonia se pueden notar⁴ en la *Tabla 1*:

Tabla 1. *Propiedades mecánicas de la circonia*

Mechanical Properties	Amount
Density	6.05 g/cm ³
Hardness	1200 HV
Bend strength	900-1200 MPa
Compressive strength	2000 MPa
Fracture toughness	7-10 MPam ^½
Young's modulus	210 GPa
Thermal expansion coefficient	11x10 ⁻⁶ 1/K

En la *Tabla 1* se puede notar que la circonia reforzada con policristales de itrio exhibe propiedades mecánicas superiores a la mayoría de las cerámicas dentales utilizadas comúnmente en odontología, por una de las formas de circonia más utilizadas.⁴

Como se mencionó, cuando la circonia ha sido reforzada con policristales de itrio en su fase tetragonal, se logra estabilizar a temperatura ambiente. No obstante, bajo situaciones de estrés (como enfriamiento) la circonia puede cambiar de la fase tetragonal a su fase monoclinica nuevamente, la cual es 4 % mayor en cada unidad de átomo.⁸ Por ende, durante este cambio aumenta su volumen, esto provoca que haya microfracturas en el material.⁸ A este proceso se llama envejecimiento de la circonia.⁴ Diferentes procesos pueden hacer que esto ocurra, como estar en contacto con agua o vapor, fluidos del cuerpo, el proceso de esterilización, fuerzas del bruxismo o apretar los dientes, etc.⁴ En el siguiente esquema de Madfa *et al.* se puede ejemplificar cómo es que el cambiar de fase tetragonal a fase monoclinica aumenta

las microfracturas de la 3Y-TZP.

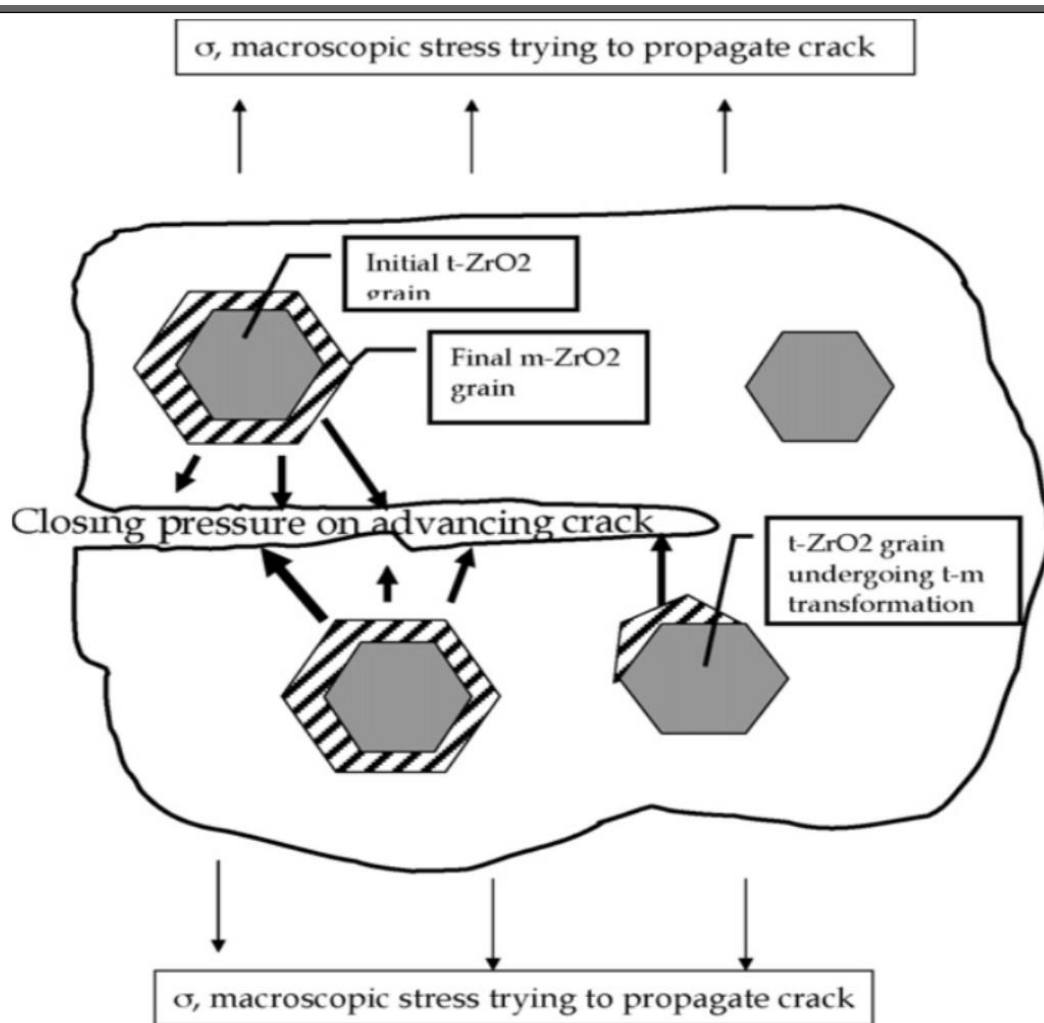


Figura 1. Propagación de fuerzas de estrés en la circonia que ocasionan microfracturas en la misma

Sin embargo, se ha notado que en temperaturas de 900-1000 grados Celsius, la circonia logra cambiar nuevamente de fase monoclinica, a su fase tetragonal.⁹

Como se mencionó, se utiliza comúnmente 3 moles de itrio para reforzar la fase tetragonal de la circonia. No obstante, se ha visto que a mayor cantidad de moles de itrio, se mejora la translucencia de la circonia, haciéndola más favorable en tratamientos estéticos. Se ha empezado a utilizar 4 o 5 moles de itrio para reforzar la

fase circonia en su fase tetragonal también.¹⁰

Kwon *et al.*¹¹, recalcan que, recientemente, la circonia dental se ha fabricado con un mayor contenido de itrio. La circonia con 8 % en moles de itrio estabilizará completamente la fase cúbica, mientras que la circonia dental dopada con 5 % en moles de itrio, crea una circonia estabilizada parcialmente con aproximadamente 50 % de circonia en fase cúbica.

La fase cúbica de la circonia es isotrópica en diferentes direcciones cristalográficas, lo que disminuye la dispersión de la luz que se produce en los límites del grano. Como resultado, la circonia cúbica parece más translúcida. La circonia cúbica estabilizada no se transforma a temperatura ambiente y, por lo tanto, no sufrirá endurecimiento por transformación o degradación a baja temperatura. En otras palabras, ha reducido las propiedades mecánicas, pero no se transformará con el tiempo.¹¹.

La llegada de 5Y-ZP promete la fortaleza de la circonia con una translucidez más cercana a la del disilicato de litio (más estético), pero estas afirmaciones deben evaluarse directamente. Además, varias de las propiedades clínicas de 5Y-ZP deben evaluarse para determinar si este material funcionará, de manera similar, a las previas de circonia dental, en términos de capacidad de unión con el uso de abrasión de partículas en el aire y cebadores que contengan fosfato de 10-metacriloxidecil dihidrógeno (MDP) y compatibilidad de desgaste con el esmalte.¹¹

Se ha producido cierta confusión en la nomenclatura, ya que tanto el 0,05 % en peso de 3Y-TZP que contiene alúmina como el 5 % en moles de circonia policristalina

estabilizada con itrio (5Y-ZP) se han denominado *circonia translúcida*. Sin embargo, estos materiales de circonia tienen diferentes propiedades mecánicas y ópticas.¹¹

2.3.2.2. Circonia estabilizada parcialmente con magnesio (Mg-PSZ)

Acerca de la circonia estabilizada parcialmente con magnesio, se ha notado que, al estar estabilizada con magnesio al 8 %, su resistencia de fractura también aumenta. Según investigaciones, aumenta hasta tener alrededor de 2.000 MPa de fuerza de resistencia a fractura.¹²

2.3.2.3. Circonia endurecida con alúmina (ZTA)

Una de las desventajas de la primera iteración de circonia dental (3Y-TZP) fue su opacidad. Una fuente de opacidad de la circonia dental es la presencia de alúmina. La alúmina se agrega como un auxiliar de sinterización para ayudar a prevenir la formación de poros cuando se coloca circonia en el horno. La alúmina también se segrega a los límites de grano y ayuda a estabilizar la circonia tetragonal. La circonia y la alúmina tienen diferentes índices de refracción y el contenido de alúmina puede disminuir la transmisión de luz en línea cuando se agrega a la circonia. En la segunda iteración de 3Y-TZP utilizada en odontología, el contenido de alúmina se redujo del 0,25 % en peso al 0,05 % en peso. Este 0,05 % en peso de 3Y-TZP que contiene alúmina es más translúcido que el 0,25 % en peso de 3Y-TZP que contiene alúmina, sin embargo, es más susceptible a la degradación a baja temperatura porque hay menos alúmina para estabilizar la fase tetragonal.¹¹

Por otro lado, según Gracis *et al.*³, debido a que la circonia permanece estabilizada parcialmente en la fase tetragonal y la alúmina presenta una dureza

moderada, existe una tendencia en el desarrollo de alúmina-circonia (alúmina endurecida con circonia [ZTA]) y circonia-alúmina (circonia endurecida con alúmina [ATZ]). Están compuestos con estructura a escala micro o nano (los compuestos se describen como una composición de dos o más fases diferentes, aquí, alúmina y circonia).

El porcentaje de circonia o alúmina en el material compuesto se puede adaptar y modificar, según la demanda o la manipulación de los fabricantes. Para propósitos de clasificación, los autores en este artículo sugieren que ZTA debería tener > 50 % en peso de alúmina, mientras que ATZ debe presentar > 50 % en peso de circonio.³ Según este artículo, la última tecnología está asociada con métodos para aplicar nanopartículas de circonia a micropartículas de alúmina antes de la sinterización. Las ventajas de estos materiales compuestos en comparación con Y-TZP son la resistencia a la degradación a baja temperatura, mayor resistencia y resistencia a la fractura y más del doble de resistencia a la fatiga cíclica de Y-TZP.³

2.4. Fabricación

La mayoría de las estructuras de circonia utilizadas en odontología son fabricadas usando el sistema CAD/CAM (“Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing”).⁸ Esto se hace mediante 2 procesos: 1.) Utilizando fresas en un bloque de circonia sinterizado completamente, lo cual evita que haya contracción del material posterior a su proceso. No obstante, este método desgasta las fresas utilizadas, además, no garantiza que la estructura sea 100 % fiel a la preparación.⁸ 2.) Se utiliza un bloque de circonio presinterizado (no por completo), el cual se fresa, según el

diseño, al tomar en cuenta que al sintetizarse por completo se encogerá, por lo que no afecta las propiedades mecánicas ni su engranaje a la preparación.⁸

2.5. Tratamiento de superficie en cerámicas dentales

Entre los métodos de tratamiento de superficie a una cerámica dental para mejorar la adhesión se tienen los métodos físicos y químicos. El ácido fluorhídrico elimina la porción vítrea de las cerámicas que la poseen por medio de una reacción ácido base. Como ejemplo de un método físico está el arenado del intaglio de una restauración para aumentar el área de superficie y crear mayor retención mecánica.¹⁰ En la época actual donde la adhesión en odontología está en su clímax, es usual el uso de químicos que interactúan con la cerámica y alteran su superficie. Aunque esta adhesión es beneficiosa, se deben entender las bases químicas de los productos usados para así evitar incompatibilidades y conseguir una adhesión óptima.

2.6. Tratamiento superficie del circonio

El grabado ácido y la silanización fueron usados copiosamente para mejorar la unión de cerámicas feldespáticas. Sin embargo, las propiedades físicas y la composición del óxido de circonio difieren sustancialmente de las cerámicas que contienen sílice.¹⁴ La estructura cristalina de la circonia no permite un tratamiento de superficie por medio de ácidos, debido a la ausencia de matriz vítrea, por lo que necesita de un tratamiento de superficie particular para que la restauración pueda adherirse a la superficie dental y al cemento. Esta unión la logra, tanto micromecánicamente como químicamente.¹³

Por lo anterior, el tratamiento de la superficie del circonio abarca desde

arenados con micropartículas abrasivas de óxido de aluminio (Al_2O_3), abrasión con instrumentos de diamante rotatorios, arenados con Rocatec o CoJet de partículas de alúmina revestidas de sílica, hasta combinaciones de todos estos elementos.¹³ El arenar la superficie del circonio con partículas abrasivas de óxido de aluminio (Al_2O_3) envueltas en una capa de sílica ha demostrado ser un factor efectivo en la durabilidad del enlace de cerámicas como la circonia.¹⁵

De Robles¹⁴, menciona que entre los tratamientos de superficie para circonia más destacados se encuentran:

- Tratamientos mecánicos, que son aquellos que aumentan la superficie microretentiva, como el arenado.
 - Arenado: la mayoría recomienda el arenado como un método de pretratamiento rutinario, mejora la retención micromecánica por medio de un aumento en la rugosidad superficial y, por otra parte, aumenta la humectabilidad. Existen distintas variables que determinan resultados diferentes tras el arenado: el tamaño de la partícula, la presión del aire, la forma de las partículas, el ángulo de incidencia de las partículas, partículas secas o mojadas; son algunas de estas variables.¹⁴
- Tratamientos químicos, que son aquellos que permiten como la aplicación de agentes silinizadores.
 - Agentes de unión química: los imprimidores convencionales solo se unen significativamente a las cerámicas con sílice, por lo tanto, no

logran crear unión con la circonia.¹⁴ Los únicos imprimidores que se unen químicamente a la circonia son los que contienen MDP, ya que se une a óxidos metálicos. La aplicación de agentes acondicionadores que contienen silanoMDP se considera un enfoque importante para lograr una unión fuerte y duradera entre la circonia y el cemento de resina.¹⁴

No obstante, cada tipo tratamiento de superficie tiene sus ventajas y desventajas. El arenado con micropartículas de óxido de aluminio, mientras se ha visto que crea microporos que dan una mayor fuerza de unión,¹³ este puede ser una causa de estrés en el circonio, por lo tanto, fallas como pérdidas en la fuerza flexural y fuerza de adhesión pueden producirse.¹³ De acuerdo con de Souza *et al.*, en el 2013, el arenar con partículas de 50 um la superficie del circonio ocasionó un daño que debilita la superficie en un 25 %.^{15 16} Otro ejemplo sería el grabado con ácido hidrofúrico, del cual se ha visto que su efecto en el circonio es nulo, ya que no logran crear microporosidades en la superficie del circonio.¹³

2.7. Silano

Como se ha mencionado, aunque el silano puede funcionar también como agente de unión químico con algunas cerámicas, no puede lograr una unión química con el circonio. Sin embargo, es importante conocer por qué es que el silano no funciona en conjunto con el circonio. El silano es un agente de unión que logra “modificar las superficies de materiales inorgánicos para mejorar su adhesión a superficies de materiales orgánicos”.^{17 18} Debido a que es un agente de unión, logra

unir, tanto química como mecánicamente, un cemento de resina con cerámicas a base de sílice.¹⁹

Lo anterior sucede de la siguiente manera: las moléculas de silanol forman un puente hidroxilo directo con la superficie de la cerámica¹⁸. La fórmula química del silano es X_3SiY , donde, al cambiar cualquier grupo X (alcoxil, acetoxi o cloro) por medio de hidrólisis, estos logran formar un enlace covalente o de hidrógeno con los grupos alcoxil de las superficies inorgánicas.¹⁸ Además, el grupo Y, que pueden ser grupos de vinilo, amino o epoxi, pueden crear una reacción con los materiales orgánicos, de manera que se crean dos tipos de adhesión con el silano y las cerámicas a base de sílice.¹⁸ Esto se puede ejemplificar con el diagrama de Nihei¹⁸:

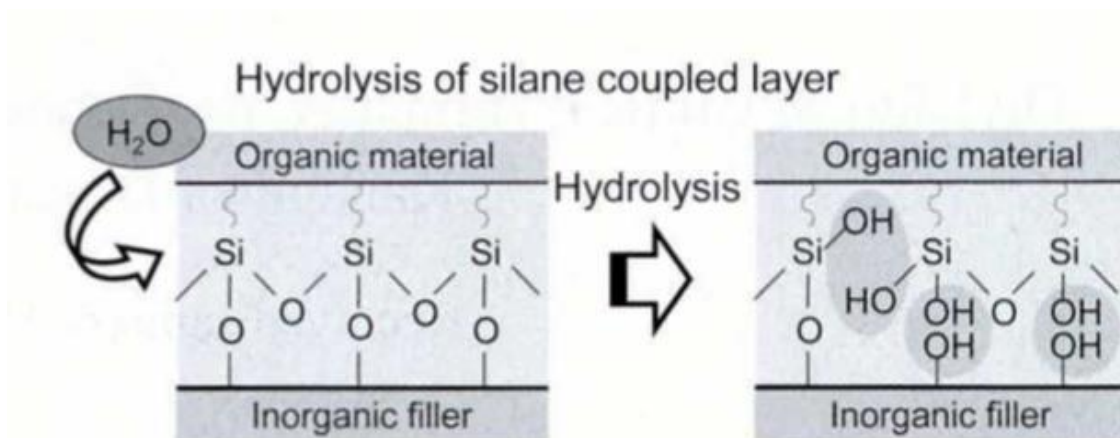


Fig. 1 Schematic illustrations of silane coupling hydrolysis of silane coupling layers.

Figura 2. Reacción de hidrólisis del silano con una superficie inorgánica

Como se nota en la *Figura 2*, en la reacción odontológica, el silano con sus grupos silanol produce un puente siloxano con grupos hidroxilos de la cerámica. Mientras que, por otro lado, se forma una red interpenetrada de polímeros con el

cemento de resina, en donde la parte orgánica del silano forma puentes covalentes con la resina al polimerizarse.¹⁹

El circonio no posee sílica en su composición química. Consecuentemente, agentes de unión como el silano, los cuales funcionan muy bien con cerámicas a base de sílica, en cerámicas a base de óxido como el circonio, no logran crear un enlace, pues no tienen los grupos siloxanos para lograrlo.¹⁵ Sin embargo, se ha notado que el silano si logra una buena adhesión química al arenar la superficie de circonio con partículas de alúmina cubiertas de sílica, aunque esta unión disminuye con los años.¹⁶ Esto es por la misma sílica que impregna la superficie del zirconia, que cumple una función similar al sílice en las cerámicas vítreas. Por estas razones, la adhesión del circonio se ve influenciada por cómo fue tratada su superficie previamente.

2.8. Cementos resinosos

Existen cementos convencionales, como el ionómero de vidrio o el fosfato de zinc o cementos resinosos, a base de bis-GMA o 10-MDP, los cuales se usan para cementar restauraciones de circonio. Por sus características deseables, los cementos resinosos se utilizan más y entre los cementos a base de bis-GMA o 10-MDP, los de 10-MDP se utilizan más también.¹³ Los cementos que contienen monómeros de fosfato parecen mostrar una mejor adhesión resinosa que podría reducir la necesidad de tratamientos de superficie adicionales. Por todo esto, este material se ha convertido en uno de los principales focos de la actual investigación odontológica.¹³ Existen diferentes tipos de cementos de resina:

- Según el tipo de polimerización: los cementos de resina son

fotopolimerizables, de polimerización química (también llamados de autocurado o autopolimerización) o de polimerización dual en la que, al hacer la mezcla de la base y el catalizador, se inicia la polimerización química. Además, si se aplica luz, se acelerará la polimerización, pues son también fotopolimerizables. Una resina que en un principio era fotopolimerizable se puede convertir en dual y, en el caso de las quimiopolimerizables, también se puede transformarla a dual. Las fotopolimerizables no se encuentran en el rango de interés, ya que la luz de la lámpara de polimerización tiene que penetrar, a través del zirconio para asegurar un curado completo y debido a la opacidad que presenta el óxido de circonio, la luz no puede pasar correctamente a través de este material. Cuanto mayor sea la densidad de la circonia, menor será la luz que penetre y menor también el grado de conversión de la resina.¹³

Según Da Silva²⁰, los cementos duales son los más adecuados en las restauraciones de circonia. Este tipo de resinas combinan las propiedades de los materiales quimio y fotopolimerizables. Con la polimerización dual, la porción de resina que recibió luz insuficiente continúa polimerizándose mediante una reacción química. Sin embargo, si este proceso químico tardío no puede compensar el déficit de polimerización, se produciría un débil endurecimiento y una menor grado de conversión de la resina, lo que dará lugar a sensibilidad postoperatoria, microfiltración y caries.²⁰

- Según el uso de sistema adhesivo:
 - *total-etch*: grabado + sistema adhesivo + cemento de resina.

- *self-etch prime*: sistema adhesivo autograbante + cemento de resina.
- *self-etch luting*: cemento de resina autoadhesiva.

En el caso del circonio cuando se usa sistema autoadhesivo tiene mejores resultados que al usar en la mayoría de los estudios analizados.¹⁴

Según Gokkaya *et al.*²¹, el colocar imprimidores a base del monómero ácido MDP a cementos de resina mejoró considerablemente su fuerza de adhesión.²¹ Estos silanos eran: Clearfil New Bond and Clearfil Porcelain Bond Activator, Kuraray Europe y los cementos de resina eran Panavia 21, Kuraray Europe y RelyX Unicem de la 3M ESPE.¹⁷ Lo anterior demuestra que el agregar MDP beneficia al proceso de cementado de la circonia, aunque no se conozca exactamente cómo.¹⁷

El que la molécula de 10-MDP funcione tan bien con la adhesión del circonio tiene una teoría detrás. Al tener un grupo funcional fosfato al final de la cadena hidrofílica del MDP, logra una unión con los óxidos metálicos de 3Y-TZP.¹⁰ Esto crea entonces una capa hidrofóbica, la cual ayuda a la protección de residuos externos y al estrés producido por cambios de temperatura.¹⁰ Algunos ejemplos de cementos de resina que contienen MDP son Panavia F 2.0, SA Luting Cement, SE Bond, Scotchbond Universal, entre otros.¹⁷

2.9. Imprimadores o primers

Tanis *et al.*, sostienen que el óxido de circonio puede reaccionar con los monómeros de éster de fosfato, por lo que los primers o cementos de resina que contienen MDP pueden mejorar la adhesión del cemento de resina a circonia. Los resultados de este estudio son consistentes con esta opinión.^{22 23} Según este estudio,

el Monobond Plus, que contiene (3-MPS), metacrilato de sulfuro, éster de ácido fosfórico metacrilado y metacrilato de silano, dio como resultado las fuerzas de unión más altas. Esto combinado con un recubrimiento de sílice con arenado mejora la unión de resina duradera a la cerámica de circonia después de 30 días de almacenamiento de agua y ciclos térmicos.

Del mismo modo, hay varios otros estudios que informan que Monobond Plus aumenta la resistencia de la unión cuando se combina con arenado.²² Por otra parte, la aplicación del primer que contiene MDP Z-PRIME Plus, en conjunto con el arenado, mejoró la resistencia de la unión del cemento de resina de circonia.²² El uso de Z-PRIME Plus aumenta la resistencia a la unión por cizallamiento de la circonia con diferentes cementos de resina. Se encontró que el uso de Z-PRIME Plus con arenado mejoró la fuerza de unión de la circonia en comparación con solo el arenado.²²

Por otra parte, el Clearfil Ceramic Primer Plus de la casa Kuraray contiene 10 MDP que favorece la unión a cementos resinosos y un agente silano que garantiza la unión a estructuras que tengan sílice entre su estructura (cerámicas). Algunos ejemplos de imprimidores que contienen MDP son Clearfil Ceramic Primer, Z-Primer, AZ Primer, entre otros.¹⁷

2.10. Procesamiento de circonia y sus efectos

Las propiedades mecánicas de las cerámicas Y-TZP no solo dependen de la microestructura, sino también en los defectos presentes al inicio de la fabricación inducidos por polvos o residuos.²² El uso de polvos iniciadores de ZrO₂ de alta pureza contribuye con la estabilidad hidrotérmica que es un requisito previo para la fase

tetragonal. Sin embargo, la presencia de impurezas en el grano puede alterar la estabilidad de la fase tetragonal. Del mismo modo, los componentes agregados a ZrO₂ para otros propósitos (por ejemplo, ajuste de sombra) también pueden alterar la estabilidad de la fase tetragonal. Además, diferencias en el procesamiento de circonia (por ejemplo, temperatura y tiempo) pueden afectar la microestructura del material.²²

Según lo anterior algunos de los efectos que causan los diferentes tratamientos superficiales afectan directamente la fuerza o resistencia de materiales a base de circonia. Existe una fuerte correlación entre la resistencia a la flexión, la dureza de la superficie y subsuperficie con daños indicados por la rugosidad de la superficie.²²

En uso diario, la circonia se somete a diferentes tipos de daños en la superficie como resultado de los procesos de fresado CAD/CAM y otros procedimientos de laboratorio. Las propiedades mecánicas y la estabilidad a largo plazo de las restauraciones tratadas son diferentes de las del material de partida.²²

2.11. Grinding

Este proceso de molido generalmente aumenta la fuerza de TZP metaestable debido a la transformación tetragonal a monoclinica a varias micras de profundidad bajo la superficie del material y el desarrollo de cepas de compresión como resultado del aumento volumétrico. Estas tensiones de compresión evitan la formación o la propagación de *microcracks* superficiales, incluso así, la superficie y subsuperficie se ven afectadas.²²

Los mecanismos responsables de este daño son la extracción de grano, debido al aumento volumétrico, y la formación de microcráteres después de la fase de

transformación. Todo genera rugosidad y porosidad en la superficie, que influyen en la resistencia al desgaste del material.²²

2.12. Polishing

El proceso de pulido produce abrasiones sobre la superficie que inducen tensiones residuales en el material. Vagkopoulou *et al.* indican que, según el tipo y la cantidad de estas tensiones, el pulido puede conducir al desarrollo de una compresión en la capa de tensión superficial, que es beneficiosa para la resistencia al envejecimiento.²²

Un pulido fino después del proceso de *grinding* puede eliminar la capa de compresión de la fase monoclinica de la superficie y reducir la severidad y cantidad de defectos superficiales. El proceso fluye hasta el grado donde la resistencia interna del material se convierte en el factor dominante que determina su rendimiento mecánico. Finalmente, la resistencia a la flexión aumenta.

2.13. Sandblasting

Como se mencionó previamente, este proceso promueve la adhesión del cemento y proporciona una técnica de fortalecimiento para Y-TZP a expensas de reducir la estabilidad. Microscópicamente, las superficies mostraron un daño uniforme y una superficie rugosa con material desplazado y grietas orientadas al azar. Sin embargo, una fina capa compresiva de la fase monoclinica transformada contrarresta la fuerza de degradación que es causada por los defectos inducidos por la arena proyectada a presión y, efectivamente, aumenta la fuerza.^{25 26}

Las temperaturas y tensiones bajas desarrolladas por este proceso en comparación con el de *grinding* inducen la transformación T-M (tetragonal a monoclinica) y permiten que la fase monoclinica resultante se mantenga. Además, es importante tomar en cuenta que, según Hang Wang *et al.*, al ejercer presión durante 5 s/cm² a una distancia de 2.0 cm dio como resultado un aumento en la resistencia de las barras CAD/CAM, mientras que el chorro de arena con 120 µm de óxido de aluminio causó un debilitamiento significativo de las barras, una mayor rugosidad de la superficie.²⁵ A pesar del aumento en los valores de resistencia después de abrasión con partículas de óxido de aluminio de 50 µm, los autores observaron que el efecto de este daño inducido todavía tiene que considerarse como un factor potencialmente debilitante.¹⁶

2.14. Tratamiento superficial y térmico

Los tratamientos de superficie y térmicos tienen un efecto que contrarresta la resistencia a la flexión de las cerámicas YTZP. En general, la resistencia de Y-TZP se puede aumentar por *grinding* húmedo o *sandblasting*, mientras que se reduce cuando se aplica un tratamiento térmico. A pesar del tiempo de retención, el calor inicia la transformación inversa (monoclinica a tetragonal), elimina la fase monoclinica desde la superficie del material, alivia los campos de compresión creados y disminuye la resistencia del material.²²

En condiciones clínicas, una mayor cantidad de fase monoclinica en la superficie proporciona una mejora en la resistencia a la flexión y, por lo tanto, puede ser deseable. Por otro lado, una cantidad excesiva de fase monoclinica puede llevar a

microfracturas y predisponer el material a una transformación húmedo-asistida más rápida en el tiempo, bajo carga dinámica del ácido ambiente y acuoso del entorno oral.²⁴

Según Hang Wang *et al.*, la exposición térmica no influye en la resistencia a la flexión, si se lleva a cabo antes o después de la exposición a las partículas abrasión.

²⁴ Sin embargo, según los autores mencionados, el efecto del tratamiento térmico, a través de la transformación inversa o alivio de cualquier estrés presente es un punto para investigar más a fondo.²⁵

Capítulo III. Metodología

Todo el instrumental y equipo descrito, a continuación, se encuentra en el laboratorio de investigación del posgrado de Prostodoncia de la Universidad de Costa Rica. Para este trabajo se utilizaron 3 diferentes tipos de circonio, los cuales dos eran de la marca Kuraray Noritake Dental Inc. y uno de la marca Sagemax. De Kuraray Noritake Dental Inc. se utilizaron Katana Zirconia Ultra Translucent Multi Layered, denominado como K1 en el trabajo y Katana Zirconia Multi Layered, denominado como K2, respectivamente. De la marca Sagemax, se utilizó la NexxZr T High Translucent Zirconia.

El trabajo pretendía hacer pruebas de adhesión del circonio a la resina utilizando un mismo cemento de fotocurado, pero que varían en tres tipos diferentes de imprimador, cada uno con y sin adhesivo. Los imprimadores utilizados fueron el Monobond N, de la marca Ivoclar Vivadent; el Clearfil Ceramic Primer Plus, de la marca Kuraray Dental Inc. y el Z-Prime plus, de la marca Bisco Dental Inc. El adhesivo que se utilizó fue el Tetric N-Bond de quinta generación (grabado total), de la marca Ivoclar Vivadent.

3.1. Formato de la muestra

Como se observa en la *Figura 3* la muestra consiste en un rectángulo de circonia sumergido en acrílico. En la superficie del circonio se adhieren los bloques cilíndricos de resina usando en todos cemento de fotocurado y difiriendo en el uso de adhesivo y en el tipo de *primer* utilizado.



Figura 3. Muestras de resina cementadas en los bloques de circonio (sin y con adhesivo, respectivamente) utilizando el imprimador Clearfil Ceramic Primer Plus

El circonio se cortó en bloques de 3 mm de grosor, 12 mm de largo y 5 mm de ancho utilizando un disco de diamante. Las muestras de circonio se sometieron a proceso de sinterización, según lo indicaba el fabricante y después usaron lijas de agua de 360 y 600 de abrasividad. Las muestras de circonio se colocaron dentro en un disco de acrílico para su estabilidad, dejando así solo una cara al descubierto en donde se iban a llevar a cabo las pruebas (5x12mm). Cada disco de acrílico contenía dos bloques de circonio, a excepción de algunos que contenían solo un bloque del mismo.

La resina que se utilizó para confeccionar los cilindros fue la Brilliant Universal Duo-Shade Nano Composite para esmalte de la marca Coltene. La tonalidad de la misma era A2/B2. Se utilizó un molde de teflón para llevar a cabo bloques cilíndricos de 2 mm de diámetro al utilizar esta resina. Esto fue con la finalidad de que todas las muestras fueran lo más exactas. A cada una de las resinas se le marcó con marcador permanente el extremo en el que fueron empacadas en el molde de teflón, de manera que se pudiera identificar el extremo completamente liso y plano con mayor facilidad y

rapidez.

Antes del proceso de cementado, se arenaron todas las muestras de circonio a 10 mm de distancia con partículas de 50 μ m de alúmina. Una vez arenadas, se limpiaba la superficie del circonio con alcohol y se secaban todas las muestras.

Para cementar las muestras de resina a los bloques de circonio, se utilizó el cemento fotopolimerizable Variolink Esthetic LC, de la marca Ivoclar Vivadent en todas las muestras. Esto fue con el propósito de homogeneizar el agente cementante y así analizar las variables de interés. Además, cada muestra fue fotocurada por 40s por cada 180°, es decir, se fotocuró por dos superficies, en total 80s. utilizando la misma lámpara de fotocurado, la Gnatus Optilight Max inalámbrica.

3.2. División de las muestras

Ya con las muestras de circonio arenadas, limpias y secas, se dividieron por grupos de circonio (K1= Katana ML, K2= Katana UL y NexxZr). Debido a que no existía una cantidad igual de bloques de cada tipo de circonio se llevó a cabo un número N de muestras distinto para cada subgrupo (ver *Figura 4*). Razón por la cual se hizo el análisis pos-hoc de Scheffe que permite analizar subgrupos con N de diferente tamaño.

Para cada uno de los tipos de circonio se hicieron muestras con los tres distintos imprimadores, con y sin adhesivo. La finalidad era que en cada tipo de circonio, cada imprimador utilizado tuviera diversas muestras con y sin adhesivo. Sin embargo, como se mencionó, no se obtuvo la misma cantidad de muestras de resina para cada grupo de circonio. Con la división por grupos, el procedimiento del cementado fue el

siguiente:

1. En un dappen se coloca una gota del imprimador. Con un microaplicador, se coloca la gota del imprimador en el circonio. Se espera 1 minuto para que seque.
2. En caso de que la muestra lleve adhesivo: se coloca una gota pequeña de adhesivo a otro microaplicador y se escurre el mismo, de manera que no queden excesos. Una vez escurrido, se coloca una capa delgada de adhesivo en el circonio, frotándolo por 30s.
3. Se sopla con threeway por 1 minuto a 20 cm de distancia.
4. Se coloca una capa delgada del adhesivo al lado no marcado del bloque de resina (esto sí se llevó a cabo en todas las muestras). Se sopla por 20s.
5. Se coloca un punto del cemento Variolink Esthetic LC en la superficie de circonio por cada muestra de resina que se colocará (son 2 cilindros de resina por bloque de circonio).
6. Con una pinza, se colocan las muestras de resina en cada punto de cemento en el circonio.
7. Se agarra una pesa de 500gr y se coloca encima de cada muestra de resina. Se coloca suavemente encima de estas muestras y se retira.
8. Con la misma pinza, se sostienen las resinas para que con otro microaplicador se remuevan excesos.
9. Se fotocura por 40s cada lado (180°) de las muestras de resinas.

Se llevó a cabo el procedimiento anterior con todas las muestras, de manera que existen 3 grupos de muestras principales, según el tipo de zirconio, tres subgrupos por cada uno de esos tipos de zirconio (según imprimador usado) y para cada subgrupo existen N muestras con y sin adhesivo. La *Figura 3* muestra el aspecto de las muestras de resina cementadas en los bloques de circonio. Como se mencionó, en total se hicieron 236 muestras de resina, de las cuales 71 fueron utilizadas para el grupo K1, 75 para el grupo K2 y 90 para el NexxZr.

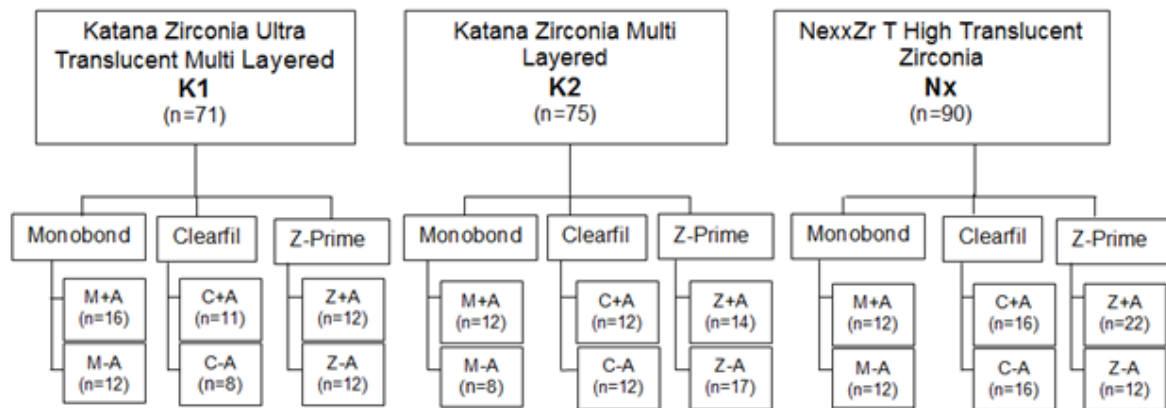


Figura 4. Diagrama organizacional de muestras

Una vez cementadas se colocaron en recipientes todas las muestras, de manera que quedan cubiertas con agua en una incubadora. La incubadora estaba a 37° con un ambiente 100 % de humedad. Se dejaron dentro de la incubadora por 7 días exactos. En la *Figura 5* y la *Figura 6*, se pueden ver las muestras colocadas dentro del recipiente con agua y después en la incubadora.



Figura 5. Muestras sumergidas en agua dentro del recipiente.



Figura 6. Muestras dentro del colocado recipiente en la incubadora

Posterior a los 7 días en la incubadora, se procedió a llevar a cabo las pruebas de cizalla sobre estas muestras. Inicialmente, se colocan los cilindros de acrílico sobre un soporte y se sujetan con el objetivo de que la fuerza que ejerza el equipo sea

exclusivamente sobre los cilindros de resina. En la *Figura 7* y la *Figura 8* se puede observar la posición y sujeción del cilindro de acrílico en el soporte y la relación del cilindro de resina con el equipo.

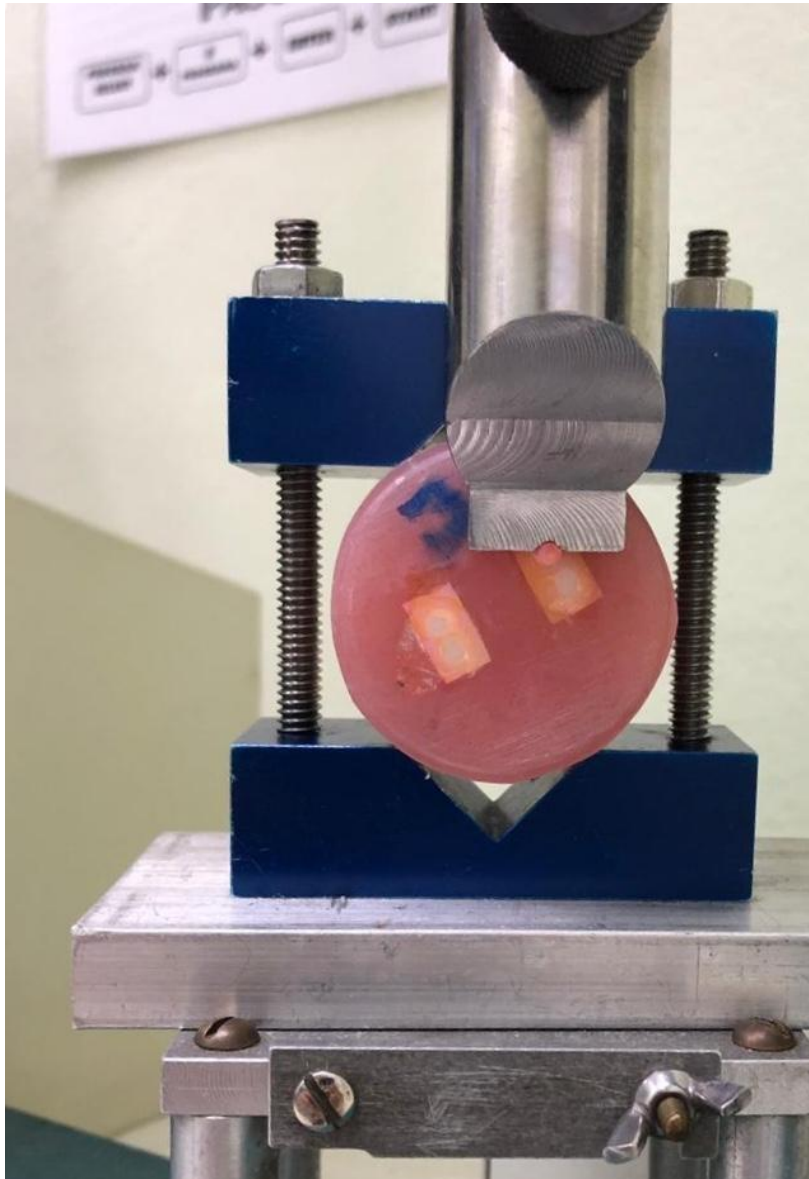


Figura 7. Muestra de resina en el dispositivo antes de llevar a cabo la prueba de cizalla, vista frontal

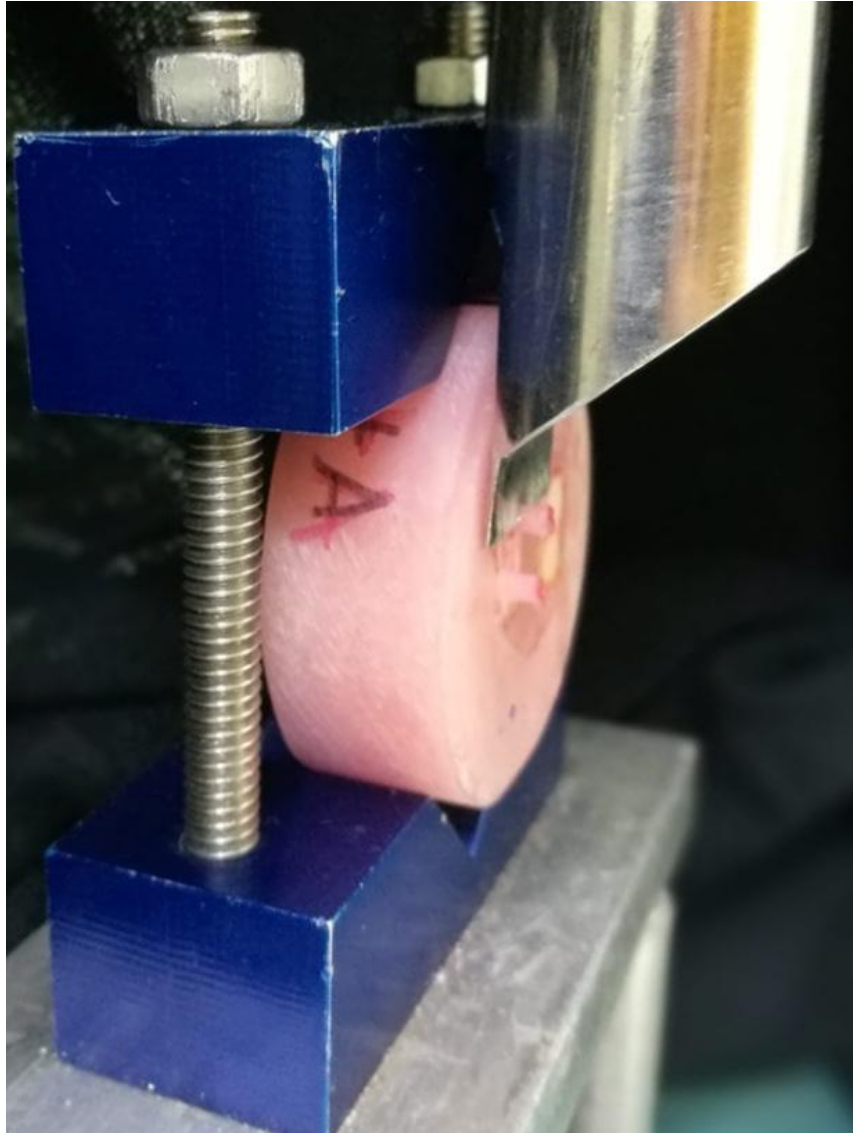


Figura 8. Muestra de resina en el dispositivo antes de llevar a cabo la prueba de cizalla, vista lateral

Una vez que se colocó la muestra en lugar indicado se activó el sistema H10KS Tinius Olsen. Para iniciar la prueba se debe presionar el botón Test. Es importante mencionar que el equipo H10KS Tinius Olsen está programado a una velocidad de 1 mm por minuto. Una vez que el equipo inicia con el movimiento emite un sonido cada segundo. Cuando la resistencia de la muestra es superada por la fuerza ejercida por el equipo (se separa el bloque de resina del circonio), se ve reflejado en el monitor un valor equivalente a la resistencia ejercida en kilogramos. Se hace la prueba a todas

las muestras y estos valores se registran en un documento con la información referente al tipo de circonio, imprimador y kilogramos. En la *Figura 9* se observa una imagen representativa, posterior a una de las pruebas.

Los datos se transfirieron a megapascales y se calcularon los promedios y desviaciones estándar. Como cada cilindro de resina medía (0.1 x 0.1 mm) X 3.1416 y los megapascales son $(\text{kg}/\text{cm}^2) \times (\text{Factor de conversión (el cual es 0.0981)}) = \text{MPa}$. Se llevó a cabo un análisis de varianza ANOVA de dos vías para las variables imprimador y adhesivo para cada circonio por aparte, con un *test* post-hoc de SCHEFFE de comparación de promedios posterior para compensar por los diferentes *n*. Todos los análisis se hicieron a un nivel de significancia de 0.05.

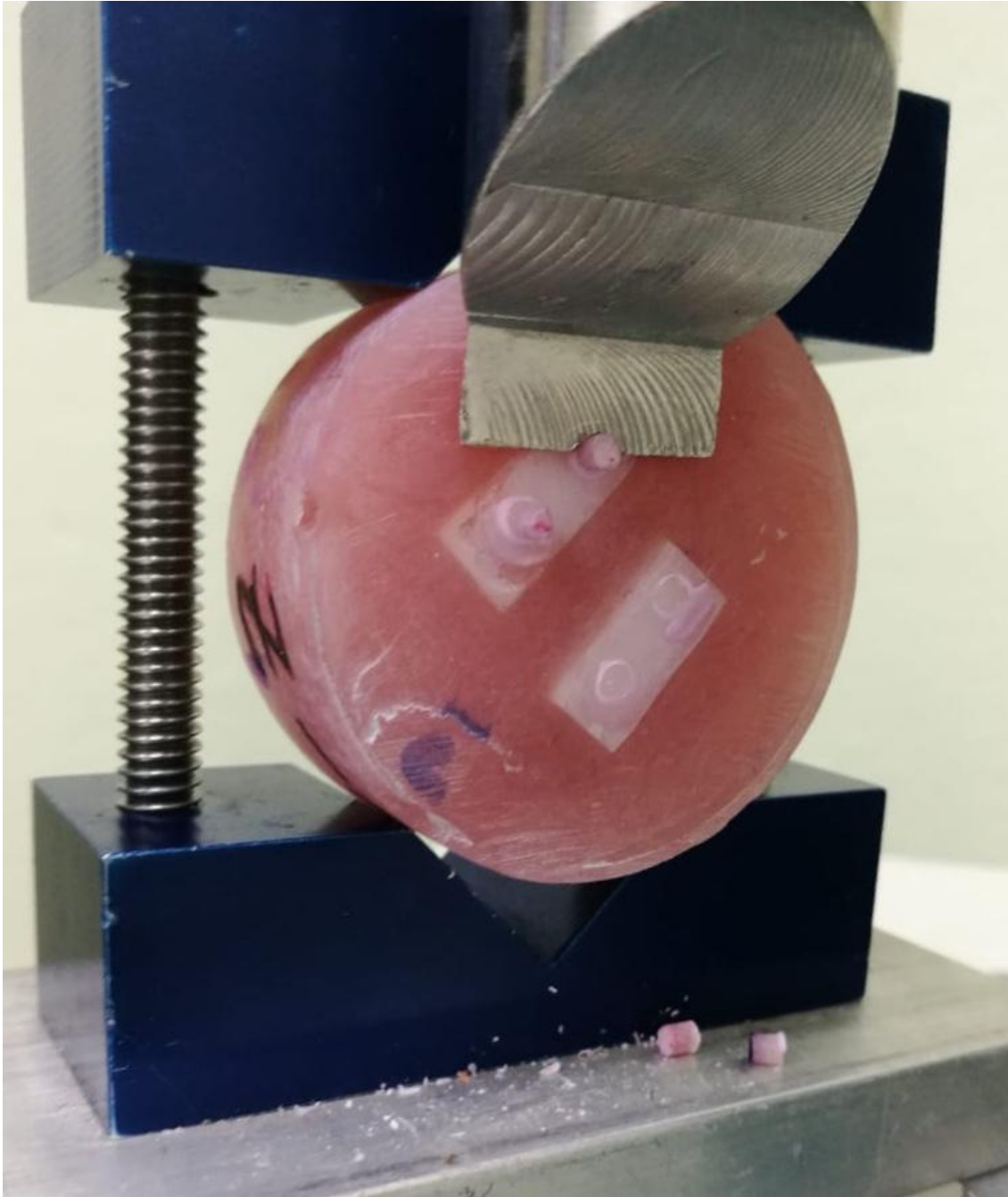


Figura 9. Muestras de resina en el dispositivo durante la prueba de cizallamiento, vista frontal

Materiales	Características
Tipos de Circonio	
Katana Zirconia Ultra Trasluscent Multi Layered	Fabricado por Kuraray Noritake Dental Inc. Se utiliza para fabricar restauraciones de cerámica completa (coronas, puentes, inlays, onlays y carillas). Consiste en 4 capas de tonalidades graduadas. Composición química: $ZrO_2+HfO_2=87-92\%$, $Y_2O_3=8-11\%$, Otros óxidos $0-2\%$. Coeficiente de expansión térmica (25-500 °C (77-932 °F)). Resistencia a flexión de 557 MPa. Translucencia 43%.
Katana Zirconia Multi Layered	Fabricado por Kuraray Noritake Dental Inc. De alta resistencia a la flexión: 1125 MPa, es adecuada para estructuras de una sola unidad y puentes de varias unidades. Es adecuado para coronas y puentes de contorno completo.
NexxZr T High Translucent Zirconia	De la marca Sagemax. Es una circonia dental (Y-TZP ZrO_2) para restauraciones monolíticas desde restauraciones de una unidad a puente de unidades múltiples. Composición química: $ZrO_2 \geq 89\%$, $Y_2O_3 4-6\%$, $HfO_2 \leq 5\%$ y $Al_2O_3 \leq 1\%$. Resistencia a la flexión de 1270MPa.
Tipos de Imprimadores	
Monobond N	De la casa fabricante Ivoclar Vivadent. Indicado para el acondicionamiento de superficies de restauración. Logra una adhesión duradera y resistente ya que combina tres metacrilatos funcionales: metacrilato de silano, metacrilato fosfórico y metacrilato de sulfuro.
Clearfil Ceramic Primer Plus	Fabricado por Kuraray Noritake Dental Inc. Agente de imprimación de un solo componente que se utiliza para mejorar la resistencia de unión entre los materiales a base de resina, porcelana, composite, cerámica híbrida, óxido de metal, entre otros. Además de MDP para la unión al óxido metálico, contiene un agente de acoplamiento de silano MPS que garantiza una fuerte adhesión a todos los materiales cerámicos a base de SiO_2 .
Z-Prime plus	De la casa fabricante BISCO, es un agente de imprimación de un único componente utilizado para mejorar la adhesión entre restauraciones indirectas y cementos de resina compuesta. Mejora significativamente las fuerzas de unión a sustratos de circonia, alúmina y metal debido a su combinación única de dos monómeros activos, MDP, un monómero de fosfato y BPDM, un monómero de carboxilato. Esta combinación le da un efecto sinérgico que resulta en sus altas fuerzas de unión.

Tipo de Resina	
Brilliant NG	Fabricado por Coltene. Resina con relleno de partículas prepolimerizadas, además del alto contenido de partículas nanométricas. Posee una adecuada consistencia para la manipulación y el modelado, junto con una disminución notable en la contracción. Resistencia a la flexión de 128 MPa, Radiopacidad de 2mm Al, contracción volumétrica 2,2%.
Tipo de Adhesivo	
Tetric N-Bond	De la marca Ivoclar Vivadent. Es un adhesivo monocomponente fotopolimerizable nano-optimizado. Posee adhesión de alta resistencia en el esmalte y dentina. Contiene etanol como solvente para una fácil aplicación en una capa y una mejorada estabilidad sin evaporación prematura. Composición estándar: Bis-GMA, dimetacrilato de uretano, metacrilato de hidroxietileno, acrilato de ácido fosfónico. Propiedades físicas: Resistencia de adhesión al cizallamiento sobre dentina y esmalte de 30 MPa.
Tipo de cemento	
Variolink Esthetic LC	Fabricado por Ivoclar Vivadent. Es un composite de cementación estética fotopolimerizable para la cementación permanente de la cerámica. La composición de partículas de relleno especial otorga una radiopacidad alta. Indicado recomendablemente para restauraciones con un grosor del material de <2mm y translucidez suficiente. Compuesto por dimetacrilato de uretano y otros monómeros de metacrilato. Los rellenos inorgánicos son trifluoruro de iterbio y óxido mixto esferoide. Iniciadores, estabilizadores y pigmentos son ingredientes adicionales.

Tabla 2. *Características de materiales utilizados durante el procedimiento, tomado de los respectivos prospectos de la casa comercial*

Capítulo IV. Desarrollo

4.1. Resultados

En la *Tabla 3* muestra el resultado del análisis estadístico de varianza (ANOVA) aplicado a dos factores en estudio: circonia y adhesivo. Se puede observar que el valor de p es inferior al nivel establecido (0.05) solamente para el factor adhesivo, lo cual indica que el uso de adhesivo fue estadísticamente significativo ($p=3.2 \times 10^{-11}$) sobre el valor de la resistencia adhesiva.

Por el contrario, se determinó que no hay una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia adhesiva entre los tres tipos de circonia utilizados ($p=0.1$). En la se muestra el ANOVA para circonia e imprimadores (silano), se encontró que no hay diferencia estadísticamente significativa en las fuerzas de adhesión al usar los 3 distintos imprimadores cerámicos, para esta variable (silano) el valor de p fue de $0.8 > 0.05$. El valor de p para la interacción entre circonia vs. Imprimador (silano) es $0,5 > 0,05$, por lo que no hay interacciones significativas entre distintos grupos.

Source of Variation	SS	d.f.	MS	F	P-value	F crit	Omega Sqr.
Zirconia	122,2	2	61,1	1,6	0,1	3,0	4,7E-3
Adhesivo	1804,2	1	1804,2	48,8	3,2E-11	3,8	0,1
Interacción Zirconia x Adhesivo	141,3	2	70,6	1,9	0,1	3,0	6,5E-3
Entre grupos	8169,4	221	36,9				
Total	10237,19	226	45,3				

Tabla 3. *Análisis de varianza (ANOVA) de Circonia y Adhesivo*

Source of Variation	SS	d.f.	MS	F	P-value	F crit	Omega Sqr.
Zirconia	122,2	2	61,1	1,3	0,2	3,0	3,01E-3
Silano	14,9	2	7,4	0,1	0,8	3,0	0
Interacción Zirconia x Silano	147,5	4	36,8	0,8	0,5	2,4	0
Entre grupos	9952,4	218	45,6				
Total	10237,19	226	45,3				

Tabla 4. *Análisis de varianza (ANOVA) de Circonia vs. Silano*

La *Tabla 5* más detalladamente el análisis de Scheffe que se usó para el análisis estadístico de los grupos de muestras que llevaban adhesivo con cada tipo de circonia. Los valores de p para los distintos tipos de circonia fueron: Katana UL $p=9.01 \times 10^{-8}$, Katana ML 1.52×10^{-3} y NexxZr 7.13×10^{-4} , valores ≤ 0.05 , por lo que la diferencia en el uso de adhesivo es estadísticamente significativa. Más adelante se discute cómo podría afectar el adhesivo en la fuerza de resistencia a la cizalla obtenida en este estudio.

Contraste entre grupos	Diferencia	95% intervalo de confiabilidad	Test de estadística	P value
Factor 1 (zirconia)=1				
1 vs 2	-8.23	-11.17 -5.3	5.53	9.01E-8
Factor 1 (zirconia)= 2				
1 vs 2	-4.64	-7.48 -1.79	3.21	1.52E-3
Factor 1 (zirconia)=3				
1 vs 2	-4.46	-7.02 -1.9	3.43	7.13E-4

Tabla 5. *Prueba de Scheffe para uso de adhesivo en cada tipo de zirconio*

Los resultados generales de resistencia de adhesión y la desviación estándar en MPa se muestran en la *Tabla 6*. Para Katana UL al utilizar Monobond la fuerza de adhesión con adhesivo fue de 9.25 MPa (± 4.63) y sin adhesivo de 16.01 MPa (± 6.69); con Clearfil, la fuerza de adhesión con adhesivo fue de 12.27 MPa (± 4.10) y sin adhesivo de 16.79 MPa (± 5.60); con el uso de Z-Prime, con adhesivo la fuerza de adhesión fue de 7.83 MPa (± 4.10) y sin adhesivo de 17.86 MPa (± 9.13). Para circonia Katana ML, al utilizar Monobond, la fuerza de adhesión con adhesivo fue de 11.57 MPa (± 5.13) y sin adhesivo 14.91 MPa (± 7.02); con Clearfil, con adhesivo la fuerza de adhesión fue de 9.86 MPa (± 5.57) y sin adhesivo de 13.39 MPa (± 8.10). Al utilizar Z-Prime el resultado con adhesivo fue de 10.13 MPa (± 4.65) y sin adhesivo de 16.06 MPa (± 8.58).

Con la circonia NexxZr, la fuerza de adhesión al utilizar Monobond con adhesivo fue de 8.47 MPa (± 3.29) y sin adhesivo de 13.41 MPa (± 7.59); con el uso de Clearfil, con adhesivo la fuerza de adhesión fue de 9.57 MPa (± 5.41) y sin adhesivo de 16.64 MPa (± 6.12); con Z-Prime, la fuerza de adhesión al utilizar adhesivo fue de 10.64 MPa (± 5.93) y sin adhesivo de 11.64 MPa (± 4.74).

	Monobond (MPa)		Clearfil (MPa)		Z-Prime (MPa)	
	CA ¹	SA ²	CA ¹	SA ²	CA ¹	SA ²
Katana UL*	9.25 ±4.63	16.01 ±6.69	12.27 ±4.10	16.79 ±5.60	7.83± 4.10	17.86 ±9.13
Katana ML**	11.57 ±5.13	14.91 ±7.02	9.86 ±5.57	13.39 ±8.10	10.13 ±4.65	16.06 ±8.58
NexusZr	8.47 ±3.29	13.41 ±7.59	9.57 ± 5.41	16.64 ± 6.12	10.64 ± 5.93	11.64 ± 4.74

¹: Con Adhesivo

²: Sin Adhesivo

* Katana UL: Katana Ultra Translucent Multi Layered Zirconia

** Katana ML: Katana Multi Layered Zirconia

Tabla 6. Resultados de promedios de fuerza (MPa) en cada grupo de circonio utilizando los tres tipos de imprimador con y sin adhesivo, respectivamente

Con el tipo de circonia Katana UL, como se muestra en el *Gráfico 1*, la fuerza de adhesión fue mayor al utilizar imprimadores sin adhesivo, obteniendo valores muy similares entre los mismos. La mayor fuerza de adhesión se obtuvo al utilizar Z-prime sin adhesivo (17.8 MPa). Se muestra la menor fuerza de adhesión cuando se utilizó Z-prime sin adhesivo (7.8 MPa).

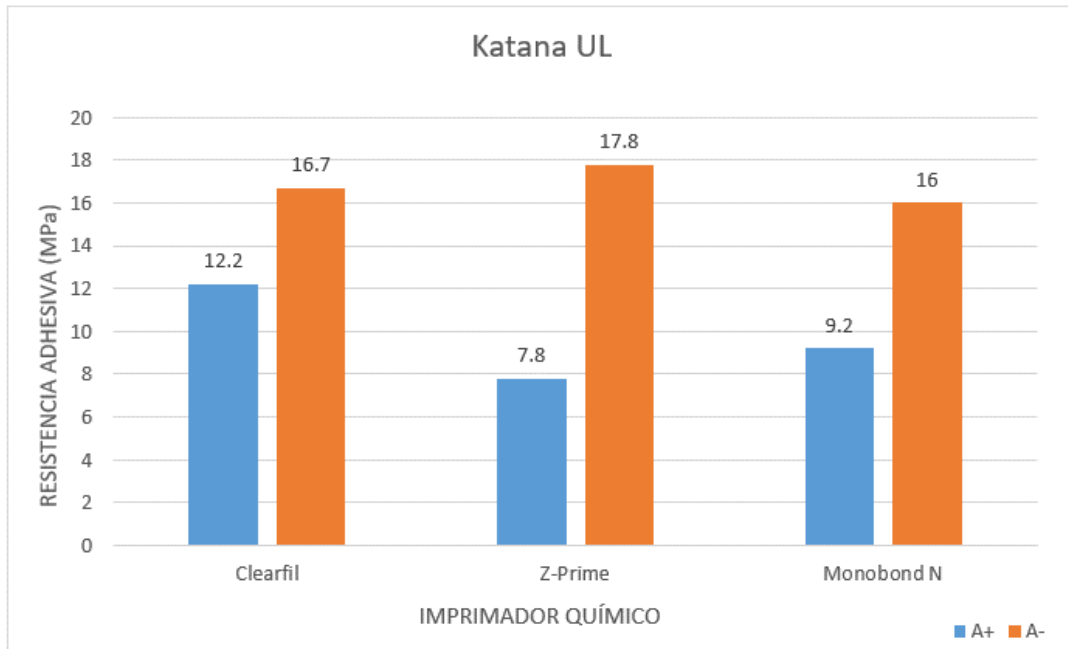


Gráfico 1. Comparación de fuerza de adhesión (MPa) de los imprimadores con y sin adhesivo a circonia Katana UL

Como se muestra en *Gráfico 2*, al utilizar Katana ML, al igual que en el *Gráfico 1*, la fuerza de adhesión fue mayor al utilizar imprimadores sin adhesivo, con valores muy similares. Se observa que la mayor fuerza de adhesión se obtuvo al utilizar Z-prime sin adhesivo (16.0 MPa). Por otro lado, se muestra la menor fuerza de adhesión cuando se utilizó Monobond N sin adhesivo (9.8 MPa).

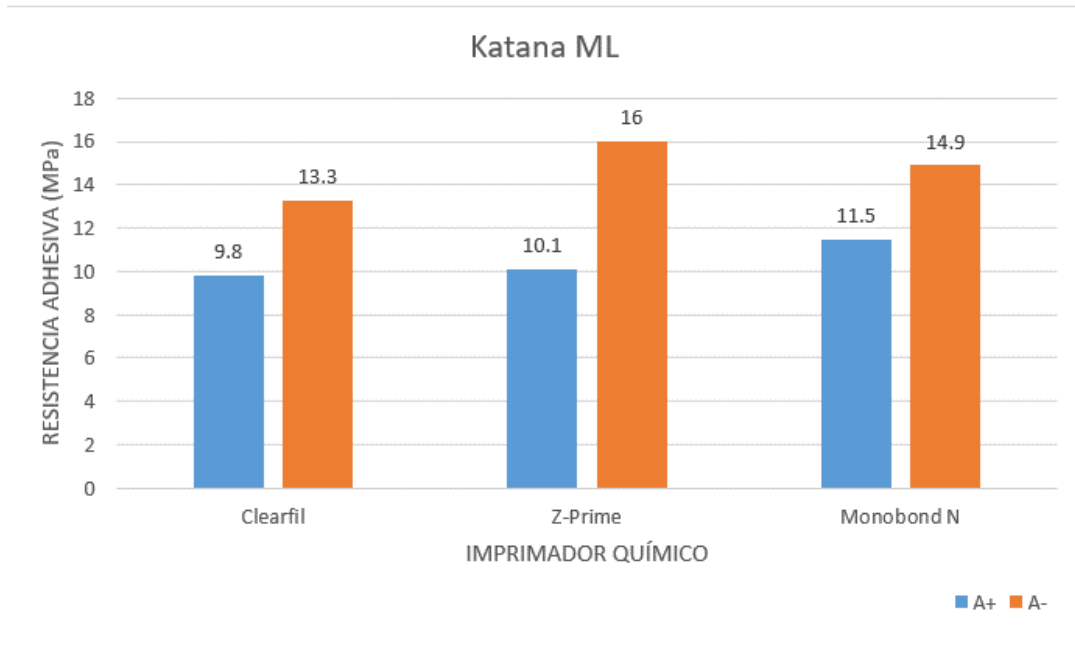


Gráfico 2. Comparación de fuerza de adhesión (MPa) de imprimadores con y sin adhesivo a circonia Katana ML

Al comparar la fuerza de adhesión de los imprimadores al utilizar circonia NexxZr, como se muestra en el *Gráfico 3*, la mayor fuerza de adhesión se obtuvo al usar los imprimadores sin adhesivo (como se muestra en Katana UL y Katana ML). La mayor fuerza de adhesión se obtuvo al utilizar Clearfil Ceramic Primer Plus sin adhesivo (16.6 MPa) y la menor fuerza con el uso de Monobond N con adhesivo (8.4MPa).



Gráfico 3. Comparación de fuerza de adhesión (MPa) de los imprimadores con y sin adhesivo a circonia NexxZr

4.2. Discusión

Los resultados obtenidos al realizar la prueba de cizalla sobre los bloques de resina demuestran que no haber utilizado adhesivo en la muestra tuvo mejores resultados en la fuerza adhesiva resultante en MPa que en las muestras donde sí se utilizó. En la *Tabla 2* se puede observar que, independientemente del tipo de zirconia y primer utilizado, en todos los grupos el uso de adhesivo perjudicó las propiedades adhesivas. El grupo con mayor fuerza adhesiva en MPa fue de Katana UL sin adhesivo, utilizando Z-Prime como primer. Inversamente, el grupo con menor fuerza de adhesión fue, de igual manera, el Katana UL de Z-Prime, pero con adhesivo, ya que este tuvo un valor de 7.83 MPa.

El adhesivo Tetric N Bond Total Etch ha demostrado una alta fuerza de adhesión a cementos de resina en diversos estudios, esto se debe a que contiene, entre otros

polímeros, de ácidos carboxílicos metacrilados, monómeros hidrofílicos como HEMA y monómeros hidrofóbicos como Bis GMA. Sin embargo, al contener en un mismo frasco todos los componentes es posible que los monómeros compitan, al mismo tiempo, por los espacios en la interfaz adhesiva zirconia-cemento y, por ende, se puede ver disminuida la fuerza adhesiva. Esto se debe a que sería menor la cantidad de moléculas bifuncionales que logran reaccionar, de manera efectiva, con ambas superficies.²⁷

Además, este adhesivo contiene imprimadores, solvente (etanol) y el bonding todo en un mismo frasco. Por lo tanto, al utilizarse en una interfaz zirconia-cemento podrían no cumplir la función para la cual se añaden estas moléculas funcionales (infiltrar la dentina) y, por ende, pueden quedar atrapados en la capa de adhesivo siendo perjudiciales para la adhesión.^{27 28} Diversos autores han descrito como los componentes que no polimerizan o que quedan en la capa del adhesivo (como el solvente) causan la formación de pequeñas burbujas que actúan como centros de fractura al recibir la fuerza de cizalla. Esto puede explicar por qué el uso de adhesivo en este caso disminuyó, de manera estadísticamente significativa, la resistencia a las fuerzas de cizalla.²⁸

Diversas investigaciones también demuestran que el grosor de la capa del sistema adhesivo puede afectar, de manera inversamente, proporcional la fuerza de resistencia a la tensión y a la cizalla, esto se debe a que los sistemas adhesivos carecen o tienen una carga de relleno muy baja, lo que los convierte en un eslabón débil en el momento de recibir tensiones.^{27 28} En el caso de esta investigación, se siguió un protocolo al frotar y soplar como lo indica el comerciante. Sin embargo, al no trabajar

sobre esmalte/dentina los monómeros que deberían infiltrar no lo hacen y como se mencionó, pueden ser perjudiciales.

A pesar de que la casa comercial Ivoclar reporta un contenido de carga nanométrico en el Tetric N bond Universal, aun así no representa mayor ventaja. Esto se debe a que el relleno disminuye la fluidez del adhesivo y, por ende, aunque tenga relleno, no es posible que tenga la cantidad suficiente para mejorar la resistencia a las fuerzas extrínsecas.

En esta investigación no existió una diferencia estadísticamente significativa en la fuerza adhesiva resultante con el uso de tres diferentes imprimadores cerámicos, sin embargo, es importante para el clínico entender la composición química de los productos y así hacer un uso adecuado de los mismos. El Clearfil Ceramic Primer Plus (CCPP) y el Z-Prime obtuvieron fuerzas adhesivas similares entre sí al someterse a cizalla. El Z-Prime obtuvo el promedio de fuerza adhesiva más bajo, pero no estadísticamente significativa.

En la *Tabla 2* se aprecia como el Clearfil Ceramic Primer Plus posee el promedio de fuerza adhesiva más elevado, tanto cuando se usa adhesivo como cuando no, aunque esta diferencia no es estadísticamente significativa. La resistencia adhesiva del CCP se puede deber a la presencia del 3-MPS y 10-MDP en su composición.²⁹

Los monómeros 3-MPS y 10-MDP están estudiados ampliamente. 3-MPS o MPS es un silano monofuncional capaz de unirse a las cerámicas con matriz de silicio y a la estructura dental: esto lo logra mediante enlaces hidrógeno y siloxano. 10-MDP o MDP posee un grupo éster-fosfato que interactúa con los óxidos metálicos de la

zirconia dando lugar a una adhesión química probada.^{20 28} El monobond N contiene una solución en alcohol de metacrilato de silano, metacrilato de sulfuro y ácido fosfórico metacrilado, los cuales reaccionan con los óxidos de la zirconia para formar un compuesto de óxido de zirconia metacrilado que provee esta unión química estudiada. EL MDP y BPDM (Dimetacrilato de bifenilo) contenidos en el Z prime, le confieren dos opciones de unión química a la zirconia, el mencionado MDP y la unión por el grupo metacrilato del BPDM.²⁹

Inokoshi *et al.* probaron cuatro primers/adhesivos (Clearfil Ceramic Primer, Monobond Plus, Scotchbond Universal y Z Prime) con un mismo cemento (RelyX Ultimate) al unir dos bloques idénticos de IPS e.max ZirCAD, para posteriormente someterlos a una prueba de fuerza microtensil. Encontraron que, en condiciones similares (arenado CoJet 3M ESPE, cemento RelyX Ultimate), el CCPP y el Monobond Plus obtuvieron las fuerzas más elevadas de unión en las pruebas microtensiles, ya que ambos poseen los monómeros 3-MPS y 10-MDP que brindan una unión resistente mediante los mecanismos explicados.²⁷ Además, obtuvieron resultados similares (en fuerza) al CCPP y Monobond Plus con el Z-Prime, lo cual se debe al monómero 10-MDP y al BPDM. Este último se ha encontrado que presenta grupos carboxilo capaces de formar unión química con grupos hidroxilo y los óxidos de la zirconia.³⁰

4.3. Limitaciones y perspectivas

Como es un estudio *in vitro* los monómeros que se espera que infiltren dentina no ejercen su función, se debe llevar a cabo un estudio *in vivo* para determinar el comportamiento del sistema adhesivo en tejido dentinario. Las muestras de este

estudio se hicieron por cuatro personas, por lo que es posible que existan sesgos de operador en el momento de llevar a cabo acciones como el soplado del imprimador, en el que la distancia y tiempo de salida de aire es importante. Se recomienda, para futuros estudios, que las muestras las confeccione y adhiera un mismo operador o que se unifique el criterio exacto de cementación.

4.4. Conclusiones

- Los tres tipos de circonio presentaron un desempeño adhesivo con la resina compuesta similar.
- Los tres tipos de imprimadores cerámicos utilizados presentaron una resistencia adhesiva similar.
- El uso del adhesivo de grabado total fue perjudicial en la resistencia adhesiva de las circonias a la resina compuesta.

Referencias bibliográficas

1. Martínez R., Pradíes R., Suárez M., Begoña R. Cerámicas dentales: clasificación y criterios de selección. [Internet]. 2007 [citado 2019 Nov 13]; 12(4): 253-263. Doi: S1138-123X2007000300003&Ing=es.
2. Powers J., Sakagushi R., Ferracane, J. Craig's Restorative Dental Materials. Elsevier. 2018.
3. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva N, Bonfante E. A New Classification System for AllCeramic and Ceramic-like Restorative Materials. The International Journal of Prosthodontics. 2015; 28 (3): 227-235.
4. Madfa, A., AlSanabani, F., AlQudami, N., AlSanabani, J., Amran, A. Use of Zirconia in Dentistry: An Overview. The Open Biomaterials Journal [Internet]. febrero, 2014; 5: 1-9. DOI: 10.2174/1876502501405010001.
5. Güth, J. F., Edelhoff, D. Zirconia and its novel compositions: What do clinicians need to know? Quintessence International. 2019; vol 50 (7): 512-520. DOI: 10.3290/j.qi.a42653.
6. Hjerppe, J., Vult, P. Two decades of zirconia as a dental biomaterial- what have we learned? Tandlaegebladet. 2019; vol 23 (1): 28-34.
7. Zhang J, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. Journal of Dental Research. 2017; 97(2):140-147.
8. Della Bona, A., Pecho, E., Alessandretti, R. Zirconia as a Dental Biomaterial. Materials [Internet]. 2015; 8: 4978-4991. Doi:10.3390/ma8084978.

9. Gülce Subasi, M., Demir, N., Kara, O., Ozturk, A., Ozel, F. Mechanical Properties of Zirconia after different surface treatments and repeated firings. *Journal of Advanced Prosthodontics* [Internet]. 2014; 6: 462-467.
<http://dx.doi.org/10.4047/jap.2014.6.6.462>.
10. FrancoTabares, S., Stenport, V., Hjalmarsson, L., Lam Tam, P., Johansson, C. Chemical Bonding to Novel Translucent Zirconias: A Mechanical and Molecular Investigation. *The Journal of Adhesive Dentistry* [Internet]. 19.01.18; 21: 107-116.
doi: 10.3290/j.jad.a42361.
11. Kwon San José, Lawson NC, McLaren E, Nejat AH, Burgess J. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent*. 2018; 120(1):132-137.
12. Villavieja, A. Circonia estabilizada con Itria: Obtención y Caracterización. Universidad de Málaga, Publicaciones y divulgación científica. [Internet]. 2015.10; 24, 36.
13. Ural, C., Külünk, T., Külünk, S. Kurt, M., Baba, S. Determination of Resin Bond Strength to Zirconia Ceramic Surface Using Different Primers. *Acta Odontológica Scandinávica* [Internet], 2011; 69: 48-53.
<https://doi.org/10.3109/00016357.2010.517558>
14. De Robles J. Cementado en las prótesis de óxido de zirconio [Internet]. Universidad de Sevilla; 2016.
15. De Souza, G., Henning, D., Aggarwal, A., Tam, L. The use of MDP-based Materials for Bonding to Zirconia. *The Journal of Prosthetic Dentistry* [Internet].

- 2014.10; 112: 895-902.
16. Cheung, G., Botelho, M. Zirconia Surface Treatments for Resin Bonding. *The Journal of Adhesive Dentistry*. [Internet] 22.10.2015; 17:551-558. doi: 10.3290/j.jad.a35249.
 17. Afrasiabi, A., Mostajir, E., Golbari, N. The Effect of ZPrimer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: in vitro. *J Clin Exp Dent* [Internet]. 2018; 10 (7): e661-664. doi:10.4317/jced.54619.
 18. Nihei, T. Dental applications for silane coupling agents. *Journal of Oral Science* [Internet], 2016; Vol 58, No.2: 151-155.
 19. Meng, X., Yoshida, K., Taira, Y., Kamada, K., Luo, X. Effect of Siloxane Quantity and pH of Silane Coupling Agents and Contact Angles of Resin Bonding Agent on Bond Durability of Resin Cements to Machinable Ceramic. *Journal of Adhesive Dentistry* [Internet]. 2011; 13:71-78. doi: 103290/j.jad.a20179.
 20. Da Silva EM, Miragaya L, Sabrosa CE, Maia LC. Stability of the bond between two resin cements and an yttria-stabilized zirconia ceramic after six months of aging in water. *J. Prosthet. Dent.* 2014; 112 (3): 568–575.
 21. Gokkaya, F., Stawarczyk, B., Hämmerle, C., Sailer, I. Influence of silanes in the shear bond strength of resin cements to zirconia. *Quintessence International* [Internet], 2013; Vol 44, No.8: 591-600. doi: 10.3290/j.qi.a29754.
 22. Vagkopoulou T, Oumvertos S, Koidis, P, Rudolf J. Zirconia in Dentistry: Part 1. Discovering the Nature of an Upcoming Bioceramic. *Zirconia in Dentistry: Part 1 Discovering the Nature of an Upcoming Bioceramic.* 2009; 4(2):14-16.

23. Tanış M, Akay C, Karakis D. Resin cementation of zirconia ceramics with different bonding agents. *Biotechnol Equip.* 2015; 29(2): 363-367.
24. FokasTsentzeratos, G. Influence of the surface and heat treatment on the flexural strength and reliability of YTZP dental ceramic [Doctorado]. Faculty of Dentistry, National and Kapodistrian University in Athens, Greece; 2010.
25. Wang H, Aboushelib M, Feilzer A. Strength influencing variables on CAD/CAM zirconia frameworks. 8th ed. Department of Dental Materials Science, Academic Center for Dentistry Amsterdam (ACTA). Louwesweg 1, 1066 EA Amsterdam, The Netherlands: Dent Mater; 2010.10-12.
26. Inan Ö, Gülce Subaş M. Influence of surface treatments and resin cement selection on bonding to zirconia. 2nd ed. *Lasers Med Sci.* SpringerVerlag London 2012: Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, 2014. pp. 20-23.
27. Jayasheel A, Niranjana N, Pamidi H. Comparative Evaluation of shear Bond Strength of universal Dental Adhesives An in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2017 Jul; 9(7): p. 892–e896.
28. Carrilho, E., Cardoso, M., Marques Ferreira, M., Marto, C.M., Paula, A., Coelho, A.S. 10MDP Based Dental Adhesives: Adhesive Interfaz Characterization and Adhesive StabilityA Systematic Review. *Materials* 2019, 12, 790.
29. Inokoshi M, Kameyama A, De Munck J. Durable bonding to mechanically and/or chemically pretreated dental zirconia. *Journal of Dentistry*, 2013; 41: pp. 170-179.
30. Khan A, Al Kheraif A, Jamaluddin S. Recent trends in surface treatment methods for bonding composite cement to zirconia: A review. *Journal of Adhesive Dentistry.*

2017; 19: pp. 7-19.