



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad De Estomatología

División de Estudios de Posgrado

Maestría en Estomatología con opción terminal en Rehabilitación Oral

TESINA

**TRATAMIENTO DE SUPERFICIE EN RESTAURACIONES INDIRECTAS
DE ÓXIDO DE ZIRCONIO PARA MEJORAR SU ADHESIÓN**

**TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRÍA EN ESTOMATOLOGÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN
REHABILITACIÓN ORAL**

**PRESENTA:
IVETTE ESQUIVEL ROJAS**

**DIRECTOR DISCIPLINARIO
MEI CARLOS BADILLO MUÑOZ**

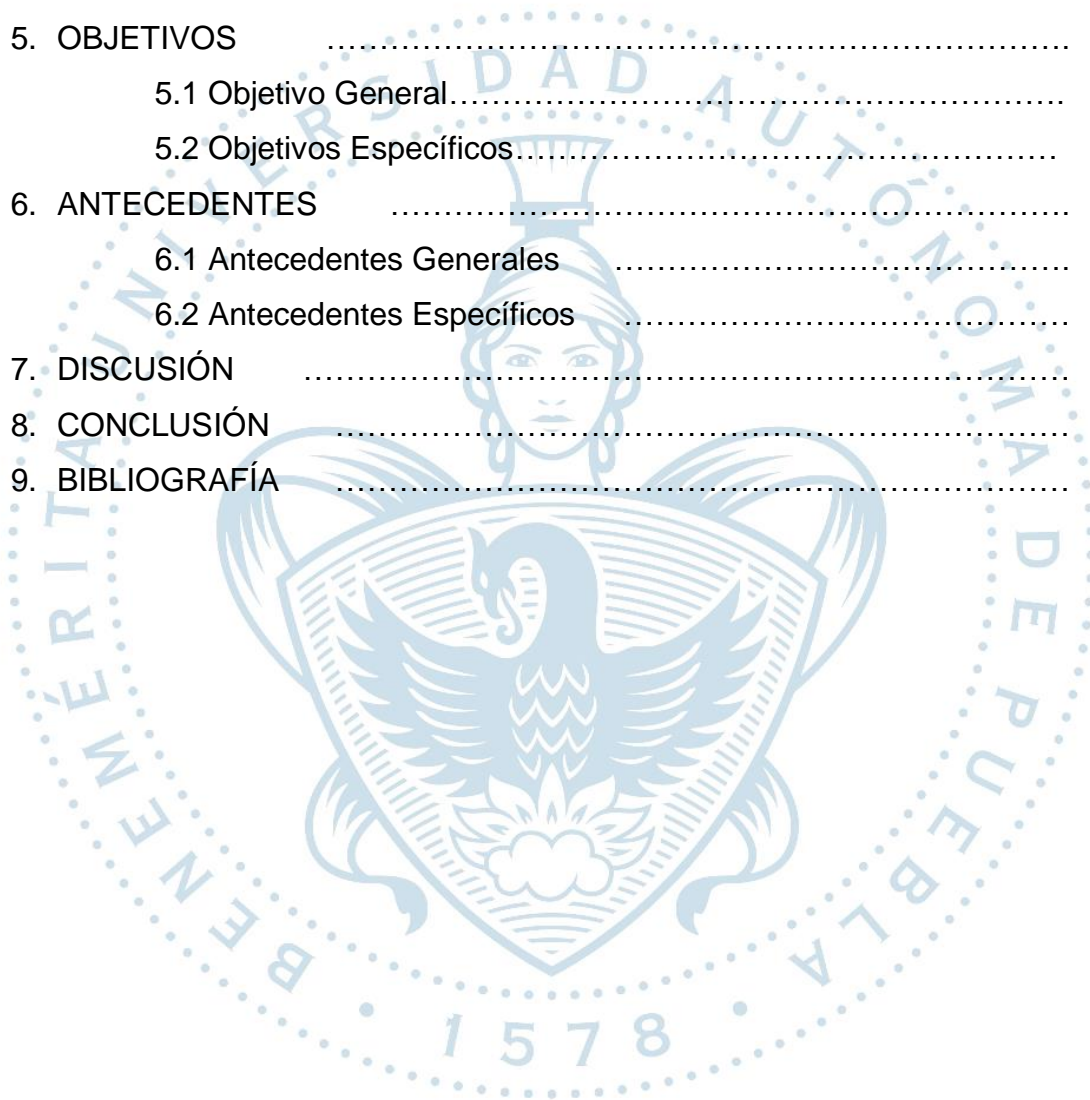
**ASESOR METODOLÓGICO
MEI GUILLERMO FRANCO ROMERO**

Puebla, Pue.

Agosto 2017

ÍNDICE

1. RESUMEN	03
2. INTRODUCCIÓN	04
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	06
4. JUSTIFICACIÓN	07
5. OBJETIVOS	08
5.1 Objetivo General.....	08
5.2 Objetivos Específicos.....	08
6. ANTECEDENTES	09
6.1 Antecedentes Generales	09
6.2 Antecedentes Específicos	41
7. DISCUSIÓN	64
8. CONCLUSIÓN	70
9. BIBLIOGRAFÍA	73





1. RESUMEN

Esta investigación analizó los diferentes tratamientos de superficie, tanto físicos como químicos en el zirconio, para así identificar cuál de ellos propicia una adhesión más resistente a largo plazo.

Las exigencias estéticas de los pacientes han generado nuevos materiales dentales que buscan que su comportamiento sea similar al del tejido dental. Actualmente el Y-TZP, (zirconio policristalino totalmente estabilizado con itrio) presenta alta resistencia a la dureza, que lo convierte en el material ideal para las restauraciones totalmente cerámicas.

El dióxido de zirconio (ZrO_2), conocido como zirconio, se viene utilizando con gran éxito en odontología desde hace aproximadamente 15 años. El zirconio tiene características físicas únicas que hacen que sea el doble de fuerte y resistente comparada con las cerámicas basadas en alúmina, sin embargo, las cofias de zirconio no son afectadas por ningún proceso debido a su alta dureza y cristalinidad.

Ya que el zirconio no es grabable, la ventaja de lograr una adhesión más fuerte mediante un cemento de resina puede estar perdida. Sin embargo, bajo condiciones apropiadas, los cementos de resina proporcionan una adhesión más resistente en restauraciones a base de zirconio, obteniendo mejores propiedades mecánicas que con cementos convencionales.

Por esta razón, se realizó una búsqueda de literatura a través de PUBMED, donde se incluyeron artículos en inglés, con una antigüedad no mayor a 7 años., revisiones sistemáticas, y revisión de literatura; se utilizaron palabras clave como *zirconia*, *dental adhesion*, *monolithic zirconia*, *surface treatment*. Se excluyeron reportes de caso, y artículos en español.



2. INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda por restauraciones libres de metal, ha llevado al desarrollo de materiales completamente cerámicos con propiedades mecánicas optimizadas para obtener restauraciones con mayor longevidad y mejores resultados estéticos. El continuo desarrollo de estos materiales ha permitido extender sus indicaciones en la odontología restaurativa, por lo que pueden ser utilizados tanto en las restauraciones cerámicas adhesivas individuales o múltiples, los implantes dentales y sus aditamentos, entre otros.

Uno de los núcleos cerámicos más comúnmente utilizados es el óxido de zirconio, conocido también como Zirconio policristalino tetragonal estabilizado con itrio. Este material tiene una alta resistencia a la fractura (800-1200 MPa), por lo cual funciona como un excelente material de restauración completamente estético, sin embargo su alto contenido cristalino, lo hace inerte a un tratamiento convencional para su adhesión a una estructura dental, como el que se lleva a cabo en porcelanas con mayor contenido vítreo.

Se han realizado varios estudios sobre el éxito de restauraciones indirectas fabricadas con óxido de zirconio, y sobre su tratamiento de superficie, para mejorar su adhesión al diente o sustrato. Cada material de zirconio posee diferentes características en su estructura interna, tamaño de grano, forma, composición y dureza, por lo que el efecto de los diferentes tratamientos de superficie puede variar de acuerdo al material.

El éxito de la adhesión de materiales, como el óxido zirconio a sustratos dentales, en restauraciones indirectas, no ha sido bien definido, por lo que el presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo comparar los diferentes tratamientos de superficie para establecer un protocolo de adhesión.

Se realizó una revisión de la literatura científica reciente sobre los métodos de acondicionamiento de la superficie del óxido de zirconio para mejorar su



adhesión al sustrato dentario. Debido a que no se encontró una gran cantidad de bibliografía en la que se estudie la adhesión del óxido de zirconio, se seleccionaron los artículos con una antigüedad menor a 7 años, para su análisis.

Debido a su matriz cristalina, el óxido de zirconio es resistente al grabado ácido, lo cual reduce su adhesión a otras superficies, por lo que se han desarrollado diferentes métodos que incrementen la fuerza de adhesión, de los cuales el que ha demostrado mejores resultados es el arenado con partículas de óxido de aluminio recubiertas con sílice, de $50\mu\text{m}$, a 1 atm de presión, con tal procedimiento que se crean micro retenciones que aumentan el área de superficie que estará en contacto con el agente cementante, además del uso de adhesivos y/o cementos de resina que contengan monómeros funcionales metacriloxidecilfosfato dihidrogenado.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de restauraciones a base de óxido de zirconio es una opción para el tratamiento de pacientes que demanden restauraciones que cuenten con una alta resistencia al desgaste, una preparación mínima del sustrato dentario remanente así como la exigencia de requerimientos estéticos.

Sin embargo, al igual que otros materiales, el óxido de zirconio posee ciertas desventajas, una de ellas, y tal vez la más importante, es su falta de adhesión al sustrato dentario a través de los cementos de resina, debido a su composición en mayor porcentaje de una matriz cristalina y menos del 1% por una matriz vítrea, induciendo que sea completamente inerte al acondicionamientos de superficie con ácido fluorhídrico como se realiza en restauraciones con alto contenido vítreo.

Si no se logra una correcta unión entre la restauración, y el sustrato dental a través del agente cementante, se puede presentar el desalojo de la restauración, sobre todo en casos donde exista una disminuida cantidad de tejido dentario para la fijación de dicha restauración, lo cual puede derivar en el fracaso del tratamiento por la aparición de caries secundaria, de micro filtración, o de la fractura del sustrato dentario.

Dado que las investigaciones en dicha área son recientes, no se ha establecido un protocolo único de adhesión, por lo que es necesario realizar una mayor cantidad de investigaciones.

Por lo anteriormente expuesto, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el protocolo de acondicionamiento de la superficie del óxido de zirconio más favorable para su adhesión por medio del cemento de resina al sustrato dentario?

4. JUSTIFICACIÓN

Las restauraciones de zirconio han aumentado su demanda en los últimos 10 años debido a su relativa estética, biocompatibilidad y resistencia, tanto las elaboradas de forma monolítica como las estratificadas.

A pesar de los altos beneficios del zirconio, un gran defecto de la misma es su bajo potencial de adhesión a los cementos de resinas. En contraste con la porcelana convencional, la cual puede ser grabada con ácido fluorhídrico para crear micro retenciones mecánicas y aumentar el área de superficie, donde penetra el agente cementante.

La demanda del paciente por una restauración libre de metal ha incrementado recientemente, y esto ha resultado en el uso frecuente de restauraciones completamente cerámicas.

El mejorar la superficie del óxido de zirconio para su adhesión, propiciará mejores resultados de la longevidad de estas restauraciones, ya que beneficiará la estética, la integridad marginal, el mantenimiento de las restauraciones, además de que se evitará el desalajo de la restauración y la consiguiente aparición de caries secundaria o fractura del tejido dentario remanente. Con dicho procedimiento se podrá establecer un protocolo de adhesión o tratamiento de superficie que puede ser benéfico para la rehabilitación integral de pacientes que acuden en busca de resultados tanto funcionales como estéticos.



5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL:

- Determinar cuál es el protocolo de acondicionamiento de la superficie del óxido de zirconio más favorable para su adhesión a través del cemento de resina al sustrato dentario.

5.2 OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Describir los diferentes tipos de tratamientos de superficie del óxido de zirconio para mejorar su adhesión a diferentes sustratos.
- Explicar cuáles son los cementos de resina que tienen una mayor adhesión con la superficie del óxido de zirconio.
- Describir los valores de resistencia de los cementos de resina al ser sometidos a pruebas de cizallamiento.

6. ANTECEDENTES

6.1 ANTECEDENTES GENERALES

Actualmente en la práctica dental, los procedimientos mínimamente invasivos son ampliamente defendidos para preservar la mayor estructura dentaria como sea posible. Se utiliza una técnica adhesiva a esmalte en estos procedimientos dentales, tanto para carillas como para prótesis parcial fija.

La adhesión es lograda a través del grabado ácido del sustrato, que es una estructura ampliamente mineralizada, lo cual va a incrementar el área de superficie para el adhesivo. Bounocore fue el primero en utilizar el ácido fosfórico al 37% para grabar el esmalte en tratamientos de selladores de fosetas y fisuras en 1955. El patrón de grabado es evidenciado mediante microporosidades en el esmalte, la resina fluye dentro de estas y forma unas extensiones llamadas *tags* que proporcionan retención micro mecánica. La adhesión al esmalte es la principal razón para obtener el éxito clínico de muchos procedimientos restaurativos, (Sahil Sekhri, 2016). Por otro lado la adhesión a la dentina es un mecanismo más complicado que el esmalte debido a su estructura tubular y a su humedad intrínseca. La penetración de moléculas hidrofílicas dentro de la dentina grabada es el mecanismo de adhesión de agentes adhesivos dentinarios recientes. La capa híbrida es una capa donde se mezclan la resina polimerizada y las fibras de colágeno enredadas debido a la penetración de los monómeros para crear un contacto directo entre la resina y las fibras de colágeno mediado por un solvente a base de agua como el etanol y acetona.¹

ADHESIÓN

El término adhesión deriva del latín *Adhaesio*, que significa unir o pegar una cosa con otra, siendo esta tal vez su definición más simple. Se aplica como fenómeno por el cual dos superficies colocadas en contacto se mantienen unidas por fuerzas



de atracción establecidas entre sus moléculas. Unión química o mecánica entre materiales mediante un adhesivo.²

En odontología, se define como la fuerza o energía entre átomos o moléculas en una interfase que mantiene dos fuerzas unidas.³

Según la American Society for Testing and Materials (ASTM, 1983) es el fenómeno mediante el cual dos superficies de igual o distinta naturaleza se mantienen unidas por fuerzas interfaciales, sean estas físicas, químicas o por la interacción de ambas.

Otro concepto ampliamente descrito en la literatura mundial es la llamada “membrana adhesiva” o “capa adhesiva”, formada por la unión de la capa de adhesivo a la dentina tratada. Esta membrana adhesiva es frágil y endeble frente a las agresiones como la fuerza de contracción de polimerización de la resina compuesta, (la cual dura hasta 24 horas); además de la fuerza de compresión en el caso de los *composites* condensables y la fuerza de masticación.⁴

SISTEMAS ADHESIVOS

Según un trabajo de Freedman y Leinfelder, la evolución de las técnicas de adhesión ha transformado el panorama de la práctica de la odontología. Un interés nuevo por la apariencia y la salud oral se ha visto reflejado en la demanda de servicios generalmente asociados a procedimientos de adhesión. La amplia demanda y uso de adhesivos dentales ha impulsado el desarrollo en una rápida sucesión de productos mejores y más fáciles de usar.

El fenómeno de adhesión participa en muchas situaciones en la odontología, como por ejemplo en prótesis total, la retención, tal vez dependa hasta cierto punto de la adhesión entre la prótesis y el tejido blando a través de la saliva.

Cuando dos sustancias entran en íntimo contacto, las moléculas de una de ellas se adhieren o son atraídas por las moléculas de otra, esta fuerza se llama

adhesión, cuando diferentes moléculas son atraídas, y *cohesión*, cuando son atraídas moléculas del mismo tipo. El material o película que se agrega para producir la adhesión se conoce como *adhesivo*, y el material que se aplica se llama adherente.

La excelente adhesión lograda ha producido una serie de cambios en los planes de tratamiento actuales comparados con los que se confeccionaban en años anteriores y permite ejercer una odontología más conservadora que reemplace solo el tejido dental defectuoso o faltante.⁵

Los sistemas utilizados para producir adhesión a metal u otras superficies, se pueden clasificar en tres tipos:⁶

- Mecánicos:
 - o Macromecánicos
 - o Micromecánicos
- Químicos
- Mixtos

SISTEMAS MECÁNICOS

Sistemas macromecánicos

Una de las formas habituales de lograr la adhesión de dos superficies, consiste en crear sobre una o ambas superficies por adherir, una forma macrorretentiva (hoyos o ranuras) que puede ser excavada o en relieve, ponerla en íntimo contacto y luego utilizar un medio adhesivo que humecte ambas superficies y se endurezca con rapidez. Utilizando el mismo principio, se pueden hacer socavados, rugosidades o irregularidades en un metal para mejorar su adhesión.⁶

Sistemas micromecánicos

Si el tamaño de las irregularidades, socavados o relieves se reduce en forma adecuada a valores de centésimas o milésimas de milímetro (micrómetros), se



puede lograr un acercamiento mucho más íntimo entre las superficies por adherir, y, por ende, una adhesión más durable y satisfactoria. Una forma de obtener irregularidades en un objeto o una superficie es mediante el procedimiento de la microabrasión, comúnmente denominado arenado, el cual consiste en proyectar un chorro de aire y abrasivo sobre la superficie que se intenta adherir.

La microabrasión, produce los siguientes efectos favorables para la adhesión: limpieza profunda, aumento de la superficie total, aumento de la energía superficial, disminución del ángulo de contacto y formación de un relieve microrretentivo.⁶

Sistemas Químicos

Cuando los objetos por adherirse logran acercarse a valores de nanómetros (millonésimas de milímetro), poseen suficiente energía superficial y son eléctricamente compatibles. Las superficies en contacto logran algún tipo de adhesión química interfacial. La adhesión química se obtiene mediante el intercambio de electrones o de átomos, enlaces covalentes o fuerzas de Van der Waal. Como ejemplo de este tipo de adhesión, se puede citar la silanización.⁶

Sistemas Mixtos

Debido a las condiciones sumamente exigentes del medio bucal, a la presencia constante de saliva, a los cambios térmicos frecuentes durante la alimentación, a las fuerzas masticatorias, a los agentes químicos, etc., la adhesión intrabucal está sometida a diario a una dura prueba, por lo que es conveniente combinar los sistemas adhesivos disponibles en la actualidad.⁶

COMPOSICIÓN DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS

Los sistemas adhesivos se componen de tres partes básicas, que pueden estar separadas o juntas en un mismo frasco, y que son:

- Ácido acondicionador: por lo general es el ácido fosfórico entre 15 al 37%.

- Primer: resinas hidrófilas que se comportan como una molécula bifuncional (hidrófila-hidrófuga), de bajo peso molecular, como HEMA o PENTA disueltos en un solvente como la acetona, etanol o agua o sin solventes. En la actualidad a los *primers* se le han incorporado ácidos débiles en baja concentración.
- Adhesivo químico, fotopolimerizable o dual: debe relacionar químicamente la capa resina-dentina y tener un efecto amortiguador para compensar la contracción de polimerización de los sistemas resinosos e impedir que las capas de integración se desprendan o micro fracturen.⁷

CLASIFICACIÓN

Los sistemas adhesivos pueden clasificarse en dos grupos o tipos principales en función de la indicación, ya sea si se va a realizar o no la preparación de la superficie dentaria con un ácido como el fosfórico.⁸

- Adhesivos tipo 1
 - o Tipo 1a.
 - o Tipo 1b.
- Adhesivos tipo 2
 - o Tipo 2a.
 - o Tipo 2b.

Adhesivos tipo 1

En estos productos se realiza primero la aplicación de la solución ácida, que es provista de manera independiente de los otros componentes, sobre la superficie.

En los tipo 1a, el imprimador se provee en un envase independiente; sin embargo, en algunas marcas, sus componentes pueden venir en envases separados y requerirse una mezcla de ellos antes de colocarlo sobre la dentina preparada.⁸

En los tipo1b, los componentes imprimadores y adhesivos son provistos en forma conjunta, es decir, para uso simultáneo en un solo paso.

Adhesivos tipo 2

Estos sistemas a veces son denominados de *autograbado*. Con ello se indica que el acondicionamiento o grabado ácido se realiza en forma simultánea con la impregnación (adhesivos de tipo 2a) o con la impregnación y adhesión (adhesivo tipo 2b).

Los adhesivos tipo 2a, incluyen en un solo envase el componente de reacción ácida y las moléculas encargadas de la impregnación.

Los adhesivos tipo 2b, incluyen los componentes para realizar las tres acciones requeridas, acondicionamiento, impregnación y adhesión, en forma simultánea.⁸

Todas las generaciones de adhesivos en general, se unen bien a la estructura microcristalina del esmalte; el principal problema es la fuerza de unión a la dentina, tejido semiorgánico.⁹

Primera Generación

Los adhesivos aparecidos al final de los años setenta contaban con una fuerza de adhesión alta al esmalte, sin embargo, su fuerza de adhesión a la dentina era lastimosamente baja, por lo común no mayor a 2MPa. La unión se buscaba por la quelación del agente adhesivo con el calcio, componente de la dentina, si bien había penetración tubular, contribuía poco a la retención de la restauración.⁹

Segunda Generación

A comienzo de los años ochenta se desarrolló la segunda generación. Estos productos intentaban usar la capa residual (*smear layer*) como sustrato para la adhesión. Las débiles fuerzas de adhesión de esta generación (2 a 8 MPa a la dentina) hacia todavía necesaria la retención en la preparación de cavidades.⁹

Tercera Generación

A final de la década de 1980 aparecieron los sistemas de doble componente: iniciador (*primer*) y adhesivo, por lo que fueron clasificados como la 3ra generación. El incremento significativo de la fuerza de adhesión a la dentina 8-15MPa, disminuyó la necesidad de retención en las preparaciones cavitarias. La tercera generación fue la primera en lograr adherencia no solo a la estructura dental sino, además, a metales y cerámicas.⁹

Cuarta Generación

A comienzos de los años noventa, los agentes de unión de cuarta generación, transformaron la odontología, pues lograron una alta fuerza de unión a la dentina, entre 17 y 25 MPa. Fusayama y Nakabayashi, desarrollaron el concepto de grabado total y adhesión a la dentina húmeda. Esta generación se caracteriza por el proceso de hibridación en la interfaz dentina-resina reforzada, que consiste en el reemplazo de la hidroxiapatita y el agua de la superficie dentaria por resina. La resina en combinación con las fibras de colágeno remanentes, constituye la capa híbrida. El número de pasos en el mezclado, tienden a hacer el proceso confuso.⁹

Quinta Generación

Los agentes de unión de la quinta generación son fáciles de usar y de resultados predecibles. Estos materiales se adhieren bien al esmalte, la dentina, a la cerámica y a los metales, pero lo más importante es que se caracterizan por tener un solo componente en un solo frasco. La fuerza de retención a la dentina está en el rango de 20 a 25 MPa.⁹

Sexta Generación

A pesar de la simplificación de la técnica, se ha tratado de eliminar el paso de grabado ácido, o de incluirlo químicamente dentro de alguno de los otros pasos. La sexta generación de adhesivos no requiere grabado ácido, al menos en la superficie de la dentina. La adhesión a la dentina (18 a 23 MPa) se sostiene en el

transcurso del tiempo, mientras que la adhesión al esmalte no grabado ni preparado es la que está en entredicho.⁹

Séptima Generación

La séptima generación simplifica la multitud de materiales de la sexta generación reduciéndolos a un sistema de un solo componente y un solo frasco; ofrece el autoacondicionamiento y el autoiniciado, con baja reacción a variaciones en la técnica y poca o ninguna sensibilidad posoperatoria.⁹

PRIMER

Es importante conocer el papel que juega el *primer* y cuál es su función en el proceso de adhesión. Una vez desmineralizados los tejidos, la función de los *primers* es transformar la superficie dental hidrofílica en hidrofóbica para conseguir así la unión de la resina adhesiva. Para ello, estos agentes contienen en su composición monómeros polimerizables con propiedades hidrofílica, disueltos en acetona, agua y/o etanol. Estos sirven para transportar los monómeros a través del tejido grabado.⁵

AGENTE DE ACOPLAMIENTO - SILANO

Es evidente que para tener un comportamiento mecánico adecuado del material, debe haber una buena unión entre la matriz y el relleno, esto es necesario no solo para lograr las mejores propiedades mecánicas sino también para evitar que penetre agua en la interfase matriz-relleno. El agente de acoplamiento cubre el sustrato inorgánico y actúa como elemento de unión química a la matriz orgánica otorgando cohesión al material.¹⁰ Los más utilizados son los compuestos órgano-silanos, que son moléculas con doble polaridad, es decir, bifuncionales, ya que pueden reaccionar mediante enlaces de tipo covalente con la superficie orgánica y por enlaces iónicos a la superficie inorgánica, de esta manera este organo-silano une químicamente el relleno reforzado a la matriz resinosa.¹¹ Hoy en día, la mayoría de los fabricantes someten a las partículas de relleno a un proceso de



silanización, para cubrir la superficie de relleno, volviendo a las partículas hidrófobas y capaces de reaccionar químicamente con el monómero de la matriz orgánica.¹²

El silano es un compuesto orgánico que contiene átomos de sílice y presenta una doble reacción. Una parte del final de la molécula es orgánicamente funcional (por ejemplo: con grupos vinil $-\text{CH}=\text{CH}_2$) y puede polimerizarse con una matriz orgánica (metacrilato).¹³

Debido a esto, se considera una molécula bifuncional capaz de formar enlaces siloxano con el grupo hidroxilo del sílice que está presente en la cerámica, y copolimerizarse con la matriz resinosa del *composite*. No obstante, esta reacción química no tiene lugar en las cerámicas a base de zirconio debido a la falta de una fase vítrea.¹⁴

Es así que, los silanos, poseen dos características que facilitan la adhesión entre el sustrato inorgánico (cerámica) y el polímero orgánico (adhesivo y/o cemento de resina).

Primero incrementa la humectabilidad de la porcelana facilitando la unión. Posteriormente, es una molécula bifuncional con grupos siloxano en una terminación, (enlace iónico con el sílice de la cerámica) y en la otra terminación tiene grupos metracrilato, los cuales reaccionan y se unen con los grupos metracrilato de la resina (enlace covalente).

Pueden ser utilizados con las oxidocerámicas solos o en combinación con un MDP.¹⁵

FALLAS ADHESIVAS

Falla Cohesiva

GARONE FILHO (2002) cohesión, consiste en el grado de intensidad que alcanza la unión de los adhesivos a la dentina. En realidad el conjunto (adhesivo, capa

híbrida, fibras colágenas recubiertas y dentina) funciona como si se tratase de una cadena formada por eslabones de resistencias diferentes, que de someterse a fuerzas traccionales, en el momento de alcanzar la resistencia del eslabón más débil, este se rompería. Por consiguiente, si en condiciones ideales logramos los 30 MPa, este valor correspondería a la resistencia traccional de las fibras colágenas, el integrante más débil de la dentina desmineralizada.¹⁶

Un fallo cohesivo sería aquel que ocurre en el interior de la estructura del material.

Falla Adhesiva

GARONE FILHO (2002) propone que, otra posibilidad de que se presente una falla de unión a la dentina, sin que se produzca fractura de las fibras colágenas, es cuando se rompe el adhesivo mismo en la interfaz adhesivo / dentina, debido a que en ella la resistencia del adhesivo se encuentra disminuida, en función de su afinamiento producido al penetrar en la dentina, pudiendo en algunos casos llegar a ser inferior a la resistencia de fibras colágenas. En esta circunstancia, se produciría una falla adhesiva. La situación clínica que más propicia este tipo de falla es la excesiva remoción de agua en la dentina acondicionada, unida al uso de un adhesivo que contiene acetona.

Un fallo adhesivo sería aquel que ocurre entre dos estructuras distintas, es decir en la interfase entre ambas.¹⁶

Falla marginal

Son las responsables del recambio de la restauración. HEDAYAT y col (2001) establecen, que un análisis más superficial de los procedimientos adhesivos nos llevaría a imaginar que una unión adhesiva satisfactoria sería garantía de un buen cierre marginal, pero esa es una conclusión errónea. Lo más frecuente es que no se encuentre una correlación entre unión adhesiva y filtración marginal.¹⁶



CEMENTOS DE RESINA

Desde 1952 se vienen utilizando cementos de resina sintéticos a base de metacrilato para la cementación de incrustaciones, coronas y aparatos. A comienzos de los años setenta se presentó una resina de *composite* que se podía utilizar como cemento para coronas y puentes.

Desde 1986 ha aumentado considerablemente la popularidad de los cementos resinosos debido a su empleo en la cementación de puentes adheridos con resinas, actualmente se emplean para el cementado de restauraciones estéticas.⁵

En las últimas dos décadas, los procedimientos de adhesión han expandido sus indicaciones de las restauraciones indirectas y han permitido el desarrollo de nuevas alternativas de tratamiento. Claro ejemplo es el uso de puentes Maryland en 1980 y restauraciones cerámicas a partir de 1990.

Las ventajas de la adhesión de las restauraciones indirectas incluyen una mejoría en el sellado marginal, reduciendo el riesgo de sensibilidad post operatoria, baja solubilidad y superiores propiedades mecánicas de los cementos de resina comparado con cementos como el fosfato de zinc y los ionómeros de vidrio. (White y Yu, 1993)¹⁷

Los cementos de resina son un tipo de compuesto que consiste en una matriz de resina con un relleno de partículas inorgánicas. La adhesión entre la matriz de resina y el relleno se crea a través de un agente interfase. Ésta interfase consiste en una larga cadena de moléculas de silano, cuyo componente es el sílice orgánico. Eso significa que los cementos de resina consisten en tres fases que son estructuralmente diferentes: una fase orgánica, una fase inorgánica y una interfase.

Poseen una alta resistencia a la flexión, a la compresión y a las fuerzas de cizallamiento y tracción, además de que incrementa la retención y resistencia a la fractura de las restauraciones cerámicas indirectas.

Con su baja estructura de relleno y su viscosidad difieren de los *composites*. En un buen número de cementos de resina, existen partículas de vidrio o sílice que varían entre un 20 y 80%. Las partículas de sílice refuerzan las propiedades mecánicas, y permiten el paso de la luz. Estas partículas de relleno hacen que el cemento sea más resistente a las fuerzas de compresión y de tensión además de tener baja solubilidad.⁵

CLASIFICACIÓN

Con respecto al tamaño de partícula de relleno, se clasifican en:

- Micro relleno (entre 0-04 μm)
- Compuestos híbridos (0.7-1.7 μm)

De acuerdo al modo de activación, los cementos de resina se dividen en 3 grupos:

1. Químicamente activados (autocurado)
2. Fotoactivados
3. Duales

Típicamente los cementos de resina son utilizados en combinación con agentes de unión para esmalte y dentina, como resultados son capaces de fijarse micro mecánicamente a la superficie de la restauración como del diente, a través del agente de unión.¹¹

Además de que se pueden adherir adecuadamente a las superficies tratadas de las restauraciones. Esta adhesión es comúnmente micro mecánica y es lograda cuando una restauración ha sido micro arenada en la superficie interna.⁵

CEMENTOS QUÍMICAMENTE ACTIVADOS (AUTOCURADO)

La reacción de polimerización se desencadena por la reacción de los compuestos peróxido-amina cuando se mezclan. Tienen una menor estabilidad del color por degradación de las aminas que no reaccionan y que cambian de color.⁵



Los cementos de autocurado están indicados para la fijación de restauraciones metálicas y metal cerámicas, puentes Maryland, postes prefabricados o vaciados.

Debido a que algunos cementos son translúcidos pueden ser utilizados para la cementación de restauraciones cerámicas.¹¹

CEMENTOS FOTOACTIVADOS

Polimerizan gracias a la activación de compuestos como la canforquinona por medio de luz. Tienen la ventaja de que se pueden fotopolimerizar cuando resulte conveniente, permitiendo un mejor control del tiempo de trabajo. Presentan una gran estabilidad del color por no degradarse los componentes no activados.⁵

Los cementos fotoactivados, están contraindicados en carillas, ya que provocan una gran reducción de la intensidad de la luz a través de la restauración.¹¹

CEMENTOS DUALES

Los cementos de curado dual fueron desarrollados para reunir las características de los cementos de autocurado y los fotoactivados. La razón fue obtener un material que pudiera extender el tiempo de trabajo y que fuera capaz de llegar a un grado de conversión en presencia o ausencia de luz.¹¹

La polimerización se lleva a cabo por medio de los dos sistemas anteriores, por luz (canforquinona) para controlar en parte la polimerización, y de forma química (peróxido-amina) para completarla en aquellas zonas donde no alcance la luz. Están indicados en restauraciones con un espesor de 2 mm de porcelana translúcida o en los sistemas de porcelanas más opacas. La sección fotocurada puede interferir a la autopolimerizable según la marca del cemento; como norma general, es mejor esperar un corto tiempo a que empiece la parte autopolimerizable a reaccionar antes de aplicar la luz. Son interesantes para aquellas restauraciones que bien por el material, bien por el espesor del mismo, no aseguran el correcto paso de la luz ni la completa polimerización.

Estos productos muestran fuerzas de adhesión relativamente alta, excelente estabilidad del color y facilidad de aplicación y limpieza. Poseen un tiempo de gel de 3 minutos y uno de fraguado de 4,5 minutos y están indicados para *inlays* libres de metal, coronas y puentes. La luz inicia la polimerización, del cemento resinoso visible directamente, mientras la porción inaccesible se cura por un proceso secundario químico. Una vez se ha iniciado el proceso de fotocurado, continúa la reacción de polimerización en la porción no iluminada del cemento.⁷

Entre estos sistemas cerámicos, el diseño asistido por computadora y la fabricación asistida por computadora (CAD-CAM, por sus siglas en inglés, *computer aided design, computer aided manufacturing*), ha sido comúnmente utilizado como una alternativa a la porcelana convencional utilizada con un núcleo metálico para restauraciones de recubrimiento total. Además el desarrollo de estos sistemas, y el advenimiento de nuevas cerámicas con alta resistencia a la flexión y resistencia a la fractura han contribuido a la proliferación de restauraciones completamente estéticas, tales como el óxido de zirconio.¹⁸

Las investigaciones sobre el óxido de zirconio comenzaron alrededor del año 1960, con la mayor parte del trabajo enfocado en la ortopedia, específicamente en el área de la cabeza femoral para reemplazo total de cadera. Recientemente el óxido de zirconio ha sido introducido en la odontología debido a su alto potencial estético cuando se compara con estructuras metal-cerámicas.¹⁹

ZIRCONIO

El zirconio se ha conocido como una gema desde tiempos antiguos y su nombre proviene del término árabe zargon (color dorado) el cual a su vez proviene de los términos persas “zar” (oro) y “gun” (color). El zirconio (Zr) es un metal de tipo argénteo, que en forma pura es relativamente blando y dúctil, es un elemento relativamente común en la naturaleza, se encuentra en el decimoséptimo lugar en

la escala de abundancia relativa y es más abundante que elementos considerados comunes como el cobre y el estaño.

El zirconio o silicato de zirconio ($ZrSiO_4$) es el mineral del zirconio aprovechado comercialmente como gema, se utiliza como materia prima natural en la realización de cerámicas para estructuras de óxido de zirconio.

Con el término óxido de zirconio o bióxido de zirconio (ZrO_2) se define al óxido de zirconio natural presente en la naturaleza en forma monoclinal; sustancia que fue aislada por el químico alemán Martín Heinrich Klaproth en 1798. Este material es polimórfico en la naturaleza, lo que significa que presenta un diferente equilibrio en su estructura cristalina a diferentes temperaturas sin cambios químicos, pero es un material impuro no indicado como materia prima para la realización de cerámicas para estructuras.

El óxido de zirconio estabilizado en forma tetragonal es la cerámica técnica, denominada zirconio y está disponible como:

Tetragonal zirconio polycrystal (Y-TZP), estabilizado a través del agregado de óxido de itrio.

Partially stabilized zirconio, estabilizado a través del agregado de óxido de magnesio u óxido de calcio (MgO , CaO)

Su interés en la odontología depende de numerosos factores:

- Las propiedades mecánicas (tenacidad a la fractura) que permite la reducción de los espesores de estructuras y conectores protésicos.
- La resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad
- La reducida conductibilidad térmica von respecto a la alúmina (2,5 W/mk vs 30 W/mk), que reduce la sensibilidad a los cambios térmicos y los riesgos de irritación pulpar;

- La ausencia de fenómenos alérgicos (aumento de hipersensibilidad al níquel y paladio en la población);
- Las potencialidades estéticas;
- La adhesión reducida de las bacterias patógenas con respecto al titanio;
- La radiopacidad similar a las aleaciones metálicas.

El óxido de zirconio presenta un enlace químico oxídico, de carácter iónico entre el ion metal Zr_{4+} y el oxígeno O_{2-} .²⁰

PROPIEDADES

Debido al elevado estado de oxidación, el material no se comporta como un metal sino como una cerámica, es decir una oxidocerámica, grupo de sustancias inorgánicas no metálicas con estructura policristalina de granos finos (por este motivo también son definidas como cerámicas policristalinas).

Las particularidades del material derivan de la estructura mineralógica y por los retículos cristalinos que el mineral puede asumir en la naturaleza. . Existe en tres formas cristalinas: A temperatura ambiente el mineral está en la fase monoclinical estable (m); al aumentar la temperatura el retículo se convierte, inicialmente a tetragonal (t) en un campo de temperatura cercano a los $1173^{\circ}C$, posteriormente a cúbico (C), en un campo de temperatura próximo a los $2370^{\circ}C$; la fusión se produce a unos 2690 a $2720^{\circ}C$. (Figura 1).

Durante el enfriamiento, la transformación de fase es reversible, pero se produce a temperatura ligeramente desplazadas: la transformación de tetragonal a monoclinical se produce en el campo de 1050 a $950^{\circ}C$ a partir de la temperatura de sinterización (1300 a $1500^{\circ}C$).¹⁴

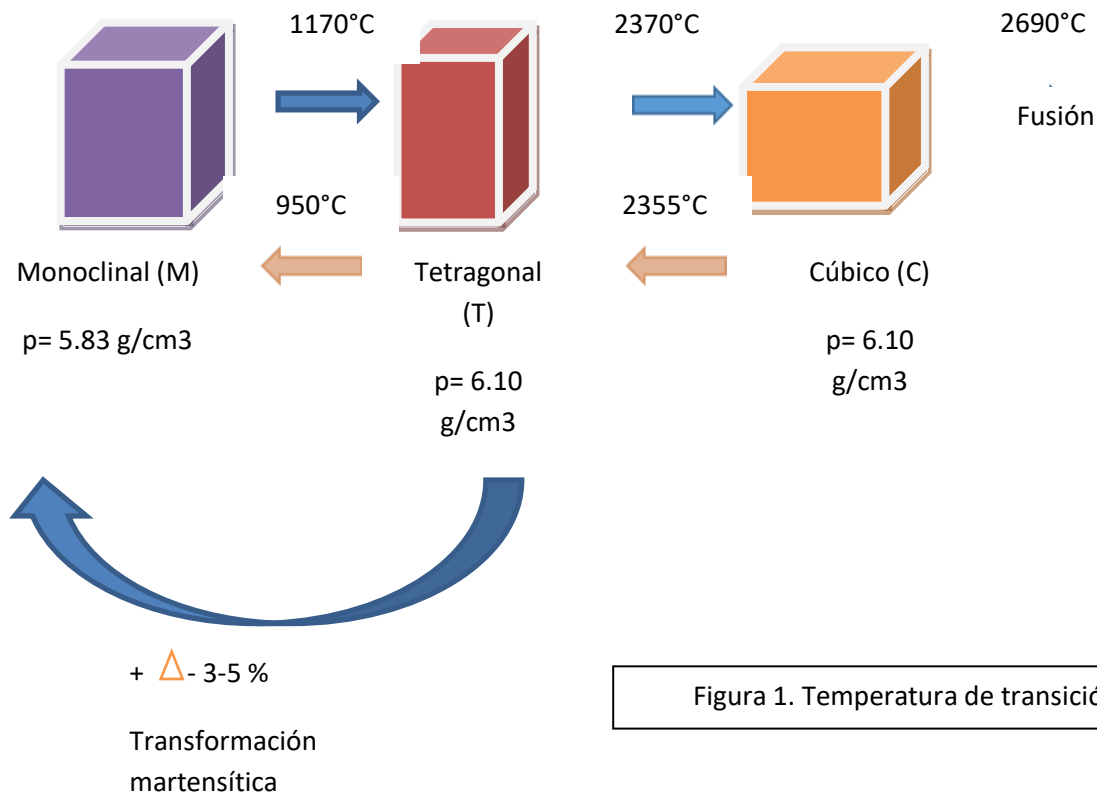


Figura 1. Temperatura de transición de fase

Una característica de este comportamiento es un cambio en su estructura cristalina, de fase tetragonal a monoclinal durante el enfriamiento, lo cual resulta en un aumento de volumen (3-4%), y de cúbica a tetragonal del 2,5%, lo que puede inducir un gran estrés, esto conducirá a una falla catastrófica, lo que puede resultar en un fracaso.¹³

La dilatación del retículo monoclinal, que se verifica durante el enfriamiento, introduce tensiones en el material y causa microfisuras hasta la degradación, límite de utilización que fue superado con el descubrimiento de la posibilidad de estabilizar las fases *t* y *c* hasta la temperatura ambiente, con la introducción de óxidos estabilizantes (Ruff 1929, Garvie 1975).¹⁴

La presencia de la fase cúbica va en detrimento de las propiedades mecánicas por dos motivos:

1. Los bordes de los granos cúbicos operan como concentradores de tensión debido a la diferencia de dimensiones con respecto a la matriz tetragonal
2. Drenan itrio a partir de los granos tetragonales limítrofes, disminuyendo la estabilidad.

ESTABILIZACIÓN DE LA FASE TETRAGONAL

El agregado de sustancias al material en pequeños porcentajes, se utiliza para modificar las propiedades, desplazando la transformación de fase a temperaturas más bajas mediante el agregado de óxidos, permitiendo obtener una estabilización de la fase tetragonal a temperatura ambiente. ¹⁴

Un trabajo realizado por Ruff, mostró que la fase cúbica puede ser estabilizada con la adición de una pequeña cantidad de óxido de Calcio, haciendo posible el uso del óxido de zirconio como un material de ingeniería.

Con el paso de los años otros óxidos metálicos como el óxido de Cerio (CeO_2), óxido de Magnesio (MgO), y óxido de ytrio (Y_2O_3) han sido utilizados para crear una gama de zirconio parcialmente estabilizada, lo cual permite la retención de la estructura tetragonal a temperatura ambiente. Esto controlará el estrés inducido por la transformación de fase tetragonal a monoclinica ($t \rightarrow m$). ¹³

Con ésta optimización es posible utilizar las cerámicas técnicas, con mejoradas características de resistencia:

- El zirconio plenamente estabilizado (*FSZ, fully stabilized zirconia*)
- El zirconio parcialmente estabilizado I y II (*PSZ, partially stabilized zirconia*)
- El zirconio totalmente estabilizado (*TZP o tetragonal zirconia polycrystal*).

Las tensiones de compresión desarrolladas en las proximidades de un extremo de la fisura, detienen la propagación de grietas y conducen a alta tenacidad.

Sin embargo, el pulido y el arenado son responsables de causar la transformación de la fase tetragonal a monoclinica ($t \rightarrow m$) alterando la integridad de la fase del material y el aumento de la susceptibilidad al envejecimiento. La presencia de agua va a exacerbar la degradación a baja temperatura.¹³

La PSZ y la FSZ son obtenidas introduciendo óxidos estabilizantes (CaO, MgO, etc.). En la actualidad son utilizadas en el ámbito industrial y en el pasado se utilizaban en ortopedia.

La TZP (Y-TZP) es estabilizada agregando de 2 a 3 mol% de óxido de itrio (Y_2O_3), igual al 4 a 6% del volumen, para obtener una microestructura con propiedades mecánicas elevadas.²⁰

La innovación de las cerámicas a base de zirconio reside en su mecanismo de endurecimiento inducido por estrés, el cual impide la propagación de grietas (*cracks*). Durante la aplicación de estrés, los cristales tetragonales se transforman en su fase monoclinal en la punta de la grieta. La concomitante expansión en volumen lleva al desarrollo de un estrés compresivo interno que se opone a la propagación de la grieta y así incrementa la resistencia a la fractura del material. La transformación puede ser inducida por cualquier aplicación de estrés, tal como es el generado por un desgaste, o con un impacto.²¹

La fase tetragonal es metaestable y después de los aportes de energía externa (mecánica y térmica) o por degradación espontánea en el tiempo (*low temperature degradation, LTD*) es desencadenada la transformación de la fase tetragonal \rightarrow monoclinal, con el consecuente debilitamiento de las características mecánicas.

La persistencia de la fase tetragonal metaestable es causada por el equilibrio sinérgico entre tres parámetros, que previenen las transformaciones:

- La compresión ejercida sobre los gránulos tetragonales de la matriz;

- La concentración de óxido estabilizante (Y_2O_3);
- La dimensión de los gránulos tetragonales.²⁰

SISTEMAS DE ZIRCONIO

En el mercado odontológico se encuentran disponibles tres diferentes microestructuras de materiales cerámicos sometidos a tenacización con zirconio; el zirconio parcialmente estabilizado con magnesio, el zirconio reforzado con alúmina y el zirconio policristalino estabilizado con itrio, que es el más difundido.

El zirconio parcialmente estabilizado con magnesio (*magnesia partially stabilized zirconio, MgPSZ*) posee una escasa difusión, debido a la influencia mecánica negativa del mayor corte de los granos y la complejidad tecnológica de su producción.

La alúmina reforzada con zirconio (*zirconio toughened alúmina, ZTA*), es una estructura compuesta que aprovecha las propiedades mecánicas de la transformación de fase del zirconio, por ejemplo, *In Ceram-Zirconia (Vita)*, obtenido de la introducción de aproximadamente el 33% de óxido de cerio (CeO_2 , Ce-TZP) en la matriz de alúmina y la infiltración con una fase vítrea, que representa el 25% del producto final. El uso de este tipo de cerámica está reducido en odontología, debido a sus límites estéticos (opacidad), y complejidad en el proceso de producción.

El zirconio tetragonal policristalino estabilizado con itrio (*tetragonal zirconio polycrystals, Y-TZP*) es el más difundido y experimentado, con características que responden a las disposiciones ISO 13356 y ASTM F-1873.²⁰

Las propiedades de cada sistema pueden variar. (Tabla 1).

PROPIEDADES	UNIDAD	Al ₂ O ₃	Mg-PSZ	Y-TZP
Módulo de Young (E)	GPa	380	210	210
Resistencia a la Flexión (MOR)	MPa	630	600	950
Dureza	GPa	19.5	12.5	12.5
Capacidad a la Fractura	MPa m ^{1/2}	3.2	5.8	10.5
Densidad	g/cm ³	3.97	5.85	6.02
Ductibilidad térmica	W/m K	3.0	-	2.5
Coefficiente de expansión térmica lineal (CET)	10 ⁻⁶ /K-1	8.1	-	5-10

Tabla1. Comparación de las propiedades mecánicas de las oxidocerámicas

CARACTERÍSTICAS

Actualmente el óxido de zirconio ha ganado mucha atención como un material biocompatible, debido a sus propiedades mecánicas, comparado con la alúmina, además de su inercia química y biológica que lo hace un material altamente biocompatible.¹³

El zirconio ha sido explorado como un material dental por una gran variedad de aplicaciones clínicas: para brackets, postes endodónticos, aditamentos, coronas individuales y prótesis parcial fija, las cuales pueden ser fabricadas mediante sistemas CAD-CAM de bloques completamente sinterizados o pre sinterizados.²²

Este material es una cerámica que posee una alta resistencia a la flexión, superior a 1000 MPa, la cual es 6 veces más resistente que las porcelanas feldespáticas y sigue siendo ampliamente utilizada como un material ortopédico.¹³ Surge como un material cerámico versátil y prometedor debido a sus propiedades biológicas, mecánicas y ópticas. Posee un módulo de elasticidad de 210 Gpa, lo que exhibe un mejor comportamiento mecánico y mayor resistencia a la fractura que las porcelanas convencionales.¹⁶

MECANIZADO

Las restauraciones se procesan ya sea por mecanizado suave de piezas en bruto, pre sinterizado, seguido de sinterización a alta temperatura, o por mecanizado duro de piezas en bruto, totalmente sinterizado.

Mecanizado Suave

El mecanizado suave consiste en bloques de zirconio pre sinterizado, donde primeramente se escanea el patrón de cera y mediante el software se diseña la restauración, para posteriormente ser fabricada por computadora, una vez terminado el tallado, se realiza el sinterizado de la restauración a altas temperaturas.

Mecanizado Duro

Este tipo de mecanizado consiste en el desgaste de bloques de zirconio de muy alta densidad, que se encuentran sinterizados al 99% de su densidad teórica. El sistema de tallado debe ser particularmente robusto debido a la alta dureza y baja maquinabilidad del zirconio Y-TZP completamente sinterizado.²³

RESTAURACIONES MONOLÍTICAS Y ESTRATIFICADAS

Debido a estos grandes avances funciona como un excelente material para restauraciones completamente cerámicas. Sin embargo el óxido de zirconio tiene una apariencia blanca opaca, antinatural, por lo que compromete los resultados

estéticos de las restauraciones monolíticas. Para mejorar la demanda estética de las restauraciones a base de zirconio, se requiere de la presencia de una capa vítrea sobre la superficie oclusal de las cofias de zirconio, que puede ser lograda con porcelana feldespática estratificada, o mediante el maquillado de la restauración monolítica. A pesar de que diversos estudios mencionan que este procedimiento no mejora significativamente la resistencia a la flexión, puede proporcionar los resultados estéticos deseados. Por lo otro lado, mencionan que las restauraciones monolíticas de zirconio maquilladas presentan una mayor resistencia al contacto comparada con la restauraciones de zirconio estratificadas.²⁴

La zirconia infiltrada con vidrio ha surgido como un material adecuado para las restauraciones monolíticas, debido a su mayor resistencia a la fractura, a la ausencia de daño por abrasión de la partícula de aire, a la cobertura de defectos superficiales y a la adhesión al momento de la cementación.

En las restauraciones de óxido de zirconio que son estratificadas, éstas estructuras bilaminares con frecuencia causan complicaciones en coronas individuales como en prótesis fija, debido a que son propensos al *chipping* (delaminación) de la porcelana de revestimiento, 25% de los casos después de 31 meses y 13% después de 38 meses. Para superar estas complicaciones, la estética de la estructura de zirconio monolítico ha sido mejorada, mediante la infiltración de vidrio dentro de la superficie de zirconio para proporcionar opciones de sombra y una mejor translucidez.¹⁸

Las coronas de zirconio monolíticas poseen suficiente resistencia a la fractura, debido a la alta dureza del material. Esto se atribuye a la característica conocida como Transformación inducida por el estrés en zirconio estabilizado con itrio. La transformación de la fase cristalina ocurre de tetragonal a monoclinal, bajo un estrés resultando en una expansión de volumen local de los cristales. Debido a esto se sugiere el uso de este tipo de restauraciones en la región molar incluso si

el grosor de la restauración es menor que una corona libre de metal convencional. Nakamura y col., mostraron que una corona monolítica de zirconio con un grosor mínimo de 0.5mm mostró una carga de fractura media de más de 5000 N, que era significativamente mayor que la de las coronas de disilicato de litio monolítico con un espesor de corona de 1,5 mm. Las coronas de zirconio monolítico pueden ser una alternativa de tratamiento menos invasivo.²⁵

A pesar de todos los beneficios del zirconio, como todo material presenta ciertas desventajas, por ejemplo; al presentar una mayor dureza y módulo de elasticidad comparado al del esmalte dentario, puede provocar un desgaste excesivo de los dientes antagonistas a la restauración. Sin embargo, se ha demostrado que la superficie pulida del óxido de zirconio causa menor desgaste de los órganos dentarios antagonistas que el zirconio que es estratificado o glaseado. Otro de los inconvenientes que presenta éste material, es su bajo potencial de adhesión a los cementos de resina. A diferencia de las porcelanas convencionales, las cuales pueden ser grabadas con ácido fluorhídrico para crear retenciones mecánicas sobre la superficie, el zirconio es inerte al ácido grabador debido a su alto contenido cristalino y a la falta de una fase vítrea.²⁶

ZIRCONIO PRESINTERIZADO

Los bloques presinterizados presentan una consistencia tizosa, causada por una porosidad del 50%, en relación con los granos ligeramente conectados entre sí a través de puntos de unión débiles de sinterización.

La consistencia permite un fresado CAM cómodo de una prótesis sobredimensionada, que sufre una contracción lineal del 20% (equivalente a una contracción volumétrica del 50 al 60%) durante la sinterización final a 1350-1500°C. El sistema necesita de fresadores rígidos, para reducir al mínimo las vibraciones en la elaboración del material para evitar la formación de esquirlas; la producción eventual de grietas microscópicas (subcríticas) puede ser compensada durante la sinterización sucesiva.

ZIRCONIO SINTERIZADO

La sinterización del zirconio presinterizado, realizada en hornos especiales, necesita temperaturas de 1350-1500°C y ciclos de 6 a 8, para suministrar una energía de sinterización adecuada.

La diferencia entre las temperaturas y las etapas de sinterización entre los distintos sistemas y materiales reside en las características de los hornos y de los materiales utilizados. De acuerdo al tipo de elaboración, se obtienen diferentes ventajas y desventajas. (Tabla 2).

El procedimiento de sinterización de la cerámica de revestimiento estético (*veneer*) necesita de 1 a 5 ciclos térmicos de temperatura media (750 a 900°C) y el calor es tomado en cuenta como un acelerador de la degradación del zirconio.

El primer ciclo disminuye la resistencia a la flexión en un 20% y la microdureza en un 9% mientras que los tratamientos sucesivos no causan efectos ulteriores (Olio, Gjerdet, 2007).

ELABORACIÓN PRESINTERIZADA		ELABORACIÓN SINTERIZADA	
VENTAJA	DESVENTAJA	VENTAJA	DESVENTAJA
Maniobrabilidad sencilla	Es necesario calcular la contracción	Precisión, ausencia de distorsión	Acabado complejo con influjo sobre la estructura
Tiempos de procesamiento rápidos	Riesgo de fractura en el estado blanco	Retículo carente de defectos	Tiempos prolongados de proceso
Maquinarias y gestión menos costosa	Menor translucidez	Mayor translucidez	Maquinaria y gestión más costosa

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la elaboración de ZrO₂ presinterizado y sinterizado

TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE

CLASIFICACIÓN

El núcleo de zirconio casi no es afectado por ningún procesamiento debido a su dureza y alta cristalinidad. Es así que el zirconio no es grabable, la ventaja de una adhesión más fuerte utilizando cemento de resina puede estar perdida. Sin embargo en condiciones apropiadas, los cementos de resina proporcionan una unión más fuerte para restauraciones de zirconio, con mejores propiedades mecánicas que los cementos convencionales. El grabado con ácido fluorhídrico y la silanización no mejoran la fuerza de adhesión entre resinas y cerámicas con alto contenido cristalino. Por esta razón un modo diferente de tratamiento es necesario para proporcionar una adecuada fuerza de adhesión.²⁷

Para ello, es necesario el tratamiento de superficie de restauraciones indirectas de óxido de zirconio. Dentro de los diferentes métodos están los siguientes:

1. Técnicas de adhesión micro.
 - a. Tratamiento mecánico mecánicas
 - b. Tratamiento químico
 - c. Laser
2. Técnicas de adhesión química.
 - a. Revestimiento de silicio
 - b. Agentes de acoplamiento

ARENADO:

Este tipo de tratamiento puede ser aplicado tanto a metales como cerámicas, y tejido duros como esmalte y dentina; además ha sido propuesto para crear una superficie rugosa en el óxido de zirconio de forma que incremente su área de superficie y la fijación mecánica del cemento. Este tratamiento generalmente se lleva a cabo con partículas de alúmina, y los parámetros del tamaño de partícula



son los siguientes: 25 μ m a 250 μ m una presión de propulsión de 0.05 a 0.45MPa, una distancia de 5 a 20mm a boquilla de la muestra y un tiempo de 5 a 30 segundos.

La micro retención mecánica de la superficie de zirconio con partículas pequeñas (25-50 μ m) o grandes (110 μ m) no fue significativamente diferente a pesar de la diferencia de la rugosidad producida por cada una de ellas.

A pesar de que una partícula de mayor tamaño crea una superficie más rugosa en el óxido de zirconio, la fuerza de adhesión no fue significativamente influenciada por estos factores. En diversos estudios se ha observado una superficie más suave que mejoró la adhesión a los cementos de resina después de utilizar el arenado con partículas de aluminio de 50 μ m.

Reducir la presión durante el arenado no parece afectar la fuerza de adhesión a largo plazo cuando los activadores de superficie son utilizados (*primers* adhesivos). El arenado incrementa la energía superficial y reduce los contaminantes orgánicos, lo que por consiguiente mejora la humectabilidad de la superficie.

El uso del arenado plantea dos inconvenientes principales: la posible creación de micro grietas en la superficie y la activación de la transformación de la fase tetragonal a monoclinica en la superficie y sub superficie, que a su vez puede reducir las propiedades mecánicas del material. Para balancear los efectos de las micro fisuras generadas por el arenado, se necesita resistencia a la compresión superficial. Sin embargo, contrarrestar la reducción de la resistencia de las microfisuras no es suficiente. Por esta razón, los fabricantes sugieren el horneado después del arenado para revertir la conversión de las fases, de la fase monoclinica a la fase tetragonal, o utilizando el arenado antes del sinterizado final. Algunos fabricantes no recomiendan el uso de partículas de alúmina por arriba de 50 μ m, una conversión de la fase tetragonal a la monoclinica, parece ser causada por un arenado agresivo, incrementando la fase monoclinica.

En diversos estudios se ha utilizado grano de alúmina recubierto con sílice para incrementar el sílice en la superficie del óxido de zirconio y mejorar la adhesión



con cementos a base de resina que contengan Bisfenol-A-Glicidil Metacrilato, o 10- metacriloxidecilsfosfato dihidrogenado (MDP).

La mayoría de los autores están de acuerdo en que ésta técnica es mejor que utilizar únicamente el arenado, especialmente cuando es seguida por la silanización o al menos produce similar fuerza de adhesión.²⁰

RECTIFICADO CON DISCOS E INSTRUMENTOS GIRATORIOS DE DIAMANTE

La principal desventaja de los métodos de desgaste es otra vez la posible creación de micro fisuras en la superficie. La alta dureza del zirconio necesita ser tallado con instrumentos rotarios de diamante grueso (grano de 120-200 μm).

Este tipo de tratamiento ha sido evaluado en diversos estudios, y se ha observado que produce una superficie más rugosa que otras técnicas, lo que mejora la fuerza de adhesión, sin embargo esta técnica no es aceptable ya que es un método bastante agresivo que puede producir micro fisuras y causar daño a la superficie del óxido de zirconio.

Además las condiciones del tallado parecen ser importantes; el tallado con refrigeración con una rueda de diamante de 91 μm , no disminuyó drásticamente la resistencia a la flexión. Se han realizado pruebas de tallado con instrumentos rotatorios de 100 μm sobre tres diferentes materiales de zirconio, y sólo se observó que en uno casi la rugosidad incrementó significativamente.²⁰

OTRAS TÉCNICAS PARA INCREMENTAR LA RUGOSIDAD

En un esfuerzo por incrementar la porosidad de la superficie, los revestimientos de micro perlas de porcelana de baja temperatura de fusión y el grabado selectivo por infiltración han sido probados. La superficie recubierta con sílice y las capas cerámicas multifásicas también dieron resultados alentadores, ya que permite la silanización antes del procedimiento de cementado

En el caso del grabado selectivo, una superficie suave se transforma en una altamente retentiva, la cual demuestra una mayor fuerza de adhesión que el arenado, incluso después de 2 años de envejecimiento artificial.²⁰

EFEECTO DE AGENTES QUÍMICOS

La alta cristalinidad del núcleo de zirconio, con una fase vítrea menor al 1% de su composición, y un bajo contenido de dióxido de silicio, la hace prácticamente impenetrable al tratamiento con ácido fluorhídrico, sin la mejoría de la adhesión.

El ácido fluorhídrico reacciona con el dióxido de sílice, y los derivados silícicos son solubles en agua dejando micro porosidades en la superficie. Un intento de grabar a mayor concentración de ácido fluorhídrico y con mayor duración de tiempo (40%HF por 210 segundos), mostró que hubo mayor fuerza al cizallamiento comparado con el grupo control y el grupo que fue tratado con *primers* metálicos, sin embargo este método requiere mayor investigación.

Una solución experimental de ácido clorhídrico caliente, incrementó significativamente la rugosidad de la superficie, básicamente un proceso de corrosión controlado. Otro tipo de solución fue sometida a prueba, a base de ácido clorhídrico y cloruro de fierro durante 30 minutos mejoró la fuerza de adhesión incluso aún más que el arenado.²⁰

EFECTOS DEL LÁSER

Muchos tipos de láser que son utilizados para cortar tejidos dentales duros han sido utilizados por investigadores para mejorar la capacidad de adhesión a la superficie de óxido de zirconio. Un láser de Nd: YAG, (*neodymium-doped yttrium aluminium garnet*, por sus siglas en inglés) mejoró la rugosidad y la fuerza de adhesión, pero el punto de aplicación dejó una mancha de plata o aumentó considerablemente la fase monoclinica en la superficie.²⁰

OTROS RECUBRIMIENTOS DE SUPERFICIE

El recubrimiento de sílice triboquímico es similar al arenado, a excepción de que el óxido de aluminio es recubierto con sílice. La concentración de sílice se

incrementa significativamente en la superficie, pero al limpiar la superficie mediante ultrasonido destruye este efecto. Al incrementar la presión, se incrementa la rugosidad, el número de partículas en contacto con la superficie y la cantidad de sílice, que eventualmente mejora la fuerza de adhesión.²⁰

El tratamiento de superficie con plasma produjo un recubrimiento de siloxano menor a 1 μm . Por otra parte, en una deposición de vapor molecular, los especímenes de zirconio fueron expuestos a tetracloruro de silicio en presencia de vapor de agua durante 15 minutos, lo que produjo una superficie silanizada activada.

Un recubrimiento con nano partículas de aluminio parece mejorar la adhesión y parece ser un método sencillo y no destructivo; otra alternativa, es el recubrimiento de la superficie con esmaltes cerámicos (técnica *glaze on*), que resultó en mejores resultados en pruebas de cizallamiento, con la principal desventaja de ser un revestimiento de gran espesor (120 μm).

ZIRCONIO Y PRIMERS METÁLICOS

Los *primers* metálicos son fácilmente de aplicar y parecen dar resultados positivos después del arenado, y una adhesión bastante confiable con los cementos de resina, aunque existen dudas sobre la estabilidad hidrolítica.

La presencia de monómeros adhesivos (MDP) en los cementos de resina, produce un vínculo más fuerte que otros cementos de resina y cementos convencionales, a al menos una resistencia de unión equivalente.

Entre los cementos de resina a base de MDP, el papel de los compuestos inorgánicos es importante para crear una resistencia a la hidrólisis. El potencial adhesivo al zirconio puede estar determinado por otros factores como el tamaño de partícula del relleno y la viscosidad. Las partes activas de MDP reaccionan con la superficie del zirconio, pero estas reacciones son susceptibles a inestabilidad después del envejecimiento.

La combinación de la abrasión y un activador metálico o cerámico parece mejorar la adhesión, pero esta fuerza de adhesión es mantenida después del proceso de envejecimiento en agua en el caso del *primer* metálico. El uso de nuevos activadores ayuda a propiciar una mayor humectabilidad de la superficie por la reducción del ángulo de contacto.

Una técnica para mediar la adhesión química es la abrasión triboquímica con alúmina recubierto de partículas de sílice. Este tratamiento incorpora sílice en la superficie del óxido de zirconio, favoreciendo la interacción química con el silano, como se realiza en una porcelana convencional. Este es un procedimiento complicado que no produce enlaces fuertes como los reportados con el silano a la porcelana convencional.²⁰

MDP

Otro enfoque para mejorar la adhesión al óxido de zirconio es el desarrollo de una interacción química entre la superficie de zirconio y la aplicación de monómeros de resina. La incorporación de bisfenol- A diglicidil metacrilato (Bis-GMA) a los *primers* de zirconio no tiene un efecto sobre el ángulo de contacto o la fuerza de adhesión entre la zirconio tratada con aire abrasivo y la resina.

Muchos investigadores han utilizado 10-metacriloxidelfosafato dihidrogenado (MDP, monómeros funcionales) con una adhesión efectiva entre los grupos ácidos de los MDP y la capa de óxido del zirconio.²⁸

Es importante conocer la interacción química y molecular de los monómeros adhesivos funcionales con la estructura dentaria, especialmente si se considera la capa submicrónica de hidroxiapatita que permanece disponible para interactuar en la superficie en la zona híbrida. La naturaleza molecular específica de los monómeros, su función y su posterior tasa de disolución de sus sales de calcio han mostrado relación con su unión química al diente.²⁹



FUNCIÓN

La mayoría de los sistemas adhesivos contienen uno o más monómeros funcionales, que cumplen roles importantes, como son el grabado ácido del sustrato dentario, promover la penetración de los monómeros, humectabilidad y provocar la interacción adhesiva del diente; sin embargo, tradicionalmente no se consideraba su capacidad para formar uniones químicas con el diente.³⁰

La posibilidad de que el 10- MDP presenta la capacidad de establecer fuertes uniones iónicas con la hidroxiapatita mejora la integración con la dentina y resultan a favor de obtener mayor longevidad y menor sensibilidad postoperatoria de las restauraciones adhesivas. En un principio la característica esencial de 10-MDP era la unión a iones metálicos de las restauraciones. Dos son los mecanismos de acción de los adhesivos a esmalte y dentina; retención biomecánica, que es considerado aun el mecanismo más importante, y en los últimos años ha surgido la evidencia de un mecanismo de interacción química, que puede desempeñar un papel importante en la prevención del nanofiltrado, así como la prolongación de la vida útil de las restauraciones adhesivas.²⁵

CLASIFICACIÓN

Los monómeros adhesivos son clasificados en monómeros de cadenas entrecruzadas y monómeros funcionales, estos se caracterizan por presentar al menos un grupo polimerizable y un grupo funcional que cumplen diferentes propósitos tales como humedecer o desmineralizar la superficie dentaria. G.²⁴

6.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

Un gran número de sistemas de cerámicas de óxido de zirconio han sido introducidos en la odontología para distintos tipos de tratamientos, debido a su alta biocompatibilidad y estabilidad química. Recientemente las cerámicas libres de sílice, tal como el zirconio tetragonal policristalino estabilizado con itrio, ha sido exitosamente empleado para restauraciones adhesivas indirectas, debido a su excelente resistencia a la fractura y propiedades estéticas.³¹

Debido a que está compuesto por menos del 1% de una fase vítrea, y por el contrario posee un contenido altamente cristalino, éste último no puede ser selectivamente grabado, es así que la técnica convencional de grabado, de las restauraciones con contenido vítreo, mediante ácido fluorhídrico no mejora las fuerzas de adhesión entre el material óxido de zirconio y el cemento de resina.¹³

En diversos estudios se han propuesto nuevos métodos para mejorar el área de superficie del óxido de zirconio, Casucci A., y col., evaluaron los efectos de los diferentes tratamientos de superficie del zirconio en un intento de mejorar la potencialidad de adhesión. Utilizaron discos de zirconio sinterizado a los cuales sometieron a diversos tratamientos, entre ellos, los siguientes: tratamiento con aeroabrasión con partículas de aluminio de 125µm; 9.5% de ácido fluorhídrico, infiltración de un grabado selectivo; una solución experimental con un ácido grabador caliente el cual fue aplicado durante 10, 30 y 60 minutos, y finalmente un grupo control al cual no se le aplicó ningún tratamiento.

Observaron que los tratamientos influenciaron significativamente en la topografía superficial del óxido de zirconio y que la solución experimental de ácido caliente mejoró la rugosidad de la superficie, independientemente de la duración de su aplicación. Es así que concluyen que el acondicionamiento del zirconio con la solución experimental podría mejorar la rugosidad de la superficie disponible para permitir la adhesión atribuida a la formación de una retención micro mecánica.



Por lo tanto este tipo de tratamiento podría ser otra alternativa para mejorar la adhesión del óxido de zirconio sin causar daño estructural de la superficie, considerando que la fuerza de adhesión del zirconio aún debe ser estudiada.

Es así que Casucci y col., sugieren la infiltración selectiva de un ácido o la aplicación de un ácido caliente como un pretratamiento, pues mencionan que este procedimiento mejoró inicialmente los resultados de fuerza de adhesión, pero la longevidad de la misma no fue evaluada.

La abrasión con partículas de intaglio a la superficie de óxido de zirconio es otro método de crear una superficie rugosa en la cerámica que podría facilitar las retenciones micromecánicas entre el óxido de zirconio y el cemento de resina.

El estándar actual para las restauraciones basadas en zirconio es el tratamiento triboquímico, el cual consiste en aire abrasivo con partículas de óxido de aluminio recubierto con sílice. Este tratamiento crea rugosidades en la superficie y la prepara para ser químicamente activada por un agente de unión, el silano; además de la aplicación de monómeros funcionales presentes en el adhesivo o en el cemento de resina.

Múltiples estudios mencionan que la aeroabrasión con partículas de alúmina de 125 μm y tratamiento químico con un *primer* metálico, mejoró significativamente la fuerza de adhesión con el óxido de zirconio, mientras que los resultados de aeroabrasión con partículas de alúmina de 50 μm sin un *primer* metálico ha sido controversial. Diversos autores plantean que el tamaño de partícula de óxido de aluminio no tiene ningún efecto sobre los valores de fuerza de adhesión con el óxido de zirconio. Sin embargo, diversos estudios han reportado que la aeroabrasión con partículas de alúmina de 50 μm induce daño a la superficie, lo que debilita la porcelana aproximadamente en un 25% después del ciclo de carga. Por lo que el tratamiento mecánico es un tratamiento de superficie controversial.²⁴

El arenado de la superficie del óxido de zirconio con partículas de 50 a 110 μm mejora la adhesión a los cementos de resina debido a que se incrementa el área de superficie y por consiguiente su rugosidad. No obstante, ha habido controversia en cuanto al daño en la superficie provocado después del arenado con partículas de 50-110 μm . Kosmac, reportó un decrecimiento en la confiabilidad de los especímenes de zirconio después del arenado con partículas de aluminio de 110 μm . El deterioro estuvo relacionado directamente con el daño que afectó la superficie cerámica. Los autores advirtieron que estas fallas de impacto podrían convertirse en intensificadores de estrés severos cuando se exponen a un ambiente húmedo bajo carga cíclica y así facilitar la nucleación de la grieta, incluso a niveles más bajos de estrés aplicado. Por tal razón, se ha demostrado que al utilizar otro tipo de tratamiento, como es el triboquímico, que consiste en el arenado de la superficie con partículas de alúmina recubiertas con sílice, combinada con el uso de cementos de resina que contienen monómeros fosfato proporciona una mayor fuerza de adhesión a largo plazo

Scherrer y col., utilizaron discos de zirconio los cuales fueron sometidos a un tratamiento triboquímico, donde se analizó si el tamaño de la partícula del óxido de aluminio influenciaba el resultado de la fuerza de adhesión, para ello el tamaño de partícula utilizada fue de 30 μm , combinada con monómeros fosfato (MDP).

Antes de realizar las pruebas los especímenes fueron sometidos a 4 ciclos de cocción a diferentes temperaturas: 903°C, 900°C, 890°C y 880°C, que corresponden a la temperatura del *liner*, dentina 1, dentina 2, y el *glaze*, respectivamente, para simular la aplicación de una porcelana estratificada. La microestructura de cada material fue determinada después de un grabado térmico y un pulido de la superficie al alto brillo. El grabado térmico se realizó 50°C por debajo de la temperatura del sinterizado durante 30 minutos. Los especímenes fueron analizados mediante un microscopio electrónico y se determinó el promedio del tamaño del grano. Concluyeron que el arenado con partículas de 30 μm mejoró significativamente el comportamiento de fatiga de los materiales utilizados y que además puede ser recomendable su uso para procedimientos de cementado.



Otro de los autores que han estudiado este tipo de tratamiento es Gargari M, y col., ya que en una revisión de literatura mencionan que el método más efectivo para el tratamiento de superficie del óxido de zirconio es el arenado con óxido de aluminio a 50 μm para mejorar la adhesión entre los cementos de resina y el óxido de zirconio, añadiendo el uso de cementos de resina que contengan monómeros éster fosfato (10-MDP), ya que esta combinación brindó una mayor estabilidad y fuerza de adhesión después del tratamiento de envejecimiento.

Esto demuestra que la adhesión puede estar mejorada si se utilizan materiales que tengan afinidad química por los óxidos metálicos. Los monómeros éster fosfato, tal como el 10-MDP, reacciona químicamente con el óxido de zirconio, promoviendo un enlace resistente al agua.

Heikkinen y col., mezclaron el *primer* metálico con el silano, no solo para que actuara como una molécula bifuncional: orgánica-inorgánica que se copolimeriza con la matriz orgánica del cemento de resina, sino que además mejora la energía superficial y la humectabilidad del zirconio a los cementos de resina, pese a ello, añadieron un tratamiento mecánico que proporcionó una micro retención.

En una investigación Guazzato y col., y Kosmac y col., demostraron que el arenado produce un cambio más efectivo de la fase tetragonal a la fase monoclinal, comparada con un pulido fino, con un desgaste mediante una piedra de diamante y con una rueda abrasiva. Se determinó que el arenado fue capaz de inducir la transformación a baja temperatura, con daño mínimo a la superficie. Se debe tener sumo cuidado con la cantidad de superficie desgastada, ya que una cantidad excesiva puede disminuir el efecto potenciador de la fuerza. Además mencionan que se debe tomar en cuenta la temperatura de la superficie tratada mediante esta técnica mecánica, ya que se ha demostrado que el tratamiento a altas temperaturas para la estratificación de porcelana sobre el óxido de zirconio cerca de 900-930°C puede provocar un decrecimiento en la resistencia al a flexión.



La temperatura aplicada durante el proceso de cocción puede provocar estrés residual, lo que puede ser suficiente para causar una transformación de la fase monoclinal a la fase tetragonal, lo cual alivia el esfuerzo de compresión en la capa superficial y reduce la resistencia a la flexión del óxido de zirconio.¹³

Estas fallas actúan como sitios de iniciación de grietas que pueden disminuir la resistencia y la tenacidad a la fractura, es así que, una superficie desgastada con una técnica mecánica, resulta en un cambio de la superficie de la fase tetragonal a la fase monoclinal. Teóricamente esto puede producir una capa de estrés compresivo que contrarresta la reducción de la resistencia inducida por el defecto.

13

De esta forma se han realizado múltiples estudios sobre el tratamiento de superficie triboquímico, ya que se desarrolla una interacción química entre la superficie del óxido de zirconio y la aplicación de monómeros funcionales de resina, como se mencionó en una investigación llevada a cabo en la universidad de Toronto, Canadá, por Grace Souza y col., donde evaluaron el uso de un MDP y la relación con un corto tiempo de almacenamiento, lo cual representaba el envejecimiento de la restauración, con el fin de analizar si estos factores tienen un efecto sobre las fuerzas de adhesión entre la superficie de zirconio y el cemento de resina.²⁴

Los especímenes fueron cortados y almacenados en agua destilada, y sometidos a pruebas de tensión (5 veces por espécimen), a las 48 horas y nuevamente a los 6 meses después del procedimiento de fotocurado. Así mismo se clasificó el tipo de falla con un estereomicroscopio, y el tratamiento de superficie fue analizado con espectroscopia de rayos X.

Los discos de zirconio, fueron cementados a sustratos de resina, con esto trataron de simular una situación clínica, donde los órganos dentarios que recibirán las restauraciones indirectas se encuentran reconstruidos con un material de resina. Fueron divididos en cinco grupos, G1: grupo experimental al cual se le colocó un MDP al 0.5%, G2: Se colocó un adhesivo que contenía MDP (Clearfil S3, Kuraray

Dental, o Scotchbond Universal, 3M ESPE); G3: Adhesivo con un MDP (Clearfil SA); G4: Un adhesivo sin MDP, G5: grupo control. (Tabla 3).

Las pruebas de cizallamiento se realizaron a las 48 después de haber almacenado las muestras en agua, mientras que otras pruebas fueron realizadas después de 6 meses de almacenamiento.

GRUPO	MDP PRIMER	ADHESIVO CON MDP	CEMENTO DE RESINA CON MDP
PSB	Si (Solución Experimental)	Si (Scotchbond Universal)	No (RelyX Ultimate)
PCB	Si (Solución Experimental)	Si (Clearfil S3 Bond Plus)	Si (Clearfil SA)
PUL	Si (Solución Experimental)	No	No (RelyX Ultimate)
PCL	Si (Solución Experimental)	No	Si (Clearfil SA)
SBU	No	Si (Scotchbond Universal)	No (RelyX Ultimate)
CBC	No	Si (Clearfil S3 Bond Plus)	Si (Clearfil SA)
UL (Grupo Control)	No	No	No (RelyX Ultimate)
CL (Grupo Control)	No	No	Si (Clearfil SA)

Tabla 3. Grupos experimentales de acuerdo a los materiales (*primer*, adhesivo y cemento de resina), utilizados para la adhesión a la superficie de Y-TZP

Los mayores valores de adhesión estuvieron asociados con los grupos que incluyeron primers y adhesivos que contenían MDP, el mayor decrecimiento en las fuerzas de adhesión resultó después de los 6 meses de almacenamiento, en grupos que no usaron primers y/o adhesivos que contenían MDP. Los rangos de valor de adhesión fueron de 4.3MPa a 10.7MPa, siendo el valor más bajo obtenido después de 6 meses de almacenamiento y el valor más alto a las 48 horas de almacenamiento. (Tabla 4)

En cuanto a la clasificación del tipo de falla, hubo una mayor incidencia del tipo de falla 1, cerca de un 50.5% a las 48 horas, mientras que la incidencia de este tipo de falla fue del 68% después de 6 meses de almacenamiento. Grace de Souza y

col., mencionan que hubo una incidencia del tipo de falla 1 (adhesiva, en la interfase porcelana/resina), para todos los grupos evaluados a las 48 horas.

Grupo	Promedio (DE) 48 Hrs (MPa)	Promedio (DE) 6 Meses (MPa)
PSB	10.6 (1.9)	8.5 (2.3)
PCB	10.7 (2.4)	5.6 (3.6)
PUL	9.9 (2.5)	6.1 (2.1)
PCL	6.7 (1.0)	6.6 (2.2)
SBU	9.8 (2.8)	8.0 (2.1)
CBC	9.9 (3.5)	6.7 (2.6)
UL (Grupo Control)	7.4 (2.2)	5.6 (2.5)
CL (Grupo Control)	6.4 (4.2)	4.3 (2.0)

Tabla 4. Promedio de fuerza de adhesión y desviación estándar (DE) de los grupos experimentales.

Grace de Souza y col., concluyen que el tiempo de almacenamiento y la aplicación de MDP afectaron significativamente la adhesión. El uso de un adhesivo que contiene MDP y un corto de tiempo de almacenamiento fueron asociados con una mayor fuerza de adhesión. La degradación de la interfase zirconio-resina, demuestra un incremento en la falla tipo 1.

La aplicación de un adhesivo basado en MDP puede mejorar la fuerza de adhesión con el zirconio. Sin embargo las fuerzas de adhesión no permanecieron estables más de 6 meses para todos los grupos.

La literatura sugiere que los monómeros funcionales MDP tienen gran afinidad a los óxidos metálicos como el óxido de zirconio. La aplicación de ciertos primers puede reducir el ángulo de contacto entre el zirconio y la resina, con lo que se mejora la fuerza de adhesión.²⁴

Es así que los métodos de acondicionamiento físico/químico, tienden a aumentar los valores de adhesión para los cementos a base de resina. Por otra parte, los diferentes regímenes de abrasión con aire tienen un efecto potencial sobre la

transformación del grano y a más baja temperatura la degradación de zirconio, que no ha sido aclarado, en la odontología, (Ozcan / Bernasconi 2015).

La habilidad de precisión para fabricar subestructuras de óxido de zirconio ha mejorado dramáticamente en los últimos años. Sin embargo, las copias para las coronas aun requieren de porcelana estratificada para obtener mejores resultados estéticos. Un alto porcentaje de fallas clínicas de prótesis a base de óxido de zirconio han sido reportadas en la literatura y son atribuidas a la delaminación o fractura de la porcelana. Este rango de falla es de un 15% en restauraciones con 2 a 5 años de antigüedad.

Jeffrey Y Thompson, y col., mencionan que la aplicación de microperlas de vidrio a la superficie de óxido de zirconio ha demostrado incrementar la fuerza de adhesión de los cementos de resina a la superficie del óxido de zirconio. En estos estudios un compuesto acuoso de microperlas de vidrio fue untado sobre la superficie del óxido de zirconio para posteriormente entrar a un proceso de cocción en un horno. La película de vidrio fusionada incrementó la superficie rugosa del óxido de zirconio, permitiendo incrementar la micro retención. La película rica en sílice permitió además la silanización del óxido de zirconio antes del cementado, haciendo posible la formación de enlaces siloxano con el cemento de resina.

Derand, y col., mostraron que el uso de esta fusión de microperlas de vidrio, incrementa significativamente la fuerza de adhesión del óxido de zirconio, comparada a una superficie no tratada o únicamente silanizada.²¹

Debido a la naturaleza no reactiva del óxido de zirconio, se puede deducir que un enlace fuerte con el zirconio es muy difícil de obtener. Diversos estudios han investigado múltiples técnicas de tratamiento, que van desde la rugosidad física, (para incrementar el área de superficie), a la aplicación de monómeros reactivos, (para promover la unión química al polímero adhesivo).

Como se reporta en otros estudios, el zirconio, con solo un tratamiento de superficie como la abrasión y sin una funcionalización química, muestra relativamente una baja adhesión y por último fallas adhesivas como resultado. Esto apoya la hipótesis de que la modificación química de la superficie, la cual enlaza el cemento de resina, se requiere para obtener un enlace fuerte.²¹

El tratamiento de superficie triboquímico, es decir, partículas de alúmina recubiertas de sílice, ha demostrado ser un promotor efectivo para mejorar la adhesión con la superficie del zirconio, mediante la rugosidad física de la superficie, dejando además sílice física y químicamente unido.²²

Las partículas de sílice que permanecen en la superficie funcionan como sitios reactivos para los primers monómeros convencionales, sin embargo las fuerzas de los enlaces residuales tienden a ser más bajas que aquellos obtenidos en las superficies de porcelanas convencionales.²²

Recientemente se han estudiado otro tipo de técnicas para mejorar la adhesión del óxido de zirconio con el cemento de resina y así proporcionar mayores ventajas a este tipo de restauraciones. Rosa María Aureliace y cols. , realizaron un estudio en el cual evaluaron si la fuerza de adhesión entre la superficie del óxido de zirconio y el cemento de resina podía ser incrementada mediante la fusión de partículas de vidrio y si el tipo de falla estaba influenciado por la cantidad de partículas de vidrio fusionadas.²²

Es por ello que se utilizaron discos de zirconio que fueron sometidos a arenado con partículas de óxido de aluminio de 50µm a una presión de 4 bares y a una distancia de 10mm durante 10 segundos. Posteriormente los discos fueron limpiados por 5 minutos en una tina de ultrasonido con etanol y 5 minutos con agua destilada, para después ser secados con aire libre de aceite. Posteriormente los discos fueron arenados con partículas de vidrio y sometidos a un proceso de cocción, para después colocarles un gel a base de agua a diferentes concentraciones de partículas de vidrios: siendo 15%, 25% y 50% en peso, a continuación se realizó otro proceso de cocción. Seguidamente las muestras fueron cementadas a discos de resina.



Se utilizaron 35 discos de zirconio, que fueron divididos en 5 grupos: G1, grupo control, al cual no se le aplicó sílice ni silano; G2, recibió un tratamiento de superficie mecánico, mediante el arenado con partículas de vidrio de 100um+glaze+silano; G3, gel con un contenido en 15% en peso de vidrio aplicado a la superficie de la cerámica+glaze+silano; G4, gel con un contenido en 25% en peso de vidrio aplicado a la superficie de la cerámica+glaze+silano y G5, gel con un contenido en 50% en peso de vidrio aplicado a la superficie de la cerámica+glaze+silano. (Tabla 5).

Los grupos de estudio fueron cementados con cemento de resina (RelyX ARC,3M ESPE), para posteriormente ser sometidos a pruebas de cizallamiento, de las cuales se obtuvieron las siguientes conclusiones: el grupo control presentó un valor significativamente menor de fuerza de adhesión al ser comparado con los otros grupos. Mientras que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el valor de adhesión entre los otros grupos a pesar de las diferentes concentraciones de vidrio, sin embargo, si existió una diferencia en cuanto al tipo de falla; ya que en el grupo control que no fue sometido a ningún tratamiento se observó una falla de tipo adhesiva, y un decrecimiento de esta falla se observó de acuerdo al aumento de la cantidad de concentración de vidrio, que por el contrario se observaba una falla de tipo cohesiva.

GRUPOS	Fuerza de adhesión, (): DE (MPa)	Tipo de falla (%)		
		ADH	MIX	COH
Control	15.57 (4.1)	90	10	-
G1 Air Blast	24.86 (7.4)	80	20	-
G2 Gel 15%	24.95 (2.3)	40	60	-
G3 Gel 25%	35.05 (10.3)	30	50	20
G4 Gel 50%	35.52 (6.0)	5	65	30

Tabla 5. Promedio y desviaciones estándar (), y porcentaje del tipo de falla: ADH – adhesiva; MIX – mixta, involucra el agente cementante y la cerámica; COH- cohesiva, dentro del material de cementación.

Por lo que los autores concluyen que la presencia de partículas de vidrio sobre la superficie del óxido de zirconio, asociada a un agente de unión, silano, mejora la unión entre el cemento de resina y la superficie del zirconio. La cantidad de partículas de vidrio sobre la superficie del óxido de zirconio tiene una influencia sobre el tipo de falla, incrementando el número de fallas cohesivas.²²

Fernando Akio Maeda y col., evaluaron la resistencia de la fuerza de adhesión del óxido de zirconio al cizallamiento, usando diferentes *primers* y cementos de resina. Se utilizaron bloques de zirconio (LAVA, 3Y-TZP, 3M ESPE), los cuales aleatoriamente fueron sometidos a una aplicación de diferentes *primers* disponibles en el mercado: *Alloy Primer*, Kuraray; Osaka, Japan, (AP), *Z-Prime Plus*, Bisco; Schaumburg, USA, (ZP), y *Signum Zirconia Bond*, Heraeus Kulzer; Hanau, Germany, (SZB), a los especímenes que no se les aplicó ningún primer se le consideró el grupo control, (Tabla 6.). Después del tratamiento, 80 especímenes

(5mm x 5mm x 2mm) fueron aleatoriamente cementados con uno de los cementos de resina: Panavia F, Multilink, seT y NX3. Para tal propósito se utilizaron cilindros de resina que fueron fabricados sobre superficies cerámicas. Los especímenes fueron sometidos a pruebas de cizallamiento, y se observaron bajo el microscopio para determinar el tipo de falla y valor de fuerza promedio.³²

Adhesivo Cemento	Control (MPa)	SZB(MPa) Heraeus Kulzer, Hanau, Germany	Z- Prime(MPa) Bisco, Schaumburg, USA	Alloy Prime(MPa) Kuraray; Osaka, Japan
Panavia F	4.7	20.8	8.7	6.9
seT PP	3.9	15.8	6	7.7
NX 3	3.8	12.7	9.2	6.9
Multilink	4.1	9	5.2	3.7

Tabla 6. Valores promedio a la prueba de cizallamiento (MPa). Combinación de cemento-adhesivo

Fernando Akiyo col., concluyen que al adhesivo *Signum Zirconio Bond* tuvo mayor resistencia a la fuerza de cizallamiento comparado con los otros adhesivos, independientemente del cemento de resina utilizado. Los valores mayores se obtuvieron cuando se asociaba Panavia F con *Signum Zirconio Bond*. *Alloy primer* incrementó los valores de adhesión cuando se asoció con el cemento seT. Cuando no se utilizaba un primer, no hubo una diferencia significativa entre los cementos de resina. Todos los especímenes se fracturaron debido a una falla adhesiva.

Por lo tanto el adhesivo *Signum Zirconio Bond* es capaz de incrementar los valores de adhesión de los cementos de resina a la superficie del óxido de zirconio. Además una asociación con Panavia F muestra mejores resultados considerando una adhesión al óxido de zirconio a corto plazo.²⁷

Además de evaluar el tratamiento de superficie, en diversos estudios, se han sometido a prueba diversos *primers* y cementos, Juan Luis Román Rodríguez y col., evaluaron la fuerza de adhesión que existía entre diversos cementos de resina y el óxido de zirconio. Para ello utilizaron 130 discos de zirconio, los cuales recibieron un tratamiento de superficie, mediante el arenado con partículas de aluminio a 80µm, a 3 bares de presión durante 10 segundos, otros especímenes fueron recubiertos con sílice mediante el sistema CoJet Sand (3M) a 2-3 bares de presión, durante un tiempo de 10 a 15 segundos. Además las muestras fueron almacenadas a una temperatura de 37°C para simular las condiciones orales, durante 24 horas. Evaluaron dos cementos autopolimerizables: RelyX (3M, ESPE) y Multilink (Ivoclar Vivadent), así como dos de polimerización dual: Variolink II (Ivoclar Vivadent) y Panavia F (Kuraray Noritake Dental). Así mismo aplicaron silano y en ciertas muestras un activador o *primer*, Clearfil Ceramic Primer, Kuraray Noritake Dental.²³ (Tabla 7).

Los grupos de estudios fueron distribuidos de la siguiente manera:

Grupo	Cerámica	Tratamiento de Superficie Mecánico	Tratamiento de Superficie Químico 1.Silano	Tratamiento de Superficie Químico 2.Adhesivo/Agente Cementante	Tratamiento de Superficie Químico 3.Clearfil Ceramic Primer	Cemento de Resina
1.	Lava	Arenado	Sí	Sí ExciTe (Ivoclar Vivadent)	No	Variolink II
2.	Lava	Recubrimiento con Sílice (CoJet Sand)	Silano (ESPE Silano)	Sí ExciTe (Ivoclar Vivadent)	No	Variolink II
3.	Lava	Recubrimiento con Sílice (CoJet Sand)	No	No	Sí, (Clearfil Ceramic Primer)	Variolink II
4.	Lava	Arenado	Activador de Porcelana	Clearfil SE Bond Primer	No	Panavia F
5.	Lava	Recubrimiento con Sílice	Activador de Porcelana	Clearfil SE Bond Primer	No	Panavia F
6.	Lava	(CoJet Sand)	No	No	Sí, (Clearfil Ceramic Primer)	Panavia F
7.	Lava	Arenado	Si (Ultradent)	No		Rely X
8.	Lava	Recubrimiento con Sílice	Sí (ESPE Silano)	No		Rely X
9.	Lava	(CoJet Sand)	No	No	Sí, (Clearfil Ceramic Primer)	Rely X
10.	Lava	Arenado	Si (Ultradent)	No	No	Multilink
11.	Lava	Recubrimiento con Sílice	Sí (ESPE Silano)	No	No	Multilink
12.	Lava	(CoJet Sand)	Sí (ESPE Silano) Primer Metal /Zirconia	Multilink A+B	No	Multilink
13.	Lava	Recubrimiento con Sílice	No	No	Sí, (Clearfil Ceramic Primer)	Multilink

Tabla 7. Descripción de los 13 grupos de estudio y los materiales usados.

		Fuerza de adhesión (MPa)					
		N	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Media
LAVA	RESULTADOS	130	9.33	4.54	1.83	21.99	8.35
	4. Arenado+Clearfil SE Bond Primer+Activador de porcelana+Panavia F	10	14.9	5.01	7.72	21.99	15.43
	3. CoJet Sand+ Clearfil Ceramic Primer+ Variolink II	10	13.44	3.53	7.24	18.52	12.75
	5. CoJet Sand+ Clearfil SE Bond+ Panavia F	10	11.66	2.83	6.92	18.21	11.81
	2. CoJet Sand + Silano+ Variolink II	10	10.49	2.82	6.47	14.66	10.06
	1. Arenado+ Silano+Variolink II	10	10.58	4.44	5.55	18.3	9.47
	8. CoJet+ Silano+ Rely X	10	10.83	4.77	6.47	20.47	8.91
	13. CoJet+ Clearfil Ceramic Primer+ Multilink	10	8.96	3.27	4.26	14.44	8.42
	12. CoJet Sand+ Silano+ Metal/Zirconia Primer+ AB+ Multilink	10	9.37	4.56	2.75	14.82	10.7
	6. CoJet Sand+ Clearfil Ceramic Primer+ Panavia	10	7.93	4.38	3.08	18	6.86
	9. CoJet Sand+ Clearfil Ceramic Primer+ Rely X	10	7.32	3.51	3.45	14.04	6.37
	11. CoJet+ Silano+ Multilink	10	6.19	1.93	2.87	9.18	6.15
	10. Arenado+ Silano+ Multilink	10	5.09	2.04	1.83	7.89	5.2
	7. Arenado+ Silano+ Rely X	10	4.56	0.86	3.69	6.52	4.48

Tabla 8. Resultados de la prueba de cizallamiento y estadística descriptiva.



Todas las muestras fueron sometidas a pruebas de cizallamiento mediante una máquina Instron con una carga de 1kN, y obtuvieron los siguientes resultados:

Según los resultados la peor combinación fueron las siguientes: LAVA+ arenado+ Silano + Rely X, LAVA+arenado+ Silano+Multilink y LAVA+arenado+CoJet+silano+Multilink. (Tabla 8).

Se valoró al microscopio que el tratamiento de superficie del óxido de zirconio, crea una superficie rugosa y más retentiva, proporcionando y mejorando la retención mecánica entre el cemento de resina y el zirconio. Y que la falla adhesiva (separación del cemento y cerámica) se produjo con una menor fuerza de cizallamiento que la falla cohesiva (fractura del cemento).²³

Fernando y col., sugieren que se requiere un acondicionamiento de la superficie del óxido de zirconio con partículas de sílice para los cementos autopolimerizables.²⁷

Muchos autores han realizado pruebas para evaluar el tratamiento de superficie triboquímico, Yukiko y cols., evaluaron el efecto del arenado con alúmina y tres adhesivos comerciales, que fueron cementados con cemento de resina dual a superficies de zirconio y posteriormente fueron sometidos a pruebas de cizallamiento.¹²

La superficie de la cerámica fue pulida hasta obtener una rugosidad de 0.02um, por el fabricante, y las muestras se limpiaron mediante tina de ultrasonido con agua destilada por 5 minutos, este manejo de las muestras sirvió como grupo control.

Los especímenes fueron fabricados en dos diferentes tamaños, con un diámetro 13 y 6mm, y un grosor de 2mm, fueron tratados con y sin recubrimiento de alúmina, con distintos tamaños de partícula, de 50, 75, 100 o 150 μm , por 20 segundos, a 3.8 bares de presión, a una distancia de 10mm. (Tabla 9). Primeramente se evaluó la rugosidad que se había creado en cada uno de los grupos, y posteriormente fueron tratados con un *primer* y cementados una

superficie de zirconio contra otra, para después ser sometidos a pruebas de cizallamiento.

Tamaño de partícula de la alúmina	Ra (mm), (): SD	Promedio de Fuerza	Promedio de
		0 termociclos	Adhesión (MPa), (): SD
			5,000 termociclos
Control	0.021 (0.004)	20.1 (3.6)	0 (0)
50 mm	0.378 (0.022)	20.1 (2.8)	4.3 (0.6)
75 mm	0.532 (0.018)	21.5 (4.2)	3.7 (0.4)
100 mm	0.594 (0.009)	23.0 (2.0)	0 (0)
150 mm	1.092 (0.074)	19.6 (1.5)	0 (0)

Tabla 9. Rugosidad de superficie (Ra) después del arenado con partículas de alúmina de 50, 75, 100 y 159 μm , y resistencia a la fuerza de cizallamiento del agente cementante al zirconio en 0 y 5,000 ciclos térmicos.

Se observó que el tamaño de partícula de alúmina que mejor fuerza de adhesión presentó fue de 50 μm , y fue seleccionada para las siguientes pruebas, ya que es utilizada típicamente para limpiar la superficie interna de las restauraciones.

Los especímenes fueron acondicionados con uno de los tres adhesivos; Alloy primer, Super Bond Monomer Liquid, y Metal primer II, que contienen monómeros adhesivos, además se preparó un activador que contiene un agente de acoplamiento silano. Finalmente los especímenes fueron cementados con Linkmax HV.

Los grupos de estudio se evaluaron mediante el microscopio antes y después del arenado.

La mitad de los especímenes fueron almacenados en agua a temperatura de 37°C durante 24 horas, y la otra mitad sometida a ciclos térmicos 10,000 veces antes de la prueba de cizallamiento.

Primer	Arenado con Alúmina (50µm,)	Promedio de fuerza de adhesión (MPa), (σ): DE	
		0 Ciclos Térmicos	10,000 Ciclos Térmicos
Ninguno	-	20.1 (3.6)	0 (0)
Silano	-	31.2 (3.2)	0 (0)
Alloy Primer	-	38.4 (4.5)	31.8 (3.3)
Super Bond Monomer Liquid	-	37.6 (3.5)	30.6 (1.4)
Metal Primer II	-	37.3 (5.7)	25.5 (4.3)
Ninguno	+	20.1 (2.8)	0 (0)
Silano	+	39.4 (6.7)	0 (0)
Alloy Primer	+	45.6 (8.8)	49.0 (6.1)
Super Bond Monomer Liquid	+	41.3 (6.3)	42.3 (2.9)
Metal Primer II	+	50.2 (9.2)	53.4 (6.7)

Tabla 10. Resistencia a la fuerza de cizallamiento del agente cementante al zirconio en 0 y 10,000 ciclos térmicos.

Para los grupos tratados con arenado, (con alúmina), o un primer, la resistencia al esfuerzo cortante se redujo significativamente después del ciclo térmico. (Tabla 10).

Para los grupos tratados con ambos, el recubrimiento y un primer, no hubo diferencias estadísticamente significativas antes y después del ciclo térmico.



Por lo cual, concluyen que la aplicación de uno de los tres adhesivos después del arenado con partículas de alúmina, fue efectivo para una mayor fuerza de adhesión del agente cementante de resina a la cerámica a base de zirconio.¹²

Debido a la existencia de múltiples tratamientos de superficie, JR Piascik y cols, evaluaron un acondicionamiento de superficie mediante la aplicación de tetracloruro de silicio, ya que reacciona con el agua, para producir silicio de alta pureza y sílice.²¹

El estudio se realizó en bloques de zirconio presinterizado y porcelana rellena de leucita, los cuales fueron cementados a bloques de resina. Las superficies de cada material fueron pulidas con papel de grano, posteriormente las superficies fueron sometidas a arenado con partículas de alúmina de 50 μm con una fuerza de 0.29MPa, a continuación fueron colocados baño de ultrasonido por 5 minutos y finalmente se realizó el tratamiento químico y cementado.²¹

Como se ha mencionado, se llevó a cabo la funcionalización de la superficie de las muestras fue mediante el uso de tetracloruro de silicio; los especímenes fueron expuestos a una fase de vapor por 15 minutos. Este procedimiento crea una capa sobre los especímenes; el grosor, fue controlado por el tiempo de deposición, y se manejaron valores de grosor de 2.6 y 23nm. Se limpiaron y se sometieron a tratamiento de cloro- silano. Antes de la deposición las muestras se expusieron 10 minutos a oxígeno plasma, la cual limpió cualquier resto orgánico contaminante y aseguro la de hidroxilación de la superficie.

La hidroxilación es una reacción química en la que se introduce un grupo hidroxilo (OH) en un compuesto, reemplazando un átomo de hidrógeno, oxidando al compuesto.

Dentro de los grupos sometidos a prueba, se encuentran los siguientes: Grupo control, porcelana grabada con ácido fluorhídrico al 9.5% por 60 segundos (*porcelain etchant*, Bisco), se realizó el enjuagado y el secado, y posteriormente las muestras fueron tratadas con silano (*Porcelain primer*, Bisco), se colocó el adhesivo y se fotocuró por 10segundos. La porcelana y los bloques de resina

fueron cementados usando un cemento de resina fotocurable (CyB Bisco) bajo una carga de 20N.²¹

Para los grupos restantes se manejaron los siguientes estándares: (Tabla 11).

Zirconia, (sin tratamiento de superficie), tratado con silano y cementado a los bloques de resina. A menos que se indique lo contrario los materiales adhesivos son los mismos.

Zirconia, Sin tratamiento de superficie, recubierto con partículas de sílice de 30um modificado con ácido salicílico (CoJetSand 3M, 2.8MPa 5-10mm distancia, 15 s), colocación de silano y cementado a los bloques de resina.

Zirconia (tratada con oxígeno plasma, con grosor de 2.6nm), se le colocó silano y cementado a los bloques de resina.

Zirconia (tratada con oxígeno plasma, con grosor de 23nm), se le colocó silano y cementado a los bloques de resina.

Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente por 24 horas, los especímenes se cortaron en barra usando una sierra revestida de diamante, las barras se cortaron nuevamente en otras barras usando una sierra de alta precisión. Los especímenes se fijaron a un dispositivo de microtensión con cianoacrilato. (*Permabond*) y fueron sometidos a pruebas de tensión.²¹

Grupo	Picos de Estrés (DE) (MPa)	Adhesiva (%)	Mixta (%)	Cohesiva (%)
Resina (solo las barras)	29.2 (3.7)			
Porcelana (control)	25.3 (5.3)	16	35	49
Zirconio (SixOy - grosor 2.6nm)	23.2 (5.4)	15	40	45
Zirconio (tratamiento con Co-Jet)SixOy - grosor	18.6 (5.9)	32	52	16

2.6nm)				
Zirconio (SixOy - grosor 2.3nm)	16.2 (5.9)	50	43	7
Zirconio (Sin tratamiento)	7.6 (3.0)	72	28	-

Tabla 11. Picos de estrés (MPa) con la desviación estándar de los diferentes grupos sometidos a prueba. El número del tipo de falla, está representado en porcentaje.

Los especímenes de zirconio que no fueron tratados tuvieron los menores valores promedio de fuerza de adhesión, (aproximadamente 40% falló).

Las muestras que tuvieron un tratamiento de superficie, tuvieron mayores valores de adhesión y ninguno tuvo fallas durante la sección del material.²¹

Además Piascik y col., mencionan que los tipos de fallas están directamente influenciados por la incorporación de defectos en la superficie, fallas internas en los sustratos y/o falla en la capa del agente cementante (cemento de resina).

Por otro lado El-Shrkawy y col., estudiaron el efecto de los diferentes tratamientos de superficie sobre la fuerza de adhesión, utilizando discos de zirconio tetragonal estabilizado con itrio (Y-TZP), los cuales fueron preparados mediante un sistema de fresado por computadora. Dividieron los discos en 5 grupos y los sometieron a diferentes tratamientos; arenado con partículas de alúmina, tecnología de plasma para producir rugosidades en la superficie, discos de zirconio recubiertos con sílice utilizando tecnología de plasma, y el grupo control que no fue sometido a ningún tratamiento, (Tabla 12). Cada grupo fue subdividido en 4 grupos, y sometidos a pruebas de cizallamiento para observar que tipo de falla ocurría entre el cemento y la superficie del óxido de zirconio,

Los valores de adhesión del cemento de resina al zirconio variaron entre 6.5 y 19.6 MPa dependiendo del tratamiento de superficie aplicado. Observaron que el grupo control fue el que mostró menor promedio de fuerza de cizallamiento (6.5MPa), ya que únicamente presentaba en su superficie una ligera rugosidad



provocada durante el fresado. Estos hallazgos concuerdan con Blatz *et al*, porque dichas rugosidades no son suficientes para producir una superficie retentiva en comparación con otros tratamientos de superficie.

La fuerza de la prueba de cizallamiento en especímenes sometidos a un tratamiento de arenado fue de un promedio mucho mayor que aquellos en el grupo control (13.7MPa).

El-Shrkawy y col, sugieren que el arenado es el factor clave para establecer una unión con mayor duración entre el agente cementante y el óxido de zirconio, además de la combinación con 10-MDP, ya sea que esté presente en el adhesivo o en el cemento.

Tratamiento de Superficie	Promedio Fuerza de adhesión (MPa)	Procedimiento	Cemento utilizado	Ventajas/Desventajas
Arenado Se utilizó alúmina partículas de 110um 15 seg	13.7	Partículas de alúmina, (25um a 250um); una presión de propulsión de 0.05 a 0.45MPa, una distancia de 5 a 20mm y un tiempo de 5 a 30 segundos.	Multilink (Ivoclar Vivadent)	Incrementa la energía superficial Reduce los contaminantes orgánicos, Mejora la humectabilidad de la superficie.
				Posible creación de micro grietas en la superficie Activación de la transformación de la fase tetragonal a monoclinica Reducción de las propiedades mecánicas
Recubrimiento de Sílice mediante Plasma	19.6	Se utiliza gas argón Un gas energético de argón que se obtiene de un recurso de energía iónico se utiliza para depositar una delgada capa de sílice sobre el zirconio		Ofrece una superficie más rugosa Fuerza de adhesión con el cemento de resina más durable a largo plazo
				Costo Inaccesible
Grabado de Oxígeno mediante Plasma Valor promedio de las porosidades 1.8um	18.1	Gas oxígeno como gas de trabajo El potencial del condensador se transforma en plasma a través de chispas de aire que se rompen en iones y haces de electrones El haz energético del ion de oxígeno llega a la fuente y sale hacia arriba para bombardear las muestras Se repite 15 veces		Mejora la fuerza de adhesión a los cementos de resina
				Método muy complejo Costo Inaccesible
Recubrimiento de sílice triboquímico + MDP Valor promedio de las porosidades 1.6um		Similar al arenado, a excepción de que el óxido de aluminio es recubierto con sílice.		La concentración de sílice se incrementa significativamente la superficie Favorece la interacción química con el silano La presencia de monómeros adhesivos (MDP) en los cementos de resina, produce un vínculo más fuerte que otros cementos de resina
				Al limpiar la superficie mediante ultrasonido destruye este efecto
Zirconio Grupo control	6.5	Se crean porosidades en la superficie a partir del fresado del bloque de zirconio		
				No proporciona suficiente fuerza de adhesión al no ser sometido a un pre tratamiento

Tabla 12. Promedio de fuerza de cizallamiento de acuerdo al tipo de tratamiento de superficie, procedimiento, ventajas y desventajas de cada uno.

7. DISCUSIÓN

Con el desarrollo en el campo de la cerámica integral, se ha acelerado la introducción de nuevos materiales y tecnologías. La búsqueda de cerámicas estructurales, caracterizadas por mayores propiedades mecánicas que hicieran posible la aplicación para prótesis parciales fijas en los sectores posteriores, ha llevado a la utilización de oxidocerámicas basadas en alúmina pura densamente sinterizada y del zirconio policristalino.

Las porcelanas a base de zirconio policristalino estabilizado con itrio, poseen una mayor dureza, mayor tenacidad y resistencia a la fatiga, lo que las convierte en un material más viable que las porcelanas convencionales en determinados casos. Sin embargo, su alto contenido cristalino complica el manejo de la cementación de este tipo de restauraciones indirectas, pues estas propiedades la convierten en un material resistente al grabado ácido, es así que se requiere de diferentes técnicas para el tratamiento de superficie de este tipo de restauraciones y con el objetivo de lograr una adhesión más resistente a largo plazo, por lo que surgen técnicas que implican la adhesión micro mecánica y química, muchas de las cuales son analizadas por diversos autores.

En esta revisión de literatura, se analizaron diversos estudios sobre los diferentes tratamientos de superficie en el zirconio, con el fin de saber que manejo y acondicionamiento es el más adecuado para lograr mantener una restauración indirecta de zirconio en cavidad oral por mayor tiempo, evitando los problemas del desalajo de la misma y la consecuente recidiva de caries, o hasta la fractura del sustrato dentario; además de dar a conocer los diferentes protocolos de adhesión utilizados por los múltiples autores mencionados en esta revisión.

Dentro de los métodos de acondicionamiento, uno de los más controversiales y famoso, es el tratamiento triboquímico, donde a través del partículas de alúmina recubiertas con sílice y por medio del arenado, se logra establecer una superficie topográficamente rugosa del zirconio, creando retenciones micro mecánicas,

donde el cemento de resina pueda penetrar y mantener unida la restauración al órgano dentario.

Grace de Souza y col., mencionan que el tiempo de almacenamiento de las muestras que utilizaron en su estudio y la aplicación de un *primer*, adhesivo o cemento de resina que contenían monómeros funcionales MDP, afectan significativamente la adhesión a los sustratos de resina. Sin embargo en este estudio no se consideró un tratamiento mecánico sobre la superficie del zirconio, más bien evaluaron únicamente la unión química entre las superficies adherentes y los procedimientos adhesivos con diversos materiales disponibles en el mercado.

Los especímenes tratados tanto con un *primer*, un adhesivo y un cemento de resina a base de MDP, obtuvieron valores más altos a la prueba de cizallamiento únicamente después de las 48 horas de almacenamiento, con un valor de 10.7 MPa, ya que después de realizarse las pruebas de cizallamiento a los 6 meses de haber sido almacenados, el promedio bajó drásticamente a 5.6 MPa; en cambio el grupo al que solo se le aplicó un *primer* y un adhesivo a base de MDP, obtuvo un valor cercano a las 48 horas de almacenamiento, 10.6 MPa; y además obteniendo el mejor valor de resistencia a la misma prueba después de los 6 meses de almacenamiento, con valor de 8.5 MPa, comparado con el resto de los grupos.

Es contradictorio el resultado en cuanto al grupo que obtuvo los valores más bajos a las pruebas de cizallamiento, pues en estos especímenes se utilizó un cemento de resina a base de MDP; a las 48 horas, se obtuvo un valor de 6.4 MPa, y a los 6 meses de 4.3 MPa.

De acuerdo a Luthy y col., el valor mínimo de fuerza de adhesión necesario para proporcionar una adecuada longevidad es entre 10 y 13 MPa.

Los sistemas adhesivos a base de MDP tienen un efecto significativo sobre las fuerzas de adhesión, pues parecen ser una molécula clave en la adhesión química con la capa de óxido del zirconio. La adhesión mejorada entre el zirconio (Y-TZP), y los sustratos de resina pareció haber sido influenciada por la humectabilidad

promovida por el adhesivo. Esta humectabilidad reduce el ángulo de contacto entre la superficie del zirconio (Y-TZP), y la resina, lo cual resulta en una íntima interacción entre ambos.

Kim et al, sugieren que los parámetros de energía superficial de las resinas de cementación y el ángulo de contacto entre ellas con el sustrato de unión, afectan en gran medida los resultados de la resistencia de unión.

Por otra parte Maeda y col., quienes evaluaron diferentes *primers* y cementos de resina, demuestran que la asociación entre ambos aumentó significativamente los valores de adhesión con la superficie del zirconio, sin embargo, dentro de los resultados que presentan, el uso de Zignum Zirconia Bond, representa los valores más altos, 20.8 MPa, 15.8, 12.7 y 9 MPa, asociado a diferentes cementos de resina, Panavia F, seT, NX3, y Multilink, respectivamente.

El valor más bajo, fue obtenido con la combinación del primer metálico *Alloy Primer* y el cemento de resina Multilink, con 3.7 MPa, que fue similar a los valores obtenidos en los grupos control, a los cuales no se les aplicó ningún *primer*. Estos *primers* metálicos contienen monómeros funcionales MDP, al igual que Grace de Souza y col., y Maeda y col., sugieren el uso de cementos de resina y *primers* metálicos que contengan estos monómeros funcionales para la cementación de restauraciones indirectas a base de zirconio, independientemente del tratamiento mecánico que se realice en su superficie, pues estos monómeros establecen enlaces primarios con el metacrilato presente en el cemento de resina, resultando en un incremento de la fuerza de adhesión.

Además de evaluar la unión química, Román R. y col., añadieron el tratamiento mecánico a su estudio, el cual consistió en el arenado de los especímenes con partículas de alúmina a 80 μ m, y con recubrimiento de sílice.

La distribución del tratamiento mecánico (arenado con partículas de alúmina y recubrimiento con sílice), de los grupos de estudio no fue equivalente entre sí, puesto que de 13 grupos de estudio a sólo cuatro se les aplicó arenado con partículas de alúmina; sin embargo, concluyeron que el grupo que mejor fuerza de



adhesión presentó, fue el que combinó el arenado, con el *primer* Clearfil SE Bond, un activador de porcelana y el cemento Panavia F, con un promedio de 14.9 MPa, mientras que el grupo que presentó el resultado más bajo, fue el que combinó el arenado, con un silano y el cemento RelyX, el cual no contiene monómeros funcionales MDP, y por lo tanto la silanización no pudo ser llevada a cabo con éxito. Esto concuerda con Kern y Wegner, y Blatz *et al*, quienes indican que el arenado y la combinación de cementos de resina a base de MDP proporcionan una resistencia superior a largo plazo comparada con el zirconio recubierto de sílice unido a un cemento de resina a base de Bis-GMA.

Diversos autores han evaluado si el tamaño de partícula de alúmina utilizada para el arenado del zirconio tiene algún efecto sobre la fuerza de adhesión, al crear una mayor o menor rugosidad. Yukiko y col., manejaron diferentes tamaños de partícula de alúmina, que iban de un rango entre 50 y 150 μm , y encontraron que no hubo una diferencia estadísticamente significativa en la fuerza de adhesión cuando éstos no fueron sometidos a algún tratamiento de envejecimiento, sin embargo, cuando fueron sometidos a ciclos térmicos, encontraron que la mayor fuerza de adhesión se obtuvo al utilizar partículas de alúmina de 50 μm , con un valor de 4.3 MPa, por lo que fue seleccionada para combinar el tratamiento mecánico con el uso de monómeros adhesivos para evaluar la adhesión con la superficie del zirconio.

Esto concuerda con Ozcan y col., quienes reportaron haber conseguido una mayor rugosidad en la superficie de zirconio con arenado mediante partículas de alúmina a 50micras, comparado con un recubrimiento de sílice.

El mayor valor de fuerza de adhesión fue obtenido al utilizar *Metal Primer* de GC, con un valor de 50.2 MPa sin ningún tratamiento de envejecimiento y de 53.4 MPa, después de 10,000 ciclos térmicos. Yokiko y col., indican que el uso de monómeros adhesivos funcionales, genera una unión fuerte a los óxidos comunes puros y aleaciones. Cuando el zirconio fue tratado con uno de los tres *primers*, la fuerza de adhesión del agente cementante mejoró significativamente; a pesar de ello, es necesario el tratamiento mecánico, pues en los resultados se observa que



el utilizar únicamente el *primer* o el silano, y posteriormente someter a las muestras a ciclos térmicos, redujo significativamente la fuerza de adhesión.

No se recomienda el uso del silano por sí solo en el zirconio, cuando éste no ha sido tratado con sílice. Estos resultados concuerdan con Atsu y col., quienes mencionan que cuando la superficie de zirconio es tratada con un tratamiento triboquímico, mediante recubrimiento de partículas de sílice, y la combinación de agentes de unión que contienen MDP, se incrementa la fuerza de adhesión entre el zirconio y el cemento de resina.

De la misma forma, Gargari M, y col., indican en una revisión de literatura que el método más efectivo para el tratamiento de superficie del óxido de zirconio es el arenado con óxido de aluminio a 50 μm para mejorar la adhesión entre los cementos de resina y el óxido de zirconio, añadiendo el uso de cementos de resina que contengan monómeros éster fosfato (10-MDP), ya que esta combinación brindó una mayor estabilidad y fuerza de adhesión después del tratamiento de envejecimiento.

Oyagüe y col., asumen que las partículas de óxido de aluminio remueven cualquier contaminante orgánico, producen micro retención mecánica, incrementa el área de unión modificando la energía superficial y la humectabilidad, con lo que mejora la fuerza de adhesión permitiendo un completo enlace de la micro retención con el cemento de resina.

Como se ha mencionado, el tratamiento químico adhesivo tradicional, no es efectivo sobre la superficie del zirconio, por tal motivo, otros autores han decidido estudiar otro tipo de tratamientos, los cuales son menos comunes; Piascik y col., utilizaron una técnica única de deposición en fase de vapor, por la que el cloro silano se combina con vapor de agua para formar una superficie funcionalizada SiO_2 más reactiva. El proceso utiliza una herramienta de depósito de moléculas de vapor, hecho específicamente para depósito de una capa delgada que sirve como hidrofóbica, hidrofílica, biocompatible, protectora, ordenada, y una capa reactiva.



Este sistema permite la deposición de numerosos materiales a partir de precursores líquidos simples, como el agua.

Este método es muy simple y rápido para producir esa capa delgada de alta calidad, de forma ordenada, que casi cualquier material orgánico que tenga un punto de ebullición de menos de 150°C. Según Piascik y col., este tratamiento funciona como un primer acondicionamiento para la subsecuente reacción con el silano, usado como promotor de la adhesión en las resinas convencionales y aplicaciones adhesivas.

Dentro de sus resultados observaron que los resultados más prometedores fueron al obtener una capa delgada de 2.3nm, pues la fuerza de adhesión obtenida fue estadísticamente similar a la adhesión en la porcelana.

Piascik y col., sugieren que los odontólogos que utilicen restauraciones indirectas de zirconio, deben guiarse en un enfoque que abarque la modificación química de la superficie, pues puede mejorarse la adhesión a los cementos de resina a través de las técnicas tradicionales de silanización. Sin embargo, este tipo de procedimiento aún necesita más estudios para evaluar su eficiencia.

Una adhesión química suficientemente resistente en la superficie del zirconio es difícil de obtener, debido en parte a la naturaleza de su superficie. Estos estudios han investigado múltiples tratamientos, desde físicos, que incrementan el área de superficie; hasta químicos, los cuales promueven la unión química con los adhesivos.

Como se reportó en los estudios, el realizar únicamente un tratamiento de superficie físico, sin la funcionalización química, traerá como consecuencia una baja fuerza de adhesión y resultará en una falla adhesiva.

8. CONCLUSIÓN

Actualmente, la tecnología ha sido desarrollada y utilizada clínicamente para enfrentar el problema de adhesión del óxido de zirconio a un sustrato, ya sea un sustrato sintético o con tejidos naturales. La mayoría de los enfoques antes mencionados se encuentran bajo investigación, siendo el principal la modificación de la superficie de las porcelanas de alta resistencia.

La capacidad de modificar químicamente la superficie de zirconio parece ser crítica para lograr la unión adhesiva.

El uso del grabado común con ácido fluorhídrico en combinación con la silanización, previamente utilizado para los otros sistemas cerámicos, no ha demostrado ser útil contra la alta resistencia ácida del zirconio debido a la ausencia de matriz vítrea en la que actúan estas sustancias, en cambio el arenado con óxido de aluminio resulta significativamente efectivo por la rugosidad resultante ya que aumenta la energía superficial y la humectabilidad del material.

Además se ha demostrado que los cementos a base de fosfato de zinc, Bis-GMA y cementos de ionómero de vidrio no pueden garantizar una adhesión estable a largo plazo, por el contrario el uso de los cementos de resina o bien un *primer* que contienen monómeros fosfato 10 -metacriloxidecilsfosfato dihidrogenado, ha demostrado mayores valores de adhesión y estabilidad que otros cementos.

Se ha comprobado que la fuerza de adhesión de las cofias de zirconio a la dentina usando cementos basados en MDP, es de 6.9MPa, este valor es comparable con el obtenido al cementar cofias de oro.

Mediante esta revisión de literatura se puede concluir que las superficies tratadas obtuvieron una mejor adhesión en combinación con un *primer* que contiene MDP además del uso de un silano; las superficies tratadas con tecnología de plasma y recubiertas con sílice son métodos que propician una adhesión resistente del cemento de resina con la superficie de óxido de zirconio, el recubrimiento de la superficie de óxido de zirconio con sílice promueve una fuerza de adhesión

durable y puede ser un método de pre-tratamiento alternativo antes de la aplicación del silano para mejorar la adhesión con la cerámica a base de zirconio; el tratamiento de superficie con plasma induce una transformación de la fase tetragonal a la fase monoclinica.

Desafortunadamente no hay suficientes estudios sobre el mecanismo de la adhesión con monómeros fosfato MDP, y no está claro si hay un verdadero enlace químico con el óxido de zirconio o sólo es un enlace mecánico a través de micro retenciones promovidas por el arenado, por lo que se recomienda que se realicen más estudios e investigaciones sobre la función de los monómeros funcionales 10-MDP sobre la adhesión en restauraciones a base de zirconio, así como del tamaño de partícula de alúmina recubierta con sílice, durante en el tratamiento mecánico de arenado. Debido a que no existe un consenso universal sobre un protocolo de tratamiento de superficie y de adhesión en restauraciones a base de zirconio, se sugieren las siguientes recomendaciones:

1. Realizar un pre tratamiento físico de superficie del zirconio tetragonal policristalino totalmente estabilizado con itrio, mediante arenado con partículas de alúmina recubierta con sílice, de 50 μ m, en el laboratorio, posteriormente la sinterización.
2. En el consultorio dental, no realizar el lavado con ultrasonido, ya que desprendería el sílice que contiene la superficie del zirconio.
3. En cavidad oral, realizar un aislamiento relativo.
4. Desinfectar el sustrato dentario con clorhexidina al 2%.
5. Realizar el grabado ácido de la superficie dentaria durante 15 segundos.
6. Enjuagar durante 30 segundos.
7. Secar la superficie, no desecar, con aire indirecto
8. Colocar un *primer* metálico, sobre la superficie interna de la restauración indirecta de zirconio.
9. Aplicar un adhesivo que contenga monómeros funcionales, sobre la superficie dentaria.



10. Colocar el cemento de resina dual, que contenga monómeros funcionales.
11. Esperar 40 segundos, y realizar fotocurado.
12. Retirar excedentes de material.
13. Verificar puntos de contacto.
14. Pulir.



9. BIBLIOGRAFÍA

¹ Sekhri, S., Mittal , S., & Garg , S. (2016, Jan). Tensile bond strenght of self adhesive resin cement after various Surface treatment of enamel. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, Vol – 10 (1).

² *Diccionario Enc.* (1985). Barcelona, España: Salvat Universal.

³ TAIRA, Y., & IMA, Y. (2014). Review of methyl methacrylate (MMA)/tributylborane (TBB)-initiated resin adhesive to dentin. *Dental Materials Journal*, 33(3): 291–304.

⁴ Ariño P. “Adhesivos Dentales del Nuevo Milenio: “La Membrana Adhesiva”. *Industria y Profesion* N° 110. Septiembre 2000. Ciencia. www.gacetadental.com

⁵ Phillips. “Ciencia de los Materiales Dentales”. 10º Edición. Editorial Mc Graw-Hill Interamericana. 1998. 745p. Págs 13-32, 313-326. Cap. 2 y 3.

⁶ Sturdevant, C., Roberson, T., Heymann, H., & Sturdevant, J. (1996). *Operatoria Dental: Arte y Ciencia*. Elsevier Science Health Science Division.

⁷ Abreu Rodríguez, R. J. (2003). *Odontología Online*. Recuperado el 17 de Mayo de 2017, de <http://www.odontologia-online.com/publicaciones/materiales-dentales/187-adhesion-en-odontologia-contemporanea-i.html>

⁸ Macchi, R. (2007). *Materiales Dentales*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Panamericana.

⁹ Barrancos M. “Operatoria Dental”. 3º Edición. Editorial Médica Panamericana. Argentina, 1999. 1176p. Págs. 567-578, 609-634, 657-690. Cap. 17,19,21,22.



¹⁰ Craig R. “Materiales Dentales Restauradores”. 7º Edición. Editorial Mundi S.A.I.C. y F. Argentina, 1988. 570p. Págs. 237-266. Cap. 10.

¹¹ Peutzfeldt, A. (1997). “Resin composite in dentistry: the monomer systems”. *Eur J Oral Sci*, 105: 97-116.

¹² Uribe J., Spadileiro M., Cabral J. “Operatoria Dental. Ciencia y Práctica: Sistemas Resinosos Compuestos” 3º Edición. Editorial Avances Médicas Centrales. Madrid, 1990. 381p. Págs. 15-41. Cap. I, VIII.

¹³ Piascik JR, Swift EJ, Thompson JY, Grego S, Stoner BR, (2010) Surface modification for enhanced silanation of zirconia ceramic. *Dental Materials*. Vol 25(9) 1116-1121.

¹⁴ Martins ARM, Gotten VB, Shimano MM, Borges GA, Goncalves LDS, (2015) Improving adhesion between luting cement and zirconia based ceramic with an alternative surface treatment. *Braz Oral Res*. Vol 29 (1) 1-7

¹⁵ Román JL, Fons-Font A, Amigó-Borrás V, Granell-Ruíz M, Busquets-Mataix D, Panadero R, Solá-Ruíz MF, (2013) Bond strenght of selected composite resin cements to zirconium oxide ceramic. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. Vol 18 (1) 15-23.

¹⁶ Henostrozal G, Borgia E, Busato A, Carballo R, De Souza C, Edelberg M y col. Editores. Adhesión en odontología restauradora. Editora MAIO 2003.

¹⁷ BRAGA, R., CESAR, P., & GONZAGA , C. (2002). Mechanical properties of resin cements with different activation mode. *Journal of Oral Rehabilitation* , 29; 257-262.



-
- ¹⁸ Tsuo Y, Yoshida K, Atsuta M, (2008) Effects of alumina blasting and adhesive primers on bonding between resin luting agent and zirconia ceramics. *Dental Materials Journal*. Vol 25 (4): 669-674.
- ¹⁹ Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R, (2011) Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Journal of Dental Materials*. Vol 27 (1) 71-82.
- ²⁰ Montagna, F., & Barbesi, M. (2013). *Cerámicas, Zirconio y CAD/CAM*. Sommacampagna, Italia: Amolca.
- ²¹ Scherrer SS, Cattani-Lorente M, Vittecoq E, Mestral F, Griggs JA, Wiskott HWA, (2011, Feb) Fatigue behavior in water of Y-TZP zirconia ceramics after abrasion with 30 um silica coated alumina particles. *Journal of Dental Materials*. Vol 27 (2).
- ²² El-Shrkawy ZR, El-Hosary MM, Saleh O, Mandour MH,(2016) Effect of different Surface treatments on bond strenght, Surface and microscopic structure of zirconia ceramic. *Future Dental Journal*.
- ²³ Daou EE, (2014) The zirconia ceramic: strengths and weaknesses. *The open Dentistry Journal*. 8, 33-42.
- ²⁴ Srikanth R, Kosmac T, Della Bona A, Yin L, Zhang Y, (2015) Effects of cementation surface modifications on fracture resistance of zirconia. *Dental Materials Journal*. Vol 31 435-442.
- ²⁵ Nakamura K., Mouhatc, M., & Nergard, J. (2016). Effect of cements on fracture resistance of monolithic zirconia crowns. *ACTA BIOMATERIALIA ODONTOLOGICA SCANDINAVICA*, VOL. 2, NO. 1, 12–19.

26 Mendoza, G., Méndez, E., & Valdés, A. (2014). Causes of cohesive failures and adhesive armour ceramics in the Y-TZP structure: A Systematic review. *Journal Odont Col*, 7(14):32-50.

27 Tzanakakis EGC, Tzoutzas IG, Koidis PT, (2016) Is there a potential for durable adhesion to zirconia restorations? A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 115:9-19.

28 De Souza G, Henning D, Aggarwal A, Tam LE, (2014, Mar) The use of MDP-based materials for bonding to zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry*. Vol 112: 895-902.

29 Moncada G, García R, De Oliveira OB, Fernández E, Martín J, Vildósola P, (2014) Rol del 10 metacriloxidecilo fosfato dihidrogenado en el cambio de paradigma de los sistemas adhesivos integrados en la dentina. *Rev Clin Periodoncia Implantol Rehabil Oral*. Vol 7 (3) 194-199.

30 IKEMURA, K., ENDO, T., & KADOMA, Y. (2012). A review of the developments of multi-purpose primers and adhesives comprising novel dithiooctanoate monomers and phosphonic acid monomers. *Dental Materials Journal* , 31(1): 1–25.

31 Nishigawa G, Maruo Y, Irie M, Oka M, Yoshihara K, Minagi S, Nagaoka N, Yoshida Y, Suzuki K. (2008) Ultrasonic cleaning of silica coated zirconia influences bond strength between zirconia and resin luting material. *Dental Materials Journal*. Vol 27 (6) 842-848.

32 Maeda FA, Bello Silva MS, De Paula C, Gomes W, Francisco P. (2014) Association of different primers and resin cements for adhesive bonding to zirconia ceramics. *Quintessenz*. Vol 16 (3) 261-265