

COMPARACIÓN ENTRE PRIMER DE ZIRCONIA Y ADHESIVO UNIVERSAL CON METACRILATO DE FOSFATO PARA LA ADHESIÓN A CERÁMICAS CRISTALINAS

Comparison of zirconia primer and universal adhesive with phosphate methacrylate for adhesion to crystalline ceramics

Cascante - Calderón Marcelo^{*1,4} ; Haro - Armas Estefany Anahí^{1,5} ; Tapia - Montalvo María José^{1,6} ; Cascante - Rivera Sofia Marcela^{2,7} ; Grandes - Reyes Carlos Fitzgerald^{3,8} 

¹ Carrera de Odontología, Universidad Central del Ecuador, C.P. 170521. Quito-Ecuador

² Carrera de Odontología, Universidad de las Américas, C.P. 170513. Quito-Ecuador.

³ School of Biomedical and Bioengineering Sciences, The University of Queensland Press, C.P. 4067. Queensland, Australia

⁴ <https://orcid.org/0000-0003-3474-6196>

⁵ <https://orcid.org/0009-0004-2221-7419>

⁶ <https://orcid.org/0000-0002-4794-7600>

⁷ <https://orcid.org/0009-0004-3453-2256>

⁸ <https://orcid.org/0000-0002-9367-5781>

*mcascante@uce.edu.ec

RESUMEN

La zirconia es ampliamente utilizada en odontología debido a sus excelentes propiedades mecánicas y biocompatibilidad. Sin embargo, lograr una adhesión durable en este material sigue siendo un desafío clínico, dado su bajo potencial de unión química y la susceptibilidad a fallos por desprendimiento o descementación. **Objetivo:** Comparar la resistencia adhesiva de la zirconia tratada con: 1) Un sistema combinado de primer de zirconia más cemento resinoso sin 10 metacrilato de fosfato. 2) Un adhesivo universal con 10 metacrilato de fosfato más cemento resinoso (sin dicho monómero), y; 3) Un grupo control cementado con ionómero de vidrio. **Materiales y métodos:** Estudio experimental in vitro con tres grupos: grupo control Ionómero de vidrio (GC), segundo grupo adhesivo universal con 10 metacrilato de fosfato más cemento resinoso (GSB) y tercer grupo Primer de zirconia más cemento resinoso (GZP). Todas las muestras fueron arenadas y evaluadas en resistencia adhesiva (inmediata y tras envejecimiento) mediante una máquina de ensayos universales. Los datos se analizaron con ANOVA y prueba post-hoc Tukey ($p \leq 0.05$). **Resultados:** El grupo GZP mostró la mayor resistencia adhesiva (28.110 MPa), seguido del GSB (3.893 MPa). El GC no registró adhesión (0.00 MPa). **Conclusión:** El uso de un primer de zirconia incrementa significativamente la fuerza de unión a la cerámica, incluso al emplearse con cementos resinosos que carecen de 10 metacrilato de fosfato.

Palabras clave: Zirconia Monolítica, Cementos de Ionómero Vítreo, Curación de Cementos Dentales por Luz, Adhesión Química de Cementos Dentales.

ABSTRACT

Zirconia is widely used in dentistry due to its excellent mechanical properties and biocompatibility. However, achieving durable adhesion in this material remains a clinical challenge, given its low chemical bonding potential and susceptibility to failure due to detachment or de-cementation. **Objective:** To compare the adhesive strength of zirconia treated with: 1) A combined system of zirconia primer plus resin cement without phosphate methacrylate; 2) A universal adhesive with phosphate methacrylate plus resin cement (without phosphate methacrylate monomer), and; 3) A control group cemented with glass ionomer. **Materials and methods:** In vitro experimental study with three groups: control group glass ionomer (GC), second group universal adhesive with 10-phosphate methacrylate plus resin cement (GSB) and third group zirconia primer plus resin cement (GZP). All samples were sandblasted and evaluated for adhesive strength (immediate and after ageing) using a universal testing machine. Data were analysed with ANOVA and Tukey post-hoc test ($p \leq 0.05$). **Results:** The GZP group showed the highest adhesive strength (28.110 MPa), followed by GSB (3.893 MPa). The GC showed no adhesion (0.00 MPa). **Conclusion:** The use of a zirconia primer significantly increases the bond strength to the ceramic, even when used with resin cements lacking phosphate methacrylate.

Keywords: Monolithic Zirconia, Glass Ionomer Cements, Light-Curing of Dental Cements, Chemical Adhesion of Dental Cements

INTRODUCCIÓN

Actualmente las cerámicas dentales son capaces de reproducir la morfología, el color y la estética de los órganos dentales de los seres humanos. En efecto, los disilicatos de litio, las leucitas y las porcelanas poseen propiedades ópticas que permiten la elaboración de dientes cerámicos iguales a los naturales.^{1,2} Sin embargo, con estas cerámicas todavía no es posible realizar prótesis para el sector posterior, donde las fuerzas oclusales los podrían romper.³

Una cerámica que puede superar muy bien estas fuerzas es la zirconia 3-YTZP. Es llamada así por estar Parcialmente Estabilizada en la forma Tetragonal por medio de 3 moles de Itria (3-YTZP). Esta cerámica pertenece al grupo de las cristalinas debido a que solo están compuestas por cristales de dióxido de zirconio sin fase vítrea.⁴ En consecuencia, pueden soportar fuerzas de flexión superiores a los 900 MPa. Además, se ha establecido que su resistencia a la fractura está entre los 3,5 a 4 Megapascales por metro al medio (MPa x m^{1/2})⁵. Debido a estas propiedades Garvie⁶, la llamó el acero cerámico.

Sin duda con estas propiedades mecánicas con la zirconia bien podrían elaborarse puentes y coronas dentales para el sector posterior. Sin embargo, estas mismas propiedades la hacen difícil de cementar. Mientras las cerámicas vítreas, se pueden tratar por medio del ácido fluorhídrico, seguido de la colocación de un silano.^{7,8} En el caso de las zirconias esto no es posible, debido a que ellas no poseen sílice en su composición.⁹ Por esta razón, los fabricantes están constantemente presentando nuevas técnicas y adhesivos que prometen mejorar su fuerza de unión.

Dentro de las técnicas que se han sugerido para cementar una zirconia con éxito está el arenado.^{10,11} A pesar de ser una muy buena técnica; solamente con ella no es posible lograr una cementación duradera. Autores han establecido que esta se debe de acompañar con algún procedimiento químico que asegure una unión más estable. Una de las moléculas que más se utiliza con este fin es el 10 metacryloyloxydecilhidrogénofosfato (MDP)¹²⁻¹⁴. Esta molécula posee en uno de sus extremos un radical fosfato, que se une químicamente a los hidroxilos localizados en la superficie de la zirconia.¹⁵ Por el otro extremo, su radical metacrilato, se unirá químicamente a otro similar presente en un cemento resinoso.

Para hacer más efectivo el trabajo de los clínicos, algunos fabricantes añaden diferentes composiciones a sus

agentes adhesivos. Ejemplos de ello son los llamados adhesivos universales que poseen entre otros componentes al silano. El más conocido en nuestro medio es el Single Bond Universal® (3M/ESPE. Sao Paulo. Sao Paulo. Brasil). Los fabricantes de este producto lo promocionan como un agente que es capaz de unir a una zirconia con altos valores de unión. En tanto que, los primers de zirconia tienen una composición más simple y no están compuestos por silano. Uno de ellos es el Z primer plus® (Bisco. Schaumburg, IL U.S.A) cuyo fabricante lo promociona como uno de los mejores agentes de unión a la zirconia.

Con todos estos antecedentes, nos proponemos medir los valores de la fuerza de unión (FU) entre un adhesivo universal versus un primer de zirconia, ambos a base de 10 MDP, para saber cuál de ellos es una mejor alternativa al momento de cementar una zirconia.

El objetivo de esta investigación fue comparar la resistencia adhesiva de la zirconia tratada con un primer de zirconia versus, un adhesivo universal ambos con 10 metacrilato de fosfato (10 MDP) más un cemento resinoso (sin dicho monómero)

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio experimental in vitro, que fue realizado en el laboratorio de materiales dentales de la Universidad Central del Ecuador. Para determinar la muestra final, se realizaron 5 pruebas pilotos antes. El número final de n por grupo, se concretó aplicando un test de poder, al 95% con una desviación estándar del ± 1 . Todos estos cálculos se los llevo a cabo en el software estadístico Minitab V 21®. (Minitab LLC, State College, Pennsylvania, EEUU). Con estos detalles el programa estadístico indicó que debían ser n=10 por grupo.

Dos bloques de zirconia InCori-Zi (Sirona. Denstplay Sirona. Alemania) fueron cortados en 30 láminas con medidas 12x8x1mm, mediante una máquina de corte Isomet 1000®. (Buheler, Lake Bluff, IL. EEUU). Las láminas fueron arenadas con Óxido de Aluminio (Al₂O₃) de cincuenta micras por diez segundos a un centímetro de distancia y cero puntos cinco bars de presión. Posteriormente, se elaboraron sesenta tubos de resina fluida de tres milímetros de alto por uno punto cinco milímetros de diámetro, utilizando un molde de plástico. La resina fluida se colocó en cada tubo, con su respectiva punta dispensadora. Cada uno de ellos fueron fotopolimerizados por 20s con la Lámpara de Luz LED (Woodpecker. Iled. Guilin Woodpecker Medical Instrument Co.Ltd. China) (1000mW/cm² - 1200mW/cm²).

Tabla 1. Materiales usados en la investigación

MATERIAL	FABRICANTE	LOTE	PAIS	COMPOSICIÓN
Bloques de Zirconia "InCoris ZI®"	Dentsply Sirona	Z2350CE	Alemania	ZrO ₂ +HfO ₂ +Y ₂ O ₃ > 99.0% Al ₂ O ₃ < 0.5% Otros óxidos < 0.5%
Opallis Flow® (Resina compuesta fluida)	FGM	030821	Brasil	Trietileno Glicol Dimetacrilato, Bisfenol A Etoxilado Dimetacrilato, Uretano Dimetacrilato, 1,12 -Dodecanodiol Dimetacrilato, Vidro Inerte, Antioxidante, Etil 4-dimetilaminobenzoato, Canforoquinona.
IononeroGC Fuji I®	GC EUROPE N.V	210910B	Japón	Metacrilato de 2-hidroxietilo, Ácido tartárico, 7,7,9-trimetil-4,13-dioxo-3,14-dioxa-5,12-diazahexadecano-1,16-diol bismetacrilato, 2-hidroxi-1,3 dimetacriloxipropano
Z-primer Plus®	BISCO	2300010576	Schaumburg, USA	10 MDP, monómero del ácido carboxílico, Bisfenol dimetacrilato, etanol. HEMA
Single Bond Universal®	3M ESPE	40205A		Alcohol etílico, BISGMA, Sílice Tratada con Silano, HEMA, Copolímero de ácidos acrílicos e itacónicos, 1,3-Dimetacrilato de Glicerol, UDMA, Agua, Hexafluorofosfato de difenil yodonio.
AllCem Cemento Dual®	FGM	08719	Brasil	Bis-GMA, Bis-EMA y TEGDMA, canforoquinonas y peróxido de dibenzoila, Micropartículas de barioaluminio silicato y nano partículas de dióxido de silicio
Arena de Oxido de Aluminio	BIOART	BRASIL	BRASIL	Partículas de óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) de 50 micras.

Se conformaron tres grupos experimentales. Cada grupo constó de un n=10. Ellos fueron grupo control Ionómero de vidrio (GC), segundo grupo adhesivo universal con 10 metacrilato de fosfato más cemento resinoso (GSB) y tercer grupo Primer de zirconia más cemento resinoso (GZP). Todos fueron arenados previamente con Al₂O₃ de 50 µm. Durante 15s. a 10 mm de distancia con 0.5 bars de presión.

Tratamiento de superficie y cementación

Para el Grupo GZP; todas las láminas de zirconia arenadas, fueron tratadas con Z-Primer Plus. Este primer fue frotado activamente por 20s. Se dejó evaporar durante 30s. Posteriormente, se mezcló el cemento resinoso (All-Cem. FGM. Joinville. SC. Brasil) y se llevó a uno de los extremos del tubo de resina, con la ayuda de una sonda periodontal Organización Mundial de la Salud (OMS) de 0.5mm de diámetro. Después, este tubo fue asentado cuidadosamente sobre la lámina de zirconia y fue presionado con una fuerza calibrada de 1Newton(N) durante 30 segundos tratando de simular el esfuerzo que realizaría un dentista al momento de cementar una pieza restauradora. Se observó con detalle y se verificó que no existan residuos de cemento esparcido en la interfase para no alterar los

resultados. luego se fotopolimerizó por 20s con la lámpara Woodpecker.

Para el grupo GSB, se realizó el mismo protocolo del grupo anterior solo que en este grupo se utilizó el adhesivo Single Bond Universal.

El grupo GC, se realizó únicamente arenado y los tubos de resina fueron cementados con ionómero que fue mezclando siguiendo las instrucciones del fabricante.

Finalmente, todos los grupos fueron almacenados en un recipiente con agua destilada a 37°C hasta realizar las pruebas de cizallamiento.

En cada lamina de los grupos GZP, GSB y GC se cementaron 2 tubos de resina. Uno de ellos fue ensayado inmediatamente, en tanto que el restante fue sometido al envejecimiento, por termociclado. Antes de ser nuevamente medido en la máquina de ensayos universales MTS TK/T5002.

Para la prueba de cizallamiento, los cuerpos de pruebas fueron ensayados a una velocidad de 1.0mm/min de manera paralela a la interfaz adhesiva.

Las mediciones de la resistencia adhesiva se reportaron en Newtons, los cuales fueron transformados a MPa,

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se sometieron a una estadística descriptiva e inferencial en el programa Minitab® 20 Statistical Software. (Minitab LLC, State College, Pennsylvania, EEUU). Un valor de $P \leq 0,05$ fue considerado estadísticamente significativo. Los grupos fueron sometidos al test de ANOVA (Tabla 3) bidireccional (agente de unión y envejecimiento), el mismo que demostró que existió diferencia en los factores agente de unión, y envejecimiento ($P < 0.001$). La interacción entre estos dos factores fue nula. El test Post-Hoc-Tukey (Tabla 4), muestra las diferencias entre grupos.

RESULTADOS

Se realizaron un total de 60 mediciones. El promedio y desviación estándar, expresados en MPa de cada grupo pueden verse en la Tabla 2.

El Z primer alcanzó en promedio los más altos valores de adhesión, tanto inmediatamente, como cuando envejecido, 30.50 MPa y 21.11MPa respectivamente. Tabla 2. El segundo mejor valor de adhesión lo obtuvo el Single Bond Universal con fuerzas de 5.75 MPa inmediatamente y 2.75 MPa después del envejecimiento. Tabla 2. El peor valor lo obtuvo el ionómero de vidrio. Este grupo reportó 0 MPa de fuerzas de adhesión, incluso la totalidad de los tubos de resina de este grupo se despegaron espontáneamente cuando fueron envejecidos.

Tabla 2. Promedio de fuerza de adhesión de los agentes de enlace a la zirconia

Grupo	Promedio Inmediato \pm	Desviación Estándar	Promedio Envejecimiento	Desviación Estándar \pm
GC	0	± 0	0	± 0
GZP	30,50	$\pm 0,51$	21,11	$\pm 1,23$
GSB	5,75	$\pm 0,15$	2,75	$\pm 0,99$

Los valores de adhesión están expresados en MPa. GC: grupo control; GSB: adhesivo universal con 10 metacri-

lato de fosfato más cemento resinoso y GZP: primer de zirconia más cemento resinoso.

Tabla 3. Resultados del Análisis de Varianza (ANOVA) para los Factores Agente de Unión y Envejecimiento

Factor	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Agente de Unión	2	9278,6	4639,30	616,93	0,000
Envejecimiento	1	429,9	429,87	57,16	0,000
Error	56	421,1	7,52		
Total	59	10129,6			

El test de anova muestra un valor $p = 0.000$ para los factores agente de unión y envejecimiento. GL: grados de li-

bertad; SC Ajust: suma de cuadrados ajustada; MC Ajust: media cuadrática ajustada; F

Tabla 4. Comparación de la Fuerza de Unión entre Diferentes Agentes de Unión mediante el Test Post Hoc de Tukey

Agente de Unión	n	Media
Z primer	20	28.110 MPa
Single Bond Universal	20	3.893 MPa
Ionómero de Vidrio	20	0.000 MPa

Los valores de fuerza de unión están expresados en MPa: megapascales.

DISCUSIÓN

La cementación de restauraciones de zirconia (óxido de zirconio estabilizado con itria, 3Y-TZP) representa un desafío significativo en odontología restauradora debido a sus propiedades únicas, como la ausencia de fase vítrea y su alta inercia química. A diferencia de las cerámicas feldespáticas, que pueden ser grabadas con ácido fluorhídrico para crear microporosidades, la zirconia no responde a este tratamiento, lo que dificulta la adhesión mecánica convencional. Además, su superficie químicamente estable limita la formación de enlaces iónicos con los cementos resinosos.¹⁶

Para superar estas limitaciones, se han investigado diversas estrategias de pretratamiento, entre las cuales el arenado con óxido de aluminio (Al_2O_3) y el uso de primers con 10-MDP (10-metacriloiloxidecil dihidrógeno fosfato) han demostrado ser los más efectivos, según algunos autores.¹⁷⁻¹⁹ Este estudio evaluó diferentes protocolos de adhesión, confirmando que la combinación de modificación mecánica (arenado) y unión química (10-MDP) es esencial para lograr una cementación duradera. Los resultados de nuestra investigación indican que la hipótesis nula debe ser rechazada.

El pretratamiento con Al_2O_3 (50 μm) demostró ser un paso crítico para mejorar la adhesión entre la zirconia y un cemento resinoso. Esto sucede porque el arenado genera una superficie rugosa con microrretenciones que incrementan el área de contacto entre la zirconia y el cemento.^{20,23} Este hallazgo coincide con lo reportado por Śmielak y Klimek,²⁴ quienes destacan que el arenado no solo elimina contaminantes, sino que también activa la superficie, facilitando la humectación del adhesivo.

Sin embargo, el grupo control (cementado solo con ionómero de vidrio tras arenado) mostró 0 MPa de adhesión, evidenciando que el arenado por sí solo no es suficiente para garantizar una unión estable. Esto refuerza la necesidad de combinar el tratamiento mecánico con un agente químico capaz de interactuar con la zirconia, como lo reporta Cinel Sahin en 2022.²²

El grupo GZP (Z-Prime Plus, basado en 10-MDP) presentó los mayores valores de fuerza adhesiva, lo que puede explicarse por el mecanismo de acción molecular del 10-MDP descrito por Nagaoka y cols.²⁵ según este investigador, el grupo fosfato (PO_3H_2) del 10-MDP se desprotona, generando iones fosfato (PO_4^{3-}) que reaccionan con los grupos Zr-OH de la superficie de la zirconia, formando enlaces de hidrógeno. Además, el O⁻ terminal del 10-MDP

interactúa con los iones Zr^{4+} , estableciendo un enlace iónico altamente estable.²⁵ Por otra parte, Chen et al, indican que la cadena hidrocarbonada del MDP reduce la absorción de agua en la interfaz, disminuyendo la degradación por hidrólisis.³⁰

Estos resultados concuerdan con estudios previos de Chen y cols.³⁰ y Afrasiabi y cols.³¹ quienes reportaron que los primers con 10-MDP generan una adhesión significativamente mayor en comparación con otros sistemas.

A diferencia de lo reportado en otros estudios^{14,26}, el Single Bond Universal (GSB) mostró una adhesión menor en esta investigación. Esta discrepancia puede atribuirse a: La Ausencia de 10-MDP en el cemento (AllCem). Mientras que estudios previos utilizaron cementos con 10-MDP^{27,28}, en este trabajo se empleó un cemento a base de Bis-GMA/Bis-EMA/TEGDMA, lo que limitó la sinergia química.

Por otro lado, el Single Bond Universal contiene silano, que requiere arena triboquímica (Al_2O_3 recubierto de sílice) para formar enlaces estables con la zirconia.²⁸ Al usarse solo Al_2O_3 puro, el silano no pudo reaccionar eficientemente.

Este hallazgo sugiere que el éxito del Single Bond Universal depende de su combinación con cementos y técnicas de pretratamiento específicas.

En lo que tiene que ver con el grupo cementado con ionómero de vidrio este presentó 0 MPa de adhesión, con desprendimientos espontáneos en varias muestras. Esta falla se explica por la falta de unión química. En efecto, el ionómero es capaz de adherirse a la dentina mediante interacción con el calcio³²⁻³⁸, pero la zirconia no contiene este elemento. Además, el ionómero carece de grupos metacrilato, lo que impide su polimerización con cementos resinosos.

Aunque algunos estudios han recomendado su uso en zirconia^{36,37}, nuestros resultados demuestran que no es una opción viable para restauraciones adhesivas.

En cuanto a la metodología utilizada en nuestra investigación, el envejecimiento por termociclado, es una técnica muy necesaria en las investigaciones in vitro para analizar cómo se comportarían los agentes adhesivos en el medio oral. Nuestros resultados indicaron que todos los grupos experimentaron una reducción en la fuerza adhesiva tras el envejecimiento por termociclado, lo que indica que existió una degradación de la interfaz adhesiva, debido a que debe haber existido una expansión térmica diferencial.³⁹ La zirconia tiene una baja difusividad térmica (255-3270

W/m-K), es decir se calienta muy lentamente, en tanto que el cemento y el adhesivo se calientan y enfrían muy rápido, por esta razón, estos dos materiales se expanden y contraen con los cambios de temperatura, a diferente velocidad y ello genera microfisuras, por las cuales debe existir infiltración de humedad, lo cual debilita los enlaces químicos, especialmente en sistemas sin 10-MDP.⁴⁰

Este fenómeno coincide con lo reportado en la literatura, donde se ha observado que incluso los sistemas más estables pierden adhesión tras envejecimiento acelerado.⁴⁰

Dentro de las limitaciones del estudio, podemos mencionar que muestras más grande aumentarían la potencia estadística. Aunque se sabe que la variabilidad (baja desviación estándar) en muestras pequeñas tiene el potencial de producir resultados muy confiables.

En cuanto al área adhesiva utilizada en este estudio, debemos ratificar lo que señaló Sano et al.⁽³⁹⁾, áreas reducidas minimizan defectos superficiales, lo que podría sobrestimar los valores de adhesión en comparación con condiciones clínicas reales.

Futuras investigaciones deberían evaluar: Cementos con 10-MDP incorporado, efecto de la arena triboquímica en la adhesión, protocolos de envejecimiento más prolongados.

CONCLUSIONES

El ZPrimer en combinación con un cemento sin 10 MDP(ALLCEM) obtuvo los mejores valores de fuerza de adhesión con la zirconia

El Single Bond Universal en combinación con un cemento sin 10 MDP(ALLCEM) obtuvo los segundos mejores valores de fuerza de adhesión con la zirconia

El ionómero de vidrio no es adecuado para zirconia debido a la falta de unión química.

La estabilidad a largo plazo sigue siendo un reto, ya que la interfaz sufre degradación por termociclado.

Recomendaciones clínicas:

- Usar primers con 10-MDP (Z-Prime Plus).
- Combinar el arenado con agentes químicos compatibles.
- Evitar cementos que no formen uniones químicas con la zirconia.

Carta de conflicto de interés: Los y las autores declaran no tener ningún conflicto de interés

Carta de contribución de la autoría: MCC concepción de la investigación, escribió y revisó la versión final del artículo. AH. Concepción de la investigación, realizó los ensayos in vitro. Escribió la primera versión del artículo. MJT escribió y revisó la segunda versión del artículo. CG revisó y aprobó la versión final del artículo. SCR. Escribió la discusión de la versión final del artículo. Contribuyó al análisis y comprensión de la versión final de la discusión. CGR. revisó y aprobó la versión final del artículo.

Referencias bibliográficas:

1. El-Mowafy O, El-Aawar N, El-Mowafy N. Porcelain veneers: An update. *Dent Med Probl.* 2018;55(2):207-211. DOI: <https://doi.org/10.17219/dmp/90729>
2. Porojan L, Vasiliu R, Birdeanu M, Porojan S. Surface characterization and optical properties of reinforced dental glass-ceramics related to artificial aging. *Molecules.* 2020;25(15):1-14. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25153407>
3. Kaur G, Kumar V, Baino F, Mauro JC, Pickrell G, Evans. Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: State-of-the-art review and future challenges. *Materials science & engineering C, Materials for biological applications.* 2019;104:1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109895>
4. Silva L, Lima E, Miranda R, Favero S, Lohbauer U, Cesar P. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Brazilian oral research.* 2017;31(suppl 1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0058>
5. Čokić S, Córdor M, Vleugels J, Meerbeek B, Oosterwyck H, Inokoshi M. Mechanical properties-translucency-microstructure relationships in commercial monolayer and multilayer monolithic zirconia ceramics. *Dental materials: official publication of the Academy of Dental Materials.* 2022;38(5):797-810. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.04.011>
6. Garvie R, Hannink R, Pascoe R. Ceramic steel? *Nature.* 1975;258(5537):[aprox. 11 p.]. Dis-

- ponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-0741-6_14
7. Lima R, Muniz I, Campos D, Murillo F, Andrade A, Duarte R. Effect of universal adhesives and self-etch ceramic primers on bond strength to glass-ceramics: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2024;131(3):392-402. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.011>
 8. Simasetha S, Klaisiri A, Sriamporn T, Sappayatosok K, Thamrongananskul N. Surface Treatment Effect on Shear Bond Strength between Lithium Disilicate Glass-Ceramic and Resin Cement. *European journal of dentistry*. 2022;16(2):373-380. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1735908>
 9. Scaminaci D, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. *Dentistry Journal*. 2019;7(3):1-19. DOI: <https://doi.org/10.3390/dj7030074>
 10. Le M, Larsson C, Papia E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. *Dental materials journal*. 2019;38(3):480-489. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2018-194>
 11. Sakrana A, Al W, Shoukry H, Özcan M. Bond Strength Durability of Adhesive Cements to Translucent Zirconia: Effect of Surface Conditioning. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2020;28(4):161-171. DOI: https://doi.org/10.1922/ejprd_2036sakraana11
 12. Go EJ, Shin Y, Park J. Evaluation of the Microshear Bond Strength of MDP-containing and Non-MDP-containing Self-adhesive Resin Cement on Zirconia Restoration. *Operative dentistry*. 2019;44(4):379-385. DOI: <https://doi.org/10.2341/18-132-L>
 13. Tayal A, Niyogi A, Adhikari H, Adhya P, Ghosh A. Comparative evaluation of effect of One Coat 7 Universal and Tetric N-Bond Universal adhesives on shear bond strength at resin-zirconia interface: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2021;24(4):336-340. DOI: https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_293_21
 14. Klaisiri A, Krajangta N, Thamrongananskul N. The Durability of Zirconia/Resin Composite Shear Bond Strength using Different Functional Mono-mer of Universal Adhesives. *European journal of dentistry*. 2022;16(4):756-760. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736331>
 15. De-Paula D, Loguercio A, Reis A, Frota N, Melo R, Yoshihara K. Micro-Raman Vibrational Identification of 10-MDP Bond to Zirconia and Shear Bond Strength Analysis. *BioMed research international*. 2017;2017:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/8756396>
 16. Valente F, Mavriqi L, Traini T. Effects of 10-MDP Based Primer on Shear Bond Strength between Zirconia and New Experimental Resin Cement. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2020;13(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13010235>
 17. Yagawa S, Komine F, Fushiki R, Kubochi K, Kimura F, Matsumura H. Effect of priming agents on shear bond strengths of resin-based luting agents to a translucent zirconia material. *Journal of Prosthodontic Research*. 2018;62(2):204-209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2017.08.011>
 18. Abhishek G, Vishwanath SK, Nair A, Prakash N, Chakrabarty A, Malalur AK. Comparative evaluation of bond strength of resin cements with and without 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (mdp) to zirconia and effect of thermocycling on bond strength - An in vitro study. *Journal of clinical and experimental dentistry*. 2022;14(4):316-320. DOI: <https://doi.org/10.4317/jced.59324>
 19. Awad M, Alhalabi F, Alzahrani K, Almutiri M, Alqanawi F, Albdiri L. 10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate (10-MDP)-Containing Cleaner Improves Bond Strength to Contaminated Monolithic Zirconia: An In-Vitro Study. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2022;15(3):1-12. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15031023>
 20. Seo S, Kim J, Nam N, Moon H. Effect of air abrasion, acid etching, and aging on the shear bond strength with resin cement to 3Y-TZP zirconia. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2022;134:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmbm.2022.105348>
 21. Kumar R, Singh MD, Sharma V, Madaan R, Sareen K, Gurjar B, et al. Effect of Surface Treatment of Zirconia on the Shear Bond Strength of Resin Cement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*. 2023;15(9):2-8. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.45045>

22. Cinel Sahin S, Celik E. The effect of different cleaning agents and resin cement materials on the bond strength of contaminated zirconia. *Microscopy research and technique*. 2022;85(3):840-847. DOI: <https://doi.org/10.1002/jemt.23953>
23. Alammam A, Blatz MB. The resin bond to high-translucent zirconia-A systematic review. *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry*. 2022;34(1):117-135. DOI: <https://doi.org/10.1111/jerd.12876>
24. Śmielak B, Klimek L. Effect of air abrasion on the number of particles embedded in zirconia. *Materials*. 2018;11(2):259-268. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma11020259>
25. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa V, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Scientific reports*. 2017;7(1):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep45563>
26. Moradi Z, Akbari F, Valizadeh S. Effects of Universal Adhesive on Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia Ceramic with Different Surface Treatments. *International journal of dentistry*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5517382>
27. Calamita R, Oliveira A, Pizzanelli G, Salvador M, Mesquita A, Pecorari V. Interaction of different concentrations of 10-MDP and GPDM on the zirconia bonding. *Dental materials*. 2023;39(7):665-668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.05.003>
28. Kim M, Kim R, Lee S, Lee T, Hayashi M, Yu B. Evaluation of Tensile Bond Strength between Self-Adhesive Resin Cement and Surface-Pretreated Zirconia. *Materials (Basel)*. 2022;15(9):3089-3100. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15093089>
29. Abdou A, Hussein N, Kusumasari C, Abo E, Rizk M, Blatz MB. The effect of 10-MDP based cleaner on bonding to contaminated zirconia: A systematic review and meta-analysis. *The journal of prosthetic dentistry*. 2023;130(4):533-542. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.07.018>
30. Yang H, Qian J, Wu Y, Feng H, Cao H, Niu D. Bond strength of resin cements to zirconia ceramics with different surface treatments. *Biomedical research international*. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/1713802>
31. Aboushelib M, Mirmohammadi H, Matinlinna J, Kukk E, Ounsi HF, Salameh Z. Innovations in bonding to zirconia-based materials: Part II. Femtosecond laser conditioning. *Dental materials*. 2015;31(5):123-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.016>
32. Kitayama S, Nikaido T, Alireza Sadr, Inokoshi M, Ikeda M, Foxton R. Effect of primer treatment on bonding of resin cements to zirconia ceramic. *Dental materials journal*. 2010;29(4): 482-489. DOI: <https://doi.org/10.4012/dmj.2009-128>
33. Kern M, Wegner SM. Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dental materials*. 1998;14(1):64-71. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(98\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(98)00011-3)
34. Comino R, Peláez J, Tobar C, Rodríguez V, Suárez M. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. *Materials (Basel, Switzerland)*. 2021;14(11):2751-2765. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14112751>
35. Heboyan A, Vardanyan A, Karobari M, Marya A, Avagyan T, Tebyaniyan H. Dental Luting Cements: An Updated Comprehensive Review. *Molecules*. 2023;28(4):1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28041619>
36. De Angelis F, D'Arcangelo C, Buonvivere M, Rondoni G, Vadini M. Shear bond strength of glass ionomer and resin-based cements to different types of zirconia. *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry [et al]*. 2020;32(8):806-814. DOI: <https://doi.org/10.1111/jerd.12638>
37. Torres C, Ávila D, Gonçalves L, Meirelles L, Mailart M, Di Nicoló R. Glass Ionomer Versus Self-adhesive Cement and the Clinical Performance of Zirconia Coping/Press-on Porcelain Crowns. *Operative dentistry*. 2021;46(4):362-373. DOI: <https://doi.org/10.2341/20-229-C>
38. Bahsi E, Sagmak S, Dayi B, Cellik O, Akkus Z. The Evaluation of Microleakage and Fluoride Release of Different Types of Glass Ionomer Cements. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2019;22(7):[aprox. 9 p.]. Disponible en: https://journals.lww.com/njcp/full-text/2019/22070/the_evaluation_of_microleakage_and_fluoride.14.aspx
39. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, et al. Relationship between surface area

for adhesion and tensile bond strength—evaluation of a micro-tensile bond test. *Dental materials*. 1994;10(4):236-240. DOI: [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(94\)90067-1](https://doi.org/10.1016/0109-5641(94)90067-1)

40. Fabris D, Souza J, Silva F, Fredel M, Gasik M, Henriques B. Influence of specimens' geometry and materials on the thermal stresses in dental restorative materials during thermal cycling. *Journal of dentistry*. 2018;69:41-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.08.017>

Recibido: 1 octubre 2024

Aceptado: 7 de marzo 2025

Publicado: 25 mayo 2025