



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
ESTOMATOLOGÍA

RESISTENCIA ADHESIVA EN DIFERENTES PROTOCOLOS DE
TRATAMIENTO DE SUPERFICIE USANDO BLOQUES DE
CERÁMICA DE MATRIZ DE RESINA PARA CAD/CAM

ADHESIVE STRENGTH USING DIFFERENT SURFACE TREATMENT
PROTOCOLS USING RESIN MATRIX CERAMIC BLOCKS FOR
CAD/CAM

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
ODONTOLOGÍA RESTAURADORA Y ESTÉTICA

AUTORES

MIGUEL ANGEL SARAVIA ROJAS
VICTOR ABEL HUANAMBAL TIRAVANTI

ASESOR

JOSE ANTONIO BALAREZO RAZZETO

LIMA - PERÚ
2024

JURADO

Presidente: CARLOS ENRIQUE MENDIOLA AQUINO

Vocal: CESAR AUGUSTO AVALOS DIANDERAS

Secretario: MARIA DE LAS MERCEDES MALDONADO MENDOZA

Fecha de Sustentación: 13 de agosto de 2024

Calificación: Aprobado con Honores

ASESOR DE TESIS

ASESOR

Esp. Mg. Dr. Jose Antonio Balarezo Razzeto
Departamento Académico de Clínica Estomatológica
ORCID: 0000-0003-1794-4908

DEDICATORIA

A nuestros familiares por su apoyo incondicional el amor y confianza en la realización de nuestros proyectos y emprendimientos.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra Alma Mater, la Universidad Peruana Cayetano Heredia por la oportunidad para realizar los estudios de Segunda Especialización en Odontología Restauradora y Estética y a todas las personas, laboratorios de la UPCH y otras instituciones que de una u otra forma participaron y contribuyeron en las diferentes etapas del proceso para la realización de esta tesis.

Un especial agradecimiento a nuestro asesor Dr. José Antonio Balarezo Razzeto por su apoyo y orientación y a la Dra. Rocio Geng Vivanco, por sus aportes en la realización del proyecto y en la publicación del artículo en la revista The Journal of Prosthetic Dentistry.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Fondo de apoyo a la investigación 2023-UPCH.

DECLARACIONES Y CONFLICTO DE INTERÉS

- Los autores declaran no tener conflictos de interés.
- Los autores declaran que los resultados de este proyecto han sido aceptados para su publicación en la revista *The Journal of Prosthetic Dentistry* y estarán completamente indexados para la base de datos MEDLINE mantenida por la Biblioteca Nacional de Medicina y los resúmenes son de libre acceso a través de la plataforma en línea PubMed. Thomson Scientific también indexa los artículos en línea para su base de datos Web of Science. El manuscrito aprobado es el #JPD-D-24-00127R5, titulado "DIFFERENT SURFACE TREATMENTS ON RECENTLY INTRODUCED CAD-CAM RESIN-MODIFIED CERAMICS: IMPLICATIONS ON BOND STRENGTH", el 30 de mayo del 2024.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

RESISTENCIA ADHESIVA EN DIFERENTES PROTOCOLOS DE TRATAMIENTO DE SUPERFICIE USANDO BLOQUES DE CERÁMICA DE MATRIZ DE RESINA PARA CAD/CAM

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	13%	11%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Miguel Ángel Saravia-Rojas, Victor Abel Huanambal-Tiravanti, Rocio Geng-Vivanco, Fernanda de Carvalho Panzeri Pires-de-Souza et al. "Different surface treatments on recently introduced CAD-CAM resin-modified ceramics: Implications on bond strength", The Journal of Prosthetic Dentistry, 2024 Publicación	9%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad de los Andes - Chile Trabajo del estudiante	1%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%
5	repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet	<1%
6	Janaina Sánchez García. "Desarrollo y caracterización de nuevas harinas de lenteja y	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
I. Introducción	1
II. Objetivos	4
III. Materiales y Métodos	5
IV. Resultados	8
V. Discusión	11
VI. Conclusiones	19
VII. Referencias Bibliográficas	20
VIII. Tablas, gráficos y figuras	25

RESUMEN

Antecedentes: La diversa composición química de las cerámicas híbridas (HC) CAD/CAM introducidas recientemente ha dado lugar a hallazgos contradictorios sobre el impacto de los tratamientos superficiales antes de la cementación, lo que complica el establecimiento de un protocolo clínico universalmente aceptado. **Objetivo:** Evaluar la influencia de diferentes tratamientos superficiales de cerámicas híbridas, sobre la fuerza de adhesión de un cemento resinoso. **Material y métodos.** Se utilizaron seis tipos de cerámicas modificadas, que fueron sometidas a cuatro tratamientos de superficie diferentes: sin tratamiento (control), abrasión con partículas de Al₂O₃, acondicionamiento con HF al 9%, y una combinación de Al₂O₃ y HF. Tras los tratamientos, se aplicó un agente de acoplamiento de silano y se colocaron cilindros de cemento de resina en las muestras, los cuales se polimerizaron y se sometieron a pruebas de microshear para medir la fuerza de adhesión.

Resultados: Después de 24 horas, todos los tratamientos mejoraron significativamente la fuerza de adhesión en comparación con el control en la cerámica Evolux. La combinación de Al₂O₃ y HF generó la mayor fuerza de adhesión en varias cerámicas, excepto en Alium, donde la abrasión con Al₂O₃ fue más efectiva. Después del ciclo térmico, todos los tratamientos mostraron una mejora en la adhesión en comparación con el control. Sin embargo, el HF tuvo un efecto negativo en la cerámica Vita Enamic, alterando

significativamente su superficie y reduciendo la fuerza de adhesión. En términos de composición, Vita Enamic fue la única cerámica que presentó tanto compuestos orgánicos como inorgánicos, mientras que las demás cerámicas mostraron una composición predominantemente orgánica. **Conclusion:** La abrasión con Al_2O_3 seguida de HF resultó ser el tratamiento más efectivo para la mayoría de las cerámicas, destacando la importancia de seleccionar el tratamiento de superficie adecuado para optimizar la adhesión en cerámicas modificadas con resina.

Palabras clave. Cerámica híbrida CAD/CAM, tratamiento superficial, resistencia de unión por microcizallamiento, cemento de resina, termociclado (DeCS).

ABSTRACT

Background: The diverse chemical composition of recently introduced resin-modified ceramics complicates the establishment of a universally accepted clinical bonding protocol. **Objective:** Evaluate the influence of different surface treatments of resin-modified ceramics on the bond strength to a resin cement. **Methods and Materials.** Six types of resin-modified ceramics were used, with samples divided into four groups based on surface treatments: no treatment (control), airborne-particle abrasion with Al₂O₃, conditioning with 9% HF, and a combination of Al₂O₃ and HF. After applying these treatments, a silane coupling agent was used, and resin cement cylinders were bonded to the samples, which were then light-cured. The bond strength was tested through microshear after 24 hours, with half of the samples also undergoing thermocycling. **Results:** All surface treatments significantly improved bond strength compared to the control group, particularly in the Evolux ceramic. The combination of Al₂O₃ and HF provided the highest bond strength in most ceramics, except for Alium, where Al₂O₃ alone was more effective. Post-thermocycling results showed that all treatments increased bond strength relative to the control, but HF treatment negatively impacted the Vita Enamic ceramic, causing notable surface alterations that reduced bond strength.

Adhesive failures were prevalent in untreated samples, whereas mixed failures were common after surface treatments. The study also observed that Al₂O₃ treatment altered the surface of all resin-modified ceramics, with HF notably affecting Vita Enamic. The combined Al₂O₃ and HF treatment significantly

modified Vita Enamic and the other ceramics. Vita Enamic was unique in displaying both organic and inorganic compositions, while the other ceramics were predominantly organic. **Conclusion:** airborne-particle abrasion with Al₂O₃ followed by HF yielded the highest bond strength across most resin-modified ceramics, except for Alium. The findings highlight the importance of selecting appropriate surface treatments to optimize bond strength in resin-modified ceramics.

Keywords: CAD/CAM hybrid ceramic, surface treatment, micro-shear bond strength, resin cement, thermocycling (MeSH).

I. INTRODUCCIÓN

El uso de la tecnología de diseño y fabricación asistida por computadora (CAD/CAM) ha ganado una gran popularidad en el campo dental, lo que significa una transformación sustancial en la práctica clínica (1). Esta evolución va acompañada de la introducción de materiales de alto rendimiento impulsados por la tecnología , innovación en la industria, incorporando nuevos métodos de polimerización, microestructuras innovadoras y diversas composiciones (2-4).

Un avance notable en los materiales CAD/CAM es la aparición de cerámicas híbridas (HC), desarrolladas específicamente para combinar la resistencia y la estética superiores de las cerámicas con la mayor flexibilidad de los polímeros (5,6). En cuanto a su microestructura, las HC se dividen en dos categorías principales: composites a base de resina con rellenos dispersos y cerámicas infiltradas con polímeros (7-8).

Los composites a base de resina consisten predominantemente en una matriz de resina orgánica que incorpora monómeros como diglicidil metacrilato de bisfenol A (Bis-GMA), dimetacrilato de uretano (UDMA), dimetacrilato de trietilenglicol (TEGDMA), etc., junto con nanopartículas como sílice, circona, vidrio de bario, etc. (7-8). Por el contrario, las cerámicas infiltradas con polímeros se caracterizan por una red cerámica que está infiltrada con una mezcla de monómeros a base de metacrilato (7-8).

Se han propuesto varios tratamientos superficiales antes de la cementación para mejorar la unión entre las restauraciones CAD/CAM HC y los cementos de resina. Los métodos comúnmente empleados incluyen el acondicionamiento con ácido fluorhídrico (HF) y el arenado con óxido de aluminio (Al_2O_3) (9,10) que modifican eficazmente la superficie de los materiales híbridos, aumentando su rugosidad superficial (11,12). Posteriormente, la aplicación de un agente de acoplamiento de silano (SCA) es crucial para facilitar la unión óptima entre los componentes inorgánicos (óxido de silicio) y orgánicos (grupos metacrilato en el cemento de resina), (13-15), mejorando así la fuerza de la unión (15,16).

Sin embargo, la composición química diversa de los HC CAD/CAM recientemente introducidos ha dado lugar a hallazgos contradictorios con respecto al impacto de estos tratamientos de superficie (11,12,17-19), lo que complica el establecimiento de un protocolo clínico universalmente aceptado. Además, las interfaces adhesivas pueden sufrir degradación hidrolítica con el tiempo. El termociclado somete los materiales a variaciones de temperature (16) acelerando artificialmente el envejecimiento de las interfaces adhesivas (16). Esto permite evaluar la estabilidad a largo plazo de la interfaz adhesiva.

Por lo tanto, este estudio evaluó la influencia de diferentes tratamientos superficiales de CAD/CAM HC en la resistencia de la unión por microcizallamiento de un cemento de resina, tanto después de 24 horas como después del termociclado. Las hipótesis nulas probadas fueron 1) que los

tratamientos superficiales no promoverían una mayor fuerza de unión, independientemente del HC y el tiempo de envejecimiento; 2) que no habría diferencia entre los HC en términos de fuerza de unión, independientemente del tratamiento y tiempo de envejecimiento.

II. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la influencia de diferentes tratamientos de superficie realizados en cerámicas de matriz de resina CAD/CAM sobre la resistencia a microcizallamiento usando un cemento resinoso fotoactivado al cabo de 24 horas y después de ser sometido a fatiga térmica.

Objetivos Específicos:

1. Determinar el efecto del arenado con óxido de aluminio de 50 micrómetros, del grabado con ácido fluorhídrico al 9% y del silano, sobre la resistencia adhesiva cerámicas de matriz de resina-cemento resinoso fotoactivado al cabo de 24 horas y luego de ser sometidas a fatiga térmica.
2. Comparar los valores de resistencia adhesiva obtenidas con las cerámicas de matriz de resina Evolux, Cerasmart, Shofu Block HC y Enamic al cabo de 24 horas y luego de aplicar la fatiga térmica.
3. Caracterizar las cerámicas de matriz de resina a través de la microscopía electrónica de barrido y la microscopia confocal Raman.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El tamaño de la muestra ($n = 14$) se determinó a partir de un estudio piloto utilizando el programa estadístico Epidat 4.0, con un intervalo de confianza del 95% (error $\alpha = 0,05$).

Se obtuvieron dieciséis muestras, cada una de las cuales medía 10 mm x 12 mm, de cada CAD/CAM HC (Tabla 1) utilizando un disco de diamante a baja velocidad, enfriado por agua, en una máquina de corte (Isomet 1000, Buhler). Posteriormente, cada ejemplar fue embebido en resina acrílica (Vipi Flash, Vipi) dentro de tubos de PVC. Se pulieron con papel de lija de SiC (200, 400, 600, 800, 1000 y 1200) (Buhler) y luego se sometieron a limpieza ultrasónica (Ultra Cleaner 1400, Unique) en agua destilada durante 5 minutos.

Las muestras se examinaron bajo un microscopio estereoscópico con un aumento de $20 \times$ (Leica MZ6, Leica Microsystems) para garantizar la ausencia de fracturas en la superficie. Después de eso, para cada HC, las muestras se asignaron aleatoriamente a cuatro grupos según el tratamiento superficial recibido antes de la aplicación del cemento resinoso. Así, se dispuso de cuatro probetas de cada HC para tratamiento superficial: Control (sin tratamiento), arenado con Al_2O_3 , acondicionamiento con HF y arenado con Al_2O_3 + acondicionamiento con HF.

El arenado se realizó con partículas de Al_2O_3 de 50 μm (Vario Jet, Renfert GmbH) a una presión de 2 MPa durante 10 segundos a una distancia de 10 mm.

Se aplicó HF al 9% (Condac Porcelana) durante 30 segundos y luego las muestras se enjuagaron durante 30 segundos. Después de estos tratamientos, las muestras fueron limpiadas ultrasónicamente en agua destilada durante 5 minutos. Posteriormente se secaron al aire y se aplicó el SCA (Monobond N, Ivoclar Vivadent) durante 1 minuto con un microcepillo.

Se colocó un molde de silicona con siete compartimentos de forma cilíndrica (diámetro interior de 2 mm y una altura de 2 mm) en cada muestra, y se inyectó RC (Choice 2, Translúcido, Bisco) en cada compartimento. Inmediatamente después, el RC se polimerizó con luz durante 20 segundos (X-Cure, Woodpecker, 1000 mW/cm²). Se construyeron siete cilindros de RC en cada muestra, totalizando 28 cilindros por cerámica híbrida y tratamiento superficial.

La mitad de los cilindros RC de cada subgrupo (n = 14) se almacenaron en agua destilada a temperatura ambiente durante 24 horas y la otra mitad se sometió a termociclado (20.000 ciclos; entre 5 °C y 55 °C con un tiempo de permanencia de 30 segundos).

Se empleó una máquina de prueba universal (OM 100, Odeme Dental Research) para medir la resistencia de la unión por microcizallamiento del RC a los HC. Se enrolló un alambre de acero inoxidable de 0,2 mm de diámetro (Morelli Ortodontia) alrededor de la base de cada cilindro y se alineó con la interfaz de unión (n = 14). Se aplicó una carga de corte de 50 N a una velocidad de la cruceta de 1 mm/minuto hasta el fallo. Los valores de resistencia de unión se calcularon en megapascales (MPa) dividiendo la carga en el momento de la falla (N) por el área de superficie de cada cilindro (mm²).

Se probó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro Wilks, que muestra una distribución normal. Por lo tanto, se realizaron ANOVA de dos vías y prueba de Tukey.

Las muestras fracturadas después del termociclado se observaron bajo un estereomicroscopio (Leica MZ6, Leica Microsystems) para determinar el patrón de fractura y se clasificaron como adhesivas, cohesivas en cemento de resina, cohesivas en HC o mixtas.

Para caracterizar la morfología de la superficie después de los tratamientos superficiales, se obtuvieron ocho especímenes de cada HC, se dividieron según los tratamientos superficiales ($n = 4$) y luego se trataron como se mencionó anteriormente. Las muestras se deshidrataron en un desecador de vacío durante 24 horas y se recubrieron con una aleación de oro y paladio (Bal-Tec, modelo SCD 050) para observarlas con un aumento de $2000 \times$ (20 kV, 25 mm WD y tamaño de punto 28 pA). a 100 pA) bajo un microscopio electrónico de barrido (SEM, JSM-6610LV, JEOL).

IV. RESULTADOS

Fuerza de unión

La Tabla 2 presenta la comparación de los valores de fuerza de unión (BS). Después de 24 horas, Evolux exhibió un BS más alto ($p < 0,05$) después de todos los tratamientos de superficie en comparación con el control. GC y Shofu demostraron una BS mayor ($p < 0,05$) cuando se trataron con Al_2O_3+HF en comparación con el control. Además, Al_2O_3+HF indujo mayor BS que Al_2O_3 en GC. Por el contrario, Alium mostró menor BS ($p < 0,05$) cuando se trató con Al_2O_3+HF que con Al_2O_3 , independientemente del tiempo de envejecimiento.

Después del termociclado, el HF también indujo una BS más baja ($p < 0,05$) que el Al_2O_3 en Alium. Cuando se trató con Al_2O_3+HF , Evolux logró la BS más alta ($p < 0,05$) y Enamic mostró una BS más alta ($p < 0,05$) en comparación con HF. En todos los HC, todos los tratamientos de superficie indujeron una mayor BS ($p < 0,05$) en comparación con el control.

Independientemente del tiempo de envejecimiento, en condiciones de control, Alium mostró una BS más alta ($p < 0,05$) que los otros HC, excepto GC ($p > 0,05$). Cuando se trató con Al_2O_3 , Alium también exhibió mayor BS ($p < 0,05$) que los demás, excepto Enamic ($p > 0,05$); y después de 24 horas, en comparación con Evolux ($p < 0,05$).

Cuando los HC fueron tratados con HF, después de 24 horas, Evolux mostró una BS más alta ($p < 0,05$) que Enamic; y después del termociclado, GC exhibió mayor BS ($p < 0,05$) en comparación con los otros HC, excepto Alium

($p > 0,05$). Cuando se aplicó Al_2O_3+HF , después de 24 horas, Enamic presentó menor BS ($p < 0,05$) que los demás HC, excepto Alium ($p > 0,05$) que, a su vez, tuvo menor BS ($p < 0,05$) que Evolux y GC. Después del termociclado, Evolux logró una BS más alta ($p < 0,05$) en comparación con los demás, excepto Enamic ($p > 0,05$).

Distribución de patrones de fractura.

La distribución de los patrones de fractura después del termociclado se ilustra en la Figura 1. Independientemente del HC, se observó una mayor prevalencia de fracturas adhesivas en condiciones de control, excepto para Alium. Además, Evolux presentaba exclusivamente este tipo de fractura. Entre los HC tratados, las fracturas mixtas fueron las más comunes, excepto Alium, que mostró un número igual de fracturas mixtas y cohesivas en cerámica. Cuando GC fue tratado con Al_2O_3 o Al_2O_3+HF , Alium con HF y Evolux con cualquiera de los tratamientos superficiales, solo se observaron fracturas mixtas. También se observaron fracturas adhesivas cuando GC se trató con HF, Alium con Al_2O_3+HF , Shofu con HF y Al_2O_3 , y Enamic con HF y Al_2O_3+HF . Además, Alium tratado con Al_2O_3 , Shofu con HF y Al_2O_3+HF , y Enamic con cualquiera de los tratamientos mostraron algunas fracturas cohesivas en la cerámica. Ninguno de los grupos presentó fracturas cohesivas en el cemento.

Microscopía electrónica de barrido

En la Figura 2 se presentan imágenes SEM representativas de las muestras fracturadas. En condiciones de control, los HC mostraron superficies más lisas, excepto Enamic, que tenía una superficie ligeramente más rugosa. Al₂O₃ indujo alteraciones en la superficie de todos los HC, siendo Alium el que presentó la superficie más rugosa. Enamic, Shofu y Evolux mostraron una apariencia similar, mientras que GC mostró alteraciones superficiales comparativamente menores.

El HF alteró significativamente la superficie de Enamic, mientras que no tuvo un impacto notable en la superficie de los otros HC. Al₂O₃+HF también causó una alteración superficial significativa en Enamic, mostrando un patrón similar al observado con HF solo. La combinación de estos tratamientos también modificó la superficie de los demás HC, con un efecto más pronunciado en GC.

Espectroscopia micro-Raman

La espectroscopia micro-Raman de Enamic reveló bandas vibratorias características típicas de compuestos inorgánicos como alúmina y circonio, así como polímeros, incluida la resina epoxi y un derivado de poli(metacrilato de dimetacrilato de lauril-co-etilenglicol). Por el contrario, Shofu, GC, Alium y Evolux exhibieron distintas bandas vibratorias asociadas con compuestos orgánicos, como el polimetilmetacrilato (PMMA) y sus derivados.

V. DISCUSIÓN

Este estudio evaluó la influencia de varios tratamientos superficiales de CAD/CAM HC en la fuerza de unión de un cemento de resina, tanto después de 24 horas como después del termociclado. La primera hipótesis nula, que sugería que los tratamientos superficiales producirían una fuerza de unión similar, fue rechazada ya que indujeron valores más altos en comparación con los grupos de control.

Para mejorar la retención micromecánica entre los cementos resinosos adhesivos y los HC, se recomienda realizar un acondicionamiento previo de la superficie cerámica, seguido de la aplicación de SCA (9) La elección del tratamiento superficial depende de la composición y microestructura del material. Para las cerámicas de vidrio con infiltraciones de polímeros, como Enamic, se logran resultados óptimos mediante el acondicionamiento con HF. El HF disuelve la fase de vidrio de la cerámica al reaccionar con dióxido de silicio, sin afectar la matriz polimérica y creando microporosidades en la superficie de la cerámica (7,8).

En el caso de materiales poliméricos reforzados con nanopartículas cerámicas, como GC y Shofu, la adhesión se puede mejorar arenando la superficie con partículas de Al_2O_3 . Este enfoque genera irregularidades, aumentando la rugosidad de la superficie y consecuentemente el área de contacto dentro de ambas fases del HC. (7)

Sin embargo, el efecto combinado de estos tratamientos sobre la fuerza de unión de los HC no se había investigado previamente. Nuestro estudio reveló que el chorro de arena con partículas de Al_2O_3 seguido de la aplicación de HF promovió la mayor fuerza de unión en GC y Shofu después de 24 horas. Este resultado fue significativamente diferente tanto del GC sin tratar como del Shofu, así como cuando solo se usó Al_2O_3 en el GC.

Shofu y GC constan de una matriz de resina reforzada con partículas de sílice, como se confirma mediante espectroscopía micro-Raman. Por tanto, aunque el fabricante recomienda únicamente el arenado con Al_2O_3 ,⁽¹⁹⁾ el HF puede haber desempeñado un papel crucial. El HF podría haber disuelto las partículas de sílice dentro de la composición de estos HC, creando microirregularidades (11), como se observó por SEM. Además, el HF podría haber mejorado el enlace químico, ya que sus grupos hidroxilo son capaces de unirse químicamente con los monómeros del RC. (17)

Después del termociclado, los tratamientos superficiales mejoraron la fuerza de unión tanto en GC como en Shofu en comparación con los grupos de control, sin diferencias significativas entre los tratamientos. Şişmanoğlu y Turunç-Oğuzman (10) encontraron resultados similares, quienes observaron que después del envejecimiento, tanto el acondicionamiento con HF como el arenado con partículas de Al_2O_3 pueden mejorar la fuerza de unión de manera similar y, seguido de la aplicación de SCA, los valores pueden aumentar aún más, (15,16) ya que el SCA reacciona con los grupos silanol en las partículas de relleno y los grupos metacrilato en los cementos de resina (15).

Para Enamic, después del termociclado, los tratamientos mejoraron la fuerza de unión en comparación con Enamic sin tratar. Además, el chorro de arena con partículas de Al_2O_3 seguido del acondicionamiento con HF produjo una mayor fuerza de unión que cuando se usó HF solo. Enamic se destaca como el único HC que muestra bandas vibratorias características de compuestos orgánicos e inorgánicos mediante espectroscopia Raman. De acuerdo a Elsaka, (12) tanto el acondicionamiento con HF como el arenado con partículas de Al_2O_3 recubiertas con sílice pueden producir resultados satisfactorios en Enamic. Estos tratamientos modifican la microestructura de Enamic y aumentan el área superficial, mejorando en consecuencia la retención mecánica (12). El HF disuelve parcialmente las fases polimérica y vítrea del material, mientras que la abrasión de partículas en suspensión crea áreas deprimidas con apariencia de cráter, (12) como se corroboró. en este estudio a través del análisis SEM. De manera similar, en este estudio, el arenado con partículas de Al_2O_3 puede haber aumentado aún más la rugosidad de la superficie, favoreciendo así la unión.

La aplicación de un SCA también habría contribuido a la fuerza de unión en Enamic. El efecto de silanización es más efectivo en cerámicas infiltradas con polímeros en comparación con polímeros reforzados con nanopartículas cerámicas (14). Esto se debe a que el SCA establece enlaces covalentes con las partículas de alúmina y sílice, junto con los componentes poliméricos infiltrados de Enamic y los grupos metacrilato del RC (14).

En cuanto a Evolux y Alium, hay información limitada disponible sobre estos HC. Según el fabricante, Evolux es una resina compuesta reforzada con nanopartículas inorgánicas (4). El análisis de espectroscopía Micro-Raman reveló que Evolux exhibe predominantemente bandas vibratorias relacionadas con compuestos orgánicos, lo que sugiere un rendimiento comparable al de materiales como GC y Shofu. Este estudio demostró que los tratamientos de superficie mejoraron la fuerza de unión en Evolux, y la combinación de tratamientos alteró la superficie del HC, como se ve por SEM, lo que resultó en los valores más altos de fuerza de unión después de la fatiga térmica. Estos hallazgos probablemente sean atribuibles a la composición de Evolux, que comprende proporciones aproximadamente iguales de polímero orgánico y partículas cerámicas inorgánicas (4).

La información disponible sobre Alium es relativamente escasa. El fabricante presentó el producto como una cerámica infiltrada con polímero (3), lo que implica un comportamiento similar a Enamic. Sin embargo, la espectroscopía micro-Raman en este estudio solo identificó bandas vibratorias características de compuestos orgánicos. Además, el acondicionamiento con HF, ya sea asociado con Al₂O₃ o no, condujo a una menor fuerza de unión en comparación con el arenado con Al₂O₃ solo. Estos hallazgos sugieren que las partículas cerámicas de Alium podrían ser resistentes al HF, o que Alium podría tener un contenido inorgánico reducido, lo que hace que el chorro de arena con Al₂O₃ sea más significativo que el HF, como se observa a través de SEM. En particular, el chorro de arena con partículas de Al₂O₃ creó una superficie más

rugosa, mientras que el acondicionamiento con HF no mostró ninguna alteración notable. Sin embargo, se observó una mejora en la fuerza de unión en comparación con Alium no tratado.

También se observaron diferencias significativas entre los HC, por lo que se rechazó la segunda hipótesis nula. Cuando los HC no fueron pretratados, Alium exhibió la mayor fuerza de unión en comparación con los otros HC, con la excepción de GC. Desafortunadamente, debido a la limitada información disponible sobre Alium, los factores que contribuyen a este resultado siguen siendo inciertos, lo que enfatiza la necesidad de realizar más estudios. Respecto al GC, Kilinc et al. (20) encontraron que, sin pretratamiento, el GC mantenía su fuerza de unión, a diferencia de otros HC que mostraban una disminución. Además, Berkman et al. (21) demostraron que el GC exhibía la mayor fuerza de unión en comparación con otros HC cuando utilizaba un CR autoadhesivo de la misma marca comercial que el empleado en este estudio. Por tanto, es posible que la composición de los cementos favorezca una fuerte unión con GC.

Cuando la superficie de los HC fue arenada con Al_2O_3 , Alium exhibió una mayor fuerza de unión que GC y Shofu. El chorro de arena con Al_2O_3 aumenta la fuerza de unión al mejorar la rugosidad de la superficie del material (11). El análisis SEM reveló que Alium mostró una superficie más rugosa después de este tratamiento, mientras que Shofu exhibió una superficie ligeramente rugosa y GC no mostró ninguna alteración discernible.

Después de acondicionar los HC con HF, Evolux mostró una mayor fuerza de unión que Enamic después de 24 horas, mientras que GC mostró valores más altos en comparación con los otros HC después de la fatiga térmica. El efecto de este tratamiento depende del tiempo de acondicionamiento y de la concentración de HF(11). En este estudio se aplicó HF al 9% durante 60 segundos;(8,10) sin embargo, algunos estudios sugieren el uso de HF al 5% en Enamic. (12,18) Niizuma et al. al. (13) afirmó que las altas concentraciones de HF disminuyen la fuerza de unión en Enamic debido a la eliminación excesiva de silicio. Considerando que una cierta cantidad de silicio es esencial en la superficie de los HC para reaccionar con el SCA y lograr una alta fuerza de unión,(13) el 9% de HF podría haber provocado una reacción excesiva, alterando significativamente la composición y estructura de Enamic, como se observa mediante SEM.

Aproximadamente la mitad del componente inorgánico de GC consiste en partículas de bario, que no reaccionan con HF(13). De manera similar, Evolux, compuesto de silicio en forma de sílice pirogénica, dióxido de silicio y silicato de circonio, podría sufrir menos alteraciones (4) como se confirmó. a través del SEM. Es posible que el circonio no fuera sensible al HF(22), lo que podría explicar los valores de fuerza de unión obtenidos en este estudio.

Cuando los tratamientos estaban asociados, Enamic exhibió la fuerza de unión más baja, mientras que Evolux y GC demostraron los valores más altos. Estos resultados podrían atribuirse a los factores mencionados anteriormente(4,13,22). El análisis SEM indicó que la superficie de Enamic

parecía similar a la superficie lograda después de usar HF solo, mientras que Evolux y GC parecían ligeramente más rugosos. Por el contrario, Alium exhibió una menor fuerza de unión en comparación con Evolux y GC, posiblemente debido a su composición (3). Sin embargo, se requieren más estudios para corroborar esta suposición.

Cuando los HC no fueron pretratados, se observó una mayor prevalencia de fracturas adhesivas, excepto para Alium. Sin embargo, después del tratamiento, el tipo de fractura más común fue la fractura mixta, y algunas fracturas cohesivas en cerámica se obtuvieron cuando Alium fue arenado con Al₂O₃, Shofu y Enamic fueron acondicionados con HF, y Enamic fue arenado con Al₂O₃ seguido de la aplicación de HF. Estos hallazgos están en línea con los resultados reportados por Srestadatta et al. (23), quienes observaron una mayor prevalencia de fracturas adhesivas en los grupos control y un aumento en el número de fracturas mixtas en los HC tratados. Sin embargo, a diferencia de este estudio, los autores no observaron fracturas cohesivas en la cerámica.(23).

Un mayor número de fracturas adhesivas indica una menor fuerza de unión, mientras que las fracturas mixtas y cohesivas se asocian con valores más altos de fuerza de unión, como se demostró en una investigación previa (20) y se corroboró en este estudio. Especialmente en el caso de Evolux, en condiciones de control sólo se observaron roturas del adhesivo, lo que corresponde a los valores de fuerza de unión más bajos obtenidos. Esta prevalencia de fracturas adhesivas sugiere que la unión entre el CR y el HC no

era lo suficientemente fuerte. Por el contrario, se esperaba una menor prevalencia de fracturas cohesivas en la cerámica debido a la composición polímero-cerámica de los HC, que reduce significativamente su fragilidad y mejora su tenacidad.(5,6).

También es importante resaltar que nuestros hallazgos difieren de los de Şişmanoğlu y Turunç-Oğuzman(10), quienes encontraron que la fatiga térmica puede aumentar el número de fracturas adhesivas. La fatiga térmica simula las condiciones ambientales orales, lo que permite evaluar el rendimiento del material a lo largo del tiempo.(16) Sin embargo, debido a la naturaleza in vitro de nuestro estudio, no fue factible replicar todas las condiciones orales in vivo. Los factores internos, como la saliva, los cambios de pH y las fluctuaciones de temperatura, pueden alterar la longevidad de la restauración. Además, factores externos como la concentración de HF, el tamaño de las partículas de Al₂O₃ y el protocolo de aplicación pueden afectar los resultados. Por lo tanto, son necesarios más estudios. Asimismo, se necesita más investigación sobre Alium y Evolux, dada la limitada información disponible sobre ellos en la literatura.

VI. CONCLUSIONES

El chorro de arena con partículas de Al_2O_3 seguido de la aplicación de HF produjo los valores más altos de fuerza de unión, independientemente del tipo de HC.

La aplicación de 9% HF durante 30 segundos provocó importantes alteraciones superficiales en Enamic, ejerciendo un impacto negativo en su fuerza de adhesión.

A pesar de haber sido clasificada por el fabricante como una cerámica infiltrada con polímero, Alium demostró una fuerza de unión superior entre los HC después de someterse a un proceso de chorro de arena con partículas de Al_2O_3 .

Enamic fue el único HC que mostró composición tanto orgánica como inorgánica, mientras que los otros materiales mostraron una composición predominantemente orgánica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Peumans M, Valjakova EB, De Munck J, Mishevska CB, Van Meerbeek B. Efectividad de unión de composites de cementación a diferentes materiales CAD/CAM. *J Adhes Dent* 2016;18:289–302. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36155>.
2. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. De los bloques artesanales a los CAD-CAM: Estado del arte de los composites indirectos. *J Dent Res* 2016;95:487–95. <https://doi.org/10.1177/0022034516634286>.
3. Alium Comercial. Ficha técnica: Cerámica híbrida multicapa, 2020. Disponible en <https://www.aliu.com.pe/files/HYRAMICDEUPCERAFICHATECNICA2020.pdf> (consultado en enero de 2024)
4. AzulDent. Ficha técnica: Resina nanohíbrida Evolux® Hybrid multicapa, 2020. Disponible en <https://www.aliu.com.pe/files/FICHATECNICARESINANANOHIBRIDAEVOLUXDEBLUEDENT1.pdf> (consultado en enero de 2024).
5. Awada A, Nathanson D. Propiedades mecánicas de los materiales restauradores CAD/CAM resina-cerámica. *J Prosthet Dent* 2015;114:587–93. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.04.016>.

6. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Caracterización de un material de red cerámica infiltrado con polímero. *Dent Mater* 2014;30:564–9. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.02.019>.
7. Yu H, Özcan M, Yoshida K, Cheng H, Sawase T. Unión a bloques compuestos indirectos industriales: una revisión sistemática y un metanálisis. *Dent Mater* 2020;36:119–34. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.11.002>.
8. Elsaka SE. Influencia de los tratamientos superficiales en la fuerza de unión de brackets metálicos y cerámicos a un novedoso material cerámico híbrido CAD/CAM. *Odontología* 2016;104:68–76. <https://doi.org/10.1007/s10266-014-0188-8>.
9. Kawaguchi A, Matsumoto M, Higashi M, Miura J, Minamino T, Kabetani T, et al. Efectividad de unión de cementos de resina adhesivos autoadhesivos y de tipo convencional a bloques de resina CAD/CAM. Parte 2: Efecto de la limpieza ultrasónica y ácida. *Dent Mater J* 2016;35:29–36. <https://doi.org/10.4012/dmj.2015-235>.
10. Şişmanoğlu S, Turunç-Oğuzman R. Fuerza de unión por microcorte de cementos de resina autoadhesivos contemporáneos a materiales de restauración CAD/CAM: efecto del tratamiento de superficie y el envejecimiento. *J Adhes Sci Technol* 2020;34:2484–98. <https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1763543>.
11. Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Rugosidad, energía superficial y daños superficiales de los materiales CAD/CAM después del tratamiento

superficial. Clin Oral Investig 2018;22:2787–97.
<https://doi.org/10.1007/s00784-018-2365-6>

12. Elsaka SE. Fuerza de unión de nuevos materiales de restauración CAD/CAM al cemento de resina autoadhesivo: el efecto de los tratamientos superficiales. J Adhes Dent 2014;16:531–40.
<https://doi.org/10.3290/j.jad.a33198>.

13. Niizuma Y, Kobayashi M, Toyama T, Manabe A. Efecto del grabado con ácido fluorhídrico de baja concentración sobre la fuerza de unión del bloque de resina CAD/CAM. Dent Mater J 2020;39:1000–8.
<https://doi.org/10.4012/dmj.2018-398>.

14. Özcan M, Volpato CAM. Protocolo de acondicionamiento y unión de superficies para cerámica infiltrada con polímeros: ¿cómo y por qué? J Adhes Dent 2016;18:174–5. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a35979>.

15. Özcan M, Vallittu PK. Efecto de los métodos de acondicionamiento de superficies sobre la fuerza de unión del cemento de fijación a la cerámica. Dent Mater 2003;19:725–31. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(03\)00019-8](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(03)00019-8).

16. Spitznagel FA, Horvath SD, Guess PC, Blatz MB. Unión de resina a composite indirecto y nuevos materiales cerámicos/polímeros: una revisión de la literatura. J Esthet Restor Dent 2014;26:382–93.
<https://doi.org/10.1111/jerd.12100>.

17. Ramakrishnaiah R, Alkheraif AA, Divakar DD, Matinlinna JP, Vallittu PK. El efecto de la duración del grabado con ácido fluorhídrico sobre la

micromorfología de la superficie, la rugosidad y la humectabilidad de la cerámica dental. *Int J Mol Sci* 2016;17:1–17. <https://doi.org/10.3390/ijms17060822>.

18. Veríssimo AH, Duarte Moura DM, de Oliveira Dal Piva AM, Bottino MA, de Fátima Dantas de Almeida L, da Fonte Porto Carreiro A, et al. Efecto de diferentes métodos de reparación sobre la fuerza de unión del composite de resina a los materiales CAD/CAM y la adhesión de microorganismos: un estudio in situ. *J Dent* 2020;93:1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103266>.

19. Spitznagel FA, Vuck A, Gierthmühlen PC, Blatz MB, Horvath SD. Unión adhesiva a materiales híbridos: descripción general de materiales y recomendaciones. *Compend Contin Educ Dent* 2016;37:630–7.

20. Kilinc H, Sanal FA, Turgut S. Resistencias de unión al corte de materiales CAD/CAM envejecidos y no envejecidos después de diferentes tratamientos superficiales. *J Adv Prosthodont* 2020;12:273–82. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.5.273>.

21. Berkman M, Tuncer S, Tekçe N, Karabay F, Demirci M. Resistencia de la unión microtensil entre cementos de resina autoadhesivos y bloques cerámicos CAD/CAM a base de resina. *Odovtos - Int J Dent Sci* 2021;23:116–25. <https://doi.org/10.15517/IJDS.2021.43670>.

22. Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesión/cementación a circonio y otras cerámicas sin silicato: ¿dónde estamos ahora? *Dent Mater* 2011;27:71–82. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.022>.↵
23. Sresthadatta P, Sriamporn T, Klaisiri A, Thamrongananskul N. Efecto de los tratamientos superficiales sobre la resistencia al corte del cemento de resina a materiales cerámicos híbridos. *J Int Dent Med Res* 2022;14:125–35..

VIII. TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

Tabla 1. Materiales

Material	Cerámica híbrida	Composición
GC (Cerasmart, GC)	Resina compuesta (29% en peso) reforzada con nanopartículas cerámicas (71% en peso)	Bis-MEPP, UDMA, DMA, vidrio de sílice y bario.
Shofu (Bloque Shofu HC, Shofu)	Resina compuesta (39% en peso) reforzada con nanopartículas cerámicas (61% en peso)	UDMA, TEGDMA, dióxido de silicio y silicato de circonio.
Enámic (Vita Enámic, Vita)	Cerámica feldespática (86% en peso) infiltrada con polímero (14% en peso)	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O, B ₂ O ₃ , CaO, TiO ₂ , UDMA, TEGDMA.
Híbrido (Evolux BlueDent)	Resina compuesta (55-60 % en peso) con nanopartículas cerámicas (40-45 % en peso)	Resina bis-acrílica, MMA, DMA, peróxido de benzoílo, TEGDMA, carboximetilcelulosa, partículas de alúmina silanizada, polisiloxano y dióxido de silicio.
Alium Comercial)	(Alium Cerámica (55-85 % en peso) infiltrada con polímero (13-43 % en peso)	Desconocido Bis GMA, UDMA, TEGDMA, polvo de vidrio, dióxido de silicio

Tabla 2. Comparación de los valores medios de resistencia de unión (desviación estándar) entre los grupos

Material	Tratamiento de superficie							
	Control		Al2O3		HF		Al2O3+HF	
	24 hours	Termociclado	24 hours	Termociclado	24 hours	Termociclado	24 hours	Termociclado
GC	13.34 (4.23)aA*	3.26 (1.59)aAB#	14.87 (6.81)aA*	12.98 (5.43)bA*	19.39 (7.98)abAB*	18.18 (7.98)bA*	24.07 (4.02)bA*	14.57 (10.23)bA#
Evolux	10.63 (4.16)aA*	0.42 (0.52)aA#	18.88 (5.75)bAB*	17.27 (7.82)bAB*	25.50 (8.41)bA*	10.65 (4.52)bB#	26.26 (7.89)bA*	28.05 (10.99)cB*
Alium	20.26 (7.45)abB*	5.90 (3.87)aB#	24.95 (7.60)aB*	25.38 (7.83)bB*	17.47 (10.15)abAB*	13.53 (4.23)cAB*	12.90 (6.66)bBC*	13.03 (5.83)cA*
Shofu	10.64 (5.10)aA*	2.14 (0.88)aA#	16.89 (5.69)abA*	12.67 (8.22)bA*	15.87 (7.08)abAB*	6.97 (6.49)bB#	21.04 (8.40)bAB*	14.68 (5.59)bA#
Enamic	13.48 (5.20)aA*	2.63 (1.32)aA#	18.61 (5.4)aAB*	12.46 (7.49)bcA#	12.42 (8.60)aB*	9.60 (6.99)bB*	12.69 (6.63)aC*	17.99 (9.05)cAB*

($P < 0.05$). Letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre cerámicas híbridas bajo el mismo tratamiento de superficie y tiempo de envejecimiento ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos de superficie dentro de la misma cerámica híbrida y tiempo de envejecimiento ($p < 0,05$). Diferentes símbolos representan diferencias entre tiempos de envejecimiento para la misma cerámica híbrida y tratamiento de superficie ($p < 0,05$).

FIGURAS

Figura 1. Distribución de patrones de fractura después del termociclado.

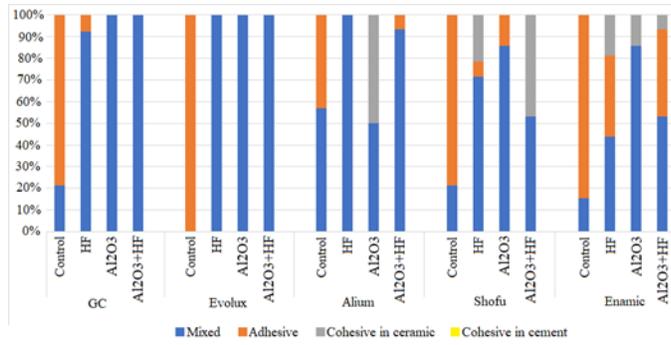


Figura 2. Imágenes SEM representativas de muestras fracturadas (2000x).

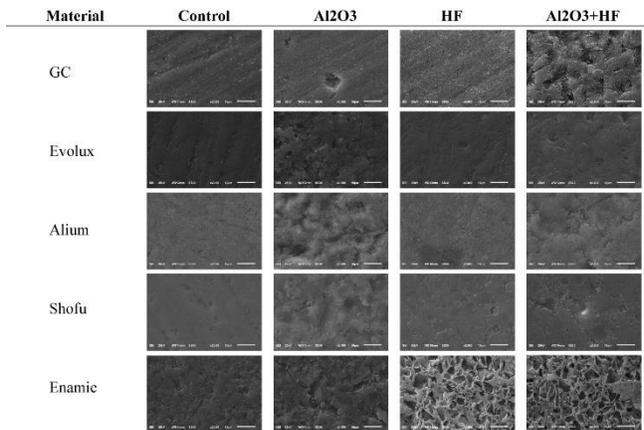


Figure 3. Raman spectra of Vita Enamic.

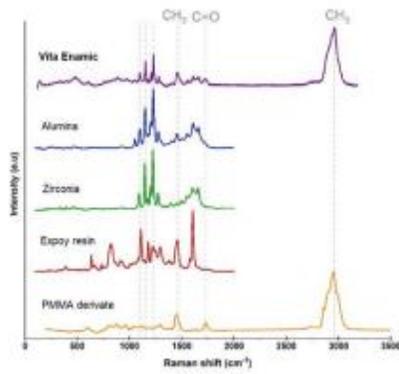


Figure 4. Raman spectra of Cerasmart, Evolux, Alium, and Shofu.

