

Facultad de Ciencias de la Salud

Posgrado de Odontología

Tema:

Influencia de la forma de polimerización en la resistencia flexural y módulo flexural de resinas fluidas bulk.

**Trabajo De Titulación Para La Obtención Del Título De Especialista En
Operatoria Dental Y Estética**

Presentado por:

Juan Sebastián Calderón Montalvo

Tutor:

Dr. Cristian Sánchez Puetate

Quito, marzo del 2026

Resumen

Este estudio fue realizado con el objetivo de evaluar la influencia de la forma de polimerización en las propiedades mecánicas de las resinas compuestas fluidas bulk fill, por medio del análisis de la resistencia a la flexión, módulo flexural y la microdureza antes y posterior al envejecimiento acelerado. Para cumplir con el objetivo, se emplearon tres resinas compuestas de tipo bulk fill comerciales: Tetric N PowerFlow 2 (Ivoclar), ¡Fill-Up! (Coltene) y Stela Automix (SDI). Además, se confeccionaron especímenes ajustados a las características de cada material siguiendo las dimensiones ISO 4049 correspondientes en los ensayos de flexión y microdureza.

Las propiedades de resistencia a la flexión y módulo flexural se evaluaron a través de ensayos de flexión, en cambio, la microdureza fue determinada con el método Vickers. Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados por medio de ANOVA de dos vías, donde se consideraron como factores el tipo de material y el intervalo de envejecimiento, acompañado de la prueba Tukey en comparaciones múltiples, donde se aplicó un nivel de significancia correspondiente a $\alpha = 0.05$.

En los hallazgos se encontró que el material y el envejecimiento afectaron la resistencia a la flexión, el módulo flexural y la microdureza ($p < .001$). Además, se evidenció un intercambio significativo entre material e intervalo respecto a la resistencia flexural y al módulo flexural, a diferencia de la microdureza, donde la interacción no fue significativa. Previo al envejecimiento, la resina Tetric N PowerFlow 2 tuvo los valores más altos en todas las propiedades evaluadas, además mantuvo un desempeño superior posterior a aplicar el envejecimiento. ¡Por otro lado, Fill-Up! presentó valores intermedios. Finalmente, Stela Automix mostró las mayores

reducciones en todas las pruebas aplicadas. Cabe recalcar que, en todos los materiales, el envejecimiento disminuyó estadísticamente las propiedades mecánicas.

En conclusión, la forma de polimerización junto a las respuestas de los materiales frente al envejecimiento acelerado, modifican la resistencia a la flexión, el módulo flexural y la microdureza de las resinas bulk fill. En este estudio, Tetric N PowerFlow 2 presentó la mayor estabilidad mecánica global, por lo contrario, Stela Automix exhibió la menor resistencia a la degradación.

Palabras clave: RESINAS BULK FILL, RESISTENCIA FLEXURAL, MÓDULO FLEXURAL, MICRODUREZA, POLIMERIZACIÓN DENTAL, MATERIALES RESTAURADORES.

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Juan Sebastián Calderón Montalvo

C.I. 1723553697

Dedicatoria

Este proyecto de investigación está dedicado a Dios, a mi madre y a mi país, que me han apoyado toda la vida para ser mejor cada día con la clara visión de servir a mis pacientes con odontología de calidad y calidez, ahora puedo mencionar que existe el deseo intacto que la investigación en Ecuador tome un papel importante en la Odontología a nivel mundial.

Agradezco de manera muy especial al Dr. Cristian Sánchez como director del posgrado y como mi tutor, por ser mi mentor y apoyo incondicional en el camino de aprendizaje que he seguido y seguiré, tomando en cuenta que nuestra profesión nos obliga a seguir actualizando nuestros conocimientos.

Índice

Resumen.....	2
Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos	4
Dedicatoria.....	5
Índice.....	6
Índice de Tablas	8
Índice de Ilustraciones	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción	13
Metodología	18
Preparación de los especímenes.....	18
Grupos experimentales.....	19
Preparación de las muestras para las pruebas de resistencia flexural y módulo de flexión..	19
Almacenamiento	21
Ensayo de resistencia flexural.....	22
Ensayo de módulo de flexión.....	22

	7
Preparación de las muestras para las pruebas de microdureza de Vickers.....	23
Análisis estadístico.....	25
Hallazgos.....	25
Discusión.....	31
Conclusión	35
Referencias.....	36

Índice de Tablas

Tabla 1 Composición y fabricante.....	17
Tabla 2 Resistencia flexural (MPa) de los materiales evaluados antes y después del envejecimiento artificial.....	26
Tabla 3 ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y del envejecimiento en la resistencia flexural.	27
Tabla 4 Módulo flexural (GPa) con y sin envejecimiento para los materiales evaluados.	28
Tabla 5 Resultados del ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y el intervalo de tiempo sobre el módulo de flexión (E).	29
Tabla 6 Microdureza Vickers (VHN) de los materiales evaluados con y sin envejecimiento acelerado.	30
Tabla 7 ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y el intervalo sobre la microdureza Vickers (VHN).....	31

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Preparación de especímenes clase 2 y 3	20
Ilustración 2 Preparación de especímenes clase 1	21

INFLUENCIA DE LA FORMA DE POLIMERIZACIÓN EN LA RESISTENCIA FLEXURAL, MÓDULO FLEXURAL Y MICRODUREZA ANTES Y POSTERIOR AL ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE RESINAS FLUIDAS BULK.

Juan Sebastián Calderón Montalvo

sebcald23@hotmail.com

Resumen

Este estudio fue realizado con el objetivo de evaluar la influencia de la forma de polimerización en las propiedades mecánicas de las resinas compuestas fluidas bulk fill, por medio del análisis de la resistencia a la flexión, módulo flexural y la microdureza antes y posterior al envejecimiento acelerado. Para cumplir con lo propuesto, se emplearon tres resinas de tipo bulk fill comerciales: Tetric N PowerFlow 2 (Ivoclar), ¡Fill-Up! (Coltene) y Stela Automix (SDI). Se confeccionaron especímenes ajustados a las características de cada material siguiendo las normas ISO 4049 correspondientes en los ensayos de flexión y microdureza.

Las propiedades de resistencia a la flexión y módulo flexural se evaluaron a través de ensayos de flexión, por otro lado, la microdureza fue determinada con el método Vickers. Posteriormente, los datos obtenidos fueron analizados por medio de ANOVA de dos vías, donde se consideraron como factores el tipo de material y el intervalo de envejecimiento, acompañado de la prueba Tukey en comparaciones múltiples, donde se aplicó un nivel de significancia correspondiente a $\alpha = 0.05$.

En los hallazgos se encontró que el material y el envejecimiento afectaron la resistencia a la flexión, el módulo flexural y la microdureza ($p < .001$). Además, se evidenció un intercambio

significativo entre material e intervalo respecto a la resistencia flexural y al módulo flexural, a diferencia de la microdureza, donde la interacción no fue significativa. Previo al envejecimiento, la resina Tetric N PowerFlow 2 tuvo los valores más altos en todas las propiedades evaluadas, además mantuvo un desempeño superior luego de aplicar el envejecimiento. Por otro lado, ¡Fill-Up! presentó valores intermedios y finalmente, Stela Automix mostró las mayores reducciones de valores en todas las pruebas aplicadas. Cabe recalcar que, en todos los materiales, el envejecimiento disminuyó estadísticamente las propiedades mecánicas.

En conclusión, la forma de polimerización junto a las respuestas de los materiales frente al envejecimiento acelerado, modifican la resistencia a la flexión, el módulo flexural y la microdureza de las resinas bulk fill. En este estudio, Tetric N PowerFlow 2 presentó la mayor estabilidad mecánica global, por lo contrario, Stela Automix exhibió la menor resistencia a la degradación.

Palabras clave: RESINAS BULK FILL, RESISTENCIA FLEXURAL, MÓDULO FLEXURAL, MICRODUREZA, POLIMERIZACIÓN DENTAL, MATERIALES RESTAURADORES.

Abstract

This study was conducted to evaluate the influence of the polymerization method on the mechanical properties of bulk-fill flowable composite resins by analyzing flexural strength, flexural modulus, and microhardness before and after accelerated aging. To achieve this objective, three commercial bulk-fill resins were used: Tetric N PowerFlow 2 (Ivoclar), Fill-Up! (Coltene), and Stela Automix (SDI). Specimens were prepared according to the characteristics of

each material, following the corresponding ISO 4049 standards for flexural and microhardness testing.

Flexural strength and flexural modulus were evaluated through flexural tests, while microhardness was determined using the Vickers method. Subsequently, the data obtained were analyzed using a two-way ANOVA, considering material type and aging interval as factors, along with Tukey's test for multiple comparisons, applying a significance level of $\alpha = 0.05$.

The findings showed that material and aging affected flexural strength, flexural modulus, and microhardness ($p < .001$). Furthermore, a significant interaction between material and aging interval was observed for flexural strength and flexural modulus, unlike microhardness, where the interaction was not significant. Before aging, Tetric N PowerFlow 2 resin had the highest values for all evaluated properties and maintained superior performance after aging. Fill-Up! showed intermediate values, and Stela Automix exhibited the greatest reductions in values across all tests. It is worth noting that aging statistically decreased the mechanical properties of all materials.

In conclusion, the polymerization method, along with the materials' response to accelerated aging, modifies the flexural strength, flexural modulus, and microhardness of bulk-fill resins. In this study, Tetric N PowerFlow 2 exhibited the greatest overall mechanical stability, while Stela Automix showed the lowest resistance to degradation.

Keywords: BULK FILL RESINS, FLEXURAL STRENGTH, FLEXURAL MODULUS, MICROHARDNESS, DENTAL POLYMERIZATION, RESTORATIVE MATERIALS.

Introducción

En la actualidad, la demanda de la odontología ha tenido un notable incremento, por este motivo los profesionales del área se han enfrentado a la necesidad constante de desarrollar, actualizar y fortalecer sus habilidades, sobre todo en operatoria y estética dental, campos en los que las expectativas de los pacientes son cada vez más altas. Por consiguiente, por motivos estéticos, las amalgamas fueron reemplazadas por resinas compuestas.

No obstante, cabe resaltar que las resinas compuestas han sido utilizadas en incrementos no mayores a 3mm de espesor. (Vaca et al., 2021). En relación con lo anterior, también se ha mencionado que las resinas compuestas tienen como recomendación ser colocados en incrementos de hasta 2 mm de espesor, existiendo preocupación cuando hay profundidades difíciles para una correcta fotopolimerización. (De Mendonça et al., 2021). Poseen una propiedad intrínseca denominada contracción de polimerización, que se traduce en la reducción de la distancia volumétrica del monómero durante la reacción de polimerización, por la conversión de las fuerzas débiles de Van der Waals en enlaces covalentes. (Meereis et al., 2018).

En sí, la contracción no es un problema, sino la tensión generada en la interfaz diente-resina en un espacio particular y definido, provocando, por ejemplo, grietas en el esmalte, deflexión de cúspides, microfiltración y sensibilidad posoperatoria, de tal forma los factores mencionados pueden generar alteraciones en la restauración, provocando desprendimiento o caries secundarias, como causante directa de fracaso está la contracción de polimerización. (Soares et al., 2017)

Como respuesta a estas restricciones surgieron las resinas compuestas tipo Bulk Fill que pueden ser colocadas en incrementos de más de 2 mm de espesor y brindan excelentes propiedades clínicas. (Vaca et al., 2021). Con el fin de manejar la problemática descrita y de ahorrar tiempo de trabajo, además de prevenir errores como la formación de burbujas, fueron creadas las resinas compuestas Bulk Fill (Eweis et al., 2020). En este sentido, estas resinas compuestas han sido descritas como materiales de consistencia fluida o de baja viscosidad, indicados para su uso en un solo incremento de hasta 4 mm de espesor, sin disminuir sus propiedades físicas o la calidad de los dientes restaurados. (Reis et al., 2017).

En estas resinas compuestas, se realizaron modificaciones en la matriz, se disminuyó el volumen de relleno inorgánico para reducir el estrés de contracción durante la fotopolimerización (Haugen et al., 2020). Se aumentó la traslucidez para lograr el paso uniforme de la luz a niveles más profundos, a fin de efectivizar la polimerización (Fronza et al., 2017).

Las resinas compuestas tipo Bulk Fill pueden facilitar el procedimiento restaurador principalmente en cavidades posteriores profundas y anchas de los dientes a ser restaurados. (Alzahrani et al., 2023). Estas resinas incorporan monómeros de menor contracción, como el Aromatic Urethane Dimethacrylate (AUDMA), el Addition–Fragmentation Monomer (AFM) o el Tricyclodecane Dimethanol Diacrylate (TCD-DI-HEA). Algunos sistemas incluyen modificadores de estrés, como el Urethane Dimethacrylate (UDMA) con cadenas flexibles que aplacan tensiones internas y reúnen cargas especiales o con distribución optimizada para menorar la movilidad de los monómeros. Y otras resinas compuestas usan rellenos con geometría y distribución especial que limitan la movilidad de la matriz orgánica durante la polimerización. (Meereis et al., 2018)..

Asimismo, existen resinas fluidas Bulk Fill, las cuales, gracias a que poseen una baja viscosidad, tienen la capacidad de ser inyectadas dentro de la cavidad y de adaptarse con mayor facilidad a sus paredes, no obstante, han presentado la limitación de que suelen presentar menor resistencia al desgaste y que para evitarlo es necesario colocar una capa adicional de resina compuesta convencional. (Ehlers et al., 2019; Nozari et al., 2024). En cambio, las resinas compactables bulk-fill facilitan la restauración completa de la cavidad con una sola aplicación. (Nozari et al., 2024)

En este sentido, las resinas fluidas han presentado propiedades mecánicas, dichas propiedades han ido cambiando según la composición de las resinas, mejorando con la finalidad de expandir las opciones de tratamiento en una gama más amplia de situaciones clínicas. (Sulca Gonzales & López-Flores, 2023). La fotopolimerización depende de una fuente de luz para iniciar la reacción de polimerización, mientras que la auto polimerización se activa por una reacción química entre componentes y finalmente la polimerización dual combina ambos mecanismos, ofreciendo mayor versatilidad. (Vandewalker et al., 2016). Además, las resinas compuestas de fotopolimerización tienden a reducir su tamaño durante la polimerización, con lo cual se crean microespacios en la interfaz composite-diente. Sin embargo, las resinas de auto polimerización, únicamente se basan en reacciones químicas y, pese a presentar una polimerización más lenta, permite reducir la tensión durante la adhesión (Özdemir et al., 2025). Respecto a la resistencia flexural, ha sido descrita como una propiedad mecánica que mide la capacidad de un material para resistir la deformación bajo una carga. (Roque, 2023). Mientras que el módulo flexural ha sido descrito como la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria en la parte elástica de una prueba de flexión (De Mendonça et al., 2021). Por otro lado, la microdureza ha sido definida como la

capacidad de un material para resistir la deformación localizada cuando es sometido a una carga controlada, de tal manera, cuanto mayor es la microdureza, mayor es la capacidad del material de disipar las fuerzas frente a un estímulo.(Bayme et al., 2023)

Por ende, considerando que las resinas Bulk Fill han presentado variaciones respecto a su composición y viscosidad, surgió la necesidad de evaluar estas diferencias para comprender cómo pueden influir en sus propiedades mecánicas esenciales. Por ello, en este estudio se evaluaron la resistencia flexural, el módulo flexural y la microdureza, los cuales han constituido parámetros determinantes para valorar la función estructural de la resina compuesta. De esta forma, emergió la pertinencia de evaluar experimentalmente el efecto de los distintos modos de polimerización en resinas compuestas tipo Bulk Fill, con la finalidad de obtener evidencia relevante para detallar su comportamiento y contribuya a la toma de decisiones clínicas.

Frente a lo expresado, la investigación evaluó la influencia de tres tipos de polimerización; fotopolimerización, auto polimerización y polimerización dual en las resinas fluidas Bulk Fill. Cada una de las resinas está detallada en la tabla 1, incluyendo su composición química. La hipótesis nula sugiere que el tipo de material y el envejecimiento no producen diferencias significativas en la resistencia flexural, el módulo flexural ni la microdureza de las resinas bulk-fill.

Tabla 1*Composición y fabricante*

Nombre del Material	Composición	Polimerización	Fabricante
Tetric® N-PowerFlow 2	Vidrio de bario, Bis-EMA, copolímero, metacrilato aromático, Bis-GMA, trifluoruro de iterbio, DCP	Fotopolimerización	Ivoclar Vivadent/Schaan, Liechtenstein
Fill-Up!	Matriz: TMPTMA, UDMA, Bis-GMA, TEGDMA Relleno: Recubrimiento de óxido de zinc, vidrio dental, sílice amorfa Fotoiniciador: Peróxido de dibenzoilo, peróxido de benzoilo	Polimerización Dual	Coltene/Whaledent, Altstätten, Switzerland
Stela Automix	DUDMA (10-25 %), dimetacrilato de glicerol (GDMA; 5-10 %), fluoruro de iterbio (3-7 %) y 10-MDP (1-5 %). Contenido de relleno: Vidrio de fluoroaluminosilicato: tamaño medio de partícula: 4,0 µm (rango de distribución aprox. de 2 a 8 µm) y vidrio de bario-aluminoborosilicato: tamaño medio de partícula: 2,8 µm (rango de distribución aprox. de 2 a 5 µm). Carga de relleno: 61,2 % en peso (36,4 % en volumen).	Autopolimerización	SDI/Victoria, Australia

Fuente: Elaboración propia

Metodología

Diseño del estudio

El estudio fue in vitro, de tipo comparativo, siguiendo los lineamientos generales de la norma ISO 4049 para la preparación, almacenamiento y evaluación mecánica de materiales restauradores a base de resina.

Preparación de los especímenes

Se confeccionaron un total de treinta especímenes rectangulares de resinas fluidas Bulk Fill, los cuales fueron distribuidos en tres grupos experimentales ($n = 10$ cada uno), cada grupo representa a un tipo de resina fluida Bulk Fill. Para su confección se utilizó un molde metálico de acero inoxidable con dimensiones estandarizadas de $25 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$, conforme a la norma ISO 4049.

Para la polimerización de cada tipo resina, se siguió los parámetros de las normas ISO 4049, según la clase a la que pertenece cada grupo y finalmente fue verificado cada espécimen con lupa, para descartar las muestras defectuosas o con burbujas y elaborar nuevas hasta completar el tamaño muestral con las características requeridas.

Grupos experimentales

Preparación de las muestras para las pruebas de resistencia flexural y módulo de flexión.

Grupo I – Resina de Fotopolimerización (Tetric N-PowerFlow 2, IVOCLAR). Grupo perteneciente a la Clase 2 de materiales de polimerización según la norma ISO 4049. En este grupo experimental el material fue colocado entre dos portaobjetos de vidrio cubiertos con tiras de poliéster. La fotopolimerización se realizó mediante una lámpara LED Grand Valo (Ultradent) posicionada a 1 cm de distancia. Se aplicaron tres exposiciones de fotopolimerización de 40 segundos cada una, en la superficie superior y tres exposiciones de 40 segundos en la inferior, desplazando la luz de manera uniforme a lo largo de la muestra. Tras la polimerización, los especímenes fueron retirados del molde y se eliminaron los excesos mediante una hoja de bisturí 11 y una lija de grano fino.

Grupo C – Resina de Polimerización Dual (¡Fill-Up!, CO LTENE). Grupo perteneciente a la Clase 3 de materiales de polimerización según la norma ISO 4049. Las muestras se elaboraron siguiendo el mismo procedimiento del Grupo I. Sin embargo, antes de la fotopolimerización, los especímenes fueron dejados en reposo durante 3 minutos para permitir la completa autopolimerización interna, según indicaciones del fabricante.

Ilustración 1

Preparación de especímenes clase 2 y 3

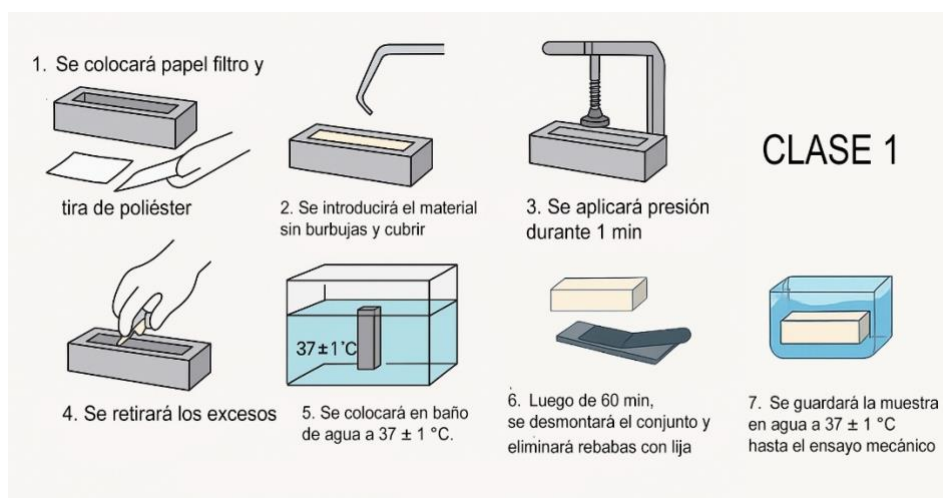


Nota: Esquema ilustrativo del procedimiento de preparación de especímenes de resinas de Clase 2 y 3 según la norma ISO 4049, mostrando la colocación del material en el molde, la fotopolimerización por ambas superficies, el acondicionamiento térmico y el acabado previo a los ensayos mecánicos.

Grupo S – Resina de Autopolimerización (Stela Automix, SDI). Grupo perteneciente a la Clase 1 de materiales de polimerización según la norma ISO 4049. En este grupo no se empleó lámpara de fotopolimerización. Una vez llenado el molde, se permitió la polimerización química durante 4 minutos, conforme a las especificaciones del fabricante. Luego se desmontó el conjunto y se eliminaron los excesos mediante una hoja de bisturí N.º 11 y una lija de grano fino.

Ilustración 2

Preparación de especímenes clase 1



Nota: Esquema ilustrativo del procedimiento de preparación de especímenes de resinas de Clase 1, demostrando la inserción del material en el molde, la polimerización química bajo presión, el acondicionamiento térmico y el acabado superficial previo a los ensayos mecánicos, conforme a los lineamientos generales de la norma ISO 4049.

Almacenamiento

Todos los especímenes fueron almacenados en agua destilada a $37 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas en un baño de temperatura controlada, siguiendo ISO 4049.

Ensayo de resistencia flexural

La resistencia flexural se evaluó mediante una prueba de flexión de tres puntos en una máquina de ensayo universal, específicamente la MTS modelo T5002. Cada barra fue colocada sobre dos soportes separados 20 mm. Se aplicó carga en el centro de la muestra a una velocidad de desplazamiento del cabezal de 0.5 mm/min hasta la fractura.

El valor de resistencia flexural (FS, en MPa) se calculó con la fórmula:

$$FS = \frac{3 F_{max} \cdot L}{2 b h^2}$$

Donde:

- F_{max} = carga máxima aplicada (N)

- L = distancia entre apoyos (20 mm)

- b = ancho del espécimen (2 mm)

- h = espesor del espécimen (2 mm)

Ensayo de módulo de flexión

El módulo de flexión fue evaluado mediante una prueba de flexión de tres puntos con ayuda de una máquina de ensayo universal, concretamente la MTS modelo T5002. Los especímenes fueron colocados sobre dos apoyos separados 20 mm y se aplicó una carga en el centro de la muestra a una velocidad de desplazamiento del cabezal de 0.5 mm/min, registrándose la relación carga-deflexión dentro del rango elástico del material.

Se calculó mediante la siguiente fórmula

$$\sigma = \frac{3 F l}{2 b h^2}$$

Donde:

- **σ** : resistencia a la flexión (MPa)
- **F**: carga máxima (N)
- **l**: distancia entre apoyos (mm)
- **b**: ancho del espécimen (mm)
- **h**: altura del espécimen (mm)

Preparación de las muestras para las pruebas de microdureza de Vickers

Para la preparación de las muestras para el ensayo de microdureza de Vickers se siguieron minuciosamente los lineamientos generales de la norma ISO 4049 para materiales restauradores a base de resina, adaptados a las condiciones experimental y condiciones requeridas del estudio. En este contexto, para este evaluar la microdureza se realizaron discos de resina utilizando un molde metálico de acero inoxidable con dimensiones de 10mm de diámetro y 3mm de espesor distribuidas en tres grupos experimentales (n = 10), según el mecanismo de polimerización de cada material.

En el Grupo S (Stela Automix, SDI), correspondiente a materiales de Clase 1 según ISO 4049, se colocó una tira de poliéster sobre una placa metálica, sobre la misma fue colocado el molde. Posteriormente, se introdujo el material en el molde según instrucciones del fabricante,

evitando la incorporación de burbujas. Luego, se colocó una segunda tira de poliéster y una placa metálica superior con el fin de quitar el exceso de material para obtener superficies planas. Se permitió la polimerización química del material durante 4 minutos a temperatura ambiente, conforme a las especificaciones del fabricante. Finalizado este tiempo, el espécimen fue retirado del molde y se eliminaron los excesos e irregularidades periféricas mediante una hoja de bisturí N.º 11 y una lija de grano fino.

En el Grupo I (Tetric N-PowerFlow 2, Ivoclar), correspondiente a materiales de Clase 2 según ISO 4049, el procedimiento de llenado del molde fue similar al descrito anteriormente. Tras desplazar el exceso de material, la placa metálica superior fue reemplazada por un portaobjetos de vidrio cubierto con una tira de poliéster. La fotopolimerización fue realizada con la lámpara LED Grand Valo (Ultradent), posicionada a 1 cm de distancia, aplicando una exposición de 40 segundos sobre la superficie superior. Posteriormente, se invirtió el molde y se repitió el procedimiento de fotopolimerización en la superficie inferior, asegurando una polimerización homogénea del espécimen. Una vez finalizada la polimerización el disco fue retirado del molde y se eliminaron los excesos con bisturí y lija de grano fino.

En el Grupo C (¡Fill-Up!, Coltene), correspondiente a materiales de Clase 3 según ISO 4049, los especímenes fueron confeccionados bajo el mismo procedimiento del Grupo I, con la diferencia de que previo a la fotopolimerización, las muestras se dejaron en reposo durante 3 minutos para permitir la autopolimerización química inicial, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Una vez autopolimerizado, se realizó la fotopolimerización por ambas superficies siguiendo el mismo protocolo descrito para los materiales de Clase 2, y se procedió a la eliminación de excesos e irregularidades periféricas.

Una vez confeccionados, todos los especímenes fueron almacenados en agua destilada a 37 ± 1 °C durante 24 horas, antes de realizar el ensayo de microdureza Vickers.

Las mediciones se realizaron en un microdurómetro Vickers aplicando una carga de 100 g durante 10 segundos. En cada espécimen se realizaron tres indentaciones equidistantes, calculándose el valor promedio.

La microdureza Vickers (HV) se calculó con la ecuación estándar:

$$HV = 1.8544 \cdot \left(\frac{F}{d^2}\right)$$

Donde:

- F = carga aplicada (kgf)

- d = promedio de las diagonales de la indentación (mm)

Análisis estadístico

Finalmente, los datos obtenidos se registraron en una hoja de cálculo y fueron analizados en SPSS. Se evaluó la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Se aplicó ANOVA de un factor con prueba post hoc de Tukey, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0.05$.

Hallazgos

En la tabla 2 se muestra que la resistencia flexural presentó variaciones significativas entre los materiales evaluados, tanto antes como después del envejecimiento. Para empezar, previo al envejecimiento, Tetric N-PowerFlow 2 presentó la mayor resistencia flexural ($130.9 \pm$

11.8 MPa), donde fue estadísticamente superior a la resina Fill-Up! (115.1 ± 7.3 MPa) y Stela Automix (114.8 ± 9.9 MPa), las cuales no presentaron ninguna diferencia entre sí. Posterior al envejecimiento, la resina Tetric conservó los valores más altos sin ninguna reducción significativa (121.5 ± 8.0 MPa) por otro lado, Fill-Up! disminuyó ligeramente (111.4 ± 8.1 MPa), pero mantuvo valores más altos que los de Stela. Por lo contrario, Stela Automix tuvo la mayor caída tras aplicar el envejecimiento (87.0 ± 8.4 MPa), siendo significativamente inferior a los otros dos materiales y evidenciando una notoria reducción en comparación a su condición inicial. una reducción evidente respecto a su condición inicial. En conjunto, Tetric exhibió la mayor estabilidad mecánica frente al envejecimiento, mientras que Stela fue la resina más afectada.

Tabla 2

Resistencia flexural (MPa) de los materiales evaluados antes y después del envejecimiento artificial.

MATERIAL	NON-AGING	AGING
TPF	130.9 ± 11.8 Aa	121.5 ± 8.0 Aa
FUP	115.1 ± 7.3 Ba	111.4 ± 8.1 Ba
STE	114.8 ± 9.9 Ba	87.0 ± 8.4 Cb

Nota: Las letras similares (mayúsculas dentro de la columna; minúsculas dentro de la fila) indican que las medias no son significativamente diferentes (alfa preestablecida de 0,05).

En la tabla se encontró que tanto el tipo de material como el intervalo de envejecimiento influenciaron directamente a la resistencia flexural ($P < .001$). Respecto a el factor material se

encontró que presentó el mayor impacto ($F = 39.247$), lo cual evidencia que se encontraron diferencias marcadas entre las tres resinas evaluadas. Respecto a el intervalo (envejecido vs no envejecido) igualmente demostró un efecto significativo ($F = 34.108$), con lo cual se comprobó que el envejecimiento influyó significativamente en la resistencia mecánica. Asimismo, respecto a la interacción *material* \times *intervalo* fue estadísticamente significativa ($F = 9.649$; $P < .001$), con lo cual se demostró que el efecto del envejecimiento no fue similar y presentó una variación según el tipo de resina. En conjunto, la tabla 3 confirmó que la resistencia flexural dependió del material empleado y de su respuesta diferencial frente al envejecimiento.

Tabla 3

ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y del envejecimiento en la resistencia flexural.

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P
Material	6408.28	2	3204.14	39.247	$P < .001$
Interval	2784.61	1	2784.61	34.108	$P < .001$
Material *	1575.47	2	787.74	9.649	$P < .001$
Interval					
Error	4408.59	54	81.64		
Total	15176.95	59			

En la tabla 4 se evidenció que el módulo flexural se redujo posterior a aplicar el envejecimiento en los tres materiales evaluados, pese a que fue en magnitudes diferentes según la resina. En este sentido, la resina Tetric PowerFlow tuvo los valores más altos sin envejecimiento (7.91 ± 0.39 GPa) como tras el envejecimiento (7.27 ± 0.24 GPa), así, se

mantuvo como el material con más rigidez. ¡Por otro lado, Fill-Up! Presentó una reducción leve (7.61 ± 0.29 a 7.06 ± 0.27 GPa), donde tuvo valores intermedios. Respecto a la resina Stela Automix, la disminución fue más visible (7.10 ± 0.18 a 6.32 ± 0.22 GPa), con lo cual se evidenció una mayor susceptibilidad al deterioro posterior al envejecimiento. En conjunto, los datos demostraron que el envejecimiento reduce la rigidez flexural en todas las resinas, pero el grado de afectación depende del material.

Tabla 4 Módulo flexural (GPa) con y sin envejecimiento para los materiales evaluados.

MATERIAL	NON-AGING	AGING
TPF	7.91 ± 0.39 Aa	7.27 ± 0.24 Ab
FUP	7.61 ± 0.29 Ba	7.06 ± 0.27 Bb
STE	7.10 ± 0.18 Ca	6.32 ± 0.22 Cb

Nota: Las letras similares (mayúsculas dentro de la columna; minúsculas dentro de la fila) indican que las medias no son significativamente diferentes (alfa preestablecida de 0,05).

En la tabla 5 se encontró que tanto el tipo de material como el intervalo de tiempo presentaron efectos sobre el módulo de flexión (E), evidenciándose diferencias entre materiales ($F = 55.488$, $P < .001$) y entre intervalos ($F = 86.050$, $P < .001$). No obstante, la interacción Material \times Intervalo no fue significativa ($F = 0.893$, $P = .415$), lo que indica que los cambios en el módulo de flexión a través del tiempo fueron similares para todos los materiales evaluados.

Tabla 5

Resultados del ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y el intervalo de tiempo sobre el módulo de flexión (E).

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P
Material	8.291	2	4.145	55.488	$P < .001$
Interval	6.429	1	6.429	86.050	$P < .001$
Material *	0.133	2	0.067	0.893	.415
Interval					
Error	4.034	54	0.075		
Total	18.887	59			

En la tabla 6 se demostró que la microdureza Vickers presentó una disminución en todos los materiales posterior al envejecimiento, indicando un deterioro significativo de la resistencia superficial. En la condición sin envejecimiento, TPF presentó los valores más altos (63.2 ± 1.8), seguido por FUP (55.1 ± 2.3) y STE (48.0 ± 3.0), con diferencias significativas entre ellos, como indican las letras mayúsculas distintas. Tras el envejecimiento, esta tendencia fue constante (TPF > FUP > STE), aunque mantuvo valores reducidos: 59.4 ± 2.0 , 46.3 ± 2.1 y 39.8 ± 2.2 , respectivamente. Las letras minúsculas dentro de cada fila mostraron que cada material experimentó una disminución significativa de microdureza después del envejecimiento ($a \neq b$). En conjunto, los datos evidencian que todos los materiales son susceptibles a la degradación por envejecimiento, aunque TPF conserva la mayor microdureza inicial y final.

Tabla 6

Microdureza Vickers (VHN) de los materiales evaluados con y sin envejecimiento acelerado.

MATERIAL	NON-AGING	AGING
TPF	63.2 ± 1.8 Aa	59.4 ± 2.0 Ab
FUP	55.1 ± 2.3 Ba	46.3 ± 2.1 Bb
STE	48.0 ± 3.0 Ca	39.8 ± 2.2 Cb

Nota: Las letras similares (mayúsculas dentro de la columna; minúsculas dentro de la fila) indican que las medias no son significativamente diferentes (alfa preestablecida de 0,05).

En la tabla 7 se encontró que tanto el tipo de material como el intervalo de tiempo ejercieron efectos significativos sobre la microdureza Vickers (VHN), con diferencias estadísticamente significativas entre materiales ($F = 84.3$, $P < .001$) y entre intervalos ($F = 86.6$, $P < .001$). Sin embargo, la interacción Material \times Intervalo no fue significativa ($F = 0.11$, $P = .895$), lo que indica que la variación en microdureza a través de los intervalos evaluados fue similar para todos los materiales, sin evidenciarse efectos combinados entre ambos factores. En conjunto, los resultados sugieren que material e intervalo influyen de manera independiente en la microdureza, pero no presentan interacción estadística.

Tabla 7

ANOVA de dos vías para evaluar el efecto del material y el intervalo sobre la microdureza

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	P
Material	1048.22	2	524.11	84.3	<i>P</i> <.001
Interval	539.10	1	539.10	86.6	<i>P</i> <.001
Material *	1.41	2	0.71	0.11	.895
Interval					
Error	149.45	24	6.23		
Total	1738.18	29			

Vickers (VHN)

Discusión

Los resultados de esta investigación permiten rechazar las hipótesis nulas planteadas, debido a que el tipo de material, el envejecimiento y la interacción entre estos factores presentó una influencia significativa en la resistencia flexural, módulo flexural y microdureza Vickers. De tal forma, se confirmó que la composición química, el contenido de carga y la estabilidad matriz-relleno fueron determinantes en el desempeño mecánico de los composites.

En este sentido, como resultado se encontró que todos los materiales evaluados presentaron diferencias características respecto a sus propiedades mecánicas. En todos los casos, el orden de desempeño fue: ¡Tetric N-PowerFlow 2 > Fill Up! > Stela Automix. Dicho patrón de desempeño coincidió con el contenido de carga de cada material. Es decir, los composites que tuvieron mayor contenido de carga, según indicaciones del fabricante, presentaron una mejor transferencia de esfuerzos, lo que fue consistente con lo reportado por Varghese et al. en su

estudio, donde mencionó que logró identificar una relación lineal entre el contenido de relleno y la microdureza de la superficie. (Varghese et al., 2024).

Paralelamente, Tayeb et al. en su estudio hicieron una comparación de composites de resina impresos en 3D donde evidenciaron que el contenido de relleno se asoció de forma significativa con la resistencia a la flexión y con la microdureza. Es decir, los materiales con mayor porcentaje de carga inorgánica presentaron mayor resistencia flexural.(Tayeb et al., 2025). En este sentido, Alzahrani et al. hicieron una prueba con materiales bulk fill fotopolimerizables y de fotopolimerización dual, donde encontraron que los composites que presentaron un mayor contenido de carga y fotopolimerización exclusivamente con la lámpara LED obtuvieron valores significativamente superiores de dureza y resistencia en comparación a los materiales de fotopolimerización dual (Alzahrani et al., 2023).

Respecto a la resistencia flexural, los cambios observados tras el envejecimiento fueron congruentes con los encontrados por Varghese et al. quienes demostraron que los composites autopolimerizables presentaron una mayor disminución en la resistencia por degradación hidrolítica (Varghese et al., 2024). En este sentido, De Mendonca et al. explicó este fenómeno debido a que cuando la polimerización se reduce en las capas más profundas de las restauraciones, el material tiende a perder resistencia y con ello se hace más susceptible a complicaciones como reducción de la dureza y menor resistencia al desgaste (De Mendonça et al., 2021). En este estudio, Stela Automix mostró la mayor reducción en resistencia, coincidiendo con lo explicado por los autores.

Como consecuencia de la mayor reducción en resistencia que mostró Stela Automix, este hallazgo puede interpretarse a la luz de lo reportado por Laporte et al, quienes hicieron un

análisis del comportamiento mecánico de Stela Automix en comparación con composites fotopolimerizables convencionales, donde hallaron que el material autopolimerizable presentó una resistencia inicial elevada pero que el envejecimiento produjo una disminución significativa de sus propiedades mecánicas (Laporte et al., 2025)

Respecto al módulo flexural, en este estudio se encontró que Tetric N-PowerFlow 2 presentó los valores más altos antes y después del envejecimiento, lo cual es consistente con Varghese et al. quien estudió la correlación directa entre módulo y contenido de carga. Por otro lado, Stela presentó el módulo flexural más bajo (Tayeb et al., 2025).

Respecto a la Microdureza, ésta disminuyó tras el envejecimiento, sobre todo en ¡Fill Up! y Stela Automix, este resultado es pertinente con lo reportado por De Mendoca et al. quienes describieron que los materiales con matrices hidrofílicas han tenido presencia de microfisuración y una mayor pérdida de estabilidad superficial. De manera similar, Colombo et al. reportaron reducción significativas en la microdureza posterior a la exposición a medios húmedos o ácidos, relacionando esta deteriorización con la disolución parcial de la matriz y degradación superficial progresiva (Colombo et al., 2020). Al mismo tiempo, Strini et al. evidenciaron que las diferencias en grado de conversión entre las resinas bulk-fill demostraron las variaciones en microdureza, donde los composites de menor conversión más vulnerables al deterioro posterior al envejecimiento (Strini et al., 2022).

De igual manera, este hallazgo coincidió con lo evidenciado en el estudio de Birant y Gümüştaş, donde encontraron que el envejecimiento térmico provocó una disminución de la microdureza en materiales restauradores bioactivos, lo cual fue atribuido a los factores de alteración en la matriz resinosa, aumento de la microporosidad superficial y cambios dentro de la

composición del material. En el mismo estudio, realizaron un análisis SEM/EDS donde encontraron que el envejecimiento estuvo asociado con un aumento de la rugosidad superficial y con la disolución iónica. (Birant & Gümüştas, 2024)

En concordancia con los hallazgos del estudio, también se encontró por parte de Szczesio-Wlodarczyk et al. que el envejecimiento de las resinas con base de resinas de metacrilato fue un proceso multifactorial influido por la sorción de agua, debilitamiento de la matriz interfaz-relleno y degradación hidrolítica de la matriz resinosa, con lo cual se obtiene una notable reducción de las propiedades mecánicas como resistencia flexural, módulo flexural y microdureza (Szczesio-Wlodarczyk et al., 2020). En este sentido, Dağdelen Ahisha y Üçtaşlı en también su estudio demostraron que el tipo de composite y el método de envejecimiento influyeron notablemente en la microdureza y rugosidad del material, evidenciándose que el ciclado térmico provocó un deterioro más marcado que el almacenamiento en agua.

Una de las limitaciones importantes que presentó este estudio fue que las pruebas mecánicas fueron realizadas sobre especímenes estandarizados elaborados de acuerdo con la norma ISO 4049, con lo que se aseguró una uniformidad metodológica pero no se reprodujeron las condiciones características de la cavidad oral ni las de una restauración sometida a variaciones térmicas, cargas masticatorias, cambios en el pH, entre otras. De igual manera, el envejecimiento representó una aproximación parcial al proceso de la degradación del material, pero no tomó en cuenta otros factores como la degradación enzimática, fatiga mecánica o exposición continua a sustancias solventes.

Conclusión

La resina bulk Tetric N-PowerFlow 2 presentó el mejor comportamiento mecánico general, seguido de ¡Fill Up! y Stela Automix. Estas distinciones se argumentan por la formulación química y el contenido de carga según el fabricante, lo cual coincidió con estudios previos. Es decir, los materiales con menor hidrofobicidad y menor grado de conversión son más susceptibles a degradación y a la pérdida de propiedades mecánicas.

Referencias

- Alzahrani, B., Alshabib, A., & Awliya, W. (2023). Surface hardness and flexural strength of dual-cured bulk-fill restorative materials after solvent storage. *BMC Oral Health*, 23(1), 306. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03047-2>
- Bayme, J., Santos, T., Nascimento, J., Simoes, A., Fernandes, S., & Souza, A. (2023). *A influência de diferentes espessuras de matrizes de silicone na microdureza de resinas injetáveis*. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/59394/42991>
- Birant, S., & Gümüştas, B. (2024). The effect of thermal aging on microhardness and SEM/EDS for characterisation bioactive filling materials. *BMC Oral Health*, 24(1), 1142. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04643-6>
- Colombo, M., Gallo, S., Poggio, C., Ricaldone, V., Arciola, C. R., & Scribante, A. (2020). New Resin-Based Bulk-Fill Composites: In vitro Evaluation of Micro-Hardness and Depth of Cure as Infection Risk Indexes. *Materials*, 13(6), 1308. <https://doi.org/10.3390/ma13061308>
- Dağdelen Ahışa, C., & Üçtaşlı, M. B. (2025). Effect of Different Aging Methods on Surface Microhardness and Roughness of Anterior Resin Composites: An In Vitro Study. *Materials*, 18(20), 4684. <https://doi.org/10.3390/ma18204684>
- De Mendonça, B. C., Soto-Montero, J. R., De Castro, E. F., Pecorari, V. G. A., Rueggeberg, F. A., & Giannini, M. (2021). Flexural strength and microhardness of bulk-fill restorative

- materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(4), 628-635.
<https://doi.org/10.1111/jerd.12727>
- Ehlers, V., Gran, K., Callaway, A., & Azrak, B. (2019). *One-year Clinical Performance of Flowable Bulk-fill Composite vs Conventional Compomer Restorations in Primary Molars*. 21(3). <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31093618/>
- Fronza, B., Ayres, A., Pacheco, R., Rueggeberg, F., Dias, C., & Giannini, M. (2017). Characterization of Inorganic Filler Content, Mechanical Properties, and Light Transmission of Bulk-fill Resin Composites. *Operative Dentistry*, 42(4), 445-455.
<https://doi.org/10.2341/16-024-L>
- Haugen, H. J., Marovic, D., Par, M., Khai Le Thieu, M., Reseland, J. E., & Johnsen, G. F. (2020). Bulk Fill Composites Have Similar Performance to Conventional Dental Composites. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 5136.
<https://doi.org/10.3390/ijms21145136>
- Laporte, C., Bourgi, R., Jmal, H., Ben Ammar, T., Hazko, S., Addiego, F., Sauro, S., Haïkel, Y., & Kharouf, N. (2025). Mechanical, Antibacterial, and Physico-Chemical Properties of Three Different Polymer-Based Direct Restorative Materials: An In Vitro Study. *Polymers*, 17(9), 1272. <https://doi.org/10.3390/polym17091272>
- Meereis, C. T. W., Münchow, E. A., De Oliveira Da Rosa, W. L., Da Silva, A. F., & Piva, E. (2018). Polymerization shrinkage stress of resin-based dental materials: A systematic review and meta-analyses of composition strategies. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 82, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.03.019>

- Nozari, A., Pakniyat, M., Abbas, F., & Jowkar, Z. (2024). Influence of Different Application Modes of a Universal Adhesive System on the Bond Strength of Bulk-Fill Composite Resin to Enamel and Dentin in Primary Teeth. *2024*, *10*(4).
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cre2.947>
- Reis, A. F., Vestphal, M., Amaral, R. C. D., Rodrigues, J. A., Roulet, J.-F., & Roscoe, M. G. (2017). Efficiency of polymerization of bulk-fill composite resins: A systematic review. *Brazilian Oral Research*, *31*(suppl 1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0059>
- Roque, J. (2023, agosto). *MICRODUREZA, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y GRADO DE CONVERSIÓN EN RESINAS COMPOSITAS: SU RELACIÓN CON EL PROCESO DE FOTOPOLIMERIZACIÓN, COMO INTERPRETARLOS Y APLICARLOS A LA SELECCIÓN DEL MATERIAL RESTAURADOR*. *12*(2), 24-30.
- Soares, C. J., Faria-E-Silva, A. L., Rodrigues, M. D. P., Vilela, A. B. F., Pfeifer, C. S., Tantbirojn, D., & Versluis, A. (2017). Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin cements – What do we need to know? *Brazilian Oral Research*, *31*(suppl 1).
<https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0062>
- Strini, B. S., Marques, J. F. de L., Pereira, R., Sobral-Souza, D. F., Pecorari, V. G. A., Liporoni, P. C. S., & Aguiar, F. H. B. (2022). Comparative Evaluation of Bulk-Fill Composite Resins: Knoop Microhardness, Diametral Tensile Strength and Degree of Conversion. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, *14*, 225-233.
<https://doi.org/10.2147/CCIDE.S376195>

- Sulca Gonzales, E. L., & López-Flores, A. I. (2023). Resistencia flexural de las resinas fluida convencional, fluida bulk fill y fluida de alta carga: Estudio in vitro. *Revista Científica Odontológica*, *11*(3), e161. <https://doi.org/10.21142/2523-2754-1103-2023-161>
- Szczesio-Wlodarczyk, A., Sokolowski, J., Kleczewska, J., & Bociong, K. (2020). Ageing of Dental Composites Based on Methacrylate Resins—A Critical Review of the Causes and Method of Assessment. *Polymers*, *12*(4), 882. <https://doi.org/10.3390/polym12040882>
- Tayeb, H. K., Silikas, N., Alhaddad, A. J., & Satterthwaite, J. (2025). Flexural Strength and Hardness Analysis of 3D-Printed vs. Milled Resin Composites Indicated for Definitive Crowns. *Journal of Functional Biomaterials*, *16*(12), 468. <https://doi.org/10.3390/jfb16120468>
- Thadathil Varghese, J., Raju, R., Farrar, P., Prentice, L., & Prusty, B. (2024). Comparative analysis of self-cure and dual cure-dental composites on their physico-mechanical behaviour. *Australian Dental Journal*, *69*(2), 124-138. <https://doi.org/10.1111/adj.13004>
- Vaca, G., Mena, P., & Armijos, M. (2021). *La resina Bulk Fill como material innovador. Revisión bibliográfica*. 8. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-78902021000500064&script=sci_arttext
- Vandewalker, J. P., Casey, J. A., Lincoln, T. A., & Vandewalle, K. S. (2016). Properties of dual-cure, bulk-fill composite resin restorative materials. *General Dentistry*, *64*(2), 68-73.