



Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

Comparación de resinas fluidas de alta carga mediante pruebas de resistencia flexural

**Tesis para la obtención del Título de “Especialista en Rehabilitación Oral y Prótesis
implantoasistida”**

Presentada por:

Dénesis Paola Sotomayor Molina

Tutor:

Dr. Dicson Andrade

Quito, abril de 2025

Resumen

Introducción: Las propiedades mecánicas de las resinas fluidas de alta carga y su relación con una adecuada fotopolimerización siguen siendo un factor importante en la odontología restauradora, especialmente en cavidades posteriores de gran extensión, donde estas resinas deben soportar cargas oclusales significativas. **Objetivo:** El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga y comparar su comportamiento en función de dos tiempos de fotopolimerización, mediante pruebas mecánicas.

Materiales y métodos: Se llevó a cabo un estudio experimental *in vitro*, en el que se comparó la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga: Polo Fill (VOCO), Opalis (FGM) y ENA HRi Flow HF (MICERIUM). Las muestras fueron divididas en subgrupos según el tiempo de fotopolimerización aplicado. Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk. Para la comparación entre materiales, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, y la prueba de Mann-Whitney U se utilizó para realizar comparaciones por pares entre los materiales y evaluar las diferencias en los dos tiempos de fotopolimerización. **Resultados:** Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia flexural de la resina Polofill (VOCO) en comparación con las otras dos resinas estudiadas. Las resinas Opalis (FGM) y ENA Hri Flow (MICERIUM) no mostraron diferencias significativas entre sí. En cuanto a los tiempos de fotopolimerización se observaron diferencias significativas en el esfuerzo flexural para las resinas ENA Hri Flow (MICERIUM) y Polofill (VOCO), mientras que en la Resina Opalis FGM no se identificaron variaciones relevantes. **Conclusiones:** Este estudio comparativo *in vitro* evidencia que el esfuerzo flexural varía significativamente entre los materiales y, en algunos casos, también en función del tiempo.

Palabras clave: resinas fluidas, resistencia flexural, fotopolimerización.

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.

Dénesis Paola Sotomayor

1720652138

Dedicatoria

A Dios, por permitirme alcanzar este sueño en el tiempo que él dispuso, por concederme salud, fortaleza y la capacidad de seguir superándome día a día en los ámbitos personal y profesional.

A mi esposo, quien ha sido parte fundamental de mi crecimiento profesional, por su amor, apoyo, motivación y paciencia brindada en todo este tiempo que me ha permitido alcanzar esta meta de convertirme en especialista en Rehabilitación Oral.

A mis padres, que siempre han estado pendientes de mi en cada paso que doy, inculcándome valores para seguir cada día y mantenerme de pie.

A mí misma, por demostrarme que no existen límites y que uno puede cumplir las metas que se propone con dedicación y paciencia.

Indice

Resumen.....	2
Declaración de Aceptación de Norma Ética y Derechos	3
Dedicatoria.....	4
Indice.....	5
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
Materiales y Métodos.....	13
Materiales de estudio	13
Preparación de las muestras:.....	13
Evaluación de la resistencia de flexión.....	17
Análisis estadístico:	18
Resultados.....	18
Pruebas de normalidad:.....	19
Comparación de materiales:.....	20
Comparación de tiempos:	20
Discusión.....	23
Conclusiones.....	25
Referencias.....	26

Índice de Tablas

Tabla 1. Materiales utilizados para este estudio.....	13
Tabla 2. Clasificación de los grupos de estudio según el tiempo de fotopolimerización y tipo de resina.....	15
Tabla 3. Descripción estadística de los diferentes grupos de resinas.....	19
Tabla 4. Descripción estadística de los grupos de resina y el tiempo de fotopolimerización	21

Índice de Figuras

Figura 1. Elaboración de los especímenes de resina.....	15
Figura 2. Fotopolimerización de los bloques de resina	15
Figura 3. Clasificación de los grupos de estudio según el tipo de resina	16
Figura 4. Almacenamiento de las muestras en la incubadora.....	16
Figura 5. Evaluación de la resistencia flexural	17
Figura 6. Distribución de Esfuerzo flexural.....	19
Figura 7. Dispersion del esfuerzo flexural a lo largo del tiempo.....	22
Figura 8. Grafico lineal de esfuerzo flexural de los diferentes materiales a lo largo del tiempo	23

COMPARACIÓN DE RESINAS FLUIDAS DE ALTA CARGA MEDIANTE PRUEBAS DE RESISTENCIA FLEXURAL

Dénesis Paola Sotomayor Molina

denesis.sotomayor@outlook.com

Resumen

Las propiedades mecánicas de las resinas fluidas de alta carga y su relación con una adecuada fotopolimerización siguen siendo un factor importante en la odontología restauradora, especialmente en cavidades posteriores de gran extensión, donde estas resinas deben soportar cargas oclusales significativas. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga y comparar su comportamiento en función de dos tiempos de fotopolimerización, mediante pruebas mecánicas. Se llevó a cabo un estudio experimental *in vitro*, en el que se comparó la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga: Polo Fill (VOCO), Opalis (FGM) y ENA HRi Flow HF (MICERIUM). Las muestras fueron divididas en subgrupos según el tiempo de fotopolimerización aplicado.

Los resultados fueron analizados estadísticamente mediante la prueba de normalidad de Shapiro Wilk. Para la comparación entre materiales, se empleó la prueba de Kruskal-Wallis, y la prueba de Mann-Whitney U se utilizó para realizar comparaciones por pares entre los materiales y evaluar las diferencias en los dos tiempos de fotopolimerización. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia flexural de la resina Polofill (VOCO) en comparación con las otras dos resinas estudiadas. Las resinas Opalis (FGM) y ENA Hri Flow (MICERIUM) no mostraron diferencias significativas entre sí. En cuanto a los tiempos de fotopolimerización se observaron diferencias significativas en el esfuerzo flexural para las

resinas ENA Hri Flow (MICERIUM) y Polofill (VOCO), mientras que en la Resina Opalis FGM no se indentificaron variaciones relevantes.

Este estudio comparativo in vitro evidencia que el esfuerzo flexural varía significativamente entre los materiales y, en algunos casos, también en función del tiempo de fotopolimerización.

Palabras clave: resinas fluidas, resistencia flexural, fotopolimerización.

Abstract

Introduction: The mechanical properties of high-loading flowable resins and their relationship with adequate light-curing remain principal factors in restorative dentistry, especially in large posterior restorations where they must withstand considerable occlusal forces.

Objective: This study aimed to evaluate the flexural strength of three high-load flowable resins and compare these materials in relation to two light-curing times using mechanical tests.

Materials and methods: An in vitro experimental study was conducted to compare the flexural strength of three high-load flowable resins: Polo Fill (VOCO), Opalis (FGM), ENA HRi Flow HF (MICERIUM). The specimens were divided into subgroups according to the lighth-curing time. The results were statistically evaluated using the Shapiro Wilk normality test. The Kruskal-Wallis's test was used to compare differences among the materials, and the Mann-Whitney U test was used for pairwise comparisons and to evaluate the differences in the two light-curing times.

Results: Significant differences were observed for the Polofill (VOCO) resin compared to the other two materials. Opalis (FGM) and ENA Hri Flow (MICERIUM) showed no statistically significant differences. For ENA Hri Flow MICERIUM and Polofill VOCO resins, significant differences were found in flexural stress between the two light-curing times, while Opalis FGM

resin, there are no significant differences between the light-curing times. **Conclusions:** The analysis of this in vitro comparative study reveals that the flexural strength varies significantly among the materials and, in some cases, also depending on the curing time.

Keywords: flowable resins, flexural strength, light curing.

Introducción

Los composites a base de resinas han sido, desde su introducción, los materiales de elección en tratamientos restaurativos y estéticos, debido a sus propiedades mecánicas mejoradas, su alta estética y el tiempo de trabajo controlado por el operador, (AL-Rawas et al., 2022) . Los dos principales grupos de resinas compuestas, de acuerdo con su presentación, son las pastas compactas y los composites de resina fluida; estos últimos se introdujeron por primera vez en 1996, y se definen como un tipo de resina con menor viscosidad que las resinas convencionales, lo que simplifica su manipulación mediante jeringas de inyección (Rajabi et al., 2024) .

Las resinas fluidas, suelen tener un contenido de carga de relleno reducida entre el 37 % y el 53%, en comparación con el 50%-70% las resinas híbridas convencionales (Baroudi, 2015; Johari, 2024). Sin embargo, recientemente se han desarrollado resinas fluidas con mayor contenido de carga y un tamaño de partículas modificado, lo cual permite obtener propiedades mecánicas y físicas mejoradas que según los fabricantes se pueden utilizar en todo tipo de restauraciones directas, tanto anteriores como posteriores (Basheer et al., 2024; Rajabi et al., 2024). Los rellenos de sílice y vidrio proporcionan resistencia frente a fuerzas de flexión, tracción y cizallamiento provocadas por la masticación, así como frente a la degradación inducida por la saliva en el medio oral (Haugen et al., 2020; Shinkai et al., 2018). El proceso de

aplicación de estos materiales requiere una técnica incremental no mayor a 2 mm de espesor para asegurar la penetración adecuada de la luz de curado a las zonas más profundas de la restauración garantizando así una óptima polimerización (Ajaj et al., 2021).

Debido a su fácil aplicación y fluidez, estas resinas han sido introducidas en una variedad de tratamientos restaurativos, ya que logran alcanzar zonas de difícil acceso por su distribución uniforme y atenuación de fuerzas oclusales por su bajo módulo de elasticidad (Tărăboanță et al., 2022). En los últimos años, los composites fluidos se consideran materiales dentales versátiles, con una amplia gama de aplicaciones: revestimiento de cavidades, restauraciones clase I y V, sellado de fosas y fisuras, tratamiento de lesiones cervicales no cariosas, cementación y confección de carillas, ferulización de dientes y para fijación de retenedores de ortodoncia (Alamdarloo et al., 2024; AL-Rawas et al., 2022; Goodacre et al., 2023; Taneja & Singh, 2020)

En la actualidad dentro de la odontología mínimamente invasiva con enfoque biomimético, la técnica de recubrimiento con resina -conocida como resin-coating-, se considera una de las técnicas adhesivas más efectivas para restauraciones indirectas; la cual consiste en recubrir después de una preparación cavitaria las superficies dentinarias con un sistema adhesivo sin carga o con una ligera carga combinado con una resina fluida de alta carga (de Carvalho et al., 2021; NIKAIDO et al., 2018) . Esta combinación protege la capa híbrida, preserva el Sellado Dentinario Inmediato (IDS), facilita la limpieza de la cavidad, elimina socavados y mejora la preparación; además la aplicación de un composite fluido de alta carga mantiene la integridad de la interfaz adhesiva a lo largo del tiempo, ya que absorbe tensiones internas, especialmente en restauraciones posteriores con cajas proximales profundas, mejorando la adaptación marginal en la caja axial y en márgenes cervicales críticos (Hardan et al., 2022) .

Para que una restauración sea clínicamente exitosa, los composites deben fotopolimerizarse adecuadamente, por lo que es necesario realizarlo con unidades de fotopolimerización de buena calidad. Las unidades de diodos emisores de luz (LED) son las más populares en la actualidad (Maucoski, Price, & Arrais, 2023). Una ventaja atribuida a los LED es que pueden activar una mayor variedad de fotoiniciadores incluida la canforoquinona y ofrecen otras ventajas como tiempos de fotocurado reducidos, bajo consumo energético al funcionar con baterías recargables, peso ligero y diseño ergonómico (Cantekin et al., 2014; Maucoski, Price, Sullivan, et al., 2023) .

Una de las unidades de curado LED más destacadas del mercado es la VALO Grand (Ultradent), que emite luz de alta intensidad en un rango de 385-515 nm, lo que permite polimerizar todos los materiales dentales resinosos. Cuenta con tres modos de fotocurado: Modo Potencia Estándar (1000 mW/cm^2) con tiempos de 5, 10, 15 y 20 segundos; Modo Alta Potencia Plus (1600 mW/cm^2), que reduce el tiempo de curado a 4 segundos; presenta intervalos de tiempo de 1, 2, 3 y 4 segundos. El modo Potencia Xtra (3200 mW/cm^2) que permite fotocurar en tan solo 3 segundos.

En términos generales, las propiedades mecánicas de las resinas fluidas de alta carga y su relación con una adecuada fotopolimerización continúan siendo un factor de preocupación en profesionales que tratan especialmente restauraciones posteriores de gran tamaño (Tsujimoto et al., 2021) . Por esto, frente a la ausencia de consenso reportado en la literatura, este estudio tiene como objetivo evaluar la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga y comparar su comportamiento en función de dos tiempos de fotopolimerización, mediante pruebas mecánicas. La hipótesis nula plantea que no existe diferencias significativas en los valores de resistencia flexural entre las resina analizadas ni en relación con el tiempo de fotopolimerización.

Materiales y Métodos

Materiales de estudio

Se llevó a cabo un estudio de tipo experimental in vitro, en el cual se comparó la resistencia flexural de tres resinas fluidas de alta carga disponibles en el mercado nacional: Polo Fill (VOCO), Opalis (FGM), ENA HRi Flow HF (MICERIUM). Los materiales fueron divididos en subgrupos de acuerdo con el tiempo de fotopolimerización.

La descripción de los materiales utilizados en este estudio se detalla en la Tabla 1

Tabla 1. Materiales utilizados para este estudio.

Material	Composición	Fabricante	Carga de relleno
Opalis	Monómeros metacrílicos, canforoquinona, co iniciadores, estabilizadores, pigmentos y carga inorgánica silanizada compuesta de micropartículas de borosilicato de bario-aluminio y partículas de dióxido de silicio	FGM	72% (0,05 a 5) μm .
Polofill	Relleno vítreo de estroncio, aluminio, borosilicato, bario, dióxido de silicio, EDMA, Bis-GMA, TEGMA, iniciadores, estabilizadores y pigmentos.	VOCO	> 76 % p/p
ENA HRi Flow	Relleno vítreo, dimetacrilato de diuretano, dimetacrilato de tetrametileno, dióxido de silicio.	MICERIUM	77% p/p (57 % en volumen; 0,005-40 μm)

Preparación de las muestras:

Se elaboraron especímenes de cada material con dimensiones específicas de 25x2x2mm utilizando una matriz metálica, de acuerdo con las Normas ISO 4049. Previamente se aisló la matriz aplicando vaselina con un microbrush, se procedió a inyectar la resina fluida, luego se colocó una tira de poliéster y sobre ésta, un portaobjeto (Figura 1).

La ventana de salida de la unidad de fotocurado VALO GRAND (Ultradent), se posicionó directamente sobre la placa de vidrio a 1mm de distancia y se procedió a fotopolimerizar las muestras; se realizaron dos puntos de fotocurado a cada lado de la muestra, debido a que el tamaño del lente de la lámpara de fotocurado es de 12 mm (Figura 2).

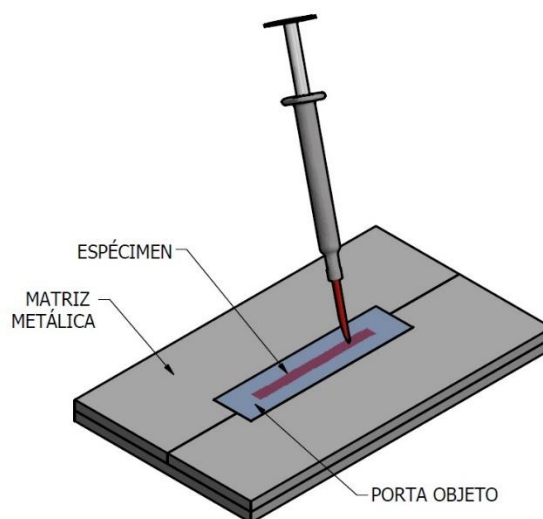
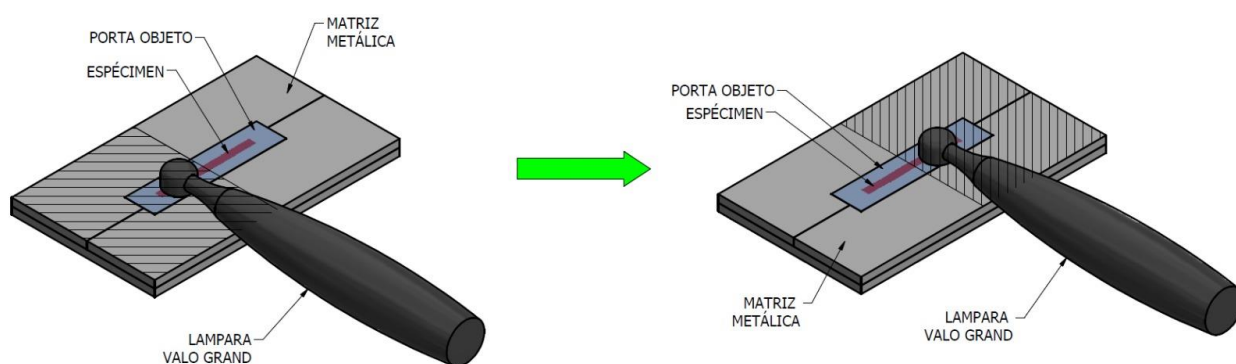
Las muestras se clasificaron en tres grupos de acuerdo con el tipo de resina:

El primer grupo G1: (n=20) formado por la resina ENA HRi Flow HF (MICERIUM), la cual se subdividió de acuerdo con el tiempo de fotopolimerización en el modo Potencia Estándar de 20 segundos (n=10) y el otro grupo de muestras (n=10) que fueron fotopolimerizadas en el modo de Alta Potencia Plus en el tiempo de 4 segundos. La fotopolimerización fue realizada en cada tiempo a cada lado de la muestra.

El segundo grupo G2 (n=20) formado por la Resina Opalis (FGM), la cual se dividió en dos grupos de acuerdo con el tiempo de fotopolimerizado en el modo Potencia Estándar de 20 segundos (n=10) y el otro grupo de muestras (n=10) que fueron fotopolimerizadas en el modo de Alta Potencia Plus en el tiempo de 4 segundos. La fotopolimerización fue realizada en cada tiempo a cada lado de la muestra.

El tercer grupo G3 (n=20) formado por especímenes de resina Resina Polo Fill (VOCO) la cual se dividió en dos grupos de acuerdo con el tiempo de fotopolimerización en el modo Potencia Estándar de 20 segundos (n=10) y el otro grupo de muestras (n=10) que fueron fotopolimerizadas en el modo de Alta Potencia Plus en el tiempo de 4 segundos. La fotopolimerización fue realizada en cada tiempo a cada lado de la muestra.

La clasificación de los grupos experimentales de detalla en la Tabla 2.

Figura 1. Elaboración de los especímenes de resina**Figura 2.** Fotopolimerización de los bloques de resina**Tabla 2.** Clasificación de los grupos de estudio según el tiempo de fotopolimerización y tipo de resina

Grupo	Material	Tiempo de fotopolimerización (s)	Número de muestras
Grupo 1	ENA Hri Flow	4	10
		20	10
Grupo 2	Opalis	4	10
		20	10
Grupo 3	Polo Fill	4	10
		20	10

Posteriormente, se retiraron los bloques de resina polimerizados de su molde para luego retirar los excesos mediante una hoja de bisturi y tiras abrasivas. Luego, se almacenaron en cajas Petri y fueron llevadas a una incubadora BioBase, modelo BJPX-B250II a 37.5°C por 24 horas en agua purificada para su posterior evaluación (Figura 3 y 4).

Figura 3. Clasificación de los grupos de estudio según el tipo de resina



Figura 4. Almacenamiento de las muestras en la incubadora



Evaluación de la resistencia de flexión

Se realizó un ensayo de flexión aplicando una fuerza máxima en Newtons en tres puntos, con una distancia entre apoyos de 20 mm y una velocidad de carga de 1mm/min, utilizando una máquina universal de ensayos MTS T5002 (Figura 5).

La resistencia a la flexión (FS) se calculó en megapascales (MPa) utilizando la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{3FL}{2bh^2}$$

Donde:

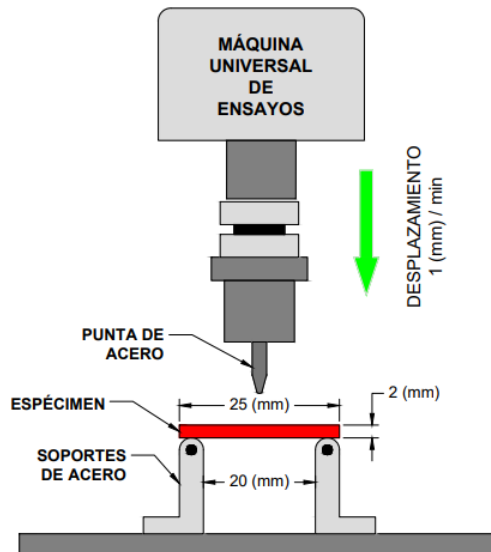
F: Carga máxima (N)

L: Distancia entre apoyos (mm)

b: ancho de la probeta (mm)

h²: altura de la probeta (mm)

Figura 5. Evaluación de la resistencia flexural



Análisis estadístico:

El análisis de datos se realizó utilizando Python, con las bibliotecas *pandas* para la manipulación de datos, *scipy.stats* para las pruebas estadísticas, y *matplotlib* y *seaborn* para la visualización de datos (The pandas development team, 2020; Van Rossum et al., 2009; Virtanen et al., 2020).

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo incluyendo la media, desviación estándar, valores mínimos, máximos y cuartiles. Este análisis permitió caracterizar de manera general el comportamiento de los datos.

Posteriormente, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos. Para comparar la resistencia flexural entre los distintos materiales, se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, mientras que la prueba de Mann-Whitney U se empleó para realizar comparaciones por pares entre materiales y entre diferentes tiempos de fotocurado para cada material.

Resultados

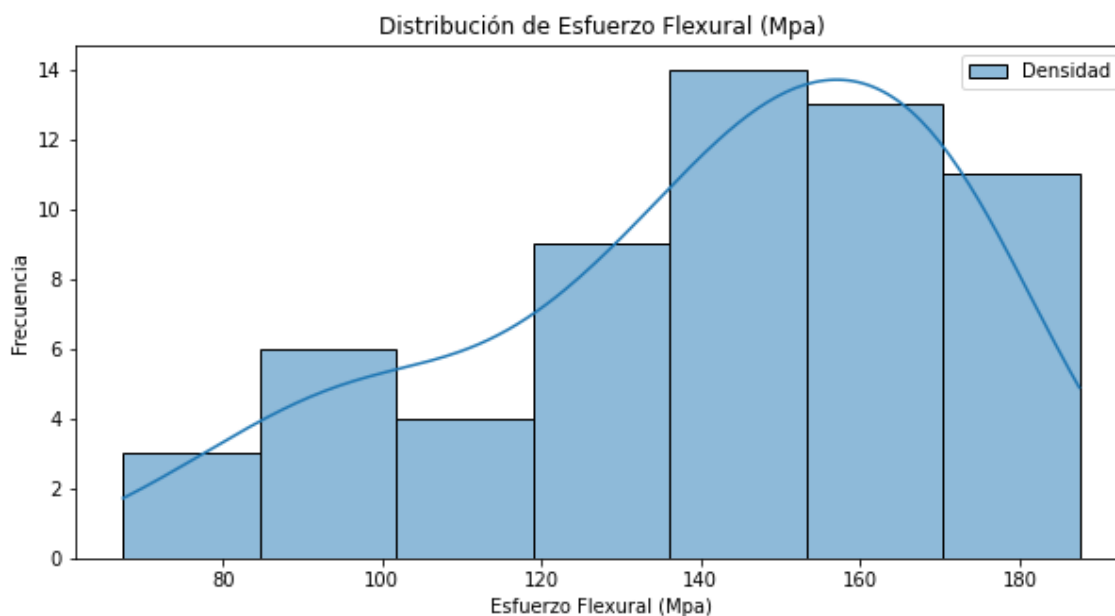
El esfuerzo flexural promedio varía entre los materiales evaluados, siendo la resina Opalis (FGM) la que mostró el mayor promedio (159.09 MPa) y la resina Polo Fill (VOCO) la que presentó el menor (114.00 MPa). Además, la desviación estándar también varía, indicando diferentes niveles de dispersión en los datos (tabla 3).

Tabla 3. Descripción estadística de los diferentes grupos de resinas

Material	Número de muestra	Media	Desviación estándar	Mínimo	25%	50%	75%	Máximo
Resina ENA Hri Flow	20	149,25	20,198	108,75	131,250	148,125	165,938	176,25
Resina Opalis	20	159,09	20,959	105,00	152,813	161,250	173,438	187,50
Resina Polo Fill	20	114,00	26,695	67,500	90,000	118,125	142,500	146,25

Pruebas de normalidad:

La prueba de Shapiro-Wilk rechaza la hipótesis nula de normalidad. Los resultados indicaron que la variable "Esfuerzo Flexural (Mpa)" no sigue una distribución normal (estadístico = 0.937, $p = 0.004$). Por lo tanto, se utilizaron pruebas no paramétricas para los análisis posteriores. (Figura 6).

Figura 6. Distribución de Esfuerzo flexural

Comparación de materiales:

La prueba de **Kruskal-Wallis** indica que hay diferencias significativas en el esfuerzo flexural entre los materiales, por lo que se rechaza la hipótesis nula (estadístico = 26.045; $p = 0.000002$ menor que el nivel de significancia de 0.05).

Las pruebas de **Mann-Whitney U** muestran que:

- Entre la resina ENA HRi Flow HF (MICERIUM) y Resina Polo Fill (VOCO) existen diferencias significativas, por lo que se rechaza la hipótesis nula ($p = 0.000$).
- Al comparar la resina ENA HRi Flow HF (MICERIUM) y la resina Opalis (FGM), la diferencia no es estadísticamente significativa, es decir no se puede rechazar la hipótesis nula ($p = 0.109$).
- Finalmente, los valores presentados por la resina Polo Fill (VOCO) y la resina Opalis (FGM), presentaron diferencias significativas ($p = 0.000$) rechazándose la hipótesis nula planteada.

Comparación de tiempos:

Con relación al tiempo de fotopolimerización, la resina ENA HRi Flow HF (MICERIUM), presentó diferencias significativas entre los dos tiempos evaluados ($p = 0.0001736$). Así mismo la resina Resina Polo Fill (VOCO), presentó diferencias significativas en los dos tiempos de fotopolimerización ($p = 0.0001649$) por lo que en ambos casos se rechaza la hipótesis nula.

Por otro lado, los valores presentados por la resina Opalis (FGM), en los dos tiempos de fotopolimerización no es estadísticamente significativa, es decir no se rechaza la hipótesis nula ($p = 0.4945$)

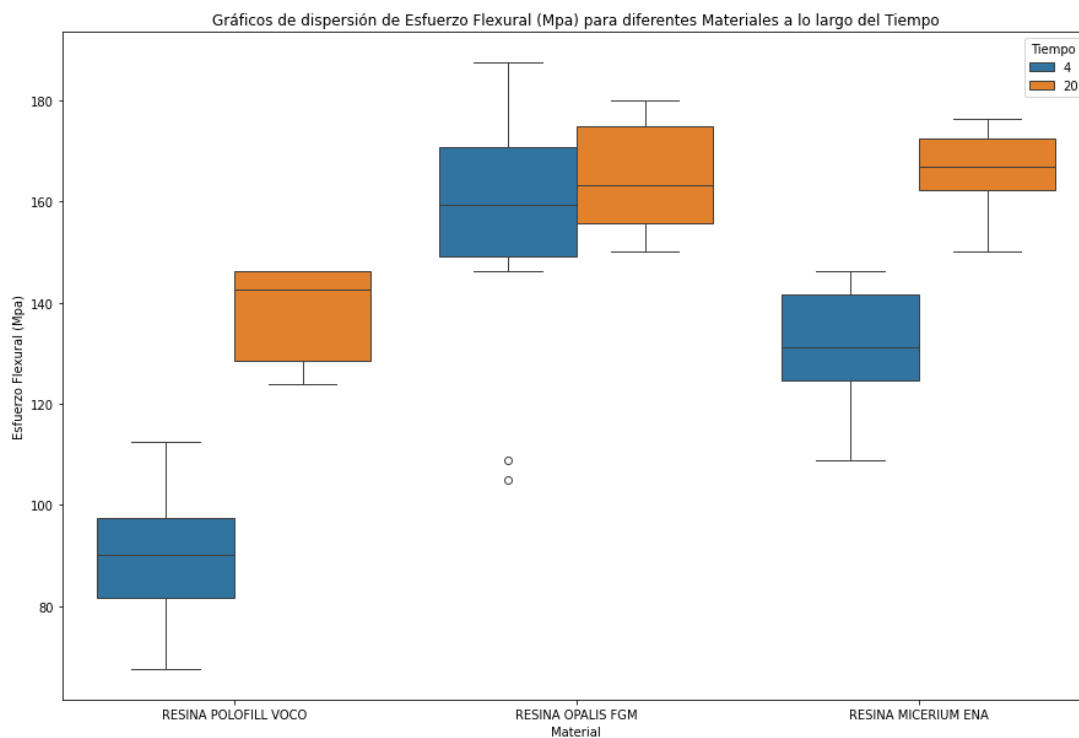
Los valores promedio y la desviación estándar de las resinas con relación al tiempo de fotopolimerización se resumen en la Tabla 4

Tabla 4. Descripción estadística de los grupos de resina y el tiempo de fotopolimerización

Material	Tiempo	Número de muestra	Media	Desviación estándar	Mínim	25%	50%	75%	Máxi
Resina ENA Hri Flow	4	10	132,00	11,832	108,75	124,69	131,25	141,56	146,25
	20	10	166,50	7,746	150,00	162,19	166,88	172,50	176,25
Resina Opalis	4	10	153,75	27,214	105,00	149,06	159,38	170,63	187,5
	20	10	164,43	11,107	150,00	155,63	163,13	174,83	180,00
Resina Polo Fill	4	10	90,38	12,924	67,50	81,56	90,00	97,500	112,50
	20	10	137,63	9,850	123,75	128,44	142,50	146,250	146,25

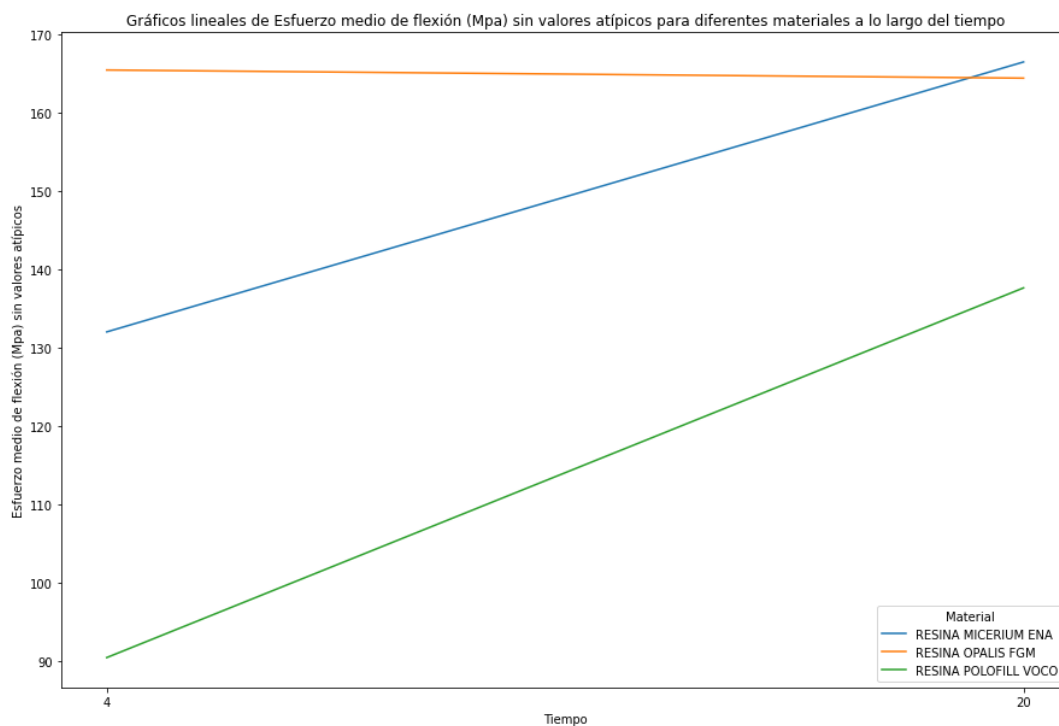
Los gráficos de dispersión y los diagramas de cajas (boxplots) muestran que el esfuerzo flexural tiende a aumentar con el tiempo en las resinas Hri Flow HF (MICERIUM) y resina Polo Fill (VOCO), mientras que en la resina Opalis (FGM) no se observa una variación notable. (Figura 7).

Figura 7. Dispersión del esfuerzo flexural a lo largo del tiempo



Los gráficos de líneas sin outliers confirman estas tendencias, mostrando un aumento en el esfuerzo flexural promedio en las resinas ENA HRi Flow HF (MICERIUM) y Polo Fill (VOCO), mientras que la resina Opalis (FGM), se mantiene relativamente estable (figura 8).

Figura 8. Gráfico lineal de esfuerzo flexural de los diferentes materiales a lo largo del tiempo



Discusión

La resistencia a la flexión es un parámetro importante que debe evaluarse en los composites, incluidas las resinas fluidas de alta carga, ya que en la mayoría de los casos están sometidas a fuerzas oclusales que podrían causar la fractura del material. Esta propiedad está influenciada por varios factores como tipo de matriz de resina, el grado de polimerización, y el tipo, tamaño y cantidad de carga de relleno (Basheer et al., 2024).

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que las resinas Opalis y ENA HRi Flow HF alcanzaron valores más altos de resistencia flexural. Probablemente estos valores se relacionan con la cantidad de relleno y tamaño de partículas de cada composite. Estos hallazgos se alinean con el estudio realizado por Mirică et al. (2020), en el que se evaluó la influencia de la carga de relleno en las propiedades mecánicas de los compuestos de resina fluida, concluyéndose

que existe una correlación entre el porcentaje de relleno inorgánico y el volumen de varias resinas fluidas con sus propiedades mecánicas, entre ellas la resistencia a la flexión.

Estos resultados también concuerdan con otros estudios como el de Rajabi et al., (2024), en donde compararon la resistencia a la flexión y al desgaste de resinas fluidas convencionales, resinas fluidas de alta carga y un composite convencional en pasta. Esta investigación mostró un rendimiento superior en las resinas fluidas de alta carga, cuyos valores incluso superaron al composite en pasta, que presentaba un mayor contenido de relleno; esto sugiere que existen otros factores que afectan al rendimiento de los composites como el tamaño del relleno, la distribución y la unión a la matriz de resina.

Por otro lado, en cuanto al tiempo de fotopolimerización, la resina Opalis se mantuvo relativamente estable en los dos tiempos evaluados, mientras que las resinas ENA Hri Flow y Polofill, presentaron diferencias significativas en el esfuerzo flexural entre los tiempos de 4 segundos (modo Alta Potencia Plus) y 20 segundos (Modo Potencia Estándar), evidenciando una mejor resistencia al ser fotopolimerizadas durante mayor tiempo. Estos resultados son similares a los de un estudio previo, en el que se evaluó el efecto de exposiciones cortas de fotocurado utilizando diferentes lámparas de fotopolimerización en resinas fluidas de relleno masivo y convencionales, en donde se concluyó que tiempos de exposición más largos (20 segundos), en comparación con tiempos cortos de exposición (1s, 3s y 5s), generan exposiciones radiantes más altas, mayores grados de conversión es y mayor Dureza Vickers, parámetros relacionados con mejores propiedades mecánicas en la superficie del material (Maucoski, Price, Rocha, et al., 2023).

Así mismo, en el estudio in vitro de Ludovichetti. y col., se concluyó que bajo una irradiación de 20 segundos con una unidad LED con una intensidad de 1000 mW/cm, los composites fluidos de nanorrelleno de alta resistencia alcanzaron profundidades de curado promedio de 3,02 mm, consistentes para alcanzar optimas propiedades mecánicas, lo que nos permite corroborar con nuestro estudio que un mayor tiempo de exposición mejora las propiedades físicas de los composites.

Es importante resaltar que los resultados obtenidos en esta investigación indican que las resinas fluidas de alta carga disponibles en nuestro mercado presentan buenas propiedades mecánicas; lo que las hace potencialmente adecuadas para su uso en restauraciones posteriores que soportan altas cargas oclusales. Sin embargo, se requieren un mayor número de investigaciones y ensayos clínicos que validen estos hallazgos, considerando además factores físicos, químicos o biológicos, que nos ayudará a una mejor elección para los actuales tratamientos restauradores.

Conclusiones

- El esfuerzo flexural varía significativamente entre los materiales evaluados y, en algunos casos, también en función del tiempo de fotopolimerización.
- La resina Opalis mostró un comportamiento más estable en comparación con los otros materiales.
- La resina ENA HRi Flow HF (MICERIUM) y Polofill presentaron un aumento en el esfuerzo flexural proporcional al tiempo de fotopolimerización.
- Estos resultados podrían ser útiles para la selección de materiales en aplicaciones clínicas específicas donde el esfuerzo flexural es un factor crítico.

Referencias

- Ajaj, R., Farsi, N., Alzain, L., Nuwaylati, N., Ghurab, R., & Nassar, H. (2021). Dental Bulk-Fill Resin Composites Polymerization Efficiency: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Composites Science*, 5(6), 149.
<https://doi.org/10.3390/jcs5060149>
- Alamdarloo, Y., Mosaddad, S. A., & Golfeshan, F. (2024). Mechanical properties of combined packable and high-filled flowable composite used for the fixed retainer: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1), 676. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04437-w>
- AL-Rawas, M., Johari, Y., Yusoff, N. M., Mohamad, D., & Husein, A. (2022). The versatility of flowable composites. Part 1: theory and new classification. *Dental Update*, 49(7), 553–560. <https://doi.org/10.12968/denu.2022.49.7.553>
- Baroudi, K. (2015). Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*.
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/12294.6129>
- Basheer, R. R., Hasanain, F. A., & Abuelenain, D. A. (2024). Evaluating flexure properties, hardness, roughness and microleakage of high-strength injectable dental composite: an in vitro study. *BMC Oral Health*, 24(1), 546. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04333-3>
- Cantekin, K., Buyuk, S. K., Delikan, E., Pedük, K., & Demirbuga, S. (2014). Pulp chamber temperature increases from curing light units: an in vitro study. *Journal of Dentistry for Children (Chicago, Ill.)*, 81(3), 128–132.

- de Carvalho, M. A., Lazari-Carvalho, P. C., Polonial, I. F., de Souza, J. B., & Magne, P. (2021). Significance of immediate dentin sealing and flowable resin coating reinforcement for unfilled/lightly filled adhesive systems. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 88–98. <https://doi.org/10.1111/jerd.12700>
- Goodacre, C. J., Eugene Roberts, W., & Munoz, C. A. (2023). Noncarious cervical lesions: Morphology and progression, prevalence, etiology, pathophysiology, and clinical guidelines for restoration. *Journal of Prosthodontics*, 32(2). <https://doi.org/10.1111/jopr.13585>
- Hardan, L., Devoto, W., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Lukomska-Szymanska, M., Fernández-Barrera, M. Á., Cornejo-Ríos, E., Monteiro, P., Zarow, M., Jakubowicz, N., Mancino, D., Haikel, Y., & Kharouf, N. (2022). Immediate Dentin Sealing for Adhesive Cementation of Indirect Restorations: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Gels* (Vol. 8, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/gels8030175>
- 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>
- Johari, Y. (2024). Mechanical Properties of Newly Developed Flowable Composite Derived from Rice Husk at Different Monomer Ratios. *Journal of Mechanical Engineering*, 21(3), 77–91. <https://doi.org/10.24191/jmeche.v21i3.27347>
- Ludovichetti, F. S., Lucchi, P., Zambon, G., Pezzato, L., Bertolini, R., Zerman, N., Stellini, E., & Mazzoleni, S. (2022). Depth of Cure, Hardness, Roughness and Filler Dimension of

- Bulk-Fill Flowable, Conventional Flowable and High-Strength Universal Injectable Composites: An In Vitro Study. *Nanomaterials*, 12(12), 1951.
<https://doi.org/10.3390/nano12121951>
- Maucoski, C., Price, R. B., & Arrais, C. A. G. (2023). Temperature changes and hardness of resin-based composites light-cured with laser diode or light-emitting diode curing lights. *Odontology*, 111(2), 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10266-022-00745-1>
- Maucoski, C., Price, R. B., Rocha, M. G., Roulet, J.-F., & Sullivan, B. (2023). Ability of short exposures from laser and quad-wave curing lights to photo-cure bulk-fill resin-based composites. *Dental Materials*, 39(3), 275–292.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.01.007>
- Maucoski, C., Price, R. B., Sullivan, B., Guarneri, J. A. G., Gusso, B., & Arrais, C. A. G. (2023). In-vitro pulpal temperature increases when photo-curing <scp>bulk-fill resin-based</scp> composites using laser or light-emitting diode light curing units. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 35(4), 705–716.
<https://doi.org/10.1111/jerd.13022>
- Mirică, I.-C., Furtos, G., Bâldea, B., Lucaciu, O., Ilea, A., Moldovan, M., & Câmpian, R.-S. (2020). Influence of Filler Loading on the Mechanical Properties of Flowable Resin Composites. *Materials*, 13(6), 1477. <https://doi.org/10.3390/ma13061477>
- NIKAIDO, T., TAGAMI, J., YATANI, H., OHKUBO, C., NIHEI, T., KOIZUMI, H., MASEKI, T., NISHIYAMA, Y., TAKIGAWA, T., & TSUBOTA, Y. (2018). Concept and clinical application of the resin-coating technique for indirect restoration. *Dental Materials Journal*, 37(2), 192–196. <https://doi.org/10.4012/dmj.2017-253>

Rajabi, H., Denny, M., Karagiannopoulos, K., & Petridis, H. (2024). Comparison of Flexural Strength and Wear of Injectable, Flowable and Paste Composite Resins. *Materials*, *17*(19), 4749. <https://doi.org/10.3390/ma17194749>

Taneja, S., & Singh, A. (2020). Retention of flowable composite resins in comparison to pit and fissure sealants: a systematic review and meta-analysis. *General Dentistry*, *68*(4), 50–55.

Tărăboanță, I., Stoleriu, S., Gurlui, S., Nica, I., Tărăboanță-Gamen, A. C., Iovan, A., & Andrian, S. (2022). The Influence of Abrasive and Acidic Aggressions on the Surface Condition of Flowable Composite Resin. *Materials*, *15*(3), 1000. <https://doi.org/10.3390/ma15031000>

The panda's development team. (2020). pandas-dev/pandas: Pandas. *Zenodo*.

Tsujimoto, A., Irie, M., Teixeira, E. C. N., Jurado, C. A., Maruo, Y., Nishigawa, G., Matsumoto, T., & Garcia-Godoy, F. (2021). Relationships between flexural and bonding properties, marginal adaptation, and polymerization shrinkage in flowable composite restorations for dental application. *Polymers*, *13*(16). <https://doi.org/10.3390/polym13162613>

Van Rossum, Guido, and Drake, & Fred L. (2009). *Python 3* (3). CreateSpace.

Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., ... Vázquez-Baeza, Y. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific

computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272.

<https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>