



Facultad de Ciencias de la Salud

Posgrado de Odontología

**Tema:**

**Desempeño mecánico en el tiempo de las resinas impresas mediante pruebas de resistencia  
a la flexión**

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

**Presentado por:**

Gabriela Cristina Cabezas Solorzano

**Tutor:**

Dra. María Gracia Ruiz

**Quito, abril del 2026**

## Resumen

**Introducción:** Las resinas impresas en 3D han adquirido relevancia en la odontología restauradora por su capacidad para producir restauraciones personalizadas con alta precisión. No obstante, su comportamiento mecánico frente al envejecimiento térmico aún requiere mayor investigación. **Objetivo:** Evaluar el desempeño mecánico de resinas dentales fotopolimerizables impresas en 3D mediante pruebas de resistencia a la flexión y determinar el efecto del envejecimiento térmico simulado mediante termociclado. **Materiales y métodos:** Se realizó un estudio experimental in vitro utilizando dos resinas fotopolimerizables (VoxelPrint Ceramic y Prizma BIO Crown Diamont). Se fabricaron 40 probetas ( $25 \times 2 \times 2$  mm) distribuidas en cuatro grupos ( $n = 10$ ): VCT, VST, PCT y PST. Veinte muestras fueron sometidas a 10 000 ciclos de termociclado ( $5-55$  °C) y las restantes se almacenaron en agua destilada a  $37$  °C durante 24 h. La resistencia a la flexión se evaluó mediante una prueba de flexión en tres puntos, y los datos se analizaron con estadística descriptiva, Shapiro–Wilk, ANOVA factorial  $2 \times 2$  y prueba t de Welch ( $\alpha = 0.05$ ). **Resultados:** El grupo VCT presentó la mayor resistencia a la flexión ( $89.08 \pm 14.31$  MPa), mientras que PCT mostró los valores más bajos ( $31.91 \pm 11.14$  MPa). El tipo de material fue el factor con mayor influencia en los resultados. Prizma Diamont presentó una disminución significativa tras el termociclado, mientras que VoxelPrint mostró mayor estabilidad. **Conclusión:** La resistencia a la flexión de las resinas impresas está influenciada por el tipo de material y el envejecimiento térmico. VoxelPrint Ceramic mostró mejor desempeño mecánico y mayor estabilidad frente al termociclado que Prizma BIO Crown Diamont, aunque se requieren más estudios para evaluar su comportamiento a largo plazo.

**Palabras clave:** IMPRESIÓN 3D; RESINAS DENTALES; RESISTENCIA A LA FLEXIÓN; TERMOCICLADO; ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL; 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 esta ha sido redactado con entera sujeción al respecto a 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 de la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esa 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.

Gabriela Cristina Cabezas Solorzano.

## Dedicatoria

Quiero dedicar este logro primeramente a Dios, por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos difíciles y por iluminar cada paso de este camino, su presencia ha sido el motor que me impulsó a no rendirme y a seguir adelante incluso cuando las circunstancias parecían adversas.

A mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi vida; gracias por su apoyo incondicional, tanto personal como económico, y por sembrar en mí los valores que me han convertido en la mujer que soy hoy.

De manera infinita, a mi madre, quien desde el cielo me envuelve con su amor y me ilumina para seguir adelante con cada uno de mis sueños, este logro es también un homenaje a su vida, y su fortaleza.

A mis hermanos, por su cariño, por su apoyo incondicional, por compartir conmigo tanto los momentos difíciles como las alegrías y por ser parte fundamental de mi vida.

A mis compañeros de estudio, con quienes compartí este camino lleno de retos, aprendizajes y experiencias inolvidables. Gracias por el apoyo mutuo, por el trabajo en equipo y por cada momento compartido, que hicieron de este proceso algo más llevadero y significativo.

Y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación personal y profesional, les expreso mi más sincero agradecimiento.

## Índice

Resumen.....	2
Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos .....	4
Dedicatoria.....	5
Índice.....	6
Índice De Gráficos .....	7
Índice De Tablas .....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	11
Metodología .....	13
Resultados.....	18
Estadística inferencial.....	20
Discusión.....	22
Conclusiones.....	26
Referencias.....	27

## Índice De Gráficos

<b>Gráfico 1</b> Grupos Experimentales.....	20
---	----

## Índice De Tablas

<b>Tabla 1</b> Parámetros de impresión de las resinas evaluadas.....	15
<b>Tabla 2</b> Distribución de los grupos experimentales.....	16
<b>Tabla 3</b> Resistencia a la flexión por grupo.....	19
<b>Tabla 4.</b> Resistencia a la flexión según termociclado.....	19
<b>Tabla 5.</b> Normalidad de los datos (Shapiro–Wilk por grupo).....	21
<b>Tabla 6.</b> Estadística comparativa de los grupos VCT, PCT, VST y PST según la prueba t de Welch.....	21



## DESEMPEÑO MECÁNICO EN EL TIEMPO DE LAS RESINAS IMPRESAS MEDIANTE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Gabriela Cristina Cabezas Solorzano

[gabycabezas17@gmail.com](mailto:gabycabezas17@gmail.com)

### Resumen

**Introducción:** Las resinas impresas en 3D han adquirido relevancia en la odontología restauradora por su capacidad para producir restauraciones personalizadas con alta precisión. No obstante, su comportamiento mecánico frente al envejecimiento térmico aún requiere mayor investigación. **Objetivo:** Evaluar el desempeño mecánico de resinas dentales fotopolimerizables impresas en 3D mediante pruebas de resistencia a la flexión y determinar el efecto del envejecimiento térmico simulado mediante termociclado. **Materiales y métodos:** Se realizó un estudio experimental in vitro utilizando dos resinas fotopolimerizables (VoxelPrint Ceramic y Prizma BIO Crown Diamont). Se fabricaron 40 probetas ( $25 \times 2 \times 2$  mm) distribuidas en cuatro grupos ( $n = 10$ ): VCT, VST, PCT y PST. Veinte muestras fueron sometidas a 10 000 ciclos de termociclado ( $5-55$  °C) y las restantes se almacenaron en agua destilada a  $37$  °C durante 24 h. La resistencia a la flexión se evaluó mediante una prueba de flexión en tres puntos, y los datos se analizaron con estadística descriptiva, Shapiro–Wilk, ANOVA factorial  $2 \times 2$  y prueba t de Welch ( $\alpha = 0.05$ ). **Resultados:** El grupo VCT presentó la mayor resistencia a la flexión ( $89.08 \pm 14.31$  MPa), mientras que PCT mostró los valores más bajos ( $31.91 \pm 11.14$  MPa). El tipo de material fue el factor con mayor influencia en los resultados. Prizma Diamont presentó una disminución significativa tras el termociclado, mientras que VoxelPrint mostró mayor estabilidad. **Conclusión:** La resistencia a la flexión de las resinas impresas está influenciada por el tipo de material y el envejecimiento térmico. VoxelPrint Ceramic mostró mejor desempeño mecánico y

mayor estabilidad frente al termociclado que Prizma BIO Crown Diamont, aunque se requieren más estudios para evaluar su comportamiento a largo plazo. **Palabras clave:** IMPRESIÓN 3D; RESINAS DENTALES; RESISTENCIA A LA FLEXIÓN; TERMOCICLADO; ENVEJECIMIENTO ARTIFICIAL; MATERIALES RESTAURADORES.

### Abstract

**Background:** Three-dimensional (3D)-printed resins have emerged as promising materials in restorative dentistry due to their ability to fabricate highly accurate and customized restorations. However, evidence regarding their mechanical performance after thermal aging remains limited. **Objective:** To evaluate the flexural strength of 3D-printed photopolymer dental resins and to assess the effect of simulated thermal aging through thermocycling. **Materials and Methods:** An in vitro experimental study was conducted using two photopolymer resins: VoxelPrint Ceramic and Prizma BIO Crown Diamont. A total of 40 bar-shaped specimens ( $25 \times 2 \times 2$  mm) were fabricated and randomly allocated into four groups ( $n = 10$ ): VoxelPrint control (VCT), VoxelPrint thermocycled (VST), Prizma control (PCT), and Prizma thermocycled (PST). Twenty specimens underwent 10,000 thermocycles ( $5\text{--}55$  °C), while the remaining specimens were stored in distilled water at  $37$  °C for 24 h. Flexural strength was measured using a three-point bending test. Data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk test, two-way ANOVA ( $2 \times 2$ ), and Welch’s t-test ( $\alpha = 0.05$ ). **Results:** VoxelPrint Ceramic exhibited significantly higher flexural strength compared to Prizma BIO Crown Diamont. The VCT group showed the highest mean value ( $89.08 \pm 14.31$  MPa), whereas the PCT group presented the lowest ( $31.91 \pm 11.14$  MPa). Material type was identified as the primary factor influencing mechanical performance. Thermocycling significantly reduced the flexural strength of Prizma Diamont, while VoxelPrint Ceramic demonstrated greater resistance to thermal degradation.

**Conclusion:** The flexural strength of 3D-printed dental resins is significantly influenced by material composition and thermal aging. VoxelPrint Ceramic showed superior mechanical performance and higher stability after thermocycling compared to Prizma BIO Crown Diamont. Further long-term studies are warranted to confirm these findings. **Keywords:** 3D PRINTING; PHOTOPOLYMER RESINS; FLEXURAL STRENGTH; THERMOCYCLING; ARTIFICIAL AGING; RESTORATIVE DENTISTRY.

### Introducción

Las resinas compuestas han adquirido un papel fundamental en la odontología restauradora moderna debido a su capacidad para ofrecer tratamientos mínimamente invasivos con resultados estéticos y funcionales satisfactorios. En los últimos años, el desarrollo de tecnologías de fabricación aditiva ha permitido la incorporación de resinas fotopolimerizables para impresión 3D en diversos tratamientos odontológicos. Estos materiales permiten la fabricación de restauraciones dentales personalizadas con alta precisión dimensional, lo que favorece la optimización de los flujos de trabajo clínico-digitales y reduce los tiempos de producción en el laboratorio. En este contexto, las propiedades mecánicas de estos materiales son determinantes para garantizar su desempeño clínico y su durabilidad en el medio oral (Di Fiore et al., 2024; Gad & Fouda, 2023; Saini et al., 2024).

Diversos estudios han evaluado el comportamiento de las resinas impresas en 3D utilizadas en odontología restauradora y protésica. Se ha demostrado que factores como la composición química del material, la orientación de impresión, el espesor de capa y los protocolos de poscurado influyen significativamente en sus propiedades mecánicas. Investigaciones recientes han reportado que la resistencia a la flexión de las resinas impresas puede variar en función de los parámetros de impresión y del proceso de polimerización

posterior, lo cual repercute directamente en la estabilidad estructural de las restauraciones fabricadas mediante esta tecnología (Al-Dulaijan et al., 2023; Bennett & Kohler, 2025; De Angelis et al., 2024).

La resistencia a la flexión constituye una de las propiedades mecánicas más utilizadas para evaluar el comportamiento de materiales restauradores a base de polímeros. Este ensayo permite determinar la capacidad de un material para resistir carga sin fracturarse, simulando condiciones funcionales similares a las presentes en la cavidad oral. Estudios recientes han demostrado que las resinas impresas pueden experimentar cambios en sus propiedades mecánicas al ser sometidas a factores de envejecimiento como la humedad, las variaciones térmicas o la exposición prolongada al medio oral, lo que puede generar una degradación progresiva de la matriz polimérica (Baytur & Diken Turksayar, 2024, 2025; Choi et al., 2025; Temizci & Bozoğulları, 2024).

A pesar del creciente uso de resinas impresas en odontología, aún existe evidencia limitada sobre su comportamiento mecánico a lo largo del tiempo bajo condiciones que simulen el entorno oral. Algunos estudios han analizado la influencia del poscurado o de la orientación de impresión, sin embargo, todavía se requieren investigaciones que evalúen la estabilidad de estas resinas tras procesos de envejecimiento acelerado, como el termociclado, y su impacto en la resistencia a la flexión. El termociclado constituye uno de los métodos más utilizados para simular el envejecimiento térmico de materiales dentales, ya que reproduce los cambios de temperatura presentes en la cavidad oral. Comprender estos efectos resulta fundamental para estimar la vida útil de las restauraciones fabricadas mediante impresión 3D y su aplicación clínica a largo plazo (Hasan, 2025; Mudhaffer et al., 2025; Tayeb et al., 2025).

En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño mecánico en el tiempo de resinas impresas mediante pruebas de resistencia a la flexión. La hipótesis nula planteó que no existirían diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la flexión entre las resinas evaluadas ni entre las condiciones de envejecimiento aplicadas.

### **Metodología**

Se llevó a cabo un estudio experimental *in vitro* de enfoque cuantitativo, diseñado para evaluar el desempeño mecánico en el tiempo de resinas impresas mediante pruebas de resistencia a la flexión.

Se utilizaron dos resinas fotopolimerizables para impresión 3D empleadas en restauraciones dentales: VoxelPrint Ceramic (FGM, Joinville, Brasil) y Prizma BIO Crown Diamont (Makertech Labs, São Paulo, Brasil).

El diseño de las probetas se realizó utilizando el software Meshmixer (Autodesk, EE.UU.), mientras que la preparación de los archivos de impresión se efectuó mediante el software Chitubox. Las probetas fueron diseñadas conforme a las especificaciones establecidas por la norma ISO 4049:2019 para materiales restauradores a base de polímeros. Cada probeta presentó dimensiones de: longitud: 25 mm, ancho: 2 mm y espesor: 2 mm.

La calibración de la impresora Anycubic Photon Mono se realizó principalmente en tres etapas clave: nivelación de la plataforma, ajuste del eje Z y configuración de parámetros de exposición. Primero, se debe aflojar la base de impresión y colocar una hoja de papel sobre la pantalla LCD; luego se baja el eje Z hasta el punto cero y se presiona ligeramente la plataforma para que quede uniforme, ajustando los tornillos para fijarla correctamente. Después, se establece ese punto como “Z=0” en el sistema. Finalmente, se configuran los parámetros de impresión según la resina utilizada, definiendo tiempos de exposición por capa, número de capas base y

altura de capa. Este proceso asegura una correcta adhesión inicial, precisión dimensional y evita fallas durante la impresión.

Previo al proceso de impresión, las resinas dentales fotopolimerizables VoxelPrint y Prizma BIO Crown Diamont fueron sometidas a un procedimiento de precalentamiento controlado con el fin de optimizar sus propiedades reológicas y asegurar una adecuada fluidez durante la fabricación aditiva. Para ello, se empleó un equipo de calentamiento con sistema de agitación integrada, el cual permite la homogenización térmica del material.

Las resinas fueron colocadas en el dispositivo y sometidas a un proceso de calentamiento progresivo durante un período aproximado de 60 minutos para VoxelPrint y 40 minutos para Prizma BIO Crown Diamont, hasta alcanzar una temperatura estable de 40 °C. Durante este tiempo, el sistema de mezcla garantizó la distribución uniforme del calor en toda la matriz resinosa, evitando gradientes térmicos y posibles alteraciones en la viscosidad. Este procedimiento se realizó bajo condiciones controladas, asegurando que la temperatura no excediera el umbral establecido, con el fin de preservar la estabilidad química del material y evitar una polimerización prematura.

El precalentamiento de las resinas contribuye a mejorar la manejabilidad del material, favoreciendo una mayor precisión en el proceso de impresión y una mejor adaptación de las capas durante la fotopolimerización.

Se elaboraron 40 probetas, que posteriormente fueron distribuidas aleatoriamente en cuatro grupos experimentales ( $n = 10$ ). El tamaño muestral ( $n = 10$  por grupo) se estableció con base en estudios previos *in vitro* con metodologías comparables. Borella et al. reportaron el uso de  $n = 10$  por material en probetas de  $2 \times 2 \times 25$  mm sometidas a ensayo de flexión en tres puntos (Borella et al., 2023). Asimismo, Fouda et al. evaluaron resinas impresas antes y después

del envejecimiento térmico con  $n = 10$  por condición experimental (Fouda et al., 2025). En conjunto, estos antecedentes respaldan la adecuación del tamaño muestral para detectar diferencias mecánicas entre materiales y condiciones experimentales.

El modelo digital fue exportado en formato STL y fabricado mediante impresión 3D utilizando tecnología SLA con el equipo Anycubic Photon Mono (Anycubic, Shenzhen, China).

Los parámetros de impresión utilizados para cada resina se presentan en la **Tabla 1**.

**Tabla 1**

*Parámetros de impresión de las resinas evaluadas*

<b>Parámetro</b>	<b>VoxelPrint Ceramic</b>	<b>Prizma BIO Crown Diamont</b>
<b>Longitud de onda</b>	405 nm	405 nm
<b>Temperatura ambiente de impresión</b>	40 °C	40 °C
<b>Tiempo de exposición por capa</b>	4,5 s	2.5 s ( $\pm 0,5$ s)
<b>Tiempo de exposición base</b>	20 s	60 s
<b>Altura de capa</b>	50 $\mu\text{m}$ (0,05 mm)	50 $\mu\text{m}$ (0,05 mm)
<b>Número estimado de capas</b>	40	40
<b>Orientación de impresión</b>	90° respecto a la plataforma	90° respecto a la plataforma

Se seleccionó una orientación de impresión vertical (90° respecto a la plataforma), con soportes mínimos, con el objetivo de reducir defectos de polimerización entre capas y mejorar la uniformidad estructural del material, dado que la orientación de impresión puede influir significativamente en las propiedades mecánicas.

Posteriormente a la impresión, las probetas fueron sometidas a un proceso de limpieza para eliminar residuos de resina no polimerizada. Las muestras de VoxelPrint Ceramic se lavaron en alcohol etílico al 40 % durante 5 minutos, mientras que las muestras de Prizma BIO Crown Diamont se lavaron en alcohol etílico al 70 % durante el mismo tiempo, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Una vez finalizado el proceso de limpieza, las muestras se dejaron secar completamente y se sometieron a poscurado en una unidad de luz UV a 60 °C durante 30 minutos.

Las probetas fueron distribuidas en cuatro grupos experimentales (n = 10), de acuerdo con el tipo de resina y la condición de envejecimiento (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Distribución de los grupos experimentales*

<b>Grupo</b>	<b>Resina</b>	<b>Condición de envejecimiento</b>	<b>n</b>
<b>PCT</b>	Prizma BIO Crown Diamont	Termociclado	10
<b>PST</b>	Prizma BIO Crown Diamont	Sin termociclado; almacenamiento en agua destilada a 37 °C por 24 h	10
<b>VCT</b>	VoxelPrint Ceramic	Termociclado	10
<b>VST</b>	VoxelPrint Ceramic	Sin termociclado; almacenamiento en agua destilada a 37 °C por 24 h	10



Con el fin de simular las condiciones de envejecimiento térmico presentes en la cavidad oral, 20 especímenes fueron sometidos a un proceso de termociclado. Este procedimiento consistió en 10 000 ciclos térmicos entre 5 °C y 55 °C, con un tiempo de permanencia de 30 segundos en cada baño y un tiempo de transferencia entre baños de aproximadamente 5 segundos. Este procedimiento reproduce las variaciones térmicas que experimentan los materiales restauradores debido al consumo de alimentos y bebidas frías y calientes.

Se ha sugerido que 10 000 ciclos de termociclado equivalen aproximadamente a un año de envejecimiento clínico, lo que permite evaluar los efectos de la expansión y contracción térmica repetida sobre las propiedades mecánicas de los materiales dentales.

Las muestras no sometidas a termociclado se almacenaron en agua destilada a 37 °C durante 24 horas antes del ensayo mecánico (Anusavice KJ, n.d.).

La resistencia a la flexión fue evaluada mediante una máquina universal de ensayos digital marca LG CMT-5L Mitutoyo (200 mm), utilizando una prueba de flexión en tres puntos, de acuerdo con la norma ISO 4049:2019. Previamente, el equipo fue calibrado conforme a las especificaciones del fabricante para garantizar la precisión de las mediciones.

Las probetas se colocaron sobre dos soportes separados por una distancia de 20 mm.

Posteriormente, se aplicó una carga central mediante un penetrador a una velocidad constante de 1 mm/min, hasta la fractura de la muestra.

La resistencia a la flexión se expresó en megapascales (MPa) y se calculó mediante la ecuación correspondiente, donde:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bd^2}$$

**F** = carga máxima aplicada (N), **L** = distancia entre soportes (mm), **b** = ancho de la muestra (mm), **d** = espesor de la muestra (mm)

Los datos obtenidos fueron organizados inicialmente en Microsoft Excel y posteriormente analizados mediante el lenguaje de programación Python, utilizando las librerías pandas, SciPy y statsmodels para el análisis estadístico.

Se realizaron análisis estadísticos descriptivos e inferenciales. La distribución de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk. Para el análisis comparativo se utilizó ANOVA factorial 2×2 dado que el estudio incluyó cuatro grupos experimentales organizados en, tipo de material: VoxelPrint y Prizma; y condición: con y sin termociclado, como método principal de análisis. Este enfoque permitió evaluar simultáneamente los efectos principales de cada factor y su posible interacción, proporcionando una interpretación integral del comportamiento mecánico de los materiales (Mishra et al., 2019). Posteriormente, se realizaron comparaciones específicas entre grupos mediante la prueba t de Welch con ajuste de Holm. El nivel de significancia estadística se estableció en  $\alpha = 0,05$ .

## **Resultados**

Los valores de resistencia a la flexión de los cuatro grupos experimentales se presentan en la Tabla 3 y se expresan en megapascales (MPa). El análisis descriptivo incluyó la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los intervalos de confianza al 95 %.

Se observaron diferencias en los valores medios entre los grupos experimentales. El grupo VCT registró la mayor resistencia a la flexión ( $89.08 \pm 14.31$  MPa), seguido por VST ( $77.00 \pm 16.10$  MPa), mientras que PCT presentó los valores más bajos ( $31.91 \pm 11.14$  MPa). El grupo PST mostró valores intermedios ( $59.82 \pm 15.10$  MPa).

En cuanto a la variabilidad de los datos, PCT presentó la mayor dispersión (CV = 34.93 %), mientras que VCT mostró la menor variabilidad (CV = 16.06 %). Los intervalos de

confianza al 95 % respaldan estas diferencias, evidenciándose valores superiores en VCT y menores en PCT.

**Tabla 3**

*Resistencia a la flexión por grupo*

<b>Grupo</b>	<b>n</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Mediana (Q1–Q3)</b>	<b>Min–Max</b>	<b>CV_%</b>	<b>IC95% media</b>
VCT	10	89.08 ± 14.31	89.62 (81.47–99.77)	65.70–109.66	16.06	78.84–99.31
PCT	10	31.91 ± 11.14	30.39 (23.36–35.85)	19.42–55.38	34.93	23.94–39.88
VST	10	77.00 ± 16.10	70.81 (68.41–90.75)	48.81–101.01	20.91	65.48–88.52
PST	10	59.82 ± 15.10	53.12 (48.32–74.36)	44.41–83.95	25.24	49.02–70.63

Al analizar la resistencia a la flexión de acuerdo con la condición experimental, los especímenes sin termociclado presentaron una media mayor ( $68.41 \pm 17.57$  MPa) en comparación con los especímenes sometidos a termociclado ( $60.49 \pm 31.87$  MPa). No obstante, esta diferencia debe interpretarse con cautela, ya que el efecto del termociclado no fue uniforme entre los materiales evaluados.

**Tabla 4**

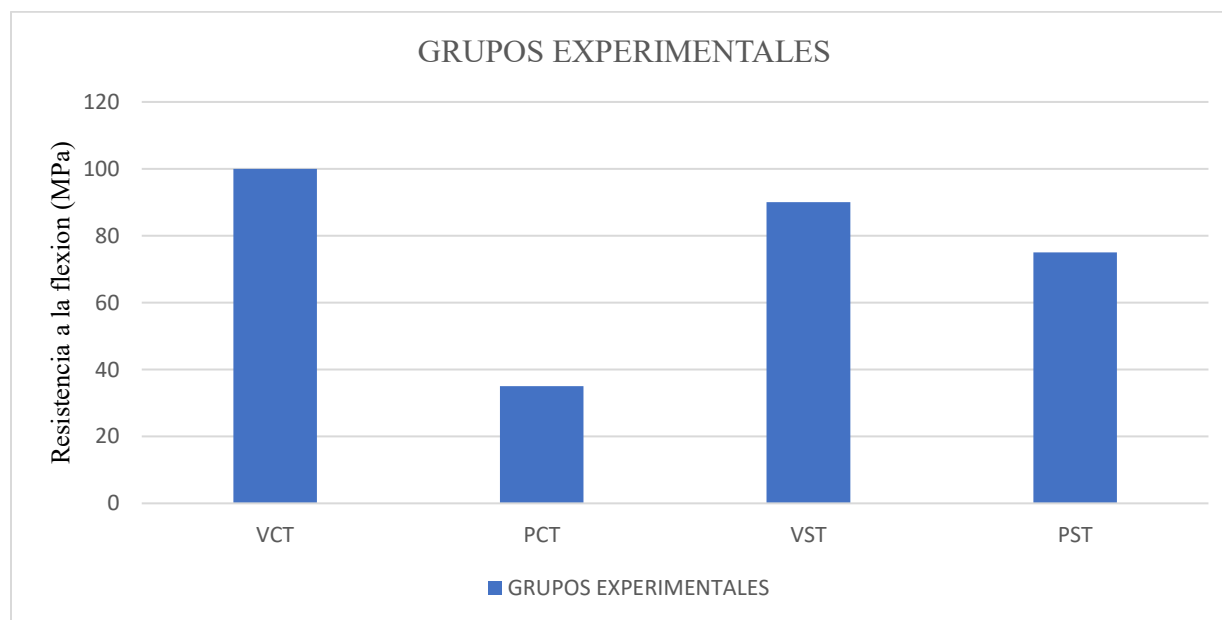
*Resistencia a la flexión según termociclado*

<b>Condición</b>	<b>n</b>	<b>Media ± DE</b>	<b>Mediana (Q1–Q3)</b>	<b>Min–Max</b>	<b>CV_%</b>	<b>IC95% media</b>
Con termociclado	20	60.49 ± 31.87	60.54 (31.14–88.27)	19.42–109.66	52.69	45.58–75.41
Sin termociclado	20	68.41 ± 17.57	69.47 (51.98–78.81)	44.41–101.01	25.68	60.19–76.63

El diagrama de barras muestra la comparación de la resistencia a la flexión entre las resinas VoxelPrint y Prizma Diamont bajo condiciones con y sin termociclado. Se observa que VoxelPrint presenta valores de resistencia superiores en ambas condiciones. Asimismo, el efecto del termociclado difiere entre los materiales: mientras que en VoxelPrint los valores se mantienen relativamente elevados, en Prizma Diamont se evidencia una disminución más marcada entre las muestras sometidas a termociclado y aquellas que no recibieron este tratamiento.

### Gráfico 1

*Grupos Experimentales*



### Estadística inferencial

La distribución de los datos fue evaluada mediante la prueba de Shapiro–Wilk para cada grupo experimental, con el fin de verificar el supuesto de normalidad. No se observaron desviaciones estadísticamente significativas de la normalidad en ninguno de los grupos ( $p > 0,05$ ) (Tabla 5).

**Tabla 5***Normalidad de los datos (Shapiro–Wilk por grupo)*

<b>Grupo</b>	<b>W</b>	<b>p</b>
VCT	0.964	0.828
PCT	0.923	0.387
VST	0.924	0.391
PST	0.856	0.068

**Tabla 6***Estadística comparativa de los grupos VCT, PCT, VST y PST según la prueba t de Welch*

<b>Comparación</b>	<b>Descripción</b>	<b><math>\Delta</math> media (MPa)</b>	<b>IC95%</b>	<b>p (Welch)</b>	<b>p (Holm)</b>	<b>g de Hedges</b>
PCT - VCT	Efecto material con termociclado (Prizma - Voxel)	-57.17	[-69.27, -45.07]	1.639e-08	6.554e-08	-4.27
PST - VST	Efecto material sin termociclado (Prizma - Voxel)	-17.18	[-31.85, -2.51]	0.024	0.048	-1.05
VST- VCT	Efecto termociclado en Voxel (Sin - Con)	-12.07	[-26.40, 2.25]	0.093	0.093	-0.76

Comparación	Descripción	$\Delta$		p (Welch)	p (Holm)	g de Hedges
		media (MPa)	IC95%			
PST - PCT	Efecto termociclado en Prizma (Sin - Con)	27.91	[15.36, 40.46]	2.192e- 04	6.575e- 04	2.01

Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante la prueba t de Welch con ajuste de Holm. Se observaron diferencias estadísticamente significativas en tres de las cuatro comparaciones analizadas.

Bajo condición de termociclado, el grupo PCT presentó una resistencia a la flexión significativamente menor que VCT ( $\Delta = -57,17$  MPa; IC95 %:  $-69,27$  a  $-45,07$ ;  $p < 0,001$ ;  $g = -4,27$ ). De manera similar, en ausencia de termociclado, PST mostró valores inferiores a VST ( $\Delta = -17,18$  MPa; IC95 %:  $-31,85$  a  $-2,51$ ;  $p = 0,048$ ;  $g = -1,05$ ).

En cuanto al efecto del termociclado dentro de cada material, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre VST y VCT ( $p = 0,093$ ), lo que sugiere una relativa estabilidad de VoxelPrint frente al envejecimiento térmico. En contraste, Prizma Diamont presentó una disminución significativa de la resistencia a la flexión tras el termociclado (PST vs. PCT:  $\Delta = 27,91$  MPa; IC95 %:  $15,36$  a  $40,46$ ;  $p < 0,001$ ;  $g = 2,01$ ).

### Discusión

El presente estudio evaluó el desempeño mecánico en el tiempo de dos resinas compuestas impresas mediante tecnología de fabricación aditiva, mediante el análisis de su resistencia a la flexión antes y después de un proceso de envejecimiento térmico por

termociclado. Los resultados obtenidos evidencian diferencias entre los materiales evaluados y entre las condiciones experimentales.

En relación con el tipo de material, VoxelPrint Ceramic presentó valores significativamente superiores de resistencia a la flexión en comparación con Prizma BIO Crown Diamont, tanto en condiciones iniciales como tras el envejecimiento térmico. Este comportamiento podría estar asociado a diferencias en la composición química, el contenido y la distribución del relleno inorgánico, así como al grado de conversión y a la densidad de entrecruzamiento de la matriz polimérica. Estos factores han sido ampliamente descritos como determinantes en el desempeño mecánico de resinas fotopolimerizables.

Desde un punto de vista microestructural, es plausible que un mayor contenido y una distribución más homogénea del relleno favorezcan una transferencia más eficiente de las cargas y una menor concentración de tensiones dentro de la matriz polimérica, lo que limita la iniciación y propagación de microfisuras. En contraste, los menores valores observados en Prizma BIO Crown Diamont podrían indicar una estructura más susceptible a procesos de degradación, posiblemente relacionada con una menor estabilidad de la interfaz matriz–relleno o con un menor refuerzo inorgánico. No obstante, estas interpretaciones deben considerarse con cautela, ya que no se realizó un análisis composicional directo de los materiales.

En cuanto al efecto del termociclado, los resultados muestran que el envejecimiento hidrotérmico afectó de manera diferente a los materiales evaluados. Mientras que VoxelPrint Ceramic no presentó cambios estadísticamente significativos en su resistencia a la flexión, Prizma BIO Crown Diamont evidenció una disminución significativa tras el envejecimiento térmico. Este comportamiento sugiere que la estabilidad mecánica frente a cambios térmicos depende en gran medida de la composición y de la integridad estructural del material

El efecto del termociclado puede explicarse por mecanismos como la absorción de agua, la plastificación de la matriz polimérica y la degradación hidrolítica de la interfaz matriz–relleno.

Asimismo, las diferencias en los coeficientes de expansión térmica entre los componentes del material pueden generar tensiones internas durante los ciclos térmicos, favoreciendo la formación y propagación de microfisuras. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por (Korkmaz et al., 2024), quienes observaron una disminución de la resistencia flexural tras envejecimiento artificial, así como con (Lozada et al., 2025), quienes destacan la influencia de la composición y del poscurado en las propiedades fisicomecánicas de resinas impresas.

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos en este estudio se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para resinas impresas destinadas a restauraciones definitivas (Li et al., 2024). En el caso de VoxelPrint Ceramic, los valores se sitúan dentro del rango, lo que respalda su idoneidad mecánica. En contraste, Prizma BIO Crown Diamont, especialmente después del termociclado, mostró valores cercanos al límite inferior, lo que sugiere una mayor susceptibilidad a la degradación térmica.

Las diferencias observadas entre ambos materiales también pueden estar relacionadas con variables inherentes a la fabricación aditiva, como la orientación de impresión, la estrategia de fotopolimerización y la microestructura interna generada durante el proceso de impresión. Estudios previos han demostrado que variaciones en la distribución del relleno inorgánico y en la arquitectura interna del material influyen directamente en su comportamiento mecánico (Abad-Coronel et al., 2025; Alshamrani et al., 2023). En este contexto, los resultados del presente estudio refuerzan la idea de que no todas las resinas impresas presentan un desempeño equivalente, incluso cuando están destinadas a la misma aplicación clínica.



Un hallazgo relevante fue que VoxelPrint Ceramic mantuvo valores relativamente altos de resistencia a la flexión incluso después del envejecimiento térmico, lo que sugiere una mayor estabilidad de su matriz polimérica frente a procesos de degradación hidrotérmica. Esta estabilidad podría explicarse por una mejor interacción matriz-relleno o por la incorporación de partículas cerámicas o nanopartículas que refuerzan la estructura del material. En concordancia, estudios recientes han señalado que este tipo de refuerzo contribuye a limitar la propagación de microfisuras y a preservar la integridad mecánica a largo plazo (ElMalah et al., 2024; Mudhaffer et al., 2025).

En contraste, la mayor caída de resistencia observada en Prizma indicaría una estructura más vulnerable a estos procesos degradativos. Estudios recientes han demostrado que los cambios repetitivos de temperatura pueden generar tensiones internas entre la matriz resinosa y las partículas de relleno, favoreciendo la aparición de microfisuras que disminuyen la resistencia estructural del material (Salonen et al., 2025). Asimismo, investigaciones comparativas han confirmado que los materiales impresos mediante tecnologías digitales tienden a mostrar una reducción en sus propiedades mecánicas después de procesos de envejecimiento acelerado, lo que coincide con la tendencia observada en los grupos de termociclado del presente estudio (Tavuz et al., 2025).

Desde una perspectiva clínica, estos resultados sugieren que, aunque las resinas impresas representan una alternativa prometedora para restauraciones indirectas dentro de flujos digitales, su desempeño depende en gran medida de la formulación del material. En este sentido, VoxelPrint Ceramic podría ofrecer ventajas clínicas en situaciones donde se requiera mayor resistencia mecánica y estabilidad frente al envejecimiento. Sin embargo, la reducción general de

la resistencia tras el termociclado evidencia que la durabilidad a largo plazo sigue siendo un aspecto crítico que requiere mayor investigación (Yıldırım et al., 2025).

Finalmente, este estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño in vitro, ya que no reproduce completamente la complejidad del entorno oral, donde intervienen factores como cargas cíclicas, variaciones de pH, abrasión y degradación química. Asimismo, la evaluación se limitó a dos materiales comerciales y a una única propiedad mecánica, lo que restringe la generalización de los resultados. Sin embargo, la aplicación de un protocolo estandarizado basado en la norma ISO 4049 y la inclusión de envejecimiento térmico permiten aportar evidencia relevante sobre el comportamiento mecánico de resinas impresas, contribuyendo al conocimiento actual en odontología restauradora digital.

### **Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos, la hipótesis nula fue rechazada, ya que se identificaron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la flexión entre las resinas evaluadas y entre las condiciones de envejecimiento aplicadas. Los resultados demostraron que tanto el tipo de material como el proceso de termociclado influyeron en el comportamiento mecánico de las resinas impresas, evidenciándose además una interacción significativa entre ambos factores.

El comportamiento frente al envejecimiento térmico no fue uniforme. Prizma BIO Crown Diamont presentó una disminución significativa de la resistencia a la flexión tras el termociclado, mientras que VoxelPrint Ceramic no mostró cambios estadísticamente significativos, evidenciando una mayor estabilidad mecánica bajo las condiciones evaluadas. En términos comparativos, VoxelPrint Ceramic presentó valores superiores de resistencia a la flexión en

todas las condiciones experimentales, lo que sugiere un mejor desempeño mecánico en relación con Prizma BIO Crown Diamont.

Desde el punto de vista clínico, estos hallazgos indican que el desempeño de las resinas impresas depende de su formulación y de su respuesta frente al envejecimiento. No obstante, la extrapolación clínica de estos resultados debe realizarse con cautela debido a las limitaciones inherentes a los estudios *in vitro*.

Se recomienda que futuras investigaciones incluyan un mayor número de materiales, evalúen múltiples propiedades mecánicas y consideren variables adicionales como la orientación de impresión, los protocolos de poscurado y métodos más complejos de envejecimiento acelerado. Asimismo, es fundamental el desarrollo de estudios *in vivo* que permitan validar estos hallazgos bajo condiciones clínicas reales y evaluar la durabilidad a largo plazo de las resinas impresas en odontología restauradora digital.

### Referencias

- Abad-Coronel, C., Durán Urdiales, D., Benalcázar Arias, M. V., Córdova, A. K., Medina, M. S., & Bravo Torres, W. (2025). Flexural Strength, Fatigue Behavior, and Microhardness of Three-Dimensional (3D)-Printed Resin Material for Indirect Restorations: A Systematic Review. *Materials (Basel, Switzerland)*, *18*(3). <https://doi.org/10.3390/ma18030556>
- Al-Dulaijan, Y. A., Alsulaimi, L., Alotaibi, R., Alboainain, A., Akhtar, S., Khan, S. Q., Al-Ghamdi, M., & Gad, M. M. (2023). Effect of Printing Orientation and Postcuring Time on the Flexural Strength of 3D-Printed Resins. *Journal of Prosthodontics*, *32*(S1), 45–52. <https://doi.org/10.1111/jopr.13572>
- Alshamrani, A., Alhotan, A., Kelly, E., & Ellakwa, A. (2023). Mechanical and Biocompatibility Properties of 3D-Printed Dental Resin Reinforced with Glass Silica and Zirconia Nanoparticles: In Vitro Study. *Polymers*, *15*(11), 2523. <https://doi.org/https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10255304/>
- Anusavice KJ, S. C. (n.d.). *Phillips' Science of Dental Materials*. (12th ed.). St. Louis: Elsevier; Retrieved March 16, 2026, from <https://biomedisca.com/wp-content/uploads/2025/02/Phillips-Science-of-Dental-Materials-12th-Edition.pdf>
- Baytur, S., & Diken Turksayar, A. A. (2025). Effects of post-polymerization conditions on color properties, surface roughness, and flexural strength of 3D-printed permanent resin material after thermal aging. *Journal of Prosthodontics : Official Journal of the American College of Prosthodontists*, *34*(3), 298–307. <https://doi.org/10.1111/jopr.13818>

- Bennett, G. W., & Kohler, A. (2025). Analysis of Flexural Strength and Brittleness of a Polyjet 3D-Printed Denture Base Polymer. *Clinical and Experimental Dental Research*, 11(5), e70228. <https://doi.org/10.1002/cre2.70228>
- Borella, P. S., Alvares, L. A. S., Ribeiro, M. T. H., Moura, G. F., Soares, C. J., Zancopé, K., Mendonça, G., Rodrigues, F. P., & das Neves, F. D. (2023). Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: An in vitro comparative study. *Dental Materials*, 39(8), 686–692. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.06.002>
- Choi, H. E., Kim, S., Kim, G. Y., Li, J., Pieralli, S., & Oh, K. C. (2025). Mechanical and esthetic properties of denture base resins in relation to thermocycling. *Scientific Reports 2025 15:1*, 15(1), 40789-. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24596-2>
- De Angelis, F., D'Amario, M., Jahjah, A., Frascaria, M., Vadini, M., Sorrentino, E., Biferi, V., & D'Arcangelo, C. (2024). Flexural Properties of Three Novel 3D-Printed Dental Resins Compared to Other Resin-Based Restorative Materials. *Prosthesis 2024, Vol. 6, Pages 619-630*, 6(3), 619–630. <https://doi.org/10.3390/prosthesis6030043>
- Di Fiore, A., Stellini, E., Alageel, O., & Alhotan, A. (2024). Comparison of mechanical and surface properties of two 3D printed composite resins for definitive restoration. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(4), 839.e1-839.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.07.003>
- ElMalah, N. S., Hanafy, S. A., Osman, E. M., Aboulgheit, S. A., & Baz, A. S. (2024). Effect of nanomodified 3D printed photopolymerizable resin on flexural strength, color, and antimicrobial efficacy: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(1), 268.e1-268.e8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.03.036>
- Fouda, S., Ji, W., Gad, M. M., AlGhamdi, M. A., & Rohr, N. (2025). Flexural Strength and Surface Properties of 3D-Printed Denture Base Resins—Effect of Build Angle, Layer Thickness and Aging. *Materials*, 18(4), 913. <https://doi.org/10.3390/ma18040913>
- Gad, M. M., & Fouda, S. M. (2023). Factors affecting flexural strength of 3D-printed resins: A systematic review. *Journal of Prosthodontics*, 32(S1), 96–110. <https://doi.org/10.1111/JOPR.13640>
- Hasan, N. H. (2025). The Impact of Thermocycling on the Physico-mechanical Properties of SLA and DLP 3D-Printed Dental Ceramics: A Comparative Study. *Dentistry 3000*, 13(1). <https://doi.org/10.5195/d3000.2025.866>
- Korkmaz, Y. N., Buyuk, S. K., Simsek, H., & Abay, F. (2024). Comparison of the Flexural Strength of Three Different Aged and Nonaged 3D-Printed Permanent Crown Resins. *The International Journal of Prosthodontics*, 37(7), S203–S207. <https://doi.org/10.11607/ijp.8987>
- Li, R., Albaghli, A., Orgev, A., Marrano, J., & Sadid-Zadeh, R. (2024). Effect of thermal cycling on the flexure strength of CAD-CAM denture base materials: An in vitro study. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 132(3), 645.e1-645.e7. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.07.005>
- Lozada, M. I. T., Rondón, A. K. A., Cordeiro, I. B., Borella, P. S., Junqueira, P. C., Mendonça, G., & Soares, C. J. (2025). Physicomechanical properties of 3D printed resins for producing definitive dental crowns. *Journal of Prosthetic Dentistry*. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.07.017>
- Mishra, P., Singh, U., Pandey, C. M., Mishra, P., & Pandey, G. (2019). Application of Student's t-test, Analysis of Variance, and Covariance. *Annals of Cardiac Anaesthesia*, 22(4), 407. [https://doi.org/10.4103/aca.aca\\_94\\_19](https://doi.org/10.4103/aca.aca_94_19)

- Mudhaffer, S., Haider, J., Satterthwaite, J., & Silikas, N. (2025). Effects of print orientation and artificial aging on the flexural strength and flexural modulus of 3D printed restorative resin materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 133(5), 1345–1357. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.08.008>
- Saini, R. S., Gurumurthy, V., Quadri, S. A., Bavabeedu, S. S., Abdelaziz, K. M., Okshah, A., Alshadidi, A. A. F., Yessayan, L., Mosaddad, S. A., & Heboyan, A. (2024). The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health* 2023 24:1, 24(1), 66-. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03826-x>
- Salonen, R., Garoushi, S., Vallittu, P., & Lassila, L. (2025). Characterization of temporary and permanent 3D-printed crown and bridge resins. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 12, 43584. <https://doi.org/10.2340/biid.v12.43584>
- Tavuz, K. A., Al-Haj Husain, N., Mätzener, K. J., Ateş, M. M., Eyüboğlu, T. F., & Özcan, M. (2025). Evaluation of flexural strength of additively manufactured resin materials compared to auto-polymerized provisional resin with and without hydrothermal aging. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 161(5), 106817. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2024.106817>
- 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* 2025, Vol. 16, 16(12). <https://doi.org/10.3390/jfb16120468>
- Temizci, T., & Bozoğulları, H. N. (2024). Effect of thermal cycling on the flexural strength of 3-D printed, CAD/CAM milled and heat-polymerized denture base materials. *BMC Oral Health*, 24(1), 357. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04122-y>
- Yıldırım, Ö., Yeşil, Z., & Hatipoğlu, Ö. (2025). Effect of different 3D-printing systems on the flexural strength of provisional fixed dental prostheses: a systematic review and network meta-analysis of in vitro studies. *BMC Oral Health*, 25(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05470-z>

