Artículo original

Perfiles de grosor de capa y propiedades flexurales de una resina provisional impresa: estudio piloto

Layer Thickness Profiles and Flexural Properties of a 3D-Printed Temporary Resin: A Pilot Study

Nicolás Améstica-Fuenzalida[1] https://orcid.org/0009-0004-6760-798X
Mauricio Toro-González[1] https://orcid.org/0000-0003-4473-5482
Joshua Ferreira-Sanhueza[2] https://orcid.org/0009-0004-6164-6822
Elizabeth Astorga-Bustamante[1*] https://orcid.org/0009-0006-3351-5512
Alain Manuel Chaple-Gil [3**] https://orcid.org/0000-0002-8571-4429

[1]Universidad de Chile, Facultad de Odontología, Departamento de Rehabilitación Oral. Santiago, Chile.
[2]Servicio de Salud Metropolitano Sur. Santiago, Chile.
[3]Universidad Autónoma de Chile, Facultad de Ciencias de la Salud. Santiago, Chile.

[*]Autor para la correspondencia: eastorga@odontologia.uchile.cl
[**]Autor para la correspondencia: alain.chaple@uautonoma.cl

RESUMEN

Introducción: El grosor de capa es un parámetro configurable de la impresión tridimensional, que podría modificar las propiedades flexurales de las resinas para restauraciones provisionales.

Objetivo: Describir la resistencia flexural y el módulo flexural aparente de una resina provisional impresa con cuatro perfiles definidos por su grosor nominal de capa, y compararlos con el umbral de resistencia flexural de la norma ISO 10477:2020.

Métodos: Estudio experimental *in vitro* de carácter piloto. Se imprimieron probetas de 25 × 2 × 2 mm de resina LuDent C&B TRY IN orientadas a 90°, con perfiles de 25,

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

50, 75 y 100 µm, en una impresión por perfil. Tras el posprocesado y 24 horas en agua a 37 °C, se ensayaron en flexión en tres puntos con sus dimensiones reales. El módulo se calculó con la pendiente del tramo lineal carga-deflexión. Las 31 probetas se analizaron de forma descriptiva, sin contrastes de hipótesis, porque el efecto del perfil no puede separarse del de la impresión.

Resultados: La resistencia flexural media fue de 73,0; 46,5; 34,0 y 49,0 MPa, y el módulo flexural aparente medio, de 1,77; 1,18; 1,15 y 0,97 GPa con 25, 50, 75 y 100 µm, respectivamente. La impresión de 25 µm, ensayada en otra sesión, presentó los valores más altos, sin un patrón progresivo entre los demás perfiles. Ninguna probeta cumplió la tolerancia dimensional de la norma en ancho y altura. Alcanzaron 50 MPa 6 de 8, 3 de 8, 1 de 8 y 4 de 7 probetas, respectivamente.

Conclusiones: En las cuatro impresiones evaluadas, el perfil de 25 µm produjo especímenes con mayor resistencia flexural y módulo flexural aparente. Al evaluarse cada perfil en una sola impresión, estas diferencias no pueden atribuirse al grosor de capa y requieren confirmación con varias impresiones independientes por perfil.

Palabras clave: impresión tridimensional; resistencia flexional; restauración dental provisional; ensayo de materiales.

ABSTRACT

Introduction: Layer thickness is a configurable parameter of 3D printing that could modify the flexural properties of resins for temporary restorations.

Objective: To describe the flexural strength and apparent flexural modulus of a 3D-printed temporary resin with four profiles defined by their nominal layer thickness, and to compare them with the flexural strength threshold specified in ISO 10477:2020.

Methods: A pilot in vitro experimental study. Test specimens measuring 25 × 2 × 2 mm were printed from LuDent C&B TRY IN resin, oriented at 90°, with layer thicknesses of 25, 50, 75, and 100 µm, with one print per layer. After post-processing and 24 hours in water at 37 °C, the specimens were tested using a three-point

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

bending test at their actual dimensions. The modulus was calculated using the slope of the linear load-deflection curve. The 31 specimens were analyzed descriptively, without hypothesis testing, because the effect of the profile cannot be separated from that of the print.

Results: The average flexural strength was 73.0, 46.5, 34.0, and 49.0 MPa, and the average apparent flexural modulus was 1.77, 1.18, 1.15, and 0.97 GPa for 25, 50, 75, and 100 µm, respectively. The 25 µm impression, tested in a separate session, yielded the highest values, with no clear trend among the other profiles. None of the specimens met the standard's dimensional tolerance for width and height. Six out of eight, three out of eight, one out of eight, and four out of seven specimens, respectively, reached 50 MPa.

Conclusions: Among the four prints evaluated, the 25 µm profile produced specimens with higher flexural strength and apparent flexural modulus. Since each profile was evaluated in a single print, these differences cannot be attributed to layer thickness and require confirmation with multiple independent prints per profile.

Keywords: 3D printing; flexural strength; temporary dental restoration; materials testing.

Recibido: 12/07/2026

Aceptado: 08/10/2026

Introducción

El catálogo de materiales para restauraciones provisionales ha incorporado, junto con el polimetilmetacrilato (PMMA) y las resinas bis-acrílicas, resinas fotopolimerizables, fabricadas mediante impresión tridimensional (3D) dentro de flujos de trabajo de diseño y manufactura asistidos por computadora (CAD/CAM, del inglés, *Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*)..[1] Estos materiales deben cumplir requisitos mecánicos vinculados con la función oclusal y

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

la longevidad de la restauración,[2] entre los que la resistencia flexural y el módulo elástico se consideran indicadores relevantes de su comportamiento.[3]

En la impresión por polimerización en cuba, el grosor de capa es un parámetro configurable que podría condicionar las propiedades mecánicas del material impreso. Se ha descrito mayor resistencia flexural y menor rugosidad superficial en probetas impresas con capas más delgadas,[4] mientras que la inhibición de la polimerización por oxígeno durante la fabricación puede comprometer las propiedades físico-mecánicas de estas resinas.[5] Una revisión sistemática con metaanálisis reciente identificó resultados heterogéneos y ausencia de consenso sobre el grosor de capa más favorable para restauraciones provisionales impresas,[6] por lo que la evidencia disponible continúa siendo limitada.

La norma ISO 10477:2020 establece, entre otros requisitos para materiales poliméricos de coronas y carillas, un criterio de aceptación de resistencia flexural.[7] Aquí se empleó como referencia metodológica, y su umbral de 50 MPa, como valor de comparación, aunque no fue desarrollada para materiales impresos ni contempla parámetros propios de esta tecnología. Una de las resinas disponibles para coronas y puentes provisionales es LuDent C&B TRY IN (Luvantix, Corea del Sur), para la cual el fabricante declara una resistencia flexural de 124 MPa, sin especificar el grosor de capa empleado.[8]

El objetivo de este estudio piloto fue describir la resistencia flexural y el módulo flexural aparente de probetas de LuDent C&B TRY IN obtenidas en cuatro impresiones con perfiles de 25, 50, 75 y 100 μm de grosor nominal de capa, y compararlos con el umbral de 50 MPa de la norma ISO 10477:2020.

Métodos

Tipo de estudio y material

Se realizó un estudio experimental *in vitro*, de carácter piloto, en el Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile. Se evaluó la

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

resina LuDent C&B TRY IN, polímero fotoactivado tipo 2, clase 2, según la clasificación de la norma ISO 10477:2020.[7]

Fabricación de las probetas

Se diseñaron probetas de 25 × 2 × 2 mm en TinkerCAD (Autodesk, Estados Unidos), dimensiones establecidas por la norma,[7] y el archivo STL se procesó en el *software* de laminado Chitubox (CBD-Tech, China). La impresión se realizó en una impresora de pantalla de cristal líquido (LCD) monocromática Ackuretta SOL (Ackuretta Technologies, Taiwán), con retroiluminación LED de 385 a 405 nm y resolución XY de 49 *µ*m. Las probetas se orientaron a 90° respecto de la plataforma, con su eje longitudinal paralelo a la dirección de construcción (eje Z), de modo que los planos de capa quedaron perpendiculares al eje longitudinal y los soportes se ubicaron en la base (fig. 1 A y B). En la sección A para cada perfil de impresión, identificado por su grosor nominal de capa (25, 50, 75 y 100 *µ*m), las probetas se obtuvieron en una única impresión, distribuidas de forma homogénea sobre la plataforma, con cuatro impresiones en total. Entre las impresiones se mantuvieron constantes la resina, la impresora, la geometría, la orientación y el posprocesado; los demás parámetros de cada perfil (tiempos de exposición, capas iniciales, velocidad y distancia de elevación) no se registraron ni se conservaron los archivos de laminado, por lo que pudieron diferir entre perfiles.

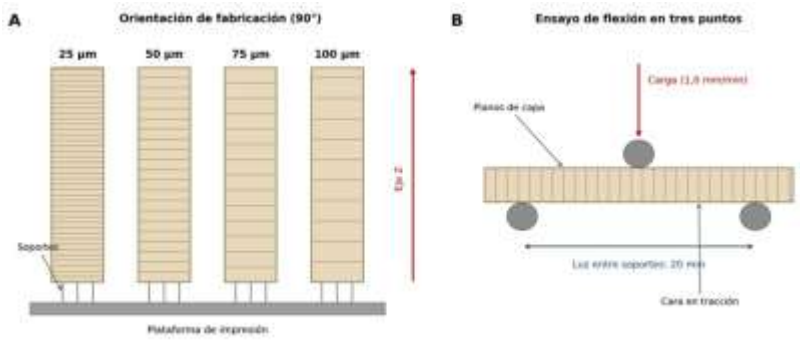


Fig. 1 - Esquema de fabricación y ensayo. A) probetas orientadas a 90°, con los planos de capa perpendiculares al eje longitudinal y los soportes en la base; espaciado de capas no a escala. B) configuración del ensayo de flexión en tres puntos.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Posprocesado y acabado

El posprocesado se efectuó con la unidad Ackuretta CURIE según las indicaciones del fabricante de la resina: lavado ultrasónico con solvente TEK1960 en dos ciclos de 2 a 3 min, secado con aire comprimido, calentamiento a 60 °C durante 10 min y poscurado con luz ultravioleta durante 30 min.[8] Los soportes se eliminaron manualmente con papel abrasivo al agua de grano 320, solo en la zona de los soportes, con las pasadas necesarias, sin protocolo estandarizado y por un único operador. Antes del ensayo, las probetas se almacenaron en agua de grado 2 (ISO 3696) a 37 ± 1 °C durante 24 ± 2 h.[9]

Medición dimensional

Después del acabado, el ancho (b) y la altura (h) de cada probeta se midieron una vez, en la zona central, con un pie de metro digital (GENERIC, China) y se registraron con una aproximación de 0,01 mm. Estos valores individuales, y no las dimensiones nominales, se emplearon en todos los cálculos. La conformidad se valoró respecto de la tolerancia de 2,0 ± 0,1 mm de la norma.[7]

Ensayo de flexión

El ensayo de flexión en tres puntos se realizó en una platina DEBEN Microtest (Deben UK, Reino Unido) con celda de carga de 200 N calibrada a esa capacidad, soportes cilíndricos e indentador central de 5 mm de diámetro, con 20 mm entre soportes (fig. 1B), a 1,0 mm/min hasta la fractura. La carga y el desplazamiento se registraron a 2 Hz con el *software* del equipo (versión 6.1.83). La deflexión correspondió al desplazamiento del travesaño, sin corrección por la deformación del sistema de ensayo. Las probetas se ensayaron en bloques por impresión y en orden correlativo, sin aleatorización: las de 25 *µ*m el 19 de enero de 2023 (sesión 1) y las de 100, 75 y 50 *µ*m, en ese orden, el 23 de enero de 2023 (sesión 2); la hora de cada ensayo, registrada por el equipo, se presentan en la tabla 1 y figura 2.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Tabla 1 - Datos individuales de las 31 probetas ensayadas, por perfil de impresión

Perfil (μm)	Probeta	Fecha y hora de ensayo	h (mm)	b (mm)	F máx. (N)	δ en F máx. (mm)	σ (MPa)	m (N/mm)	R²	E (GPa)
	Perfil de impresión de 25 μm (sesión 1)									
25	1	19/01/2023 11:02:22	2,307	2,08	18,427	1,582	49,94	14,18	0,9988	1,11
25	2	19/01/2023 11:06:38	2,22	2,10	24,630	1,962	71,39	19,85	0,9958	1,73
25	3	19/01/2023 11:13:52	2,20	2,01	29,368	3,167	90,56	18,05	0,9990	1,69
25	4	19/01/2023 11:19:45	2,04	2,41	25,227	1,519	75,46	24,37	0,9947	2,38
25	5	19/01/2023 11:25:06	2,14	2,28	33,043	2,566	94,94	18,69	0,9981	1,67
25	6	19/01/2023 11:29:51	2,26	2,37	32,125	1,896	79,62	26,40	0,9979	1,93
25	7	19/01/2023 11:35:01	2,31	2,56	22,343	1,418	49,07	29,89	0,9995	1,89
25	8	19/01/2023 11:41:11	2,44	2,49	35,976	1,742	72,80	31,99	0,9990	1,77
	Perfil de impresión de 50 μm (sesión 2)									
50	1	23/01/2023 12:08:52	2,38	2,36	30,740	2,156	68,99	22,19	0,9948	1,39
50	2	23/01/2023 12:15:28	2,60	2,41	30,990	1,561	57,07	24,32	0,9952	1,15
50	3	23/01/2023 12:21:03	2,26	2,38	11,607	1,360	28,64	17,11	0,9955	1,25
50	4	23/01/2023 12:24:11	2,61	2,43	20,174	1,125	36,56	20,73	0,9991	0,96
50	5	23/01/2023 12:26:58	2,53	2,49	18,669	1,230	35,14	21,84	0,9934	1,08
50	6	23/01/2023 12:30:39	2,27	2,20	21,679	1,898	57,37	18,60	0,9958	1,45
50	7	23/01/2023 12:34:48	2,56	2,45	21,424	1,330	40,03	23,17	0,9942	1,13
50	8	23/01/2023 12:38:25	2,62	2,55	27,992	1,567	47,97	24,05	0,9932	1,05
	Perfil de impresión de 75 μm (sesión 2)									
75	1	23/01/2023 11:40:06	2,33	2,57	18,623	1,515	40,04	22,65	0,9992	1,39
75	2	23/01/2023 11:44:08	2,70	2,38	27,587	2,070	47,70	21,60	0,9969	0,92
75	3	23/01/2023 11:47:31	2,46	2,47	10,163	0,836	20,40	17,89	0,9995	0,97
75	4	23/01/2023 11:51:08	2,29	2,12	21,258	1,926	57,36	17,75	0,9960	1,39
75	5	23/01/2023 11:54:59	2,50	2,32	18,034	1,551	37,31	21,62	0,9982	1,19

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

75	6	23/01/2023 11:57:48	2,45	2,46	10,420	0,868	21,17	15,55	0,9995	0,86
75	7	23/01/2023 12:00:28	2,37	2,42	14,178	1,140	31,29	16,61	0,9957	1,03
75	8	23/01/2023 12:03:23	2,14	2,28	5,943	1,069	17,08	15,87	0,9979	1,42
	Perfil de impresión de 100 μm (sesión 2)									
100	1	23/01/2023 10:59:00	2,14	2,22	24,480	3,752	72,24	12,17	0,9929	1,12
100	2	23/01/2023 11:09:10	2,30	2,23	25,381	3,358	64,55	12,29	0,9926	0,91
100	3	23/01/2023 11:14:59	2,55	2,31	24,445	1,988	48,82	16,21	0,9952	0,85
100	4	23/01/2023 11:20:01	2,13	2,11	18,286	2,302	57,31	11,86	0,9944	1,16
100	5	23/01/2023 11:23:47	2,26	2,32	6,222	0,896	15,75	10,29	0,9974	0,77
100	6	23/01/2023 11:28:52	2,68	2,32	28,385	2,378	51,10	17,25	0,9915	0,77
100	7	23/01/2023 11:35:29	2,22	2,30	12,537	1,385	33,18	14,99	0,9986	1,19

Leyenda: h: altura; b: ancho; F máx.: carga máxima; δ: desplazamiento del travesaño en la carga máxima; σ: resistencia flexural (3FL/2bh²); m: pendiente de la curva carga-deflexión entre el 20 % y el 50 % de la carga máxima; R²: coeficiente de determinación de dicha regresión; E: módulo flexural aparente (L³m/4bh³); L = 20 mm. Fecha y hora: registradas por el equipo al finalizar cada ensayo; el número de probeta corresponde al orden de ensayo dentro de cada impresión. F máx. y δ se informan con la resolución del registro original. Ninguna probeta tuvo altura y ancho dentro de 2,0 ± 0,1 mm.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

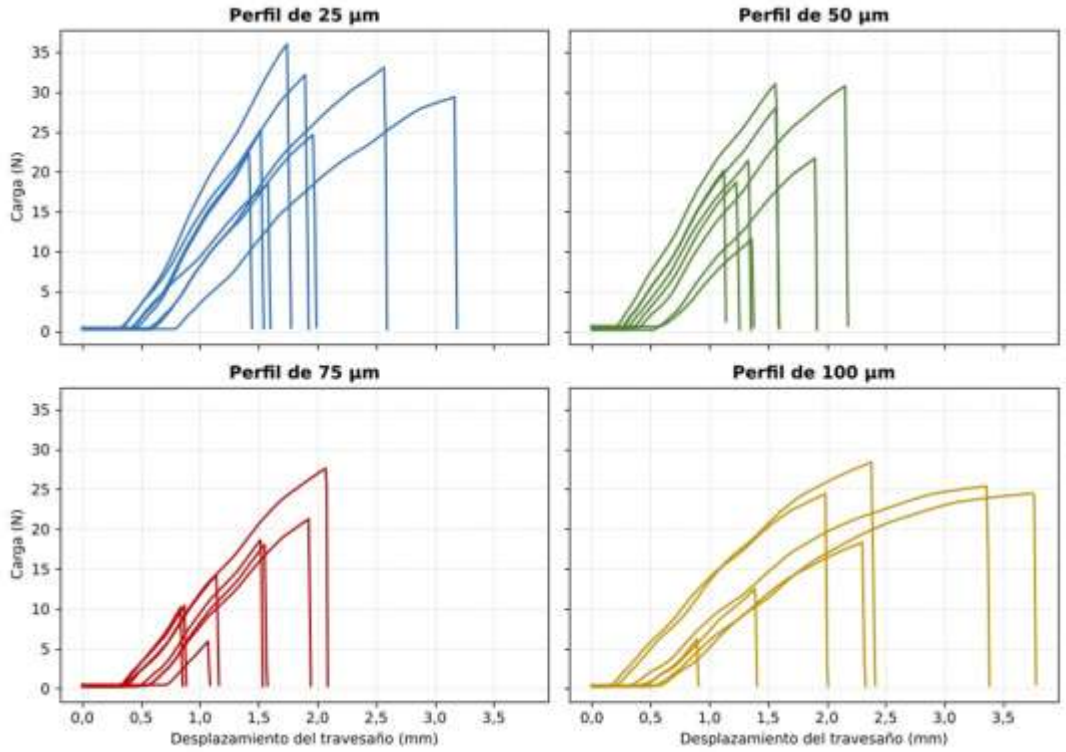


Fig. 2 - Curvas carga-desplazamiento de las 31 probetas, por perfil de impresión, hasta la fractura. El tramo inicial de carga nula corresponde al asentamiento del indentador.

La resistencia flexural se calculó como:

$$\sigma = 3FL/2bh^2$$

Donde F es la carga máxima y L la distancia entre soportes.
El módulo flexural se calculó como:

$$E = L^3m/4bh^3$$

Donde m es la pendiente de la curva carga-deflexión obtenida por regresión lineal de mínimos cuadrados entre el 20 % y el 50 % de la carga máxima, intervalo que excluye el asentamiento inicial y la región no lineal previa a la fractura.[10] Dado que la deflexión no se corrigió por la deformación del sistema y que la baja relación

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

luz/altura (7,4 a 9,8) aumenta la deformación por cizalla, el valor se informa como módulo flexural aparente, útil como medida comparativa dentro de estas condiciones de ensayo, pero no como estimación absoluta del módulo del material.

Comparación con el umbral de resistencia flexural

Cada probeta se comparó con el umbral de 50 MPa de la norma.[7] De forma retrospectiva e ilustrativa, con una regla establecida después de los ensayos, se aplicó la secuencia de decisión de la norma a las cinco primeras probetas ensayadas de cada impresión: cuatro o cinco de cinco sobre el umbral es un resultado favorable; tres de cinco, inconcluso, que exige repetir el ensayo con cinco probetas nuevas, y dos o menos, desfavorable. Como las dimensiones no se ajustaron a la tolerancia de la norma, no se trata de una evaluación normativa formal.

Unidad experimental y análisis de los datos

Se ensayaron ocho probetas por impresión, salvo en la de 100 μm, con siete, y todas se analizaron; su número no derivó de un cálculo de tamaño muestral. Como el perfil se asignó a cada impresión, la unidad experimental es la impresión, y las probetas de una misma impresión son submuestras, no réplicas independientes.[11] Con una impresión por perfil, el efecto del perfil no puede separarse del de la impresión, por lo que no se efectuaron contrastes de hipótesis ni se calcularon tamaños de efecto entre impresiones. Para cada impresión se calcularon media, desviación estándar (DE), intervalo de confianza del 95 % (IC 95 %) de la media, que refleja solo la variabilidad dentro de la impresión, mediana y valores extremos, y se presentan todos los valores individuales. El análisis se realizó con un programa propio en Python 3.13 (NumPy 2.5, SciPy 1.18 y Matplotlib 3.11), depositado junto con los datos.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Consideraciones éticas

El estudio, realizado sobre un material sin participación de seres humanos ni animales, no requirió evaluación ética.

Resultados

Las dimensiones finales superaron las nominales en todas las impresiones (alturas de 2,04 a 2,70 mm y anchos de 2,01 a 2,57 mm), y ninguna probeta cumplió la tolerancia de 2,0 ± 0,1 mm en ambas dimensiones (tabla 2). La altura media fue menor en la impresión de 25 *µ*m (2,24 mm) que en las demás (2,33 a 2,48 mm).

Tabla 2 - Dimensiones finales de las probetas y sesión de ensayo según perfil de impresión

Perfil de impresión	n	Sesión	Altura (mm)	Ancho (mm)	Conformes (h / b / ambas)	Luz/altura
25 *µ*m	8	1	2,24 ± 0,12 (2,04 a 2,44)	2,29 ± 0,20 (2,01 a 2,56)	1 / 3 / 0	8,2 a 9,8
50 *µ*m	8	2	2,48 ± 0,15 (2,26 a 2,62)	2,41 ± 0,10 (2,20 a 2,55)	0 / 0 / 0	7,6 a 8,8
75 *µ*m	8	2	2,41 ± 0,17 (2,14 a 2,70)	2,38 ± 0,14 (2,12 a 2,57)	0 / 0 / 0	7,4 a 9,3
100 *µ*m	7	2	2,33 ± 0,21 (2,13 a 2,68)	2,26 ± 0,08 (2,11 a 2,32)	0 / 0 / 0	7,5 a 9,4

Leyenda: Sesión 1: 19/01/2023; sesión 2: 23/01/2023. Altura y ancho: media ± desviación estándar (mínimo a máximo). Conformes: probetas dentro de 2,0 ± 0,1 mm en altura (h), ancho (b) o ambas. Luz/altura: luz (20 mm) dividida por la altura.

Los especímenes de la impresión de 25 *µ*m presentaron una resistencia flexural media de 73,0 MPa, frente a 46,5; 34,0 y 49,0 MPa con los perfiles de 50, 75 y 100 *µ*m (tabla 3; fig. 3A). Los valores se superpusieron parcialmente: cinco de las ocho probetas de 25 *µ*m superaron el máximo de las otras impresiones (72,2 MPa), y las dos menores (49,1 y 49,9 MPa) quedaron dentro de su intervalo. La media no siguió un patrón monótono y la dispersión fue considerable, con coeficientes de variación del 23 % al 42 %.

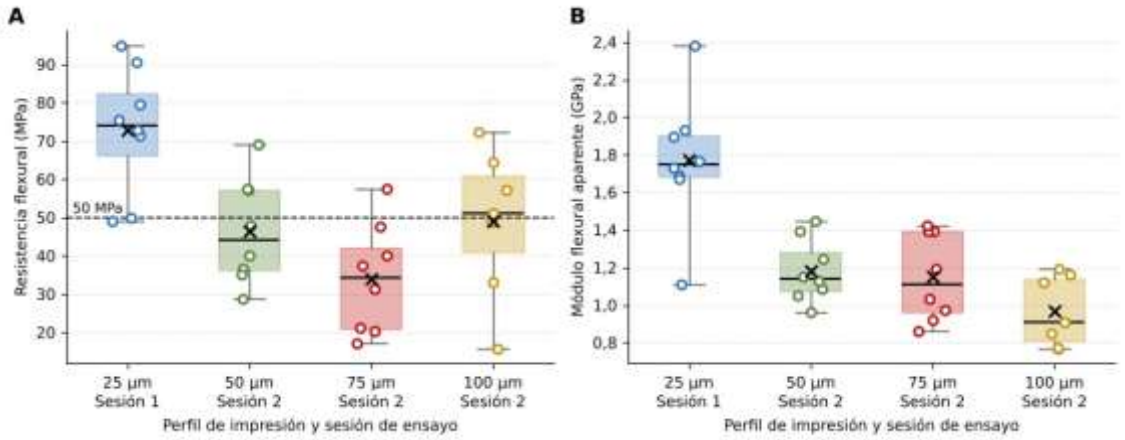
Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Tabla 3 - Resistencia flexural y módulo flexural aparente según perfil de impresión

Perfil de impresión	Media ± DE	IC 95 %	Mediana (mín. a máx.)
Resistencia flexural (MPa)			
25 µm	72,97 ± 16,68	59,03 a 86,91	74,13 (49,07 a 94,94)
50 µm	46,47 ± 13,76	34,96 a 57,98	44,00 (28,64 a 68,99)
75 µm	34,04 ± 14,27	22,12 a 45,97	34,30 (17,08 a 57,36)
100 µm	48,99 ± 19,19	31,24 a 66,74	51,10 (15,75 a 72,24)
Módulo flexural aparente (GPa)			
25 µm	1,77 ± 0,35	1,48 a 2,07	1,75 (1,11 a 2,38)
50 µm	1,18 ± 0,17	1,04 a 1,32	1,14 (0,96 a 1,45)
75 µm	1,15 ± 0,23	0,95 a 1,34	1,11 (0,86 a 1,42)
100 µm	0,97 ± 0,19	0,79 a 1,14	0,91 (0,77 a 1,19)

Leyenda: n = 8 por impresión, excepto 100 µm (n = 7). DE: desviación estándar; IC 95 %: intervalo de confianza del 95 % de la media.

El módulo flexural aparente medio fue de 1,77 GPa con el perfil de 25 µm y de 0,97 a 1,18 GPa con los otros tres (tabla 2; fig. 2B). Siete de las ocho probetas de 25 µm superaron el valor máximo observado en las demás impresiones (1,45 GPa). Todas las regresiones lineales presentaron $R^2 > 0,99$.



Leyenda: Valores individuales (círculos), mediana (línea), media (×), rango intercuartílico (caja) y extremos (bigotes) de la resistencia flexural (A) y del módulo flexural aparente (B) por impresión. Sesión 1: 19/01/2023; sesión 2: 23/01/2023. Línea discontinua: umbral de 50 MPa.

Fig. 3 - Valores individuales (círculos), mediana (línea), media (×), rango intercuartílico (caja) y extremos (bigotes) de la resistencia flexural A) y del módulo flexural aparente B) por impresión. Sesión 1: 19/01/2023; sesión 2: 23/01/2023. Línea discontinua: umbral de 50 MPa.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Alcanzaron 50 MPa 6 de 8, 3 de 8, 1 de 8 y 4 de 7 probetas con los perfiles de 25, 50, 75 y 100 *µ*m, respectivamente. Con la secuencia aplicada retrospectivamente a las cinco primeras probetas, el resultado fue favorable en la primera etapa para 25 *µ*m, desfavorable para 50 y 75 *µ*m e inconcluso para 100 µm, que requeriría ensayar cinco probetas nuevas (tabla 4).

Tabla 4 - Comparación con el umbral de resistencia flexural de 50 MPa según perfil de impresión

Perfil de impresión	Primeras cinco ensayadas ≥ 50 MPa	Secuencia de la norma (aplicación retrospectiva)	Total ≥ 50 MPa
25 *µ*m	4 de 5	Favorable en la primera etapa	6 de 8
50 *µ*m	2 de 5	Desfavorable	3 de 8
75 *µ*m	1 de 5	Desfavorable	1 de 8
100 *µ*m	3 de 5	Inconcluso: requeriría repetición	4 de 7

Leyenda: Umbral por probeta: ≥ 50 MPa. Primeras cinco: según la hora de ensayo; regla establecida después de los ensayos. No constituye una evaluación normativa formal, pues las probetas no cumplieron la tolerancia dimensional.

Discusión

En este estudio piloto, los especímenes de la impresión con el perfil de 25 *µ*m presentaron mayor resistencia flexural y módulo flexural aparente que los de las impresiones con 50, 75 y 100 *µ*m, similares entre sí, sin una relación dosis-respuesta. Como cada perfil se evaluó en una única impresión, estas diferencias describen las cuatro impresiones estudiadas y no un efecto reproducible del grosor de capa. Una explicación plausible, por contrastar, es que el mayor número de ciclos de irradiación por unidad de altura favorezca una polimerización más homogénea y una mejor cohesión entre capas, aspecto relevante porque, en la orientación empleada, la tracción actúa perpendicularmente a las interfases.

Estas observaciones concuerdan con *De Gois* y otros,[12] quienes, con probetas de igual geometría, obtuvieron la mayor resistencia flexural con capas de 25 *µ*m y orientación de 90°; y con *Borella* y otros[4] y *Perea-Lowery* y otros,[13] que asociaron capas más delgadas con mayor resistencia flexural. En cambio, *Alshamrani* y

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

otros[14] observaron la mayor resistencia con 100 *µ*m, *Scherer* y otros[15] no detectaron efecto del grosor de capa, y el metaanálisis de *De Oliveira* y otros[6] favoreció 50 *µ*m frente a 100 *µ*m, sin diferencias respecto de 25 *µ*m. *Gad* y *Fouda*[16] situaron el grosor de capa entre los múltiples factores que modifican la resistencia flexural, junto con la orientación y el posprocesado. Esta heterogeneidad sugiere que su efecto depende de la resina y de los parámetros asociados.

La explicación basada en la polimerización es una hipótesis, pues no se midió el grado de conversión, y la evidencia no la respalda de forma consistente: *Alshamrani* y otros[14] registraron la mayor conversión con 50 *µ*m y no con capas más delgadas. Además, el tiempo de exposición por capa, que suele ajustarse al grosor y no siempre se informa, puede condicionar los resultados,[6] y el tiempo de poscurado modifica significativamente la resistencia y el módulo de las resinas provisionales impresas.[17] Como estos parámetros no se registraron, las diferencias podrían reflejar también otros parámetros de cada perfil.

La diferencia de rigidez debe interpretarse en términos relativos, ya que las condiciones de medición subestiman el módulo verdadero y los valores absolutos no son comparables con los de otros estudios. *De Castro* y otros[18] informaron módulos menores en resinas provisionales impresas que en un PMMA fresado, independientemente de la orientación. El módulo aparente sirve, por tanto, como medida comparativa en estas condiciones, aunque limitada por las desviaciones dimensionales: su cálculo depende del cubo de la altura, y la menor altura de las probetas de 25 *µ*m elevó su relación luz/altura y redujo la contribución de la cizalla.

La comparación con el umbral de 50 MPa no equivale a una evaluación conforme a la norma, porque las probetas no cumplieron sus tolerancias dimensionales y la regla de las cinco primeras se estableció después de los ensayos. Además, dos de ocho probetas de 25 *µ*m quedaron bajo el umbral, y el resultado inconcluso de 100 *µ*m solo podría resolverse con cinco probetas nuevas fabricadas para ese fin. La resistencia obtenida fue inferior al valor declarado por el fabricante, determinado con un grosor de capa no especificado,[8] lo que refuerza la necesidad de documentar los parámetros de fabricación.[19] Aunque una revisión sistemática con

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

metaanálisis informó propiedades mecánicas globalmente favorables de las resinas provisionales impresas frente a las convencionales y fresadas,[20] los valores de estudios independientes dependen del material, la geometría, el almacenamiento y el protocolo de ensayo, y no admiten comparaciones proporcionales directas.

En términos aplicados, estos resultados no permiten recomendar un grosor de capa ni anticipar un mejor desempeño de coronas o puentes, cuya geometría y solicitación difieren de las de una barra ensayada sin envejecimiento.

Confirmar estas observaciones requiere varias impresiones independientes por perfil, en número justificado prospectivamente y con orden de fabricación alternado o aleatorizado, analizadas con un modelo de efectos mixtos, con el perfil como efecto fijo y la impresión como efecto aleatorio,[11] y sesiones de ensayo que incluyan probetas de todos los perfiles en orden aleatorio.

Este estudio presenta limitaciones relevantes. Además de la confusión entre perfil, impresión y sesión de ensayo, no se registraron los demás parámetros de cada perfil y las dimensiones excedieron la tolerancia de la norma. Se evaluaron una resina, una impresora y una orientación; no se midió el grado de conversión ni se aplicó envejecimiento prolongado, termociclado o fatiga; el lijado manual no estandarizado pudo introducir variabilidad dimensional y superficial; el módulo se obtuvo sin corregir la deformación del sistema de ensayo, con cargas de entre el 3 % y el 18 % de la capacidad de la celda; y el fabricante no divulga la composición química de la resina.

Se concluye que, en este estudio piloto, los especímenes de LuDent C&B TRY IN obtenidos con el perfil de 25 μm presentaron mayor resistencia flexural y módulo flexural aparente que los de las impresiones con 50, 75 y 100 μm, entre las cuales no hubo un patrón progresivo. Como cada perfil se fabricó en una sola impresión, estos resultados no demuestran un efecto del grosor de capa y deben confirmarse con varias impresiones independientes por perfil, para documentar la exposición, controlar las dimensiones y distribuir los perfiles entre las sesiones de ensayo.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Referencias bibliográficas

1. Celik HK, Koc S, Kustarci A, Caglayan N, Rennie AEW. The state of additive manufacturing in dental research – a systematic scoping review of 2012-2022. Heliyon. 2023;9(6):e17462. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17462

2. Alzahrani SJ, Hajjaj MS, Azhari AA, Ahmed WM, Yeslam HE, Carvalho RM. Mechanical properties of three-dimensional printed provisional resin materials for crown and fixed dental prosthesis: a systematic review. Bioengineering (Basel). 2023;10(6):663. DOI: https://doi.org/10.3390/bioengineering10060663

3. Hathan S, Oliveira D, Amorim KG, Zoidis P, Delgado AJ, Griggs JA, *et al.* Evaluating the biomechanical properties of 3D-milled and 3D-printed restorative dental materials. J Mech Behav Biomed Mater. 2026;173:107202. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2025.107202

4. Borella PS, Alvares LAS, Ribeiro MTH, Moura GF, Soares CJ, Zancopé K, *et al.* Physical and mechanical properties of four 3D-printed resins at two different thick layers: an in vitro comparative study. Dent Mater. 2023;39(8):686-92. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.06.002

5. Melo-Soares V, Dos Reis AC, da Costa Valente ML. Effect of oxygen inhibition on 3D printed dental resins: a systematic review. J Prosthet Dent. 2025;133(6):1465.e1-1465.e9. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.03.030

6. De Oliveira Neves PT, Lins LBC, Acioli ACR, Casado BGS, de Luna Gomes JM, Leão RS. Effect of layer thickness on the integrity of additively manufactured interim crowns: a systematic review and meta-analysis. Odontology. 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s10266-026-01360-0

7. International Organization for Standardization. ISO 10477:2020. Dentistry — Polymer-based crown and veneering materials. [acceso: 2/05/2026] Geneva: ISO; 2020. Disponible en: https://www.iso.org/standard/80007.html

8. LuDent. Biocompatible resin LuDent. Corea del Sur: Luvantix; 2023 [acceso 03/11/2023]. Disponible en: https://ludent.com/biocompatible-resin/#try-in-cb

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

9. International Organization for Standardization. ISO 3696:1987. Water for analytical laboratory use — Specification and test methods. Geneva: ISO; 1987 [acceso 3/11/2023]. Disponible en: https://www.iso.org/standard/9169.html

10. ASTM International. ASTM D790-17. Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. West Conshohocken: ASTM International; 2017. DOI: https://doi.org/10.1520/D0790-17

11. Lazic SE. The problem of pseudoreplication in neuroscientific studies: is it affecting your analysis? BMC Neurosci. 2010;11:5. DOI: https://doi.org/10.1186/1471-2202-11-5

12. De Gois Moreira FG, Bezerra MGPG, de Miranda LM, da Silva SEG, de Andrade Dantas EL, de Sousa FB, *et al*. Influence of build angle, printing layer thickness and aging on the flexural strength, precision, roughness and porosity analysis of a printed resin for provisional restorations. Odontology. 2025;113(3):1165-79. DOI: https://doi.org/10.1007/s10266-025-01060-1

13. Perea-Lowery L, Gibreel M, Vallittu PK, Lassila L. Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. J Mech Behav Biomed Mater. 2021;115:104254. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104254

14. Alshamrani AA, Raju R, Ellakwa A. Effect of printing layer thickness and postprinting conditions on the flexural strength and hardness of a 3D-printed resin. Biomed Res Int. 2022;2022:8353137. DOI: https://doi.org/10.1155/2022/8353137

15. Scherer M, Al-Haj Husain N, Barmak AB, Kois JC, Özcan M, Revilla-León M. Influence of the layer thickness on the flexural strength of aged and nonaged additively manufactured interim dental material. J Prosthodont. 2023;32(S1):68-73. DOI: https://doi.org/10.1111/jopr.13582

16. Gad MM, Fouda SM. Factors affecting flexural strength of 3D-printed resins: a systematic review. J Prosthodont. 2023;32(S1):96-110. DOI: https://doi.org/10.1111/jopr.13640

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

17. Soto-Montero J, de Castro EF, Romano BC, Nima G, Shimokawa CAK, Giannini M. Color alterations, flexural strength, and microhardness of 3D printed resins for fixed provisional restoration using different post-curing times. Dent Mater. 2022;38(8):1271-82. DOI: https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.06.023

18. De Castro EF, Nima G, Rueggeberg FA, Giannini M. Effect of build orientation in accuracy, flexural modulus, flexural strength, and microhardness of 3D-printed resins for provisional restorations. J Mech Behav Biomed Mater. 2022;136:105479. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105479

19. Piedra-Cascón W, Krishnamurthy VR, Att W, Revilla-León M. 3D printing parameters, supporting structures, slicing, and post-processing procedures of vat-polymerization additive manufacturing technologies: a narrative review. J Dent. 2021;109:103630. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103630

20. Jain S, Sayed ME, Shetty M, Alqahtani SM, Al Wadei MHD, Gupta SG, *et al*. Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM milled and conventional provisional resins: a systematic review and meta-analysis. Polymers (Basel). 2022;14(13):2691. DOI: https://doi.org/10.3390/polym14132691

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Elizabeth Astorga-Bustamante, Nicolás Améstica-Fuenzalida y Joshua Ferreira-Sanhueza.

Curación de datos: Joshua Ferreira-Sanhueza.

Análisis formal: Joshua Ferreira-Sanhueza.

Investigación: Joshua Ferreira-Sanhueza.

Metodología: Joshua Ferreira-Sanhueza.

Administración del proyecto: Nicolás Améstica-Fuenzalida.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES

Recursos: Nicolás Améstica-Fuenzalida.

Supervisión: Elizabeth Astorga-Bustamante y Nicolás Améstica-Fuenzalida.

Validación: Elizabeth Astorga-Bustamante, Nicolás Améstica-Fuenzalida, Mauricio Toro-González y Alain Manuel Chaple-Gil.

Visualización: Mauricio Toro-González y Alain Manuel Chaple-Gil.

Redacción-borrador original: Joshua Ferreira-Sanhueza.

Redacción-revisión y edición: Elizabeth Astorga-Bustamante, Nicolás Améstica-Fuenzalida, Mauricio Toro-González y Alain Manuel Chaple-Gil.

Financiación

Proyecto DIFO N.º 2020/06 (autofinanciado), Facultad de Odontología, Universidad de Chile.

Esta obra está bajo una licencia: https://creativecomons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es_ES