



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**EFFECTO DEL GROSOR DE LA CAPA DE IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA  
FLEXIÓN Y LA MICRODUREZA DE UNA RESINA DENTAL 3D**

**Línea de investigación:**

**Biomateriales**

Tesis para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

**Autora:**

Heredia Huánuco, Karenth Alexandra

**Asesora:**

García Rupaya, Carmen Rosa

ORCID: 0000-0003-0657-6011

**Jurado:**

Medina y Mendoza, Julia Elbia

Perez Suasnabar, Hugo Joel

Mejía Ticona, Lourdes Alicia

**Lima - Perú**

**2024**



# EFFECTO DEL GROSOR DE LA CAPA DE IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y LA MICRODUREZA DE UNA RESINA DENTAL 3D

## INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="https://repositorio.upch.edu.pe">repositorio.upch.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	1%
6	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://kieferrthopaedie.charite.de">kieferrthopaedie.charite.de</a> Fuente de Internet	<1%



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

EFECTO DEL GROSOR DE LA CAPA DE IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA  
FLEXIÓN Y LA MICRODUREZA DE UNA RESINA DENTAL 3D

**Línea de investigación:**

Biomateriales

Tesis para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

**Autora:**

Heredia Huánuco, Karenth Alexandra

**Asesora:**

García Rupaya, Carmen Rosa

ORCID: 0000-0003-0657-6011

**Jurado:**

Medina y Mendoza, Julia Elbia

Perez Suasnabar, Hugo Joel

Mejía Ticona, Lourdes Alicia

**Lima – Perú**

**2024**

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Federico Villareal, por darme la oportunidad de experimentar esta etapa académica, con mucho aprendizaje emocional, lo cual me forjó a ser la persona que hoy soy.

A mi asesora, la Dra. Carmen Rosa García Rupaya, por su gentil orientación en cada una de las asesorías.

A Arturo, por su constante apoyo y amor en todo ámbito, contagiarme las ganas de seguir adelante y perseguir mis sueños.

A mis amigas Noonas, por acompañarme en todos estos años de pregrado llenos de vivencias y buenos momentos.

## **DEDICATORIA**

A Dios, y a mis padres, por confiar en mí y creer fielmente en todas las decisiones que tomé a lo largo de estos años, por su apoyo incondicional, su amor y valores brindados que me hacen ser una mejor persona cada día, los amo.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	viii
ABSTRACT.....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción y Formulación del Problema.....	2
1.2 Antecedentes .....	3
1.3 Objetivos .....	7
1.3.1 Objetivo General .....	7
1.3.2 Objetivos Específicos.....	7
1.4 Justificación.....	8
1.4.1 Teórica.....	8
1.4.2 Social.....	8
1.4.3 Práctico - clínico .....	9
1.5 Hipótesis.....	9
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1 Bases Teóricas sobre el Tema de Investigación.....	10
2.1.1 Impresión 3D en la Odontología .....	10
2.1.2 Técnicas de Impresión 3D.....	11
2.1.3 Materiales Empleados para la Impresión 3D en Odontología .....	14
2.1.4 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Resina .....	15
<b>III. MÉTODO.....</b>	<b>18</b>
3.1 Tipo de Investigación.....	18
3.2 Ámbito Temporal y Espacial .....	18
3.3 Variables .....	18

3.3.1 Independiente .....	18
3.3.2 Dependientes .....	18
3.3.3 Operacionalización de Variables.....	19
3.4 Población y Muestra.....	19
3.4.1 Criterios de Selección .....	20
3.5 Instrumentos.....	21
3.6 Procedimientos.....	21
3.6.1 Diseño en el software digital.....	21
3.6.2 Impresión 3D y Postcurado .....	21
3.6.3 Resistencia a la Flexión.....	22
3.6.4 Dureza Vickers.....	22
3.7 Análisis de Datos .....	23
3.8 Consideraciones Éticas .....	23
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	28
VI. CONCLUSIONES .....	31
VII. RECOMENDACIONES.....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los valores de la microdureza de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100 $\mu\text{m}$ foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos.....	24
Tabla 2. Comparación de los valores de microdureza de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100 $\mu\text{m}$ foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos.....	25
Tabla 3. Descripción de los valores de la resistencia a la flexión de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100 $\mu\text{m}$ foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos.....	26
Tabla 4. Comparación de los valores de la resistencia a la flexión de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100 $\mu\text{m}$ foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos.....	27

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Diseño de las muestras en software digital.....	47
Figura 2. Equipos utilizados para la impresión, lavado y foto polimerizado de las barras de resina.....	48
Figura 3. Impresora 3D SONIC XL 4K 2022.....	48
Figura 4. Impresión de las barras de resina.....	49
Figura 5. Lavado de las barras en la cuba ultrasónica con alcohol isopropílico.....	50
Figura 6. Foto polimerizado en la cámara PHROZEN CURE.....	50
Figura 7. Barras de resina impresa con grosores de capa de 30,50 y 100 $\mu$ m.....	51
Figura 8. Prueba de resistencia a la flexión.....	52
Figura 9. Prueba de microdureza.....	53

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina impresa en 3D. **Metodología:** el estudio fue experimental *in vitro*, comparativo, prospectivo y transversal; en el que se evaluó la resistencia a la flexión y la microdureza en tres diferentes espesores de capa de impresión (30, 50 y 100  $\mu\text{m}$ ) de 72 muestras cada uno. A la vez estos grupos fueron divididos en tres subgrupos más ya que fueron foto polimerizados en tres diferentes tiempos de 10, 20 y 40 minutos. **Resultados:** El mayor valor con respecto a la prueba de resistencia a la flexión fue el grosor de capa de impresión de 30  $\mu\text{m}$  en un tiempo de foto polimerizado de 40 minutos, el cual obtuvo una resistencia flexural de 73.35 MPa, al cual le sigue el de 50  $\mu\text{m}$  con 70.06 MPa, siendo estadísticamente significativos con respecto al de 100  $\mu\text{m}$ . En cuanto al mayor valor en la prueba de microdureza lo obtuvo el grosor de capa de 50  $\mu\text{m}$  en un tiempo de foto polimerizado de 40 minutos con 24.72 VHN, siendo estadísticamente significativo respecto a los grosores de capa de 30 y 100  $\mu\text{m}$ . **Conclusiones:** Las capas de impresión de 30 y 50  $\mu\text{m}$  en el tiempo de foto polimerizado de 40 minutos, fueron las que obtuvieron los mayores valores en ambas pruebas de resistencia a la flexión y microdureza, estadísticamente significativos comparado con el de 100  $\mu\text{m}$ .

*Palabras clave:* resina dental 3D, impresora dental 3D, resistencia a la flexión, microdureza, odontología.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the effect of printing layer thickness on the flexural strength and microhardness of a 3D printed resin. **Methodology:** the study was experimental in vitro, comparative, prospective and cross-sectional; in which the flexural strength and microhardness were evaluated in three different printing layer thicknesses (30, 50 and 100  $\mu\text{m}$ ) of 72 samples each. At the same time, these groups were divided into three more subgroups since they were photopolymerized at three different times of 10, 20 and 40 minutes. **Results:** The highest value with respect to the flexural resistance test was the printing layer thickness of 30  $\mu\text{m}$  in a photopolymerization time of 40 minutes, which obtained a flexural resistance of 73.35 MPa, which is followed by the 50  $\mu\text{m}$  one with 70.06 MPa, being statistically significant with respect to the 100  $\mu\text{m}$  one. Regarding the highest value in the microhardness test, the layer thickness of 50  $\mu\text{m}$  was obtained in a photopolymerization time of 40 minutes with 24.72 VHN, being statistically significant with respect to the layer thicknesses of 30 and 100  $\mu\text{m}$ . **Conclusions:** The printing layers of 30 and 50  $\mu\text{m}$  in the photopolymerization time of 40 minutes were the ones that obtained the highest values in both bending resistance and microhardness tests, statistically significant compared to the 100  $\mu\text{m}$  layer.

*Keywords:* 3D dental resin, 3D dental printer, bending strength, microhardness, digital dentistry.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el flujo de trabajo digital en odontología se ha incrementado, debido al avance de tecnologías como los escáneres, los programas de softwares y las impresoras 3D, que ha contribuido a mejorar la comunicación entre el odontólogo y técnico dental, y ello proporciona un flujo de trabajo eficiente (Stanley et al., 2018).

Una de las herramientas importantes que integra el flujo digital es la impresión 3D, que consiste en materializar todos los diseños que se pueden realizar en un software digital, en el que el objeto físico se construye mediante la deposición del material de manera aditiva y selectiva, que, a diferencia del fresado, construye el objeto sin desgaste, en vez de ello, mediante la adición de material. De tal modo, es posible obtener modelos 3D digitales rápidamente, al reducir el tiempo clínico (Igai et al., 2021).

Sin embargo, una óptima impresión depende de diversos factores, tales como el tipo de impresora, el tipo de resina y la configuración de la impresión. Las dos principales tecnologías de impresión 3D utilizadas en odontología son la estereolitografía (SLA) y la proyección de luz digital (DLP). Si bien ambos procesos y sistemas de impresión son similares, la DLP tiene una ventaja, pues permite una fabricación más rápida de las capas impresas, con la impresión y la curación de una sola capa a través de la placa de construcción total en cuestión de segundos, lo que consume también menos material y reduce el costo de producción (Alshamrani et al., 2022).

Entonces, al configurar una impresión se deben tener en cuenta aspectos como la altura de capa, dado que es posible imprimir en diferentes grosores (30 $\mu$ m, 50 $\mu$ m y 100 $\mu$ m), de acuerdo con la necesidad. Esta diferencia en los grosores de capa influye en las características de la superficie de la impresión, al ser más lisas y regulares cuando el grosor de capa es menor y más irregulares cuando esta es mayor (Sabbah et al., 2021).

Empero, no se descarta que también puede influenciar en las propiedades mecánicas (resistencia a la flexión y microdureza) del material, como se ha demostrado a través de estudios. Teniendo en cuenta que no todos los materiales se comportan de la misma forma, el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de grosor de capa en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina impresa en 3D.

### **1.1 Descripción y Formulación del Problema**

El hecho de incorporar tecnologías digitales como softwares de diseño e impresoras 3D en la odontología, facilita y acelera el protocolo tanto clínico como de laboratorio, puesto que permite la fabricación de modelos a partir de impresiones digitales, guías quirúrgicas, restauraciones calcinables, férulas e incluso coronas temporales y permanentes (Dawood et al., 2015).

Ahora bien, debido al crecimiento de la odontología digital, han ido apareciendo nuevos materiales a base de polímeros que se utilizan ampliamente en todos los flujos digitales. No obstante, muchos estudios evalúan el uso de materiales impresos en 3D en términos de su superficie y propiedades mecánicas, lo que incluye resistencia a la flexión, la rugosidad de la superficie, la dureza y la estética, pues siguen siendo limitados (Sulaiman, 2020). Por lo tanto; el proceso de fabricación, la relación de polimerización y la configuración de impresión son áreas que requieren más investigación, dado que varios parámetros pueden mejorar la confiabilidad de los materiales impresos en 3D para uso dental, incluida precisión, fuerza, velocidad de impresión y grosor de capa. (Alshamrani et al., 2022).

En la descripción de los materiales no existe una principal indicación basada en el grosor de capa, los fabricantes solo informan las propiedades mecánicas sin base en el grosor de este, que, se considera, tiene influencia en las propiedades del material, como fue demostrado por algunos estudios.

En consecuencia, la presente investigación tiene como objetivo principal determinar el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina impresa en 3D con alturas de capa de impresión de 30, 50 y 100  $\mu\text{m}$ . Debido a ello surge la siguiente pregunta:

¿Cuál es el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina dental 3D?

## **1.2 Antecedentes**

En primera instancia, Alshamrani et al. (2022) imprimieron 210 muestras en forma de barra de un material de corona temporal (A2 EVERES TEMPORARY, SISMA, Italia) en una impresora 3D DLP (EVERES ZERO, SISMA, Italia) con tres diferentes espesores de capa de impresión (25, 50 y 100  $\mu\text{m}$ ) de 70 muestras cada uno. Dividieron estos tres grupos en otros siete subgrupos en función de su tratamiento: almacenamiento de agua (en seco, una temperatura de 37 °C durante 24h y un mes), fotocurado adicional (durante 5 y 15 minutos), curado por calor (a 100 °C durante 5 y 15 minutos); finalmente, probaron cada grupo experimental, para la prueba de resistencia a la flexibilidad. Para ello, utilizaron una máquina de ensayo universal (norma ISO 4049), la dureza Vickers se midió en las superficies superior e inferior de las muestras y usaron un Struers DuraScan 80 automático (Cleveland, Ohio, EE. UU.) para la medición del grado de conversión, colocaron cada espécimen en el FT-IR (Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier) (Bruker, Pty Ltd., Victoria, Australia) con el uso de un accesorio de soporte. De tal manera, llegaron a la conclusión de que el espesor de la capa de impresión 3D de 100  $\mu\text{m}$  tuvo la mayor resistencia a la flexión en comparación a los otros, que el grupo de espesor de capa de impresión de 50  $\mu\text{m}$  tuvo la dureza Vickers promedio más alta y, por último, que el grosor de la capa de impresión 3D y la condición de tratamiento postimpresión no tuvieron efecto sobre el grado de conversión.

Por su parte, Loflin et al. (2019) escanearon 12 juegos de modelos finales de ortodoncia en yeso piedra con un escáner de mesa R700 (3Shape, Copenhague, Dinamarca) para crear archivos lenguaje triangular estándar (STL); posteriormente, imprimieron 72 arcos (maxilares y mandibulares) con el uso de diferentes alturas de capa (25, 50 y 100 mm) para crear 36 juegos de modelos (12 juegos por cada altura de capa), en la impresora 3D Form 2 SLA (Formlabs) utilizando una resina gris (FLGPGR03; Formlabs). Calificaron los cuatro juegos de modelos (yeso, 25, 50 y 100 mm) de cada caso por cuatro evaluadores certificados, que fueron entrenados y calibrados con el uso de la Calificación de Evaluación de Radiografía Fundida (CRE), que luego fueron puntuados por segunda vez dos semanas después, cada evaluador anotó en ambos tiempos la angulación de la raíz, con el uso de una radiografía panorámica asociada a cada caso, registrados en la hoja de trabajo CRE de ABO (Junta Estadounidense de Ortodoncia), para luego ser compilados en un hoja de cálculo para el análisis. De acuerdo con lo anterior, llegaron a la conclusión que los modelos de altura de capa de 100 mm se correlacionaron más con los modelos de yeso de ortodoncia y que son potencialmente aceptables clínicamente para los fines de evaluación de los resultados del tratamiento, diagnóstico y planificación del tratamiento.

Del mismo modo, Favero et al. (2017) utilizaron como base un tipodonto dental ideal (Nissin, Kioto, Japón) para la creación de modelos maxilares en formato STL, con la modificación de una porción vertical extruida y la realización de algunos recortes gingivales para luego imprimirlos con tres diferentes alturas de capa (25, 50 y 100 mm); seguidamente, imprimieron un total de 36 modelos (12 por cada altura de capa) con una impresora Form 2 (Formlabs, Somerville, Mass) y una resina de fotopolímero gris (FLGPGR02; Formlabs). Luego, imprimieron 48 modelos (basados en el archivo STL maestro) en impresoras 3D disponibles en el mercado por laboratorios de terceros; escanearon digitalmente los 84 modelos en total con un escáner de escritorio R700 (3Shape, Copenhague, Dinamarca) para crear un

archivo STL del modelo físico, luego alinearon uno de los modelos digitales escaneados que fue modificado sobre el archivo STL maestro con un parámetro de umbral de 0,25 mm en el software Geomagic para analizar las diferencias. Para terminar, en los resultados encontraron diferencias estadísticamente significativas en las desviaciones generales promedio de los modelos impresos en cada altura de capa, siendo los de 25 mm y 100 mm las desviaciones más altas y más bajas, respectivamente. Así, llegaron a la conclusión de que la altura de la capa de impresión y el modelo de la impresora pueden afectar la precisión de un modelo de ortodoncia impreso en 3D.

Por otro lado, Liu et al. (2020) diseñaron muestras de ácido poliláctico (PLA) utilizando un programa de software de ingeniería inversa (Geomagic Studio 12.0; Raindrop), que luego imprimieron con diferentes alturas de espesor de capa (0,1 mm; 0,2 mm; 0,3 mm; 0,4 mm; 0,5 mm) en la impresora FDM (Lingtong II; SHINOTECH), junto a muestras convencionales de polimetilmetacrilato (PMMA) (Lightplast Base Plates; Dreve Dentamid GmbH) como grupo control. De esa manera, imprimieron en total 75 muestras clasificadas en cinco grupos, donde realizaron tres diferentes pruebas: resistencia de unión a la tracción (TBS), resistencia a la flexión, y resistencia a la tensión. Los resultados mostraron diferencias significativas de las tres pruebas en todos los grupos. Respecto a la prueba de TBS, al inicio incrementaron el máximo valor en el grosor de 300  $\mu\text{m}$  y luego decreció, en las pruebas de resistencia a la flexión y tensión, a medida que incrementaron el grosor de capa el valor decreció, siendo más significativo a partir de las 300  $\mu\text{m}$ ; por ende, determinaron que la impresión óptima fue en el rango medio de las muestras examinadas.

Igualmente, Perea-Lowery et al. (2021) imprimieron 96 muestras en forma de barra, al usar una resina acrílica a base de metacrilato fotopolimerizable (IMPRIMO LC Splint, SCHEU-DENTAL GmbH, Iserlohn, Alemania) en una impresora 3D de impresión de luz digital (DLP) (ASIGA MAX, SCHEU-DENTAL GmbH, Iserlohn, Alemania). Dividieron el

total de muestras en dos grupos, imprimieron 48 muestras con espesores de capa de 50  $\mu\text{m}$  (Grupo A) y la otra mitad con un espesor de capa de 100  $\mu\text{m}$  (Grupo B); más adelante, subdividieron el Grupo A en tres subgrupos iguales (n:16) según el método de postcurado que utilizaron (postcurado con diodo emisor de luz (LED)) y gas nitrógeno; postcurado solo con LED; y no postcurado); de igual manera, subdividieron el Grupo B en tres subgrupos, siguiendo los mismos parámetros que el grupo A. Almacenaron la mitad de las muestras de cada subgrupo (n:8) en agua destilada a 37° durante 30 días, mientras que la otra mitad la almacenaron en seco. Para concluir, evaluaron la resistencia a la flexión y el módulo de flexión mediante el uso de una máquina de ensayo universal (Modelo LRX; Lloyds Instruments Ltd., Hampshire, Reino Unido). Adicionalmente, prepararon otras muestras que dividieron de la misma forma (n:96) para evaluar microdureza superficial, tenacidad a la fractura y trabajo de fractura; además, seleccionaron cinco muestras de cada subgrupo para evaluar el grado de conversión. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la resistencia a la flexión, así como las demás pruebas, y que existe una interacción significativa entre el espesor de la capa y el método de postcurado. Establecieron que la resistencia a la flexión puede aumentar al disminuir el espesor de la capa de impresión y la combinación de calor y luz dentro de la unidad de postcurado pueden mejorar las propiedades mecánicas y el grado de conversión de la resina impresa en 3D.

Por otra parte, Scherer et al. (2022) diseñaron 140 muestras de forma aditiva en un software (Blender, versión 2.77a; The Blender Foundation) con siete diferentes espesores de capa (20 muestras por grupo): 50 $\mu\text{m}$  (control o grupo 50-G), 10 $\mu\text{m}$  (grupo 10-G), 25 $\mu\text{m}$  (grupo 25-G), 75 $\mu\text{m}$  (grupo 75-G), 100 $\mu\text{m}$  (grupo 100-G), 125 $\mu\text{m}$  (grupo 125-G) y 150 $\mu\text{m}$  (grupo 150-G) a través de una impresora de polímeros (Asiga Max) y una resina provisional (Nexdent C&B MFH). Luego, distribuyeron las muestras aleatoriamente entre dos subgrupos (no envejecidos y envejecidos) de 10 muestras cada uno donde en el subgrupo envejecido las

muestras fueron expuestas a métodos de termociclado, para luego medir la resistencia flexural, usando una máquina de ensayo universal (Universal Testing Machine; ZwickRoell). Los resultados mostraron que las muestras envejecidas adquirieron menos resistencia a la flexión que los no envejecidos, llegaron a la conclusión de que el material provisional examinado no se vio afectado por el espesor de capa con el que se fabricaron las muestras; sin embargo, las técnicas de envejecimiento artificial redujeron su resistencia a la flexión.

Por último, Pandžić (2021) diseñó un total de 72 muestras de resina en un software 3D para crear archivos STL, para después preparar los archivos en un software SLICER donde cambió los parámetros de impresión y modificó la altura de capa, diferenciándolas en 4 tipos: 25, 50, 100 y 160  $\mu\text{m}$ . Más adelante, imprimió estas muestras con el uso de la resina “Grey Resin” del fabricante FORMLABS en la impresora 3D Form3B SLA; asimismo, modificó las orientaciones de impresión a vertical, plana y lateral, postcuró la mitad de las muestras a 60 °C por 30 minutos, para luego someterlas a la prueba de tracción. De ese modo, llegó a la conclusión de que la altura de la capa influye en la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad y que, con una disminución en la altura de la capa, el tiempo de producción aumenta, al igual que una orientación de construcción diferente (aumenta de plano, lateral a vertical).

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo General***

Evaluar el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina impresa en 3D.

#### ***1.3.2 Objetivos Específicos***

- Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 30  $\mu\text{m}$  y foto polimerizado en un tiempo de 10,20 y 40 minutos.

- Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 50  $\mu\text{m}$  y foto polimerizado en un tiempo de 10, 20 y 40 minutos.
- Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 100  $\mu\text{m}$  y foto polimerizado en un tiempo de 10,20 y 40 minutos.
- Comparar el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y la microdureza de una resina impresa en 3D de capa de 30, 50 y 100  $\mu\text{m}$  polimerizados en los tiempos de 10,20 y 40 minutos.

## **1.4 Justificación**

### ***1.4.1 Teórica***

Hoy en día, el uso de un flujo de trabajo digital completo brinda mayor eficiencia, precisión y efectividad en la clínica y el laboratorio. No obstante, la adaptación de estas tecnologías a la odontología no ha sido intuitiva. Se ha desarrollado un software que requiere que los dentistas y técnicos dentales trabajen con herramientas en un entorno de trabajo desconocido, y más aún con la llegada de materiales a base de diferentes polímeros, porcentajes de relleno y distintos foto iniciadores, que deben cumplir una configuración de impresión establecida por el fabricante, dado que al alterar algunos de estos parámetros puede influir en la precisión y las propiedades mecánicas del material.

### ***1.4.2 Social***

Debido a esta evolución tecnológica, muchos pacientes acuden a la consulta en busca de tratamientos rápidos, pero también eficaces, lo que con lleva al profesional a capacitarse constantemente y adentrarse en esta nueva era. Ya que el diseño digital y la fabricación de modelos, restauraciones, coronas, encerados, férulas y guías de cirugía, a partir de resinas de impresión, reducen el tiempo de trabajo y el costo de material comparado a las fresadoras.

### ***1.4.3 Práctico - clínico***

Usualmente el fabricante establece una configuración de impresión en la ficha técnica para cumplir con las características mecánicas; sin embargo, esta configuración no tiene en cuenta el grosor de capa que se usa durante la construcción del objeto impreso, la cual podría influenciar en su resistencia, como se ha demostrado en varios estudios. Por ende, la importancia de este estudio permite evaluar el efecto del grosor de capa al ser modificado en tres diferentes grosores de 30, 50 y 100  $\mu\text{m}$ , que son las configuraciones predeterminadas de las impresoras 3D, a fin de determinar si existen diferencias en la resistencia a la flexión y la microdureza. Con los resultados obtenidos se determina una configuración basada en el grosor de capa que brinde la mayor resistencia a la flexión y la microdureza del material restaurado, siendo este un gran aporte clínico para el operador.

### **1.5 Hipótesis**

Los diferentes grosores de capa de impresión como los de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$ , influyen en la resistencia a la flexión y microdureza de una resina dental 3D.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Bases Teóricas sobre el Tema de Investigación

#### 2.1.1 *Impresión 3D en la Odontología*

La tecnología de creación rápida de prototipos (RP), comercializada como impresión 3D, fue desarrollado en 1986 por Charles Hull, quien introdujo la primera tecnología de impresión tridimensional, patentó la estereolitografía (SLA), además de construir y desarrollar un sistema de impresión 3D (Tian et al., 2021). Es una tecnología de fabricación avanzada, creada para construir objetos físicos directamente a partir de software de diseño asistido por computadora (CAD), mediante la deposición capa por capa de un material elegido (Fiorenza et al., 2018).

Es de mencionar que la impresión tridimensional (3D) ha evolucionado rápidamente a lo largo de sus 40 años de historia. Este enfoque de fabricación aditiva, a diferencia de los principios clásicos de fabricación sustractiva, actualmente se utiliza en múltiples disciplinas que van desde industrias aeroespaciales hasta áreas médicas y odontológicas, como las especialidades de implantología, ortodoncia, cirugía maxilofacial, rehabilitación, estética, endodoncia, etc. (Khorsandi et al., 2021).

Durante los últimos 10 años de uso general, la disponibilidad de impresoras 3D de bajo costo ha reavivado el interés de los odontólogos en esta tecnología, pues las empresas están aprovechando el vencimiento reciente de las patentes iniciales para introducir y expandir sus tecnologías. Sus aplicaciones en odontología son múltiples, estas incluyen modelos anatómicos, que usan para practicar el procedimiento antes de la operación y premoldear las placas de osteosíntesis o reconstrucción, en el caso de cirugías o también para la confección de llaves de silicona transparente para el estampado de carillas y coronas en el caso del área de rehabilitación y estética.

En cuanto a la cirugía de implantes dentales, los objetos 3D más impresos son guías quirúrgicas diseñadas para facilitar la orientación y la ejecución de fresados, lo que permite una correcta colocación de los implantes, tal como se prevé en la planificación preoperatoria. Igualmente, en la reconstrucción mandibular se imprimen guías quirúrgicas destinadas a ayudar al cirujano y que, de esa manera, obtenga una correcta colocación y angulación de las líneas de osteotomía (guías de corte), inserte los tornillos en lugares predefinidos del modelo (guía de perforación) y coloque segmentos óseos osteotomizados de acuerdo con la planificación (guía de posicionamiento). Algunos autores han señalado el uso de guías quirúrgicas impresas y férulas oclusales en la cirugía ortognática, diseñadas para colocar las líneas de osteotomía y evitar estructuras anatómicas como las raíces de los dientes (Louvrier et al., 2017).

Sin duda, una de las aplicaciones más atractivas, actualmente, en el área de rehabilitación es la confección de coronas, puentes y restauraciones, siendo altamente estéticas, puesto que son diseñadas a partir de librerías digitales predeterminadas o personalizadas, lo cual ofrece eficiencia y alto nivel de precisión. Estas pueden ser cementadas temporalmente como uso de provisionales o incluso de manera permanente, lo que depende del material impreso utilizado (Tahayeri et al., 2018).

### **2.1.2 Técnicas de Impresión 3D**

La principal característica de la impresión 3D es su fabricación aditiva, cuyo enfoque de fabricación aditiva (FA) difiere de los principios clásicos de fabricación sustractiva y permite una rápida creación de piezas complejas (Khorsandi et al., 2021). Asimismo, está representada por diferentes tecnologías, que son estereolitografía (SLA), la proyección de luz digital (DLP), *Liquid Crystal Display* (LCD), el modelado por deposición fundida (FDM), sinterización por láser selectiva (SLS), la fusión de lecho de polvo (PBF), la formación de polvo con láser y la impresión por inyección de tinta; estas se diferencian por los materiales utilizados y la forma en que se construyen las capas para crear el objeto 3D (Alshamrani et al.,

2022). Sin embargo, a partir de todas estas técnicas de impresión, incluyendo las que imprimen metal y cerámicas, se hace énfasis en las más usadas en el área de odontología que trabajan con materiales a base de polímeros.

**2.1.2.1 Estereolitografía.** Conocida como la primera técnica de impresión 3D, la técnica SLA es la técnica de impresión 3D más ampliamente utilizada en la industria. Fue patentada en 1986 por Charles Hull, cofundador de 3D Systems, Inc., líder en la industria de la impresión 3D (Quan et al., 2020). En comparación con los métodos de impresión convencionales, la impresión SLA ofrece varias ventajas en forma de multiescalabilidad, alta resolución e impresión rápida de objetos altamente complejos (Crook, 2020).

Ahora bien, este rápido método de fabricación implica polimerización fotoinducida para crear estructuras en capas, a través del uso de polímeros altamente reticulados. La impresión se realiza por medio de tres pasos principales: exposición a la luz/láser, movimiento de la plataforma y relleno de resina (Khorsandi et al., 2021). Comúnmente, la longitud de onda de la lámpara utilizada por la máquina SLA es un rayo láser de 355 nm, que se encuentra sobre el tanque de resina y la dirección de exposición es desde la parte superior (Quan et al., 2020).

Las capas se unen de abajo hacia arriba tras la exposición de la resina a la luz ultravioleta que emana del rayo láser y que induce la polimerización por radicales libres (FRP) de los monómeros de resina (Khorsandi et al., 2021). Una plataforma desciende en la resina, por lo que su superficie tiene un espesor de capa por debajo de la superficie de la resina; el rayo láser traza los límites y llena una sección transversal bidimensional del modelo. A medida que se polimeriza una capa, la plataforma desciende una distancia igual al espesor de una capa y construye la siguiente capa, hasta completarse la impresión del objeto 3D digitalizado (Quan et al., 2020).

**2.1.2.2 Proyección de Luz Digital.** El surgimiento de la tecnología DLP se ha dado durante 20 años y la parte fundamental de esta es un dispositivo de microespejo digital (DMD),

un tipo de semiconductor óptico inventado por Larry Hornback en 1977, que es, probablemente, el dispositivo de conmutación óptica más avanzado del mundo hasta la fecha (Quan et al., 2020). El DMD consta de un grupo de espejos controlables del tamaño de una micra, los cuales giran para controlar la trayectoria de la luz y, después, la proyectan sobre la resina fotosensible durante el trabajo (Zhang et al., 2020).

Es preciso destacar que esta técnica es una tecnología similar al proceso SLA, los materiales son resinas fotosensibles líquidas que se someten al fotocurado y, posterior a ello, forman la capa de la pieza impresa en 3D, de modo que se forman las siguientes capas en sus capas anteriores. Utiliza una pantalla de proyector digital para proyectar la imagen de la capa actual por una pantalla transparente en la parte inferior o superior del tanque de resina, a través de la plataforma de construcción o anterior capa. El DMD se utiliza para reflejar la luz del proyector laser al lente de proyección; después de curar cada capa, la plataforma de construcción sube y baja de acuerdo con el espesor de capa hasta completar toda la pieza (Khorsandi et al., 2021).

**2.1.2.3 Pantalla de Cristal Líquido.** En esta técnica, las impresoras 3D basadas en pantallas de cristal líquido usan luces LED para curar la resina de manera similar a las impresoras 3D DLP, pero, en lugar de proyectores y espejos, usan luces LED que brillan mediante un panel LCD directamente sobre la resina sin curar; este panel actúa como una máscara que bloquea la luz en las áreas que no debe solidificarse (Ballacchino et al., 2021). Lo anterior permite que la luz no se expanda y, por ende, la distorsión de píxeles sea un problema menor, a diferencia de la DLP. Además, se puede exponer una capa completa al mismo tiempo y no es necesario escanear el fotopolímero punto por punto como en SLA. De tal forma, todas estas características permiten un proceso de fabricación más rápido, eficiente y económico (Tosto et al., 2020).

### **2.1.3 Materiales Empleados para la Impresión 3D en Odontología**

Recientemente, ha aumentado la gama de materiales disponibles para la impresión 3D, lo cual implica la optimización del proceso, los parámetros de impresión y el uso de materiales diferentes, a veces poco comunes. No obstante, es esencial comprender las ventajas, desventajas y propiedades de los materiales y las estructuras de impresión (Espinari et al., 2022). Teniendo en cuenta todos los materiales, como el metal y la cerámica, se enfatiza en los polímeros, pues son los más estudiados y con los que trabajan los tipos de impresión descritos.

**2.1.3.1 Polímeros.** Existen de tres tipos, los cuales se describen a continuación.

**A. Polímeros de Vinilo.** Son los más utilizados en odontología debido a sus propiedades ajustables; se producen a partir de monómeros de vinilo, con el uso de Polímeros Reforzados con Fibra (FRP). Aunque los polímeros de vinilo son biocompatibles, no son biodegradables, y esto lo hace desfavorable para muchas aplicaciones médicas; empero, esto no es un problema en la odontología, dado que no se desea la degradación para un uso a largo plazo, como los implantes dentales. Es por eso que se han implementado nuevos métodos de síntesis, como la polimerización por radicales controlada (CRP), para ajustar las propiedades de los materiales y controlar la composición molecular (Khorsandi et al., 2021).

**B. Polímeros de Estireno.** Existen dos polímeros de estireno comúnmente utilizados en odontología: el poliestireno (PS) y el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS). En primera instancia, el poliestireno es un hidrocarburo aromático polimerizado de monómeros de estireno vía FRP, utilizando peróxido de benzoilo como iniciador; es estructuralmente amorfo, con alta transparencia y de suave superficie. Sus propiedades mecánicas y la facilidad de fabricación lo convierten en un buen candidato para aplicaciones dentales (Khorsandi et al., 2021).

Por otro lado, el acrilonitrilo-butadieno-estireno es un polímero amorfo y termoplástico hecho de petróleo, no es un material biodegradable, y se extruye a altas temperaturas (alrededor de 220-280 °C). Este hereda sus propiedades superiores de sus monómeros: acrilonitrilo,

butadieno y estireno, con lo que contribuye a la calidad del ABS. Se usa ampliamente en la industria debido a su resistencia al impacto y dureza, por ejemplo, para la creación de prototipos, la producción de juguetes y componentes para barcos y automóviles (Fico et al., 2022).

**C. Poliésteres.** Es un grupo de polímeros termoplásticos que contienen grupos funcionales éster en la cadena principal, se polimerizan por policondensación por eliminación de moléculas de agua. Los tres más populares son: policarbonato (PC), policaprolactona (PCL) y el ácido poliláctico (PLA). Los policarbonatos son polímeros mecánicamente robustos, amorfos y transparentes, se usan ampliamente en odontología para producir brackets de ortodoncia, bases de dentaduras y provisionales prefabricados. Entre tanto, el policaprolactona es un material biodegradable y biocompatible, en el campo de la impresión 3D, el PCL es de interés por su baja punto de fusión ( $\approx 63^{\circ}\text{C}$ ), la fabricación es útil para técnicas de impresión como FDM.

Finalmente, el ácido poliláctico es uno de los polímeros más utilizados en aplicaciones relacionadas con el cuerpo, se sintetiza a partir del ácido láctico mediante policondensación y, en algunos casos, a través de polimerización por apertura de anillo. Su excelente procesabilidad del PLA le permite ser utilizado en diferentes métodos de impresión 3D y para diversas aplicaciones, tales como la impresión FDM de guías de perforación para la inserción quirúrgica de implantes dentales y restauraciones provisionales (Khorsandi et al., 2021).

#### **2.1.4 Propiedades Físicas y Mecánicas de la Resina**

El estudio del comportamiento de los materiales ante la acción de fuerzas se conoce como estudio de sus propiedades mecánicas, el cual se ocupa del comportamiento de la estructura interna de la materia ante la acción de fuerzas externas. De esa forma, para que esta alteración ocurra deben actuar dos fuerzas opuestas, y su acción debe producir cambios en la posición y en la distancia entre los átomos y las moléculas, lo que se define como deformación.

Como resultado de la deformación de un material, se produce una tensión que se opone a fuerzas externas, la cual es el resultado de las fuerzas internas entre los átomos o las moléculas que mantienen la posición original. Cuando las fuerzas externas son demasiadas grandes, puede superar la tensión máxima, llevándola a la ruptura del cuerpo, es decir que la tensión máxima que puede soportar un material se denomina resistencia.

**2.1.4.1 Tipos de Tensiones y Resistencias.** Estas se clasifican en tres tipos principales, a saber:

**A. Compresión.** Se da cuando la situación es de dos fuerzas de igual dirección y en sentido contrario, sobre una misma recta, estas buscan acercar sus puntos de aplicación, con la creación de tensiones que se denominan compresivas.

**B. Tracción.** Cuando las dos fuerzas de igual dirección y sentido contrario tienden a aumentar la longitud del cuerpo y, así lo estiran.

**C. Tangencial.** Cuando es inducido por fuerzas de sentido contrario, pero no se encuentran en la misma dirección sino en direcciones próximas y paralelas (Macchi, 2007).

**2.1.4.2 Microdureza.** Se puede definir como la resistencia que ofrece el material ante una depresión o marca permanente. Es por eso que la prueba que la mide trata de penetrar o rayar una muestra del material por medio de un indentador definido que tiene una carga establecida. Además, al relacionar la carga aplicada con la magnitud de la penetración puede establecerse el valor de la dureza (Macchi, 2007).

En la prueba de microdureza, el “indentador” es un diamante tallado también en forma piramidal, pero con aristas longitudinales formando un ángulo de 172,5 grados y las transversales, de 130 grados. De esta manera, la impronta dejada sobre el material en estudio tiene una forma romboidal con una diagonal mayor y una diagonal menor. Para el cálculo sólo se mide la diagonal mayor, debido a que en su nivel la recuperación elástica que se produce no tiene tanta importancia. El número de dureza Vickers y número de microdureza de Knoop

(VHN y KHN, respectivamente) se calcula relacionando la carga, que puede variar según el material ensayado entre algunos gramos y uno o dos kilogramos, con la superficie de la huella (Curvello de Mendonça et al., 2021).

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de Investigación

Este trabajo de investigación fue de tipo experimental *in vitro*, comparativo, prospectivo y transversal.

#### 3.2 Ámbito Temporal y Espacial

La presente investigación se realizó en el laboratorio de ensayos mecánicos y físicos High Technology Laboratory Certificate en la ciudad de Lima, el cual cuenta con los certificados de calibración de las máquinas utilizadas en ambas pruebas, durante los meses de Septiembre y Octubre del año 2023. (Anexo B)

#### 3.3 Variables

##### 3.3.1 Independiente

**3.3.1.1 Grosor de la Capa de Impresión.** Es la configuración de la altura de la capa que afecta el tiempo que le toma a la impresora terminar una impresión y, asimismo, puede afectar la precisión de ésta.

**3.3.1.2 Tiempo de Poscurado.** Es el tiempo el cual se polimeriza la resina impresa.

##### 3.3.2 Dependientes

**3.3.2.1 Resistencia a la Flexión.** Es la tensión máxima que se puede cargar sobre el material sin causar su fractura, se considera una de las propiedades mecánicas más importante de los materiales de restauración a base de acrílico. La prueba de la máquina de ensayo universal determina tanto la resistencia del material indicado como la cantidad de distorsión esperada, de forma que es la técnica más común para medir la flexión.

**3.3.2.2 Microdureza.** Es la dureza del material expuesto a bajas cargas aplicadas. Brinda información sobre el ajuste estructural de los materiales de relleno, es uno de los factores más importantes que afecta el éxito de las restauraciones en la clínica.

### 3.3.3 Operacionalización de Variables

Variable	Definición Conceptual	Indicadores	Tipo Variable	De	Escala	Valor
Grosor de la capa de impresión	Es la configuración de la altura de las capas para la construcción del objeto 3D.	Software de impresión 3D	Cualitativa		Ordinal	30,50 y 100 $\mu\text{m}$
Resistencia a la flexión	Es la tensión máxima que se puede cargar sobre el material sin causar su fractura.	Máquina de ensayo universal	Cuantitativa		De razón	MPa (Megapascal)
Microdureza	Es la dureza del material expuesto a bajas cargas aplicadas.	Micro durómetro	Cuantitativa		De razón	VHN (Unidades Vickers de dureza)
Tiempo de Poscurado	Es el tiempo el cual se polimeriza la resina impresa.	Lámpara UV de Poscurado	Cuantitativa		De razón	10,20 y 40 minutos

### 3.4 Población y Muestra

La población estuvo conformada por 216 barras de resinas dentales de impresión de 25×2×2 mm bajo la norma ISO 4049 a base de polímeros para uso de coronas provisionales de la marca Optiprint Lumina (Dentona).

La muestra comprendió por 12 barras de resina de impresión para cada grupo de grosor de capa. En un inicio se determinó la cantidad de 8 muestras mediante la fórmula de comparación de dos medias, pero a fines de obtener una mejor precisión se consideró 12 barras de resina para cada grupo. Para determinar la muestra se empleó la fórmula para comparar medias de tres grupos. (Anexo C)

Se realizó la distribución de los grupos de la siguiente manera:

- Grupo A: Barras de resina impresas con un grosor de capa de 30  $\mu\text{m}$ .
  - Grupo A1: Polimerizadas en un tiempo de 10 minutos.
  - Grupo A2: Polimerizadas en un tiempo de 20 minutos.
  - Grupo A3: Polimerizadas en un tiempo de 40 minutos.
- Grupo B: Barras de resina impresas con un grosor de capa de 50  $\mu\text{m}$ .
  - Grupo B1: Polimerizadas en un tiempo de 10 minutos.
  - Grupo B2: Polimerizadas en un tiempo de 20 minutos.
  - Grupo B3: Polimerizadas en un tiempo de 40 minutos.
- Grupo C: Barras de resina impresas con un grosor de capa de 100  $\mu\text{m}$ .
  - Grupo C1: Polimerizadas en un tiempo de 10 minutos.
  - Grupo C2: Polimerizadas en un tiempo de 20 minutos.
  - Grupo C3: Polimerizadas en un tiempo de 40 minutos.

### **3.4.1 Criterios de Selección**

#### **3.4.1.1 Criterios de Inclusión.** Se incluyeron las resinas de impresión 3D:

- De la marca DENTONA
- Para uso provisional
- De alta estética y translucidez
- Con escala de colores de dientes VITA

#### **3.4.1.2 Criterios de Exclusión.** Se excluyeron las resinas de impresión 3D:

- Que no sean de la marca Dentona
- Para uso permanente
- De poca estética y sin translucidez
- Sin escala de color de dientes VITA

### 3.5 Instrumentos

- Ficha de Recolección de Datos. (Anexo D)
- Máquina de Ensayo Universal
- Microdurómetro
- Impresora 3D Phrozen Sonic XI 4k 2022
- Resina Optiprint Lumina de Dentona
- Cuba Ultrasónica Phrozen Ultra- Sonic Cleaner
- Cámara de postcurado PHROZEN CURE

### 3.6 Procedimientos

#### 3.6.1 *Diseño en el software digital*

Se diseñó la preparación de muestras en forma de barra (25×2×2 mm) en un software de diseño 3D MESHMIXER para crear archivos STL, las cuales se importaron a un software de impresión de 3D PHROZEN DS SLICER para organizar la sesión de impresión, determinar el soporte de impresión y demás configuraciones. Esta misma configuración se mantuvo idéntica, excepto que se modificó el grosor de capa a tres diferentes alturas: 30 µm, 50 µm y 100 µm, los cuales se dividieron en tres grupos principales (A, B y C) y 9 subgrupos. (Anexo E)

#### 3.6.2 *Impresión 3D y Postcurado*

Posteriormente, se obtuvo un total de 216 muestras, divididas en 72 muestras por cada grosor de capa impresas en la impresora 3D PHROZEN SONIC XL 4K 2022, se utilizó una resina foto polimerizable para provisionales OPTIPRINT LUMINA DE DENTONA. Después de la impresión, las muestras fueron lavadas en una cuba ultrasónica PHROZEN ULTRA-SONIC CLEANER con alcohol isopropílico al 90 %, de acuerdo a las indicaciones del fabricante, durante 10 minutos. Siguiendo a ello, cada grupo de 72 muestras se subdividió en otros tres grupos de 24 muestras cada uno que fueron polimerizados por todos los lados, a

través de una cámara de postcurado PHROZEN CURE durante 10,20 y 40 minutos, mediante el uso de luz ultravioleta (Loflin et al., 2019).

Cada subgrupo de 24 muestras se sometió a dos diferentes pruebas:

### ***3.6.3 Resistencia a la Flexión***

Se utilizó una máquina de ensayo universal del laboratorio High Technology, inicialmente, se hizo la medición del ancho y espesor del espécimen y se registró en el software de medición. Posteriormente la muestra fue colocada sobre los dos soportes accesorios de la máquina, que fueron cargados a una velocidad de cruceta de 1mm/min. Se inició la prueba de flexión, dónde en tiempo real se monitoreó la fuerza máxima de flexión. Finalmente se observó que la muestra llegó a su punto de deformación y se produjo la fractura de ésta, conjuntamente se obtuvieron en el software los gráficos y resultados necesarios para el análisis de la prueba que se calculó con base en la carga a la fractura y la resistencia de la muestra.

### ***3.6.4 Dureza Vickers***

Se midieron las superficies superior e inferior de la muestra con un durómetro Vickers del laboratorio High Technology, usando una carga de 50 gmsf (gramo fuerza) durante 10 a 15 segundos. La muestra se montó sobre una platina de vidrio y la superficie de cada espécimen fue evaluada con un lente de microscopio antes de ser procesada. Una vez retirado el lente, el indentador descendió hasta tocar la superficie de la muestra e hizo la indentación durante el tiempo indicado. Luego de la aplicación, se retiró el indentador y se retornó al lente donde se observó las indentaciones marcadas en la superficie de la muestra. Finalmente, las huellas marcadas fueron visualizadas mejor en la computadora, se midieron las diagonales y se obtuvo el valor de microdureza mediante una formula, dónde se utilizó los valores de carga aplicada y el de las dos diagonales obtenidas.

### **3.7 Análisis de Datos**

En este punto, se realizó la tabulación de los datos recolectados en el programa Microsoft Excel 2021 (18.0), para ser analizados en el software estadístico SPSS versión 25. Cada grupo de resinas fueron sometidos a la prueba de normalidad, a fin de ver la distribución de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk ( $p > 0.05$ ) para todos los grupos. Se realizó un análisis univariado mediante los cálculos de la media y la desviación estándar. Para hallar la diferencia y comparar los valores promedio de la resistencia a la flexión y la microdureza se utilizó a prueba de análisis de varianza (ANOVA) y para la comparación múltiple la prueba de Tukey.

### **3.8 Consideraciones Éticas**

Se solicitó permiso al Comité de Ética, el cual aprobó el presente proyecto luego de haber presentado el levantamiento de las observaciones. (Anexo F)

#### IV. RESULTADOS

El propósito de la presente investigación fue determinar que grosor de capa de impresión, entre las de 30  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  y 100  $\mu\text{m}$  y foto polimerizados en 10, 20 y 40 minutos presenta una mayor resistencia a la flexión y microdureza. La muestra estuvo conformada por 216 barras de resina de 25 mm de alto, 2 mm de ancho y 2 mm de largo de la marca Optiprint Lumina de Dentona. Los datos fueron procesados en el software IBM SPSS Statistics 25 para determinar los resultados, tablas y gráficos presentes.

**Tabla 1**

*Descripción de los valores de la microdureza de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos*

Variable	Tiempo	Altura	N	Media	Desviación		
					Estándar	Mínimo	Máximo
Microdureza	10 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	19.650	1.2019	17.2	21.1
		50 $\mu\text{m}^b$	12	22.517	1.2496	21.1	25.2
		100 $\mu\text{m}^b$	12	22.067	0.9129	20.1	23.3
	20 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	21.467	1.1972	18.7	23.3
		50 $\mu\text{m}^b$	12	24.200	1.8708	19.1	26.9
		100 $\mu\text{m}^a$	12	19.633	2.4806	17.5	26.7
	40 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	24.383	2.1544	21.3	28.4
		50 $\mu\text{m}^a$	12	24.725	1.5298	21.1	27.3
		100 $\mu\text{m}^b$	12	20.642	1.0561	18.9	22.2

*Nota.* En la tabla 1 se realizó la prueba ANOVA donde se observa a los grupos de grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  polimerizados en 10, 20 y 40 minutos, en el cual el grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 10 minutos, obtuvo una microdureza de  $19.65 \pm 1.20$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $22.52 \pm 1.25$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con  $22.067 \pm 0.91$ . El grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 20 minutos obtuvo una microdureza de  $21.47 \pm 1.20$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $24.20 \pm 1.87$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con 19.63

$\pm 2.48$ . El grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 40 minutos, obtuvo una microdureza de  $24.38 \pm 2.15$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $24.73 \pm 1.53$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con  $20.64 \pm 1.06$ .

**Tabla 2**

*Comparación de los valores de microdureza de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos*

Variable	Tiempo	Altura	N	Media	Desviación			p
					Estándar	Mínimo	Máximo	
Microdureza	d10	30 $\mu\text{m}^a$	12	19.650	1.2019	17.2	21.1	<0.001
		50 $\mu\text{m}^b$	12	22.517	1.2496	21.1	25.2	
		100 $\mu\text{m}^b$	12	22.067	0.9129	20.1	23.3	
	d20	30 $\mu\text{m}^a$	12	21.467	1.1972	18.7	23.3	
		50 $\mu\text{m}^b$	12	24.200	1.8708	19.1	26.9	
		100 $\mu\text{m}^a$	12	19.633	2.4806	17.5	26.7	
	d40	30 $\mu\text{m}^a$	12	24.383	2.1544	21.3	28.4	
		50 $\mu\text{m}^a$	12	24.725	1.5298	21.1	27.3	
		100 $\mu\text{m}^b$	12	20.642	1.0561	18.9	22.2	

*Nota.* Aplicando ANOVA paramétrico y no paramétrico. Aplicando Tukey (a,b,c).

**Tabla 3**

*Descripción de los valores de la resistencia a la flexión de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos*

Variable	Tiempo	Altura	N	Media	Desviación		
					Estandar	Mínimo	Máximo
Flexion	10 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	65.4475	13.09140	46.68	94.94
		50 $\mu\text{m}^a$	12	55.8008	11.24747	42.43	70.00
		100 $\mu\text{m}^b$	12	42.9975	4.57845	35.95	52.31
	20 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	74.0492	9.01570	62.05	90.31
		50 $\mu\text{m}^a$	12	70.5475	12.84761	47.01	98.48
		100 $\mu\text{m}^b$	12	44.6983	6.40186	33.45	58.44
	40 min	30 $\mu\text{m}^a$	12	73.3525	16.73746	49.35	97.75
		50 $\mu\text{m}^a$	12	70.0608	6.77033	58.78	80.56
		100 $\mu\text{m}^b$	12	52.3225	8.60563	40.73	71.04

*Nota.* En la tabla 3 se realizó la prueba ANOVA donde se observa a los grupos de grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  polimerizados en 10, 20 y 40 minutos, en el cual el grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 10 minutos, obtuvo una resistencia de flexión de  $65.45 \pm 13.09$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $55.80 \pm 11.25$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con  $42.99 \pm 4.58$ . El grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 20 minutos, obtuvo una resistencia de flexión de  $74.05 \pm 9.02$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $70.55 \pm 12.85$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con  $44.69 \pm 6.40$ . El grupo de 30  $\mu\text{m}$  polimerizado en 40 minutos obtuvo una resistencia de flexión de  $75.35 \pm 16.74$ , continuamente el grupo de 50  $\mu\text{m}$  con  $70.06 \pm 6.77$  y por último el grupo de 100  $\mu\text{m}$  con  $52.32 \pm 8.61$ .

**Tabla 4**

*Comparación de los valores de la resistencia a la flexión de los grosores de capa de impresión de 30,50 y 100  $\mu\text{m}$  foto polimerizados en 10,20 y 40 minutos*

Variable	Tiempo	Altura	N	Media	Desviación		Máximo	p
					Estándar	Mínimo		
Flexión	f10	30 $\mu\text{m}^a$	12	65.4475	13.09140	46.68	94.94	<0.001
		50 $\mu\text{m}^a$	12	55.8008	11.24747	42.43	70.00	
		100 $\mu\text{m}^b$	12	42.9975	4.57845	35.95	52.31	
	f20	30 $\mu\text{m}^a$	12	74.0492	9.01570	62.05	90.31	
		50 $\mu\text{m}^a$	12	70.5475	12.84761	47.01	98.48	
		100 $\mu\text{m}^b$	12	44.6983	6.40186	33.45	58.44	
	f40	30 $\mu\text{m}^a$	12	73.3525	16.73746	49.35	97.75	
		50 $\mu\text{m}^a$	12	70.0608	6.77033	58.78	80.56	
		100 $\mu\text{m}^b$	12	52.3225	8.60563	40.73	71.04	

*Nota.* Aplicando ANOVA paramétrico y no paramétrico. Aplicando Tukey (a,b,c).

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Actualmente en la odontología digital existen dos maneras principales de materializar una estructura dental, mediante la técnica sustractiva y aditiva. Por muchos años la técnica sustractiva que consiste en retirar material para darle forma a un disco de zirconia o un bloque de disilicato, fue la principal técnica utilizada. Sin embargo, con los años fue desarrollándose mejor la técnica aditiva, tanto de metales, polímeros y ahora cerámicas.

Uno de los materiales más usados en la técnica aditiva son los materiales poliméricos, ya que han sido muy eficaces en los procedimientos clínicos y tienen una amplia gama de aplicaciones en la odontología moderna, por lo cual aparecieron como una alternativa más a las restauraciones provisionales compitiendo con las resinas compuestas y los PMMA (Lai et al, 2015).

Es por eso que en este estudio se utilizó la resina de impresión 3D Optiprint Lumina de la marca Dentona, la cual su composición está basada en metacrilato y rellenos inorgánicos. Es una resina translúcida con alto relleno y de alta estética ya que está disponible en la escala de colores de dientes VITA y su principal uso es para coronas y puentes de uso temporal.

Al ser materiales nuevos y sus propiedades mecánicas son fundamentales para el uso dental es importante la evaluación de las pruebas de resistencia a la flexión y microdureza, que son pruebas usualmente asociadas a las resinas de impresión 3D. Ya que nos permiten comprender las propiedades mecánicas del material y nos brindan una visión más clara para su uso clínico a largo plazo (Lourinho et al, 2022).

En el caso de la fabricación de estructuras aditivas usando impresión 3D, hay otras variables que se tienen que tomar en cuenta, como grosor de capa, tiempo de exposición de las capas, tiempo de fotopolimerización, y otros. Por lo tanto, debido a esta variedad de configuraciones es importante entender cuál es la influencia de estas variables en las distintas

pruebas mecánicas, como muestran los resultados de Alshamrani et al. (2022), Loflin et al. (2019), Favero et al. (2017), Perea-Lowery et al. (2021), Scherer et al. (2022) y Pandžić (2021).

Dos variables principales que pueden influenciar en las propiedades mecánicas son el grosor de capa en la impresión y el tiempo de foto polimerizado, por lo tanto, en este estudio se utilizaron tres diferentes grosores de capa con tres diferentes tiempos de fotopolimerización, para ver su influencia en la resistencia a la flexión y microdureza, ya que son pruebas importantes, especialmente cuando el paciente debe usar una restauración provisional por un tiempo prolongado hasta el uso del definitivo. Nuestros resultados en la prueba de resistencia a la flexión son comparables con otros estudios, en este caso, los mayores valores de este estudio con respecto a la prueba de resistencia a la flexión se obtuvieron en los grosores de capa de 30 y 50  $\mu\text{m}$  en un tiempo de foto polimerizado de 40 minutos, con 73.35 MPa y 70.06 MPa respectivamente, siendo estadísticamente significativo con respecto al de 100  $\mu\text{m}$ . Estos resultados coinciden con Alshamrani et al. (2022), quien también encontró la mayor resistencia flexural con respecto solo al grosor de la capa de impresión en el grosor de 50  $\mu\text{m}$  con 86.77 MPa, que además obtuvo otros resultados que difieren con los nuestros ya que expuso sus muestras a diferentes condiciones de tratamientos post impresión. Por otro lado, en el estudio de Perea-Lowery et al. (2021), dónde evaluó la resistencia y módulo de flexión de una resina impresa 3D en dos diferentes capas de impresión de 50 y 100  $\mu\text{m}$ , concluyó también que los valores de sus muestras con una capa de impresión de 50  $\mu\text{m}$  eran significativamente más altos que los impresos con un espesor de capa de 100  $\mu\text{m}$ . Además, sugiere que la causa podría atribuirse a la disminución de la intensidad de la luz cuando pasa a través de una gran cantidad de material de resina, la cual se asemeja e incita nuestra teoría.

Otra crucial propiedad mecánica, es la dureza de la superficie de un material, ya que puede predecir la durabilidad de un material dental y su comportamiento clínico. Las medidas de dureza se utilizaron en este estudio para evaluar los diversos protocolos de tratamiento y

curado y su eficacia en términos de foto polimerización. Los resultados muestran que los mayores valores se obtuvieron en el grosor de capa de 50  $\mu\text{m}$  con 24.72 VHN, siendo estadísticamente significativo en un tiempo de foto polimerizado de 40 minutos respecto a los grosores de capa de 30 y 100  $\mu\text{m}$ . Resultados que también coinciden con Alshamrani et al. (2022), que encontró la mayor microdureza respecto al grosor de capa de impresión en el grosor de 50  $\mu\text{m}$  con 16.68 VHN. Además, también demostró que las diferentes condiciones de tratamiento post impresión y todos esos protocolos adicionales curados con luz y calor afectaron significativamente a sus resultados, los cuales mostraron un aumento en la dureza Vickers en comparación a su grupo control. Estos resultados también son similares al estudio de Borella et al. (2023), el cual evaluó la microdureza en cuatro diferentes tipos de resina de impresión con la altura de capa de impresión de 50 y 100  $\mu\text{m}$ . Sus resultados mostraron que los ejemplares con una capa de impresión de 100  $\mu\text{m}$  tuvieron peores resultados comparados al de 50  $\mu\text{m}$  en todas las resinas probadas.

Finalmente, en el tiempo de foto polimerizado de 40 minutos los grosores de capa de 30 y 50  $\mu\text{m}$  obtuvieron los mayores valores estadísticamente significativos comparado con el de 100  $\mu\text{m}$  en ambas pruebas.

La importancia de este estudio radica en que esta investigación permite deducir que los menores grosores de capa en la construcción brindan una mayor microdureza y resistencia a la flexión del material, ya que un menor grosor de capa permite una mejor transmisión de la luz a través del material, asegurando un mejor polimerizado de la resina, de igual forma una estructura construida con menores grosores de capa tendrá mayor número de capas por lo que el tiempo de polimerización aumenta. Todo esto se traduce en un mayor grado de conversión de monómeros a polímeros y por lo tanto se logra obtener propiedades mecánicas superiores.

## VI. CONCLUSIONES

6.1 El grosor de capa de impresión que obtuvo el mayor valor en la prueba de resistencia a la flexión fue el de 30  $\mu\text{m}$ , y el grosor de capa de impresión de menor valor fue el de 100  $\mu\text{m}$ .

6.2 El grosor de capa de impresión que obtuvo el mayor valor en la prueba de microdureza fue el de 50  $\mu\text{m}$ , y el grosor de capa de impresión de menor valor fue el de 100  $\mu\text{m}$ .

6.3 El tiempo de foto polimerizado incrementa las propiedades mecánicas en la resistencia de flexión y microdureza de la resina de impresión Optiprint Lumina de Dentona.

6.4 El tiempo de foto polimerizado con los grosores de capa de impresión de 30 y 50  $\mu\text{m}$  obtuvieron los mayores valores en el tiempo de 40 minutos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

7.1 Se recomienda agregar la variable de orientación de impresión en futuras investigaciones de la impresión de una resina dental impresa en 3D.

7.2 Se sugiere que las muestras sean fabricadas en forma de corona para simular el escenario clínico en futuras investigaciones.

7.3 Se invita a evaluar la tasa de supervivencia a largo plazo y estabilidad de color de una resina dental impresa en 3D.

## VIII. REFERENCIAS

- Alshamrani, A. A., Raju, R., y Ellakwa, A. (2022). Effect of Printing Layer Thickness and Postprinting Conditions on the Flexural Strength and Hardness of a 3D-Printed Resin. *BioMed Research International*, 3(26), 1-9. <https://doi.org/10.1155/2022/8353137>
- Ballacchino, G., Weaver, E., Mathew, E., Dorati, R., Genta, I., Conti, B., y Lamprou, D. A. (2021). Manufacturing of 3d-printed microfluidic devices for the synthesis of drug-loaded liposomal formulations. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(1), 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijms22158064>
- Bedrossian, E. A., Chung, K.-H., y Ramos, V. (2019). Effect of layering gingiva-shade composite resin on the strength of denture base polymers. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 122(2), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.05.018>
- Cromtek. (2020). *Máquina universal de ensayo: ¿Qué es y para qué sirve?* <https://www.cromtek.cl/2020/10/29/maquina-universal-de-ensayo-que-es-y-para-que-sirve/>
- Crook, J. M. (2020). *3D Bioprinting Principles and Protocols*. Humana.
- Curvello de Mendonça, B., Soto-Moreno, J. R., Fernandes, E., Gallego, V., Allen, F., y Giannini, M. (2021). Flexural strength and microhardness of bulk-fill restorative materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(4), 628–635. <https://doi.org/10.1111/jerd.12727>
- Dawood, A., Marti, B. M., Sauret-Jackson, V., y Darwood, A. (2015). 3D printing in dentistry. *British Dental Journal*, 219(11), 521–529. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2015.914>
- Espinar, C., della Bona, A., Pérez, M. M., y Pulgar, R. (2022). Color and optical properties of 3D printing restorative polymer-based materials: A scoping review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(6), 853–864. <https://doi.org/10.1111/jerd.12904>

- Favero, C. S., English, J. D., Cozad, B. E., Wirthlin, J. O., Short, M. M., y Kasper, F. K. (2017). Effect of print layer height and printer type on the accuracy of 3-dimensional printed orthodontic models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(4), 557-565. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.06.012>
- Fico, D., Rizzo, D., Casciaro, R., y Esposito, C. (2022). A Review of Polymer-Based Materials for Fused Filament Fabrication (FFF): Focus on Sustainability and Recycled Materials. *Polymers*, 14(3), 1-33. <https://doi.org/10.3390/polym14030465>
- Fiorenza, L., Yong, R., Ranjitkar, S., Hughes, T., Quayle, M., McMenamin, P. G., Adams, J. W. (2018). Technical note: The use of 3D printing in dental anthropology collections. *American Journal of Physical Anthropology*, 167(2), 400-406. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23640>
- Guichet, D. L. (2019). Digital Workflows in the Management of the Esthetically Discriminating Patient. *Dental Clinics of North America*, 63(2), 331–344. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2018.11.011>
- Igai, F., Junior, W. S., Iegami, C. M., y Neto, P. T. (2021). Assessment of different types of intra oral scanners and 3D printers on the accuracy of printed models: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 13(12), 1174–1181. <https://doi.org/10.4317/jced.58765>
- Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., Saber, S. S., Seyedi, M., Ghanavati, S., Makvandi, P. (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomaterialia*, 122, 26-49. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.044>
- Lai, W., Oka, K., Jung, H. (2015). Advanced functional polymers for regenerative and therapeutic dentistry. *Oral Diseases*, 21, 550–557. <https://doi:10.1111/odi.12281>

- Liu, Y., Bai, W., Cheng, X., Tian, J., Wei, D., Sun, Y., y Di, P. (2020). Effects of printing layer thickness on mechanical properties of 3D-printed custom trays. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 126(5), 607–717. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.08.025>
- Loflin, W. A., English, J. D., Borders, C., Harris, L. M., Moon, A., Holland, J. N., y Kasper, F. K. (2019). Effect of print layer height on the assessment of 3D-printed models. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 156(2), 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.02.013>
- Lourinho, C., Salgado, H., Correia, A., Fonseca, P. (2022). Mechanical Properties of Polymethyl Methacrylate as Denture Base Material: Heat-Polymerized vs. 3D Printed - Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Biomedicines*, 10, 2565. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10102565>
- Louvrier, A., Marty, P., Barrabé, A., Euvrard, E., Chatelain, B., Weber, E., y Meyer, C. (2017). How useful is 3D printing in maxillofacial surgery? *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 118(4), 206–212. <https://doi.org/10.1016/j.jormas.2017.07.002>
- Macchi, L. (2007). *Materiales Dentales*. Panamericana.
- Marković, D., Četenović, B., Vuković, A., Jokanović, V., y Marković, T. (2016). Nanosynthesized calcium-silicate-based biomaterials in endodontic treatment of young permanent teeth. En A. M. Grumezescu, *Nanobiomaterials in Dentistry: Applications of Nanobiomaterials* (pp. 269-307). Elsevier.
- Mohamed, M. G., Kumar, H., Wang, Z., Martin, N., Mills, B., y Kim, K. (2019). Rapid and Inexpensive Fabrication of Multi-Depth Microfluidic Device using High-Resolution LCD Stereolithographic 3D Printing. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.3390/jmmp3010026>
- Pandžić, A. (2021). Influence of Layer Height, Build Orientation and Post Curing on Tensile Mechanical Properties of SLA 3D Printed Material. En B. Katalinic, *Proceedings of*

*the 32nd International DAAAM Symposium "Intelligent Manufacturing & Automation"* (pp. 200-208). DAAAM International.

- Perea-Lowery, L., Gibreel, M., Vallittu, P. K., y Lassila, L. (2021). Evaluation of the mechanical properties and degree of conversion of 3D printed splint material. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 115, 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.104254>
- Quan, H., Zhang, T., Xu, H., Luo, S., Nie, J., y Zhu, X. (2020). Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials*, 5(1), 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>
- Ryu, J., Kim, Y., Kong, H., Chang, H., y Jung, J. (2020). Marginal and internal fit of 3D printed provisional crowns according to build directions. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 12(4), 225-232. <https://doi.org/10.4047/jap.2020.12.4.225>
- Sabbah, A., Romanos, G., y Delgado-Ruiz, R. (2021). Impact of layer thickness and storage time on the properties of 3D-printed dental dies. *Materials*, 14(3), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ma14030509>
- Scherer, M., Al-Haj Husain, N., Barmak, A. B., Kois, J. C., Özcan, M., y Revilla-León, M. (2022). Influence of the layer thickness on the flexural strength of aged and nonaged additively manufactured interim dental material. *Journal of Prosthodontics*, 32(S1), 68-73. <https://doi.org/10.1111/jopr.13582>
- Stanley, M., Gomes Paz, A., Miguel, I., y Coachman, C. (2018). Fully digital workflow, integrating dental scan, smile design and CAD-CAM: Case report. *BMC Oral Health*, 18(1), 2-8. <https://doi.org/10.1186/s12903-018-0597-0>
- Sulaiman, T. A. (2020). Materials in digital dentistry—A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 171–181. <https://doi.org/10.1111/jerd.12566>

- Tahayeri, A., Morgan, M. C., Fugolin, A. P., Bompolaki, D., Athirasala, A., Pfeifer, C. S., Ferracane, J. L., y Bertassoni, L. E. (2018). 3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials. *Dental Materials*, 34(2), 192–20. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.10.003>
- Tian, Y., Chen, C. X., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H., Lee, E. S., Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2-19. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
- Tosto, C., Pergolizzi, E., Blanco, I., Patti, A., Holt, P., Karmel, S., y Cicala, G. (2020). Epoxy based blends for additive manufacturing by liquid crystal display (LCD) printing: The effect of blending and dual curing on daylight curable resins. *Polymers*, 12(7), 1-12. <https://doi.org/10.3390/polym12071594>
- Zhang, J., Hu, Q., Wang, S., Tao, J., y Gou, M. (2020). Digital light processing based three-dimensional printing for medical applications. *International Journal of Bioprinting*, 6(1), 12–27. <https://doi.org/10.18063/ijb.v6i1.242>

## IX.ANEXOS

### Anexo A: Lista de Abreviaturas

- (SLA): Estereolitografía
- (DLP): Proyección de luz digital
- (STL): Lenguaje triangular estándar
- (CRE): Calificación de Evaluación de Radiografía Fundida
- (ABO): Junta Estadounidense de Ortodoncia
- (PLA): Ácido poliláctico
- (PMMA): Polimetilmetacrilato
- (TBS): Unión a la tracción
- (LED): Diodo emisor de Luz
- (RP): Creación rápida de prototipos
- (CAD): Diseño asistido por computadora
- (3D): Impresión tridimensional
- (FA): Fabricación aditiva
- (LCD): Pantalla de Cristal Líquido
- (FDM): Modelado por deposición fundida
- (PBF): Fusión de lecho de polvo
- (DMD): Micro espejo digital
- (FRP): Polímeros Reforzados con Fibra
- (CRP): Polimerización por radicales controlada
- (PS): Poliestireno
- (ABS): Acrilonitrilo-butadieno-estireno
- (PC): Policarbonato
- (PCL): Policaprolactona
- (VHN): Unidades Vickers de dureza

## Anexo B: Certificado de Calibración de las Máquinas



### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN LMF - 2023 - 021

Página 1 de 2

Fecha de emisión: 2023-08-28  
Fecha de expiración: 2024-08-27  
Expediente: LMC-2023-0654

**1. SOLICITANTE : HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C.**  
Dirección : Nro. 1319 Int. 116 Urb. Los Jardines de San Juan, Etapa II, San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.

**2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MAQUINA DIGITAL DE ENSAYOS UNIVERSALES**

Marca : LG  
Modelo : CMT-5L  
Serie : 7419  
Identificación : No Indica  
Rango de indicación : 5000,00 N  
División mínima : 0,01 N  
Tipo de Ensayo : Tracción  
Tipo de indicación : Digital  
Procedencia : Korea  
Ubicación : No Indica  
Fecha de Calibración : 2023-08-27

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.

**3. METODO DE CALIBRACIÓN:**

La calibración se realizó por medición directa y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad nacional. Se tomó como referencia la norma ISO 7500-1: 2004 Materiales Metálicos. Verificación de máquinas de ensayos uniaxiales parte I. Máquinas de ensayo tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza.

LABORATORIOS MECALAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**4. LUGAR DE CALIBRACIÓN:**

LABORATORIOS MECALAB S.A.C.  
Av. Lurigancho Nro. 1063, San Juan de Lurigancho - Lima.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

**5. CONDICIONES AMBIENTALES:**

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20,3 °C	20,4 °C
Humedad Relativa (%HR)	59 %HR	57 %HR

**6. PATRONES DE REFERENCIA:**

Trazabilidad	Patrón	Identificación	Certificado de Calibración
METROIL	Termohigrómetro	PT-TH-03	1AT-2832-2022 Cal: Setiembre 2022
INMELAB	Juego de pesas 1 g a 2 kg / M2	PM-JM2-02	LMM-2023-012 Cal: Marzo 2023
INMELAB	Juego de pesas 5 kg, 10 kg, 20 kg / M2	PM-JM2-01	LMM-2023-048 Cal: Marzo 2023



Gerente de Metrología

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE "LABORATORIOS MECALAB S.A.C."

**6. PATRONES DE REFERENCIA:**

Trazabilidad	Patrón	Marca	Certificado de Calibración
METROIL	Termohigrómetro	ELITECH	IAT-2832-2022 Cal: Setiembre 2022
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	200 HV	HV L-6
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	413 HV	HV L-7
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	744 HV	HV L-8

**7. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:****ERROR DE INDICACIÓN**

Condiciones Ambientales			
Inicial	24,3	Final	24,4

Valor Patrón	Indicación	Corrección	Incertidumbre	Unidades
200,0	199,9	0,1	0,13	HV
413,0	412,6	0,4	0,13	HV
744,0	744,3	-0,3	0,13	HV

**ERROR DE REPETIBILIDAD**

Condiciones Ambientales			
Inicial	24,4	Final	24,3

Valor Patrón (HV)	Indicación (HV)	Corrección (HV)
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1



**Error de repetibilidad:** 0,10 HV  
**Incertidumbre:** 0,13 HV

**8. OBSERVACIONES:**

- (\*) Identificación asignada por HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- El valor indicado del equipo que se muestra en la tabla, es el promedio de 5 valores medidos.
- La incertidumbre de la medición que se presenta está basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

**9. CONCLUSIONES:**

- De las mediciones realizadas se concluye que el instrumento se encuentra **calibrado** debido a que los valores medidos están dentro del rango normal de operación.
- Se recomienda realizar la próxima calibración en un plazo no mayor a un año desde la emisión de la misma.

FIN DEL DOCUMENTO

---

 PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE "LABORATORIOS MECALAB"
 

---

Fecha de emisión: 2022-11-29  
 Fecha de expiración: 2023-11-30  
 Expediente: LMC-2022-0789

**1. SOLICITANTE : HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C**  
 Dirección : Jirón Las Nepentas Nro. 364 Urb. San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.

**2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : DURÓMETRO**

 Marca : LG  
 Modelo : HV-1000  
 Serie : No Indica  
 Identificación : 8975 (\*)  
 Procedencia : Corea  
 Tipo : Digital  
 Ubicación : No Indica  
 Fecha de Calibración : 2022-11-28

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

El usuario está en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.

**3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN:**

La calibración se realizó por medición directa y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad nacional.

LABORATORIOS MECALAB S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**4. LUGAR DE CALIBRACIÓN:**
**HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C.**  
 Jirón Las Nepentas Nro. 364 Urb. San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.

**5. CONDICIONES AMBIENTALES:**

	Inicial	Final
Temperatura	20,3 °C	20,4 °C
Humedad Relativa	59 % HR	58 % HR

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Gerente de Metrología



PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE "LABORATORIOS MECALAB"

**6. PATRONES DE REFERENCIA:**

Trazabilidad	Patrón	Marca	Certificado de Calibración
METROIL	Termohigrómetro	ELITECH	IAT-2832-2022 Cal: Setiembre 2022
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	200 HV	HV L-6
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	413 HV	HV L-7
N.I.S.T.	Bloque patrón de dureza	744 HV	HV L-8

**7. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN:****ERROR DE INDICACIÓN**

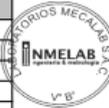
Condiciones Ambientales			
Inicial	24,3	Final	24,4

Valor Patrón	Indicación	Corrección	Incertidumbre	Unidades
200,0	199,9	0,1	0,13	HV
413,0	412,6	0,4	0,13	HV
744,0	744,3	-0,3	0,13	HV

**ERROR DE REPETIBILIDAD**

Condiciones Ambientales			
Inicial	24,4	Final	24,5

Valor Patrón (HV)	Indicación (HV)	Corrección (HV)
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1
200,0	200,1	-0,1



**Error de repetibilidad:** 0,10 HV  
**Incertidumbre:** 0,13 HV

**8. OBSERVACIONES:**

- (\*) Identificación asignada por HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C., grabada en una etiqueta adherida al instrumento.
- El valor indicado del equipo que se muestra en la tabla, es el promediado 5 valores medidos.
- La incertidumbre de la medición que se presenta está basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.
- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

**9. CONCLUSIONES:**

- De las mediciones realizadas se concluye que el instrumento se encuentra **calibrado** debido a que los valores medidos están dentro del rango normal de operación.
- Se recomienda realizar la próxima calibración en un plazo no mayor a un año desde la emisión de la misma.

FIN DEL DOCUMENTO

---

 PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE "LABORATORIOS MECALAB"
 

---

## Anexo C: Fórmula de Comparación De Dos Medias

**COMPARACION DE DOS MEDIAS**  
(Se pretende comparar si las medias son diferentes)

Indique número del tipo de test

Tipo de test (unilateral o bilateral)	1 UNILATERAL
Nivel de confianza o seguridad ( $1-\alpha$ )	95%
Poder estadístico	80%
Precisión (d) (Valor mínimo de la diferencia que se desea detectar, datos cuantitativos)	1.00
Varianza ( $S^2$ ) (De la variable cuantitativa que tiene el grupo control o de referencia)	1.00
<b>TAMAÑO MUESTRAL (n)</b>	<b>12</b>

**EL TAMAÑO MUESTRAL AJUSTADO A PÉRDIDAS**

Proporcion esperada de pérdidas (R)	
<b>MUESTRA AJUSTADA A LAS PÉRDIDAS</b>	





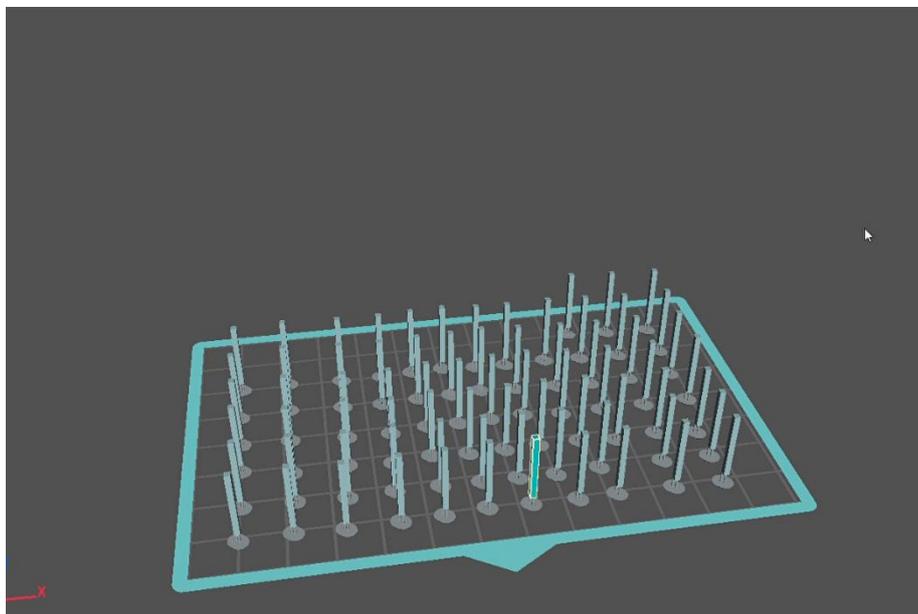
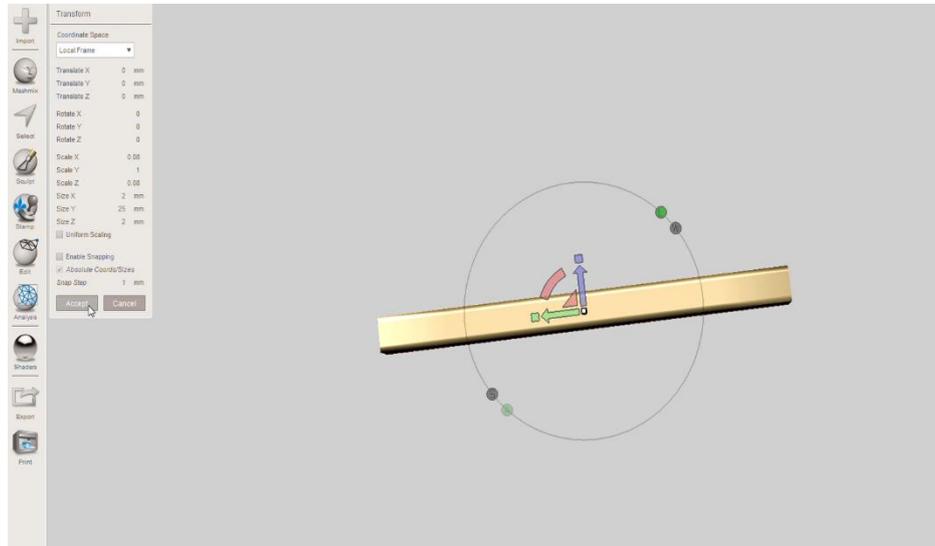




## Anexo E: Procedimientos

### Figura 1.

*Diseño de las muestras en software digital*



**Figura 2.**

*Equipos utilizados para la impresión, lavado y foto polimerizado de las barras de resina.*

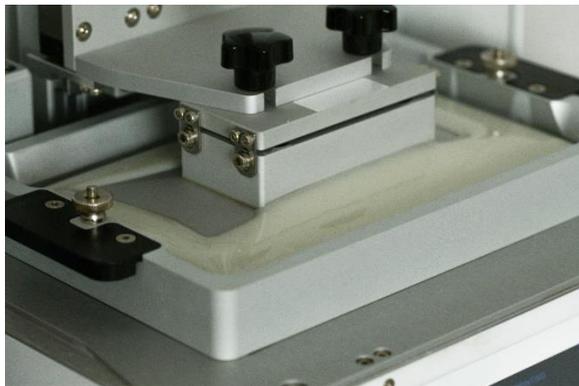
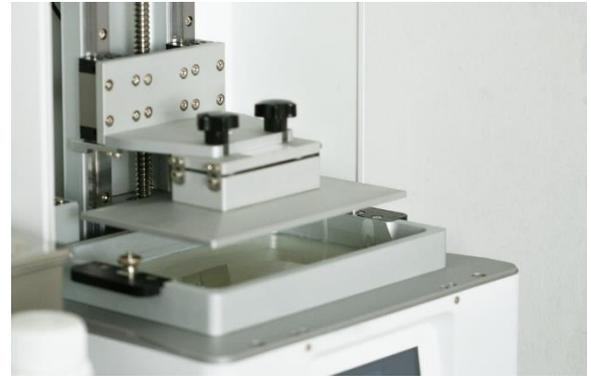
**Figura 3.**

*Impresora 3D SONIC XL 4K 2022*



**Figura 4.**

*Impresión de las barras de resina*

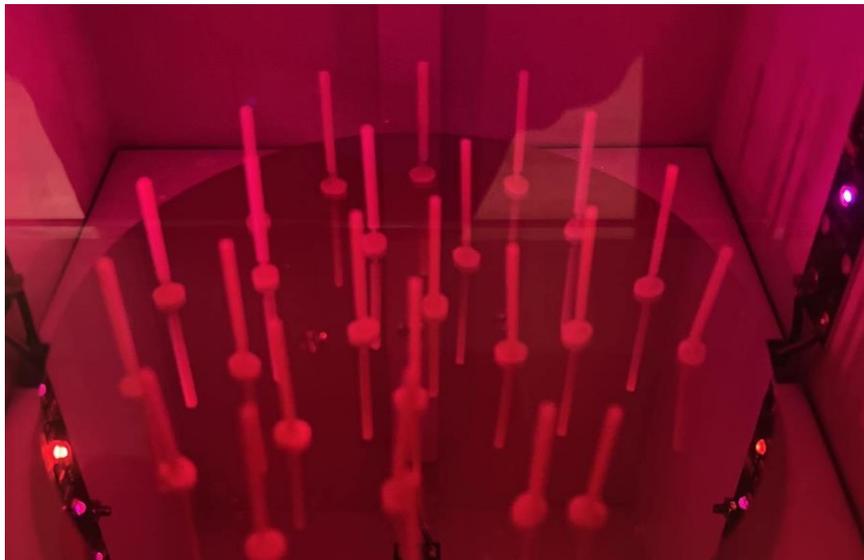


**Figura 5.**

*Lavado de las barras en la cuba ultrasónica con alcohol isopropílico*

**Figura 6.**

*Foto polimerizado en la cámara PHROZEN CURE*



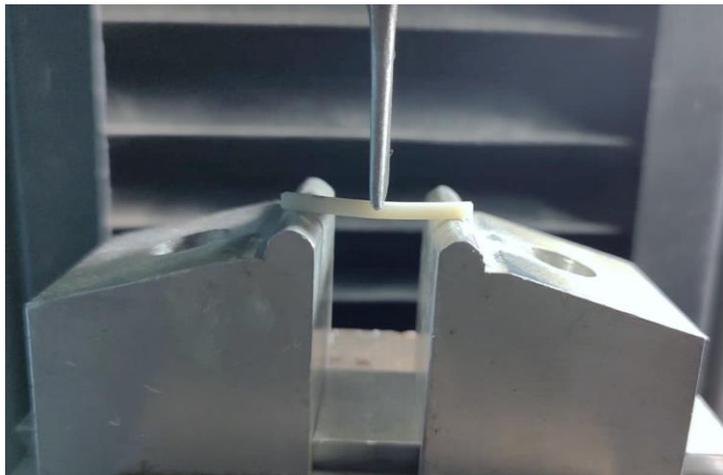
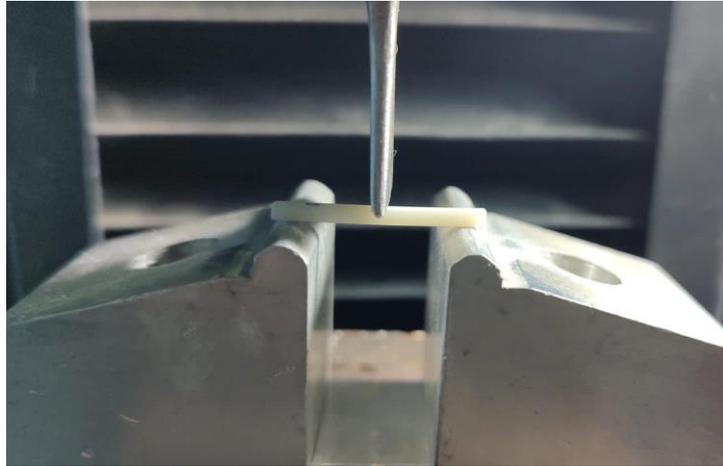
**Figura 7.**

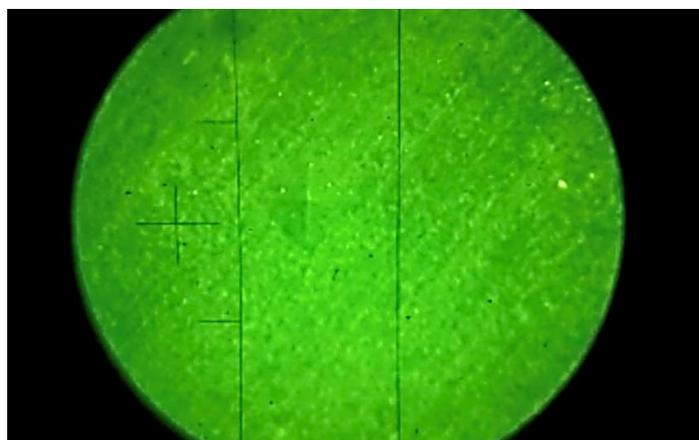
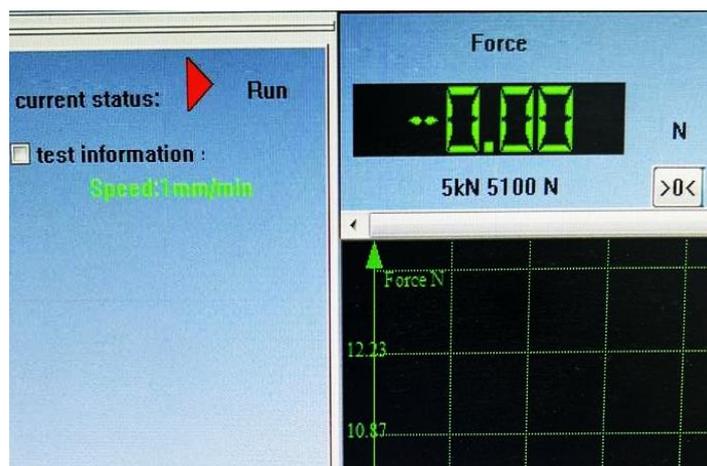
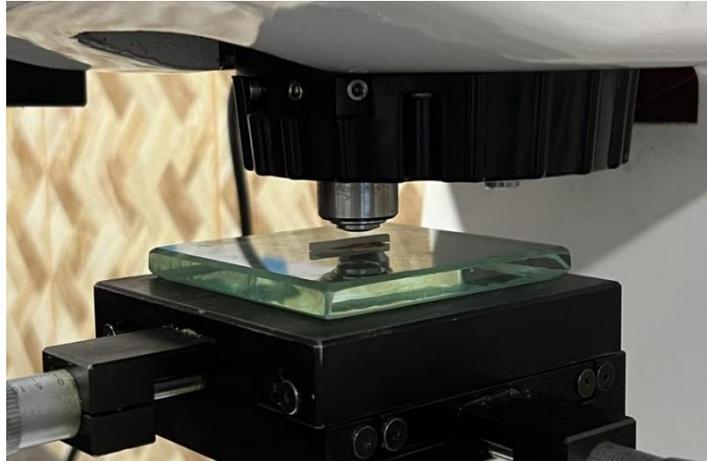
*Barras de resina impresa con grosores de capa de 30,50 y 100 $\mu$ m*



**Figura 8.**

*Prueba de resistencia a la flexión*



**Figura 9.***Prueba de microdureza*



## Anexo F: Carta de aprobación del Comité de Ética



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**Facultad de  
Odontología**



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

### COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN

#### CARTA DE APROBACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La presidenta del Comité de Ética de Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Federico Villarreal en referencia al siguiente Proyecto de Investigación, señala que fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación luego de haber presentado el levantamiento de las observaciones.

**Título: "EFECTO DEL GROSOR DE LA CAPA DE IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y MICRODUREZA DE UNA RESINA DENTAL 3D"**

Investigador: Bachiller HEREDIA HUÁNUCO KARENTH ALEXANDRA

Código de inscripción: 042-03-2023

Proyecto de investigación: versión de fecha 01 de marzo de 2023

Calificativo: **Favorable con Aprobación**

La aprobación considera el cumplimiento de los estándares de la Facultad y de la Universidad, los lineamientos científicos y éticos, el balance riesgo/beneficio, la capacitación del equipo de investigación, la confidencialidad de los datos, en el caso de participación de seres humanos se debe contemplar el respeto a la autonomía del participante, y la aplicación del consentimiento informado según el tipo de proyecto.

Cualquier modificación, enmienda y otros cambios en la estructura del proyecto deben ser informados al Comité de Ética en el caso de resguardo de los participantes del estudio. Los investigadores presentarán un informe al término de la investigación. El presente documento tiene una vigencia de tres años hasta el 01 de marzo del 2026.

Lima, 06 de marzo de 2023

Mg. Carmen Rosa García Rupaya  
Presidenta  
Comité de Ética en Investigación  
Facultad de Odontología

**Anexo G: Matriz de consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO	DISEÑO	ANÁLISIS ESTADÍSTICO
¿Cuál es la efectividad del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y dureza de una resina impresa en 3D?	<p>General:            Evaluar el efecto del grosor de la capa de impresión en la resistencia a la flexión y dureza de una resina impresa en 3D.            Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 30 <math>\mu\text{m}</math> y polimerizado en un tiempo de 10,20 y 40 minutos.</li> <li>▪ Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 50 <math>\mu\text{m}</math> y polimerizado en un tiempo de 10,20 y 40 minutos.</li> <li>▪ Determinar el efecto del grosor de la capa de impresión a la flexión y la microdureza con una altura de capa de 100 <math>\mu\text{m}</math> y polimerizado en un tiempo de 10,20 y 40 minutos.</li> </ul>	<p>Grosor de la capa de impresión</p> <p>Resistencia la flexión</p> <p>Microdureza</p> <p>Tiempo de polimerizado</p>	<p>Software de impresión 3D</p> <p>Máquina de Ensayo Universal</p> <p>Micro-durómetro</p> <p>Tiempo</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha de Recolección de Datos</li> <li>• Máquina de ensayo universal</li> <li>• Microdurómetro</li> <li>• Impresora 3D Phrozen Sonic XI 4k 2022</li> <li>• Resina Optiprint Lumina de Dentona</li> <li>• Cuba Ultrasónica Phrozen Ultra-Sonic Cleaner</li> <li>• Cámara de postcurado PHROZEN CURE</li> </ul>	<p>Tipo de Estudio:</p> <p>Experimental in vitro Comparativo Transversal Prospectivo</p>	<p>Cada grupo de resinas fueron sometidos a la prueba de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk (<math>p &gt; 0.05</math>) para todos los grupos. Para hallar la diferencia y comparar los valores promedio de la resistencia a la flexión y la microdureza se utilizó a prueba de análisis de varianza (ANOVA) y para la comparación múltiple la prueba de Tukey.</p>