
Desarrollo de cubeta dental ajustable impresa en 3D

Karen Leonor Córdova López



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Desarrollo de cubeta dental ajustable impresa en 3D

Trabajo de graduación presentado por Karen Leonor Córdova López
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Biomédica

Guatemala,

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Desarrollo de cubeta dental ajustable impresa en 3D

Trabajo de graduación presentado por Karen Leonor Córdova López
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Biomédica

Guatemala,

2025

Vo.Bo.:



(f)

Dr.-Ing. José Leal



(f)

M.Sc. Carlos Esquit

Desde el inicio de la carrera de Ingeniería Biomédica, siempre me interesó la relación entre la innovación tecnológica y la mejora de los procedimientos clínicos. La posibilidad de desarrollar una herramienta que contribuyera a optimizar procesos odontológicos representó una oportunidad para aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos en la universidad y desarrollar una solución; aunque es pequeña en apariencia, cumple una función esencial al permitir obtener una copia precisa de la anatomía dental y así facilitar la creación de tratamientos de manera más eficiente y personalizada.

Durante el desarrollo de este trabajo, la orientación y acompañamiento de personas fueron esenciales para alcanzar los resultados obtenidos. Agradezco al Dr. Jose Andrés Leal por asesorarme y apoyarme dando seguimiento durante todo el proceso de la tesis. También extiendo mi agradecimiento al Ing. Adrián Martínez por su apoyo con las impresiones 3D realizadas en el D-Hive, lo cual fue fundamental para la fabricación de los prototipos. Asimismo, agradezco al MSc. Otoniel Echeverría y Jairo Reyes, del Departamento de Ingeniería Civil, por brindarme el acceso al equipo, espacio y tiempo necesarios para la realización de las pruebas de caracterización del material.

De manera especial, agradezco a Melissa Pérez y Dámaris López por su apoyo durante las pruebas de impresión con alginato y por sus observaciones sobre el diseño y funcionamiento del prototipo y facilitación de los modelos anatómicos empleados para la validación del prototipo.

Finalmente, agradezco profundamente a las personas que nunca dejaron que me rindiera y que siempre creyeron en mí, incluso cuando las circunstancias fueron difíciles: Erick Córdova, Cora López, Marcela Córdova y Paula Córdova. Su apoyo incondicional me dio la fuerza para concluir esta etapa y alcanzar este logro que también les pertenece.

Prefacio	I
Índice de figuras	V
Índice de cuadros	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
1. Introducción	1
2. Antecedentes	2
3. Justificación	4
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Alcance	8
6. Marco teórico	9
6.1. Impresión dental	9
6.2. Fabricación de los moldes dentales	10
6.3. Diseños típicos de cubetas dentales	11
6.4. Materiales de impresión dental	13
6.5. Materiales de fabricación de cubetas dentales	13
6.6. Alginato como material de impresión	14
6.7. Impresión 3D	15
6.8. Tecnologías de la impresión 3D	15
6.9. Propiedades de los materiales comunes en impresión 3D	16
6.10. Propiedades mecánicas	17

7. Metodología	20
7.1. Características de la cubeta ajustable	20
7.2. Caracterización mecánica del material de impresión	28
7.3. Parámetros de impresión 3D para las cubetas dentales ajustables	32
7.4. Toma de impresión dental	33
7.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable	33
8. Resultados	35
8.1. Iteraciones del diseño de la cubeta dental ajustable	35
8.2. Caracterización mecánica del material de impresión	42
8.3. Diseños finales fabricados en policarbonato (PC)	44
8.4. Impresiones dentales con alginato	45
8.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable	48
8.6. Comparación entre cubeta convencional y cubeta dental ajustable	49
9. Discusión	50
9.1. Iteraciones del diseño de la cubeta dental ajustable	50
9.2. Caracterización mecánica del material de impresión	51
9.3. Diseños finales fabricados en policarbonato (PC)	51
9.4. Impresiones dentales con alginato	52
9.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable	52
9.6. Comparación entre una cubeta convencional y una cubeta dental ajustable	53
10. Conclusiones	54
11. Recomendaciones	56
12. Referencias	58
13. Anexos	64

Índice de figuras

1.	Distintos tamaños de arco dental, (a) triangular, (b) cuadrada y (c) ovoidea	5
2.	Técnica de impresión modificada para reborde maxilar: reborde anterior observado en el maxilar edéntulo del paciente (A), espaciador de cera con imanes para permitir la fijación de la cubeta seccional (B), impresión realizada con alginato (C) y cubeta seccional fabricada en resina (D).	5
3.	Formas de arcos dentales: (A) ovoidea, (B) parabólica, (C) elíptica o redonda, (D) hiperbólica, (E) en V y (F) cuadrada	10
4.	Reproducción negativa obtenida mediante impresión con alginato	11
5.	Reproducción positiva obtenida mediante el vaciado de yeso sobre la impresión dental	11
6.	Tipos de cubetas dentales: (A) Seccional, (B) Arcada completa inferior y superior, (C) Personalizada o individual	12
7.	Componentes de una impresora 3D tipo FDM: extrusor (A), boquilla (B), pieza impresa (C), plataforma (D) y filamento (E)	16
8.	Curva esfuerzo-deformación obtenida a partir del ensayo de compresión	19
9.	Mecanismo de ajuste tridimensional de la cubeta dental ajustable: A) Ancho, B) Apertura y C) Largo	20
10.	Componentes de la cubeta dental ajustable: A y B) piezas anteriores para ajuste de apertura de arco y ancho; C y D) piezas posteriores para el largo de la cubeta ajustable dental	21
11.	Dimensiones de una cubeta convencional: (A y B) longitud, ancho y apertura de una cubeta talla pequeña; (C y D) longitud, ancho y apertura de una cubeta talla grande	22
12.	Versión 1: diseño arco curvo con encaje simple	23
13.	Versión 2: diseño con arco curvo unido mediante ranura con pasador	24
14.	Versión 3: diseño con arco curvo con borde superior extendido	24
15.	Versión 4: diseño con arco recto con ensamble ranura-pasador	25
16.	Versión 5: diseño con ajuste de tallas para variar y largo	25
17.	Versión 6: diseño con sistema de ajuste en tallas con ensamble ranura-pasador junto a una guía C para variar el largo	26

18.	Versión 7: diseño con superficie lisa del sistema de ajuste mediante ranuras para variar largo, ancho y apertura	27
19.	Versión 8: diseño con superficie perforada del sistema de ajuste mediante ranuras para variar largo, ancho y apertura	27
20.	Vista previa de las probetas utilizadas en el ensayo de compresión	28
21.	Montaje de las probetas de compresión en la máquina de ensayos universales y medición de deformación con el dial	29
22.	Colocación de cargas en el mango de la cubeta dental ajustable	32
23.	Proceso de obtención de la impresión dental negativa en alginato y positiva en yeso	33
24.	Versión 1: ensamble tipo LEGO (espiga-orificio)	36
25.	Versión 2: ensamble tipo ranura-pasador para apertura y ancho	37
26.	Versión 3: paredes acortadas con borde superior extendido	38
27.	Versión 4: arco inferior recto	39
28.	Versión 5: ajuste de largo mediante encaje de ranuras y junta de pasador-ranura	40
29.	Versión 6:junta de pasador y ranura con topes de seguridad	41
30.	Versión 7: sistema de encaje a presión y guía rectangular	42
31.	Curvas esfuerzo-deformación y módulo de Young obtenidos para los patrones de relleno triangular, panal de abeja y giroide	43
32.	Probetas impresas después del ensayo de compresión para los tres patrones de relleno: (A) triangular, (B) panal de abeja y (C) giroide	43
33.	Simulación de cargas aplicadas en la cubeta dental ajustable fabricada en policarbonato	44
34.	Cubeta dental ajustable de impresión en PC con superficie perforada y lisa (A,F) vista superior del prototipo, (B,G) tope superior, (C,H) tope inferior junto al ajuste de ancho, (D,I) ajuste de largo y (E,J) vista general del uso de la cubeta dental ajustable	45
35.	Colocación de la cubeta dental ajustable perforada en el modelo anatómico durante la toma de impresión	46
36.	Resultados de las impresiones negativas (alginato) y positivas (yeso) obtenidas con la cubeta perforada en tres tallas (S, M y L)	47
37.	Colocación de la cubeta dental ajustable lisa en el modelo anatómico durante la toma de impresión	47
38.	Impresión negativa y positiva usando cubeta ajustable dental con superficie lisa	48

Índice de cuadros

1.	Propiedades de los diferentes materiales de impresión 3D por FDM	17
2.	Propiedades mecánicas del policarbonato	18
3.	Comparación dimensional entre cubetas convencionale y la cubeta ajustable propuesta	22
4.	Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de los prototipos de la cubeta ajustable dental	28
5.	Visualización comparativa de los patrones de relleno con densidad del 70% . .	30
6.	Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de las probetas	30
7.	Códigos de identificación de los patrones de relleno con densidad del 70% . .	30
8.	Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de las cubetas dentales ajustables.	32
9.	Comparación de costos de fabricación de cubetas dentales ajustables en PLA y PC	48
10.	Comparación entre cubeta dental convencional y cubeta dental ajustable . . .	49

La toma de impresiones dentales es esencial en la elaboración de prótesis, ortodoncia y procedimientos de cirugía reconstructiva. En estos casos, se requiere una reproducción precisa de la cavidad oral para restaurar estructuras perdidas o corregir deformidades. El uso de cubetas convencionales no siempre garantiza una adaptación adecuada a la morfología bucal, especialmente cuando existen variaciones anatómicas respecto a las dimensiones estándar. Esto puede generar errores en la impresión, teniendo la necesidad de requerir una cubeta personalizada, incrementando los costos, por lo que es necesario desarrollar alternativas que ofrezcan una mayor adaptabilidad anatómica. El objetivo de este trabajo es diseñar y fabricar un prototipo de cubeta ajustable mediante impresión 3D como alternativa al uso de múltiples cubetas convencionales de distintas tallas.

El modelo fue diseñado en un software CAD e impreso en policarbonato, material seleccionado debido a su alta resistencia. Se realizaron ensayos de compresión para determinar el relleno más adecuado, siendo el triangular el que mostró ser el más resistente a las cargas. Además, se llevaron a cabo pruebas funcionales con alginato en modelos dentales, donde ambas versiones (lisa y perforada) lograron reproducir correctamente la anatomía dental, aunque la versión perforada facilitó la salida del exceso de material, logrando una impresión más uniforme.

Se demostró que la cubeta dental ajustable puede adaptarse a distintos tamaños de arcada dental, manteniendo estabilidad entre sus piezas durante su uso. Por lo tanto, se concluye que la fabricación mediante impresión 3D puede ser una alternativa viable frente a las cubetas dentales convencionales.

Palabras clave: impresión 3D, cubeta dental, policarbonato, impresión dental, alginato, patrón de relleno.

Taking dental impressions is essential in the manufacture of prostheses, orthodontics, and reconstructive surgery procedures. In these cases, an accurate reproduction of the oral cavity is required to restore lost structures or correct deformities. The use of conventional trays does not always guarantee a proper fit to the oral morphology, especially when there are anatomical variations from standard dimensions. This can lead to errors in the impression, requiring a customized tray and increasing costs. Therefore, it is necessary to develop alternatives that offer greater anatomical adaptability. The objective of this work is to design and manufacture a prototype of an adjustable tray using 3D printing as an alternative to the use of multiple conventional trays of different sizes.

The model was designed using CAD software and printed in polycarbonate, a material selected for its high resistance. Compression tests were carried out to determine the most suitable filling, with the triangular shape proving to be the most resistant to loads. In addition, functional tests were carried out with alginate on dental models, where both versions (smooth and perforated) successfully reproduced the dental anatomy, although the perforated version facilitated the removal of excess material, achieving a more uniform impression.

It was demonstrated that the adjustable dental tray can adapt to different sizes of dental arches, maintaining stability between its parts during use. Therefore, it is concluded that manufacturing using 3D printing can be a viable alternative to conventional dental trays.

Keywords: 3D printing, dental tray, polycarbonate, dental printing, alginate, infill pattern.

La toma de impresiones dentales es un procedimiento importante en el área odontológica, ya que permite obtener una reproducción precisa de la arcada dental para la elaboración de prótesis, ortodoncia, entre otros procedimientos. Este proceso se realiza usando una cubeta dental que ayuda a contener el material de impresión, alginato. Esta sirve como soporte donde se pueda endurecer el material hasta obtener una copia negativa de la anatomía bucal. Las cubetas dentales convencionales se fabrican en tamaños estándares, haciendo que se necesiten distintas cubetas de varios tamaños para lograr atender a todos los pacientes. Incluso en ocasiones se requiere de cubetas personalizadas, ya que la arcada no corresponde a las dimensiones estándares disponibles, aumentando el tiempo y costo de los procedimientos.

El presente trabajo de graduación propone el desarrollo de una cubeta dental ajustable fabricada mediante impresión 3D como una alternativa al uso de múltiples cubetas convencionales de distintas tallas. Esta herramienta busca optimizar la adaptabilidad anatómica en la toma de impresiones dentales con solo una cubeta dental, la cual permitirá ajustar el largo, ancho y apertura según las dimensiones de la arcada dental. El prototipo fue realizado por medio de un software de diseño asistido por computadora (CAD) y fabricado en policarbonato, material seleccionado por sus propiedades mecánicas, como su alta rigidez y resistencia a impactos. Además, se evaluó su desempeño por medio de pruebas de compresión para validar el material y el tipo de relleno a usar. Asimismo, se realizaron impresiones dentales para validar el comportamiento del prototipo durante el proceso.

Los capítulos 2 al 5 del presente documento abordan los antecedentes, la motivación y justificación del proyecto a realizar, así como los objetivos y el alcance. El capítulo 6 presenta la base teórica relacionada con los distintos tipos de cubetas dentales, el proceso de impresión dental, los materiales utilizados y la tecnología de impresión 3D. En el capítulo 7 se detallan los métodos empleados para el diseño, caracterización del material y validación funcional del prototipo por medio de las tomas de impresión dental. Luego, en los capítulos 8 y 9 se exponen los resultados obtenidos, la discusión correspondiente. Finalmente, los capítulos 10 y 11 dan a conocer conclusiones y recomendaciones para futuras mejoras del diseño.

Las impresiones dentales han sido fundamentales en la fabricación de prótesis, restauraciones y modelo de estudio, permitiendo la reproducción precisa de la anatomía dental [1]. En estudios recientes se han identificado dos métodos para dicha reproducción, siendo estas la convencional y la digital [2]. La técnica convencional emplea un molde con material como el alginato que se introduce en la cavidad oral mientras que la impresión digital usa un escáner intraoral que captura imágenes desde la boca del paciente, generando un modelo tridimensional digital [3].

La precisión de las impresiones dentales depende del tipo de cubeta utilizada. Se han creado moldes personalizados, cubetas estándar de tallas fijas metálicas y plásticas [4]. Los resultados de las pruebas fueron aceptables para las cubetas plásticas, aunque presentaron ligeras distorsiones en las distancias transversales, mientras que las cubetas metálicas demostraron una mayor estabilidad dimensional. También, se han fabricado moldes parciales para usarlos en un cuadrante bucal en específico en personas con apertura limitada [5]. Sin embargo, las cubetas personalizadas presentaron una reproducción exacta más que las de plástico en pruebas con materiales elastoméricos [6]. Se han demostrado que las cubetas personalizadas han permitido una mejor adaptación de las prótesis al evitar la deformación de tejido, mejorando la retención, estabilidad y ajuste protésico [7].

El alginato ha sido un material de impresión ampliamente utilizado, sin embargo, la estabilidad dimensional es limitada, para evitar deformaciones se ha requerido hacer vaciado inmediato [8]. Estudios recientes han indicado que las impresiones con alginato en bandejas prefabricadas han presentado mayor distorsión en comparación con las cubetas personalizadas [9]. Se han introducido protectores bucales en la técnica de impresión, lo que puede optimizar la precisión y estabilidad [10].

La impresión 3D ha transformado la fabricación de dispositivos odontológicos, reduciendo la dependencia de laboratorios externos y facilitando la fabricación de dispositivos según cada caso clínico [11]. La evolución de los materiales desarrollados para la impresión 3D como polímeros biocompatibles, metales y cerámicas, han sido analizadas en términos de precisión, biocompatibilidad y durabilidad a largo plazo para optimizar su implementación

[12]. Asimismo, se ha reconocido que el flujo de trabajo clínico ha sido optimizado mediante la integración de escaneo intraoral, diseño digital e impresión 3D, lo que ha permitido la fabricación de coronas adaptadas al paciente, puentes y restauraciones fijas sin intervención manual [13].

Los avances en materiales de impresión 3D han permitido desarrollar polímeros reforzados con nanopartículas, mejorando la resistencia mecánica y la integración con los tejidos orales, logrando optimizar las diferentes aplicaciones en restauraciones dentales [14]. Por lo tanto, diversos estudios han analizado como la tecnología de impresión 3D ha optimizado la fabricación de dispositivos, reduciendo costos y tiempo de producción en comparación con los métodos tradicionales [13].

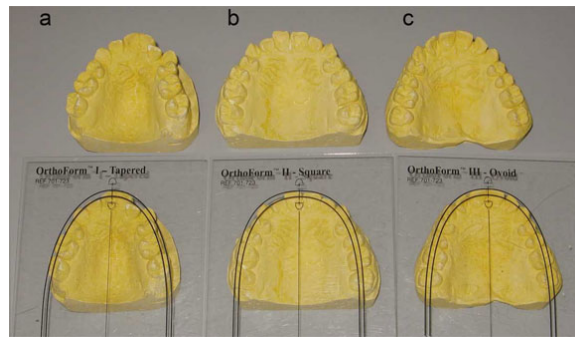
La reproducción precisa de las estructuras orales es primordial en odontología para la elaboración de prótesis, puentes, coronas y aparatos ortodónticos. Para ello, se requiere un molde dental anatómicamente correcto que represente con fidelidad los dientes, encías y tejidos [15]. La cubeta dental actúa como soporte del material de impresión, por lo que su correcta selección y uso garantiza la calidad del registro anatómico.

Condiciones como el trismo que limita la apertura bucal, los traumatismos o los trastornos mandibulares, pueden requerir tratamientos restauradores que dependen de una reproducción precisa de la anatomía dental [16]. Para estos casos, es fundamental que el profesional obtenga una representación exacta de la cavidad bucal [17]. Estudios recientes indican que el 30.7 % de las personas mayores a 65 años presentan edentulismo, es decir, la pérdida parcial o total de los dientes, lo que indica una alta demanda de restauraciones orales. La forma más accesible y precisa de registrar los dientes y tejidos es mediante la impresión dental.

Las impresiones dentales se obtienen mediante el uso de cubetas metálicas o plásticas adaptadas a la cavidad oral. Esta cubeta es llenada con un polímero biocompatible de solidificación rápida como el alginato, el cual reproduce con precisión la forma de los tejidos y dientes [18]. El resultado es una impresión negativa de la anatomía oral, que sirve para diseñar soluciones protésicas adaptadas al paciente.

La precisión en el registro de las estructuras orales y la adecuada selección de la cubeta son importantes para evitar deformaciones en las impresiones dentales. Sin embargo, una de las principales limitaciones de las cubetas convencionales es su tamaño fijo, lo que impide su adaptación cuando el arco dental no corresponde a una forma estándar ya que puede variar entre triangular (Figura 1a), cuadrada (Figura 1b) u ovoidea (Figura 1c). En estos casos, las cubetas disponibles pueden resultar demasiados largas o cortas, lo que afecta la calidad del registro [19].

Figura 1. Distintos tamaños de arco dental, (a) triangular, (b) cuadrada y (c) ovoidea

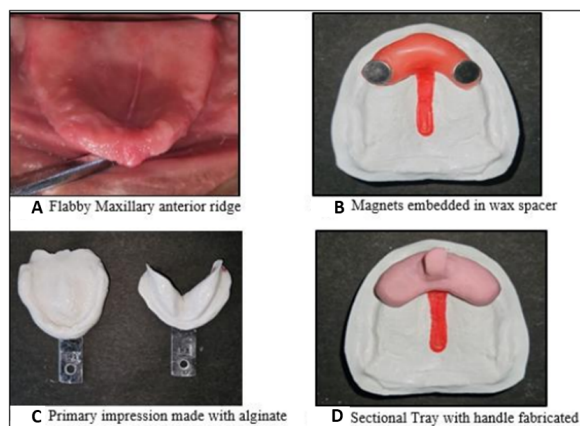


Nota. Adaptado [20]

Esta limitación se vuelve aún más crítica en condiciones como la fibrosis submucosa oral, que reduce la apertura bucal debido a la formación de bandas fibrosas en la mucosa. Esta restricción impide el uso adecuado de cubetas convencionales, dificultando la toma de impresiones en procedimiento que requieren alta precisión como la fabricación de prótesis maxilares. En estos casos, se ha recurrido al uso de moldes seccionales, diseñados para registrar solo una parte de la dentadura [21].

Estudios demuestran que el 24% de los pacientes presentan reborde maxilar, lo cual compromete la toma de impresión (Figura 2A). En estos casos, se emplean cubetas personalizadas (Figura 2D) que permiten capturar con mayor precisión los tejidos orales [7]. Un molde personalizado reduce las distorsiones, su elaboración requiere más recursos y tiempo, incrementando los costos [22]. Uno de los principales desafíos que tienen los especialistas es la realización de correcciones después de haber confeccionado la cubeta personalizada puesto que se compromete la precisión del modelo.

Figura 2. Técnica de impresión modificada para reborde maxilar: reborde anterior observado en el maxilar edéntulo del paciente (A), espaciador de cera con imanes para permitir la fijación de la cubeta seccional (B), impresión realizada con alginato (C) y cubeta seccional fabricada en resina (D).



Nota. Adaptado [23]

La escasez de recursos económicos en poblaciones rurales en Guatemala ha restringido el acceso a tratamiento restauradores y la adquisición de prótesis dentales. En una aldea de Chiquimulilla, Santa Rosa, se estimó que un 48 % pacientes sin dientes necesita una prótesis dental, pero por falta de recursos no habían recibido tratamiento, únicamente un 8 % usa algún tipo de prótesis [24]. Además, una clínica dental en Alta Verapaz reportó la falta de insumos como cubetas dentales, espátulas e instrumentos quirúrgicos [25].

Este proyecto propone la fabricación de una cubeta dental ajustable, mediante la impresión 3D como alternativa al uso de varias cubetas convencionales de distintas tallas. Esta propuesta no solo busca resolver limitaciones clínicas relacionadas con la precisión, el tiempo y la adaptación del molde, sino también ofrece una alternativa para las comunidades con recursos limitados. La implementación de una cubeta ajustable permitirá optimizar la toma de impresiones dentales en pacientes con alteraciones anatómicas. Su fabricación por medio de la impresión 3D reduciría significativamente el tiempo y costos de producción en comparación con la fabricación manual tradicional, permitiendo una respuesta más rápida y personalizada a las necesidades clínicas.

4.1. Objetivo general

Diseñar y fabricar una cubeta dental ajustable que se adapte a diferentes morfologías de arco dental como alternativa al uso de múltiples cubetas convencionales de distintas tallas utilizando la técnica de fabricación de impresión 3D.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un prototipo de una cubeta dental ajustable con perforaciones y uno sin perforaciones para su fabricación mediante impresión 3D con materiales biocompatibles.
- Caracterizar las propiedades mecánicas del material seleccionado por medio de pruebas de resistencia a la compresión y cambios de temperatura que ocurren durante el endurecimiento del material de impresión dental.
- Comparar el desempeño de la cubeta ajustable con las cubetas convencionales evaluando la adaptabilidad a la morfología y precisión en la toma impresiones dentales con alginato.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diseñar y desarrollar un prototipo de cubeta dental ajustable mediante la impresión 3D como una alternativa al uso de múltiples cubetas convencionales de tallas fijas. Está enfocado en crear un modelo capaz de variar el largo, ancho y apertura, permitiendo su adaptación a diferentes dimensiones de arcada dental. Se colocó dos posiciones de apertura debido a las limitaciones estructurales del diseño y no comprometer la alineación entre las piezas. El diseño se realiza en un software CAD y se fabrica por medio de deposición fundida (FDM), utilizando ácido poliláctico (PLA) para las pruebas preliminares y policarbonato (PC) para el modelo final debido a su resistencia y rigidez mecánica.

La caracterización mecánica del material seleccionado se realiza mediante ensayos de compresión en probetas adaptadas a la máquina universal de ensayos con el objetivo de comparar tres patrones de relleno: triangular, panal de abeja y giroide, para así determinar cuál ofrece mayor resistencia y rigidez. Asimismo, se efectúa una simulación estática del modelo final para analizar el comportamiento del material seleccionado ante una carga aplicada.

Además, se desarrollan dos versiones de la cubeta ajustable: una de superficie lisa y otra perforada. La validación funcional se realiza por medio de la toma de impresión negativa con alginato y la obtención de la impresión positiva en yeso, utilizando un tipodonto como modelo de arcada dental, ya que el estudio se limita a realizar pruebas directamente en la cavidad bucal de personas.

El estudio se limita a la realización de pruebas de esterilización, comparaciones con otros materiales biocompatibles y análisis térmicos del material de fabricación.

6.1. Impresión dental

La impresión dental es importante para los procedimientos dentales, debido a que permite realizar trabajos dentales incluso en ausencia del paciente [26]. Las impresiones dentales permiten obtener un modelo tridimensional que reproduce estructuras blandas y duras, como los tejidos y dientes que componen la cavidad oral [27]. Este modelo tridimensional posibilita realizar trabajos odontológicos sin la presencia del paciente. Además, los modelos dentales ayudan a los dentistas a diagnosticar con mayor precisión y a planificar mejor los tratamientos, ya que permiten observar los dientes desde ángulos que no se observan fácilmente dentro de la boca del paciente [26]. Por lo tanto, al disponer de estos modelos, es posible diseñar y fabricar prótesis removibles o fijas con mayor exactitud.

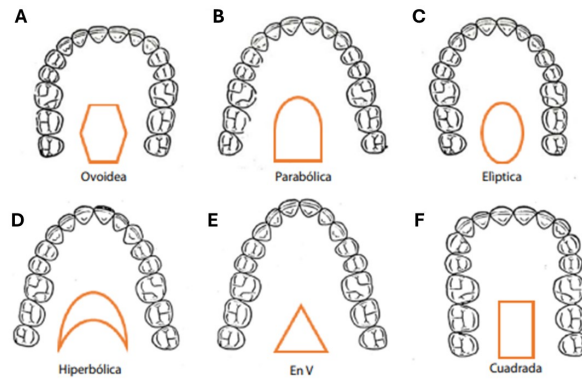
6.1.1. Formas de arcos dentales

El arco dental está compuesto por tres segmentos: uno anterior que abarca desde canino a canino, y dos posteriores que se extienden desde el primer premolar hasta el tercer molar en ambos lados. El canino marca la transición entre ambas secciones. La forma del arco dentario varía entre las personas y está determinada por diversos factores anatómicos, tales como el hueso de soporte que sustenta los dientes, la posición de cada pieza dental, la musculatura perioral y las fuerzas funcionales dentro de la cavidad oral ejercidas por la lengua [28].

Existen distintas formas y tamaños de arcos dentales. Una de las más conocidas es la forma ovoidea (Figura 3A), que se caracteriza por presentar una curvatura en la parte anterior continua con los segmentos posteriores, los cuales se inclinan hacia adentro de la cavidad bucal. La forma parabólica (Figura 3B) posee una curvatura anterior más amplia y los segmentos posteriores son levemente divergentes, siendo más común en el maxilar inferior. La forma elíptica o redonda (Figura 3C) presenta una curvatura anterior más pronunciada y los segmentos posteriores convergen hacia atrás. La forma hiperbólica (Figura 3D) presenta

una curvatura poco pronunciada y una apertura amplia hacia los segmentos posteriores. La forma en V (Figura 3E) muestra un ángulo marcado en la parte anterior, donde los incisivos sobresalen hacia adelante; las hemiarcadas se abren de manera divergente, por lo que es común en personas con respiración bucal o problemas respiratorios durante la infancia. Por último, la forma cuadrada (Figura 3F) se distingue por tener un segmento anterior recto entre los caninos, mientras que los segmentos posteriores son casi paralelos entre sí, mostrando una apariencia más ancha y recta [28].

Figura 3. Formas de arcos dentales: (A) ovoidea, (B) parabólica, (C) elíptica o redonda, (D) hiperbólica, (E) en V y (F) cuadrada



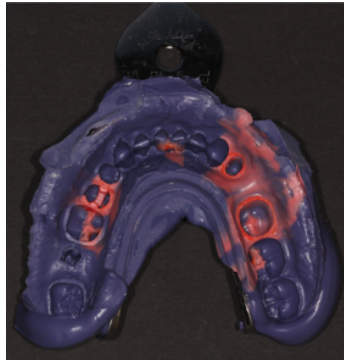
Fuente: Adaptado de [28].

6.2. Fabricación de los moldes dentales

6.2.1. Reproducción negativa

La impresión dental consiste en una reproducción en negativo de las estructuras orales del paciente, tales como los rebordes alveolares, tejidos blandos y dientes [29]. Esta impresión se obtiene usualmente utilizando alginato, un material de impresión hidrocoloide irreversible, biocompatible y de fácil manipulación, que permite capturar los detalles anatómicos con buena precisión (Figura 4). Una vez colocado en la cubeta, el alginato adopta la forma de la cavidad oral del paciente al gelificarse, registrando los detalles anatómicos [30]. Durante este proceso, el tiempo de gelificación tiene un papel importante ya que de él depende que el material capture adecuadamente las estructuras sin deformarse. Si dicho tiempo se excede o se acorta, la impresión puede resultar imprecisa, distorsionada o incompleta [31].

Figura 4. Reproducción negativa obtenida mediante impresión con alginato



Fuente: Adaptado de [4].

6.2.2. Reproducción positiva

Una vez tomada la impresión, se realiza el vaciado con yeso dental, el cual se vierte sobre la impresión para crear un modelo tridimensional [29]. Este proceso convierte la forma registrada con el material de impresión, es decir, el alginato, en una representación tangible de los tejidos bucales del paciente (Figura 5). Además, el yeso debe dejarse fraguar, proceso mediante el cual el material se endurece completamente a través de una reacción química que garantiza su resistencia y estabilidad dimensional [32].

Figura 5. Reproducción positiva obtenida mediante el vaciado de yeso sobre la impresión dental



Fuente: Adaptado de [33].

6.3. Diseños típicos de cubetas dentales

La cubeta dental es un recipiente diseñado para transportar el material de impresión hacia la cavidad oral. Su función principal es permitir que el material de impresión se adapte correctamente a las superficies dentales que se desea reproducir, manteniéndolo en posición hasta su endurecimiento. Existen diferentes tipos de cubetas dentales, la elección depende del área a registrar y de las necesidades clínicas del paciente.

6.3.1. Cubeta de impresión estándar

Las cubetas dentales estándar son instrumentos disponibles en diferentes tamaños, diseñados para las arcadas superior e inferior y pueden ser usadas en múltiples ocasiones. Además, suelen contar con perforaciones que favorecen la retención del material de impresión. En el caso del uso de materiales elastoméricos, es necesario aplicar un adhesivo especial [34]. Las tallas disponibles se encuentran numeradas del 1 al 6 o clasificadas por tamaños como S, M y L, dependiendo del diámetro del arco intraoral del paciente. Además, algunas cubetas cubren la arcada dental completa, mientras que otras están hechas para tomar impresiones de media arcada (cubetas dentales seccionales), también existen cubetas dentales personalizadas que abarcan zonas específicas dependiendo de la zona a tratar [35].

Las cubetas de impresión seccionales están diseñadas para registrar únicamente una parte del arco dental, generalmente un cuadrante (Figura 6A). Estos moldes dentales se emplean en pacientes con dentición, es decir, aquellos que aún conservan sus piezas dentales, y son utilizadas especialmente en tratamientos provisionales durante la realización de procedimientos de prótesis fija [34].

La cubeta de impresión de arcada completa se utiliza para obtener el registro de un arco dental completo [34]. Su diseño varía según la arcada a tratar, ya sea superior o inferior (Figura 6B). En la arcada superior, ubicada a la derecha, la cual cubre el paladar y permite que las impresiones sean más completas. Por otro lado, la cubeta para la arcada inferior, ubicada a la izquierda con forma de herradura que facilita la adaptación de la lengua y el registro preciso de las estructuras mandibulares [36].

Las cubetas dentales de impresión personalizadas existen para ajustarse a la anatomía específica del paciente, permitiendo una distribución uniforme del material de impresión [34]. Estas cubetas se realizan a partir de modelos preliminares y pueden ser confeccionadas con resina o pueden realizarse por medio de técnicas de impresión 3D [35]. Además, pueden emplearse tanto en pacientes dentados como en aquellos desdentados (Figura 6C).

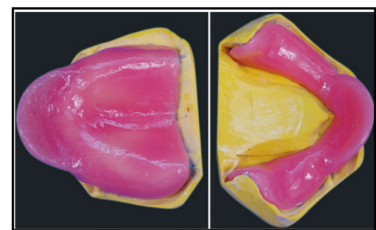
Figura 6. Tipos de cubetas dentales: (A) Seccional, (B) Arcada completa inferior y superior, (C) Personalizada o individual



A) Seccional



B) Arcada completa



C) Personalizada o individual

Fuente: Adaptado de [34] [35].

6.4. Materiales de impresión dental

Los materiales utilizados para realizar impresiones dentales se clasifican con base en dos criterios: la elasticidad, primero, el comportamiento mecánico ante la deformación y el mecanismo de fraguado o endurecimiento para obtener la reproducción de la cavidad bucal del paciente [37].

6.4.1. Clasificación según su elasticidad

Los materiales rígidos presentan escasa o nula capacidad de deformación elástica, lo que significa que poseen poca flexibilidad durante su uso y, por lo tanto, no pueden retirarse fácilmente de la cavidad bucal. En este grupo se incluyen el yeso de impresión, las pastas zinquenólicas y los compuestos de modelado [37]. Aunque su uso ha disminuido, siguen siendo esenciales para obtener impresiones en pacientes edéntulos, es decir, que han perdido sus dientes, ya que no ejercen presión sobre los tejidos durante la toma de impresión. No obstante, su resistencia estructural es limitada, pudiendo fracturarse si se exceden los límites de tracción o compresión [38].

Por otro lado, los materiales elásticos presentan una ligera capacidad de deformación y pueden volver a su forma original sin comprometer la precisión de la impresión. En este grupo se encuentran los hidrocoloides (alginato y agar) y los elastómeros (polisulfuros, siliconas y poliéteres), los cuales permiten registrar con gran fidelidad las estructuras complejas de la cavidad oral, convirtiéndose en una de las opciones más favorables en odontología [38].

6.4.2. Clasificación según el mecanismo de fraguado

Los materiales de fraguado irreversibles son los que experimentan una reacción química que modifica su estructura de forma permanente. Entre ellos se encuentran el alginato, yeso de impresión, pastas zinquenólicas y los elastómeros [37]. Estos materiales, una vez fraguados, ya no pueden volver a su forma original, pero garantizan una buena estabilidad dimensional. Por otra parte, los materiales de fraguado reversibles se ablandan al tener contacto con el calor y se endurecen nuevamente al enfriarse, sin producirse cambios químicos. Tal es el caso del hidrocoloide reversible (agar) y los compuestos de ceras. Sin embargo, su uso se ha reducido por las exigencias técnicas que requieren [37].

6.5. Materiales de fabricación de cubetas dentales

Las cubetas dentales se fabrican en diferentes materiales como resina, metal y plástico [34]. Entre los materiales plásticos más usados para la fabricación de estos instrumentos se encuentran el policarbonato (PC) y el polipropileno (PP). El policarbonato se caracteriza por ser un material transparente y resistente a altas temperaturas, también se caracteriza por su alta resistencia a impactos [39], siendo una cualidad importante para diseños desmontables como la cubeta dental ajustable. En cuanto a la precisión, se ha demostrado que las cubetas estándar fabricadas con este tipo de plástico, así como las de acero inoxidable,

ofrecen resultados comparables a los obtenidos con cubetas personalizadas [40]. Por otro lado, el polipropileno se caracteriza por ser un material ligero, resistente y capaz de soportar tensiones repetidas sin fracturarse debido a que es flexible. [41].

En cuanto a los materiales metálicos, se conocen las cubetas de acero inoxidable y las de aluminio. Las cubetas de acero inoxidable son reutilizables y se usan principalmente en procedimientos de prótesis fija, como la elaboración de coronas. Se distinguen por su rigidez, que garantiza la estabilidad de la impresión durante el endurecimiento en la impresión positiva y el retiro del material. Por otro lado, las cubetas dentales hechas de aluminio, aunque sean ligeras, mantienen una elevada rigidez, por lo que se recomiendan para impresiones preliminares o tratamientos a personas edéntulas debido a su estructura no tan gruesa que lastime la cavidad oral de las personas [39].

Las cubetas pueden ser elaboradas con resina acrílica, este material es utilizado principalmente en la confección de cubetas personalizadas. Estas se fabrican a partir de modelos de yeso y permiten un ajuste anatómico preciso sobre los tejidos del paciente [34]. En algunos casos, se refuerzan con fibra para incrementar su resistencia mecánica [39].

6.6. Alginato como material de impresión

6.6.1. Composición

Uno de los materiales importantes utilizados en la impresión dental es el alginato. Este material se elabora a partir de sales del ácido algínico derivado de algas marinas pardas, combinadas con sodio, calcio, potasio o magnesio [42]. La presentación comercial del alginato es en forma de polvo, que al mezclarse con agua inicia el proceso de gelificación, la sal sódica del ácido algínico reacciona con los iones de calcio liberados por el hemihidrato beta, formando un gel insoluble de alginato de calcio [43].

Además, el polvo contiene fosfato trisódico, que actúa como retardador inicial, tierra de diatomeas como agente de relleno inerte y un marcador de reacción que cambia de color, permitiendo visualizar el proceso de gelificación [37]. El gel resultante es capaz de reproducir con precisión tanto los tejidos duros, como los dientes, así como los tejidos blandos de la cavidad oral.

6.6.2. Propiedades del alginato

Entre las propiedades más destacadas del alginato se encuentra su comportamiento mucoestático, es decir, no comprime los tejidos blandos de la cavidad oral y puede adaptarse fácilmente a esta, ya que su consistencia es fluida al mezclarse con agua, permitiendo obtener una impresión sin deformaciones [43]. Por otro lado, la viscosidad del material se adapta según la resiliencia de la mucosa gingival; es decir, si las encías son sensibles y se comprimen al contacto con objetos como el material de impresión, se recomienda utilizar un alginato de mayor viscosidad para evitar deformaciones. De acuerdo con la norma ANSI/ADA No. 18, existen dos tipos de alginato: de alta viscosidad (Tipo I) y de baja viscosidad (Tipo II) [43].

En cuanto a la estabilidad dimensional, esta es limitada, ya que el alginato sufre sinéresis (pérdida de agua) e imbibición (absorción de líquidos), lo que puede alterar el modelo si no se manipula rápidamente tras la toma de la impresión [42]. Además, una propiedad esencial del material es la tixotropía, es decir la capacidad que el alginato tiene para que se vuelva más fluido al aplicar presión para distribuirse en toda la zona dental mientras se realiza la impresión dental. Sin embargo, su resistencia al desgarro es limitada, especialmente en zonas estrechas o muy amplias como los espacios interproximales, lo que puede provocar rupturas al retirar la impresión [43].

6.6.3. Factores que influyen en el comportamiento del alginato

El tiempo de la realización de impresión y el tiempo de gelificación del alginato dependen de la temperatura del agua utilizada y la manera en que fue mezclado, así mismo, de la marca comercial empleada. Si se utiliza agua caliente, el fraguado se acelera, mientras que el agua fría lo ralentiza [43].

6.7. Impresión 3D

6.7.1. Fundamentos

La impresión tridimensional (3D), también denominada fabricación aditiva, consiste en una tecnología de manufactura avanzada [44]. La impresión 3D permite la creación de objetos físicos mediante la deposición sucesiva de capas de material [45]. Este proceso empieza desde la creación de un modelo digital tridimensional diseñado mediante un programa asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés), luego, se exporta en formatos compatibles, tales como STL, OBJ o 3MF, para su interpretación por programas laminadores [45].

La impresión 3D se ha aplicado en el área médica, permitiendo planificar cirugías y fabricar dispositivos personalizados. En el campo de la odontología, permite la realización de tratamientos con mayor precisión, especialmente en prótesis, cirugía oral, ortodoncia e implantología [44].

6.8. Tecnologías de la impresión 3D

La tecnología de impresión 3D por fabricación por deposición fundida (FDM) es una de las más empleadas porque tiene una alta accesibilidad, bajo costo y versatilidad. Este método usa filamentos termoplásticos que se funden y depositan capa a capa hasta formar el objeto.

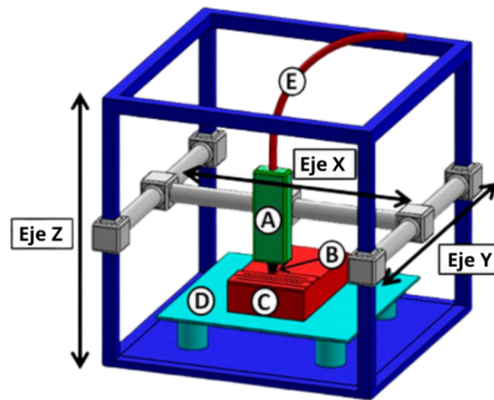
El proceso de impresión por FDM comienza cuando el filamento elegido, como el policarbonato (PC) o PLA (ácido poliláctico) (Figura 7E) es colocado en una pequeña cámara calentada a altas temperaturas donde se funde. Posteriormente, la boquilla del extrusor (Figura 7B) deposita el material fundido sobre la plataforma (Figura 7D) y sigue las trayectorias

dadas por el modelo digital. Por ende, la pieza (Figura 7C) se construye de manera progresiva en las direcciones de los ejes X, Y y Z [46]. Cada capa se solidifica o endurece rápidamente antes de que se deposite la siguiente, formando así una estructura tridimensional.

Este método puede trabajar con diversos materiales termoplásticos, entre ellos PLA, ABS, PETG y PC, entre otros [45]. El acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) es un polímero termoplástico conocido por su alta resistencia a los impactos y estabilidad ante temperaturas altas. Se emplea para fabricar piezas que requieren buena solidez estructural. Aunque el ABS es susceptible a deformaciones si no se mantienen condiciones ambientales controladas por su impresión [47].

Por otro lado, el tereftalato polietileno con glicol (PETG) destaca por su resistencia y flexibilidad. Aunque este termoplástico es menos rígido que el PLA. Al tener buena resistencia química y térmica, resulta ser adecuado para piezas que requieren durabilidad y ligera deformabilidad [48].

Figura 7. Componentes de una impresora 3D tipo FDM: extrusor (A), boquilla (B), pieza impresa (C), plataforma (D) y filamento (E)



Fuente: Adaptado de [46].

Por otro lado, existen otras tecnologías de impresión 3D como la estereolitografía (SLA) y la sinterización selectiva por láser (SLS), por sus siglas en inglés. La tecnología SLA emplea un láser ultravioleta para solidificar resinas fotosensibles capa por capa, permitiendo obtener piezas con alta resolución superficial. Este tipo de impresión es adecuada para aplicaciones en joyería y odontología ya que alcanza a construir piezas muy finas y detalles en especiales [45]. En cambio, el método SLS utiliza un láser de alta potencia para fusionar selectivamente polvo compuesto de polímero, metal o cerámica. Esta técnica no necesita estructuras de soporte y es ideal para la fabricación de piezas mecánicas resistentes y de geometría compleja, aplicadas principalmente en el campo de la ingeniería industrial [45].

6.9. Propiedades de los materiales comunes en impresión 3D

Existen diferentes materiales para el área de impresión 3D, cada uno cuenta con propiedades específicas que se adaptan a distintas aplicaciones. Los métodos de impresión determinan

el tipo de material que puede ser usado y la elección depende del uso final del objeto [45]. En tecnologías como FDM, se utilizan principalmente termoplásticos (Cuadro 1). Sin embargo, algunas impresoras capaces de trabajar con metales [49].

El PLA (ácido poliláctico) es un material rígido, moderadamente resistente al impacto y se caracteriza por ser de una dureza media, adecuado para prototipos sencillos y objetos decorativos. El ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) ofrece alta resistencia al impacto, buena dureza y tiene una rigidez notable, lo que lo hace apropiado para piezas funcionales sometidas a esfuerzos mecánicos, como carcasas o componentes técnicos. El PC (policarbonato) se distingue por su alta resistencia al impacto y al calor. Además, la rigidez y dureza que caracterizan el PC, este material se emplea en componentes ortopédicos o dentales donde se requiere estabilidad dimensional y buen desempeño mecánico [50].

Por otro lado, el PETG (tereftalato de polietileno modificado con glicol) combina buena resistencia y dureza con una ligera flexibilidad, se puede utilizar para fabricar componentes que requieren resistencia química y durabilidad. Por último, el TPU (poliuretano termoplástico) cuenta con una alta flexibilidad y una resistencia moderada al impacto, lo que lo hace adecuado para aplicaciones que implican amortiguación o movimientos repetitivos, como fundas protectoras [45].

Cuadro 1. Propiedades de los diferentes materiales de impresión 3D por FDM

Material	PLA	PETG	ABS	TPU	PC
Tipo	Bioplástico	Termoplástico	Termoplástico	Termoplástico	Termoplástico
Resistencia	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Flexibilidad	Rígido	Rígido	Rígido	Flexible	Rígido
Dureza	Media	Media	Alta	Media	Alta
Biodegradabilidad	Sí	No	No	No	No
Temperatura de impresión (°C)	180–220	210–240	220–250	210–230	270–310
Resistencia al impacto	Moderada	Alta	Alta	Moderada	Alta
Resistencia al calor	Baja	Baja	Media	Baja	Alta

6.10. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son importantes en la fabricación de piezas impresas en 3D, debido a que estas determinan la capacidad para resistir cargas, deformaciones y esfuerzos durante su uso funcional. Además, algunas propiedades como la resistencia a la compresión, la resistencia al impacto y la dureza influyen directamente en el rendimiento de las piezas en las aplicaciones previstas [51].

Sin embargo, a diferencia de las piezas moldeadas por inyección, las fabricadas usando la impresión 3D, especialmente con la tecnología de deposición fundida (FDM), cuentan con ciertas limitaciones, las que más destacan son la porosidad y la anisotropía. Esta última se refiere a la variación de las propiedades mecánicas dependiendo de la dirección de impresión, es decir, la pieza puede tener una mayor o menor resistencia dependiendo de la orientación empleada durante su fabricación.

Estas características limitantes afectan de manera negativa el comportamiento estructural del prototipo y pueden estar influenciadas por parámetros como la temperatura del

extrusor, la velocidad de impresión, el espesor de capa y la densidad del relleno [52].

6.10.1. Ensayos de compresión

El ensayo de compresión es una prueba importante para evaluar cómo responde un material al ser sometido a cargas que reducen su volumen. Esta clase de prueba es especialmente esencial para piezas fabricadas mediante impresión 3D que deben soportar cargas funcionales [53].

Las propiedades mecánicas que pueden evaluarse mediante ensayos tales como la resistencia a la compresión, que representa el máximo esfuerzo que el material puede soportar antes de fallar o deformarse sin regresar a su forma original, este es un parámetro importante para el diseño estructural. También, el módulo de elasticidad indica la rigidez del material, es decir, la capacidad para resistir deformaciones bajo cargas moderadas. Además, este tipo de ensayo permite determinar la ductilidad, propiedad mecánica que refleja la capacidad del material para deformarse sin romperse [54].

El policarbonato (PC) se caracteriza por ser un material de alta resistencia a la compresión (Cuadro 2).

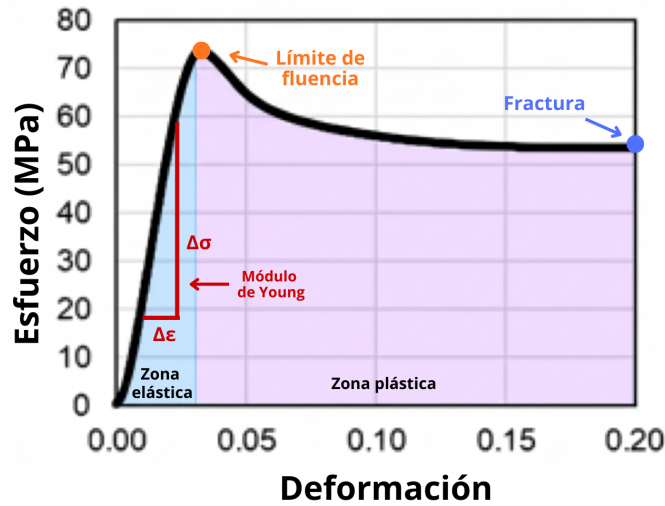
Cuadro 2. Propiedades mecánicas del policarbonato

Módulo de tracción (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Resistencia a la flexión (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)
54.88	1,073	63.41	150.24

6.10.2. Curva esfuerzo-deformación

El ensayo de compresión permite obtener la curva esfuerzo-deformación, esta representa por medio de una gráfica el comportamiento del material desde la aplicación inicial de la carga hasta su fallo (Figura 8). El análisis de esta curva permite distinguir dos zonas principales: la zona elástica, donde las deformaciones son reversibles y el material recupera su forma original al retirar la carga, y la zona plástica, donde las deformaciones son permanentes. Esta transición resulta fundamental para definir el límite de carga segura del material. Asimismo, el límite de fluencia corresponde al esfuerzo a partir del cual el material deja de deformarse reversible y empieza a presentar las deformaciones permanentes. La pendiente de la región elástica define el módulo de Young, parámetro que describe la rigidez del material. Finalmente, la curva concluye en el punto de fractura donde el material pierde su capacidad de soportar la carga y ocurre su fallo definitivo [55].

Figura 8. Curva esfuerzo-deformación obtenida a partir del ensayo de compresión



Fuente: Adaptado de [56].

6.10.3. Estabilidad estructural

La estabilidad estructural es esencial en la impresión 3D, ya que las piezas fabricadas deben soportar cargas mecánicas y mantener su forma bajo condiciones específicas de uso. Uno de los parámetros que garantiza esta estabilidad es el espesor de pared, este parámetro influye directamente en la rigidez, resistencia y capacidad del objeto para evitar deformaciones.

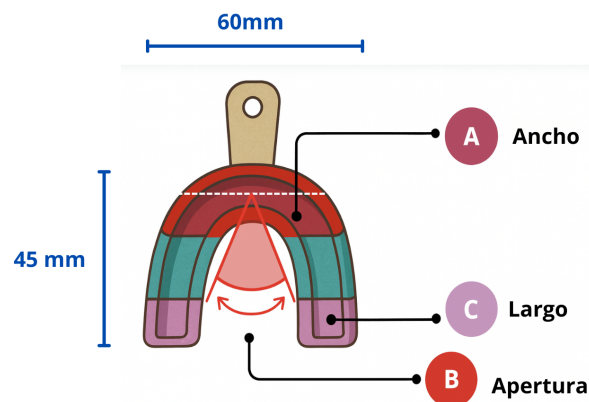
Las paredes gruesas proporcionan mayor soporte y durabilidad, mientras que las paredes demasiado delgadas pueden hacer que la estructura sea susceptible a deformarse o romperse bajo esfuerzo. Por lo tanto, establecer desde el proceso de impresión un espesor de pared adecuado resulta fundamental para lograr un equilibrio entre resistencia y eficiencia estructural [45].

7.1. Características de la cubeta ajustable

Las cubetas dentales convencionales presentan una estructura fija en donde las dimensiones no pueden modificarse para adaptarse a la anatomía específica de los pacientes que no tienen las medidas estándar.

El diseño desarrollado en este trabajo incorpora un sistema de ajuste que permite adaptar una misma cubeta a diferentes tamaños de arcada dental. Este sistema actúa sobre tres dimensiones principales del diseño. En el ajuste A, se modifica el ancho de la parte anterior de la cubeta, variando la distancia horizontal entre sus paredes laterales para adaptarse a arcadas más amplias o más estrechas (Figura 9A). En el ajuste B, se regula el ángulo de apertura, permitiendo que la curvatura frontal se adecúe a la forma de la arcada dental (Figura 9B). Por último, en el ajuste C, se modifica el largo de la cubeta, lo que permite extender o reducir su profundidad según el tamaño del maxilar (Figura 9C).

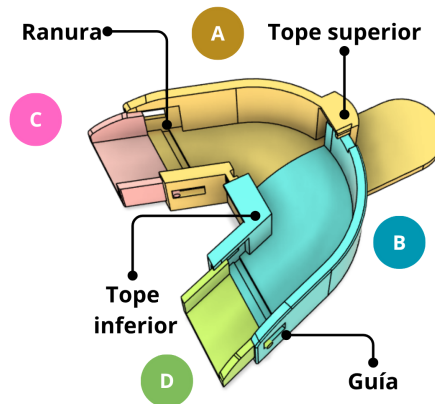
Figura 9. Mecanismo de ajuste tridimensional de la cubeta dental ajustable: A) Ancho, B) Apertura y C) Largo



Las capacidades de ajuste se logran por medio del ensamble compuesto por cuatro piezas móviles principales (Figura 10). En la parte anterior, se incorporan dos componentes que permiten modificar tanto la longitud frontal de la cubeta (Figura 10A y 10B), como el ángulo del arco, facilitando la adaptación a distintas morfologías dentales sin comprometer el centrado del modelo. Asimismo, en la parte posterior se integran dos elementos que pueden deslizarse longitudinalmente, permitiendo modificar la profundidad total de la cubeta y adaptarse así a pacientes con diferentes longitudes de arcada sin utilizar cubetas distintas (Figura 10C y 10D).

Se incorporan mecanismos de seguridad para asegurar la estabilidad y firmeza de las piezas mientras estén en uso. Los topes puestos en las piezas A y B limitaron el desplazamiento excesivo de las piezas móviles y ranuras de acoplamiento que brindaron un apoyo firme, evitando movimientos indeseados. Además, se incluyeron guías curvadas que habilitaron la variación angular controlada del arco, garantizando un ajuste más preciso y simétrico. Este conjunto de elementos conservó la rigidez en la estructura.

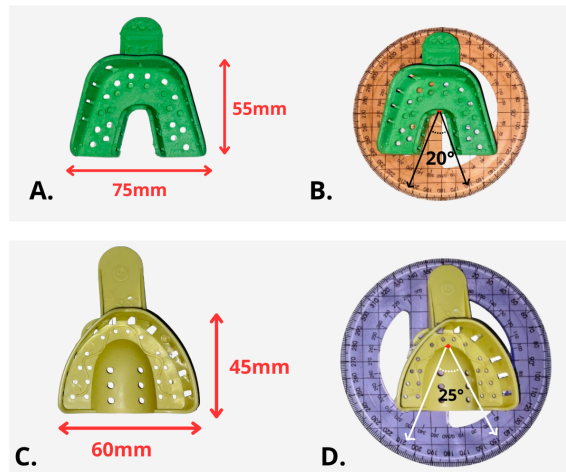
Figura 10. Componentes de la cubeta dental ajustable: A y B) piezas anteriores para ajuste de apertura de arco y ancho; C y D) piezas posteriores para el largo de la cubeta ajustable dental



7.1.1. Rango dimensional

Las cubetas dentales convencionales presentan un diseño de talla fija, lo cual implica que cada modelo cubre un rango anatómico limitado (Cuadro 3), las dimensiones varían entre las tallas disponibles, obligando a contar con diferentes tamaños de cubetas para adaptarse a los pacientes desde niños hasta adultos (Figura 11). Por el contrario, el diseño ajustable permite modificar las dimensiones como longitud, ancho y la apertura de arco en diferentes niveles establecidos (Cuadro 3). Esto permite tener más de un tamaño con una sola cubeta dental.

Figura 11. Dimensiones de una cubeta convencional: (A y B) longitud, ancho y apertura de una cubeta talla pequeña; (C y D) longitud, ancho y apertura de una cubeta talla grande



Cuadro 3. Comparación dimensional entre cubetas convencionales y la cubeta ajustable propuesta

Dimensión	Cubetas convencionales		Cubeta ajustable (propuesta)	
	Pequeña	Grande	Mínimo	Máximo
Longitud	45 mm	55 mm	50 mm	56 mm
Ancho	60 mm	75 mm	69 mm	77 mm
Apertura	45°	40°	45°	53°

7.1.2. Diseño de la cubeta dental ajustable

Se modeló en Fusión 360 (Autodesk, CA, USA) el conjunto de piezas que conforman la cubeta ajustable y las iteraciones realizadas durante el desarrollo de las mismas. Asimismo, se simuló el ensamblaje mecánico de las piezas. Además, los archivos STL se alistaron para su posterior fabricación mediante impresión 3D.

7.1.3. Control de versiones

Durante el proceso de iteración, en cada una de las versiones del diseño se buscó optimizar la funcionalidad de la cubeta dental ajustable. En las primeras versiones se utilizaron mecanismos de encaje simple para la unión de las piezas, luego fueron reemplazados por ranuras que brindaron mayor estabilidad y precisión en el ajuste. Asimismo, se modificó la forma del arco inferior para permitir la apertura de la cubeta dental ajustable sin comprometer la continuidad de las paredes internas.

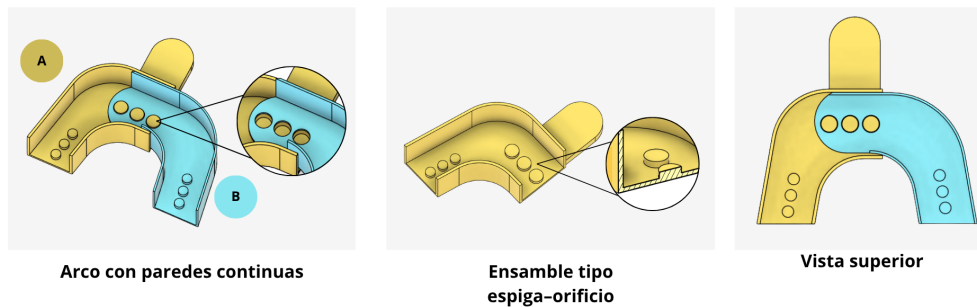
En las últimas versiones de diseño se agregaron topes y elementos de seguridad que impidieron el desplazamiento excesivo de las piezas, así como ranuras curvas para controlar

la variación angular. Estos cambios permitieron conservar la rigidez estructural durante el uso. Lo planos correspondientes a las ocho versiones del diseño se incluyen en el capítulo de anexos.

Versión 1:

- En la versión 1 se creó una base sencilla que permitiera unir las partes principales de la cubeta sin necesidad de usar elementos externos.
- Se utilizó un tipo de ensamble similar al de los bloques *LEGO*, donde una pieza encaja dentro de otra (sistema espiga-orificio), permitiendo unir las piezas A y B (Figura 12).
- Las paredes se diseñaron continuas para evitar que se interrumpieran las paredes al modificar el ancho de la cubeta.
- Se añadieron tres cilindros en la parte A que representaban las tallas **S**, **M** y **L**, ya que se buscaba un diseño que permitiera ajustar a distintos tamaños.

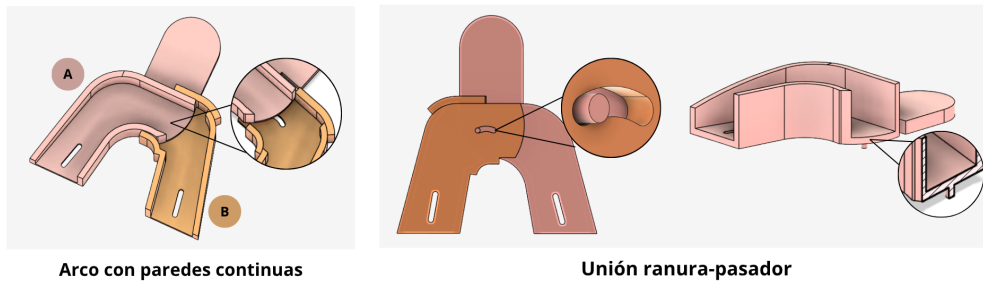
Figura 12. Versión 1: diseño arco curvo con encaje simple



Versión 2:

- Se utilizó un ensamble tipo ranura con pasador, este permitió abrir el arco de la cubeta dental ajustable y también ajustar el ancho de la cubeta. Este sistema fue una solución provisional mientras se definía el mecanismo final de ajuste.
- En la versión 2, se buscaba mejorar la continuidad de las paredes en especial, las del arco, haciendo la pieza B más ancha y agregando una abertura cerca del mango, para que la unión con la pieza A no interrumpiera el interior de la cubeta (Figura 13).

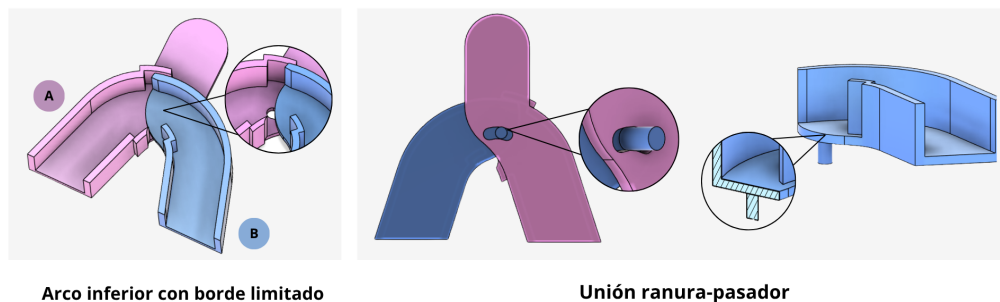
Figura 13. Versión 2: diseño con arco curvo unido mediante ranura con pasador



Versión 3:

- En la versión 3, se acortaron las paredes debido a que en la versión 2 sobresalían hacia el interior cuando se reducía el ancho de la cubeta, lo que interfería con el espacio útil interno.
- La pieza A se diseñó más ancha, permitiendo una unión con la pieza B sin interrumpir el interior de la cubeta dental ni afectar el ajuste de ancho (Figura 14).
- De nuevo, se utilizó un ensamble tipo ranura con pasador, permitiendo ajustar el arco y el ancho de la cubeta temporalmente.

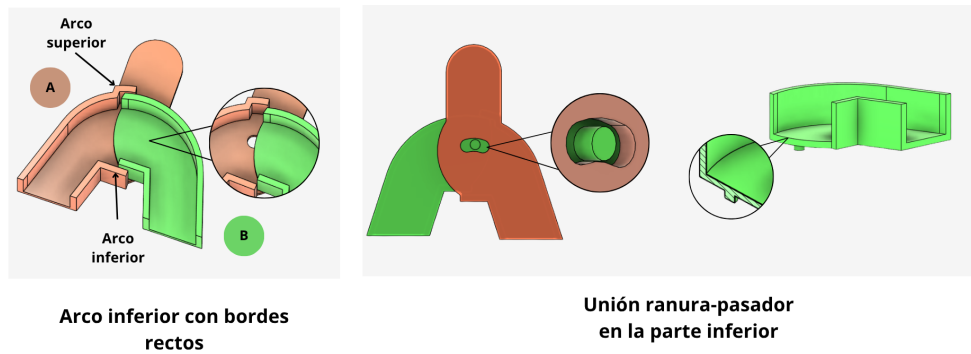
Figura 14. Versión 3: diseño con arco curvo con borde superior extendido



Versión 4:

- En esta versión 4, la pieza A se diseñó más ancha para unirse con la pieza B sin interrumpir el interior de la cubeta, mejorando la continuidad de las paredes.
- Además, el arco inferior se construyó con bordes rectos para conservar la continuidad interna y facilitar el movimiento de apertura, mientras que el arco superior se mantuvo curvo, ya que su forma no afectaba la unión ni la continuidad de las paredes (Figura 15).
- Se conservó el sistema de unión tipo ranura con pasador, empleado para permitir la apertura del arco inferior y el ajuste de ancho de la cubeta, ya que seguía siendo funcional en esta etapa del diseño.

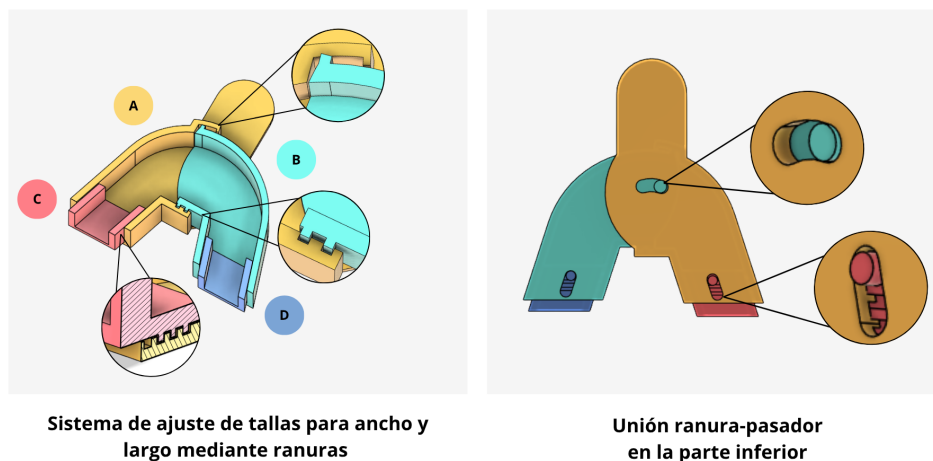
Figura 15. Versión 4: diseño con arco recto con ensamble ranura-pasador



Versión 5:

- En esta versión se mantuvo el diseño del arco ajustable de la versión 4, el cual permitía variar tanto el ancho como la apertura de la cubeta sin interrumpir la continuidad interna.
- Se añadieron las piezas C y D, que permitieron variar el largo de la cubeta según la profundidad de la arcada dental del paciente. Este ajuste se realizó mediante ranuras que guiaban el movimiento lineal de las piezas, complementando el sistema que ya regulaba el ancho (Figura 16).
- Se colocó el ensamble tipo ranura-pasador, ya que fue el sistema que permitía el funcionamiento simultáneo de los tres mecanismos (variación de ancho, largo y apertura), aunque se mantuvo como una solución provisional mientras se definía el diseño final.

Figura 16. Versión 5: diseño con ajuste de tallas para variar y largo



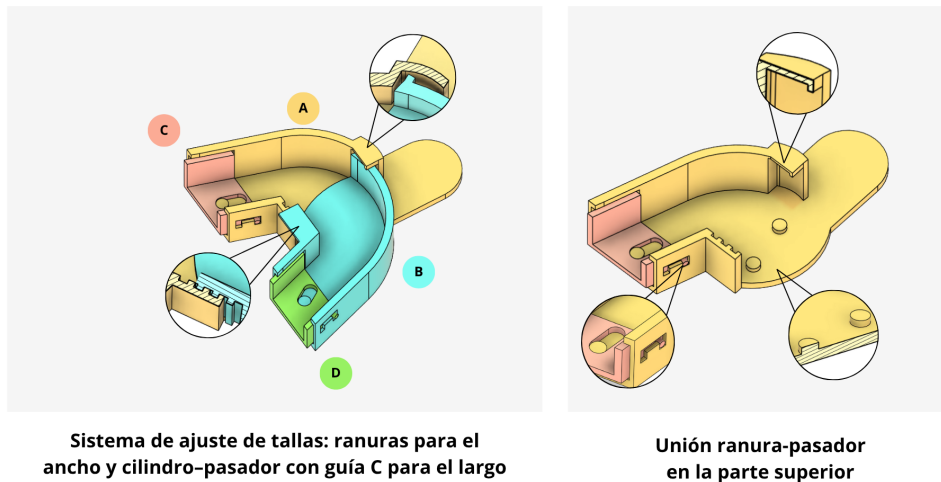
Versión 6:

- La Versión 6 incorporó un ensamble tipo cilindro-pasador ubicado en la parte superior, ya que este mecanismo permitía combinar los tres movimientos de

ajuste: la apertura del arco, la variación del ancho y la modificación del largo de la cubeta. Las piezas C y D se mantuvieron como los elementos principales para el ajuste de largo de la cubeta dental ajustable (Figura 17).

- Se implementaron dos cilindros: uno destinado a la variación angular del arco y otro para ajustar el ancho, especialmente en la talla L, es decir, la talla más ancha, ya que requería mayor estabilidad al tener menos superficie de apoyo que las tallas S y M.
- Se añadió una guía C en las paredes, sustituyendo las ranuras empleadas en la versión 5, funcionando como refuerzo de seguridad para mantener estable el ajuste del largo.
- También se colocaron topes de seguridad en las uniones móviles para evitar que las piezas se separaran accidentalmente durante el uso, especialmente cuando la cubeta se utilizaba en la arcada inferior, ya que en esta posición el peso podía hacer que las piezas se soltaran si no contaban con un límite físico.

Figura 17. Versión 6: diseño con sistema de ajuste en tallas con ensamble ranura-pasador junto a una guía C para variar el largo

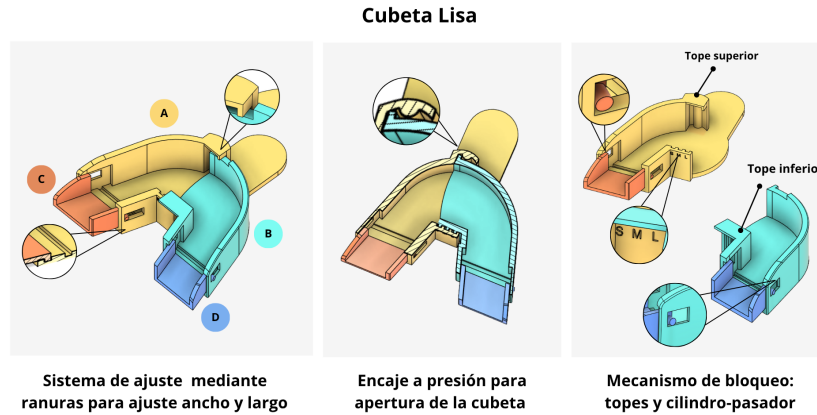


Versión 7:

- En la versión 7 se eliminó el sistema de ranura-pasador, ya que este no permitía ajustar la talla más pequeña (S); su rango mínimo de movimiento iniciaba desde la talla mediana (M), lo que impedía un cierre completo en la posición más angosta.
- Para el ajuste de apertura, se implementó un encaje a presión entre las piezas A y B, que permitió variar el ángulo de apertura de forma más estable y continua, sin necesidad de emplear cilindros u otros elementos externos.
- En el ajuste del largo, se incorporó una guía rectangular en la pieza C, lo que facilitó un movimiento más fluido y preciso al extender o contraer la cubeta (Figura 18).

- Finalmente, se redujo el espesor de las paredes en la unión entre las piezas C y D, de modo que el sistema de encaje se integrara al diseño sin interrumpir la superficie interior de la cubeta.

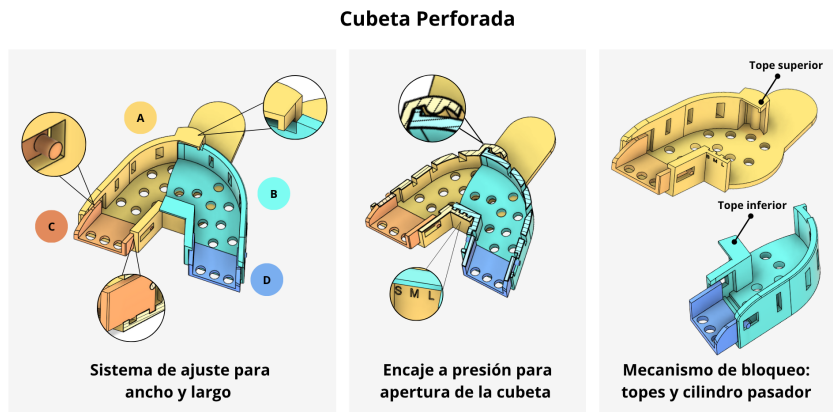
Figura 18. Versión 7: diseño con superficie lisa del sistema de ajuste mediante ranuras para variar largo, ancho y apertura



Versión 8:

- En la versión 8 se mantuvieron las características estructurales de la versión 7, incorporando ahora una superficie perforada (Figura 19).
- Se añadieron aberturas rectangulares en las paredes laterales y los agujeros en las bases de las piezas, diseñadas para reducir el exceso de material de impresión (alginato) y mejorar su distribución durante el uso.
- Se conservaron los elementos de seguridad implementados previamente, como los topes superior e inferior y la guía rectangular, garantizando la estabilidad y el control del movimiento de la cubeta ajustable.

Figura 19. Versión 8: diseño con superficie perforada del sistema de ajuste mediante ranuras para variar largo, ancho y apertura



7.1.4. Parámetros de impresión 3D para prototipos de la cubeta ajustable dental

Durante las iteraciones preliminares del diseño, las piezas fueron impresas usando el software Ultimaker Cura (Ultimaker, Utrecht, Países Bajos) e impresas en una impresora Ultimaker 3 (Ultimaker, Utrecht, Países Bajos) siguiendo los parámetros establecidos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de los prototipos de la cubeta ajustable dental

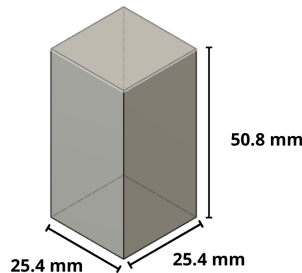
Parámetros	Valores
Temperatura de extrusor	210 °C
Temperatura de la cama	60 °
Boquilla del extrusor	0.4 mm
Altura de capa	0.2 mm
Patrón de relleno	Triangular
Filamento	PLA

7.2. Caracterización mecánica del material de impresión

7.2.1. Pruebas de compresión

Para las pruebas de compresión se tomaron como referencia las dimensiones derivadas de la norma ASTM D965 propuestas [57] y adecuadas a las condiciones de la Máquina de Ensayos Universales, utilizando probetas con geometría de prisma rectangular. Se realizó una previsualización en el software de impresión 3D (Figura 20).

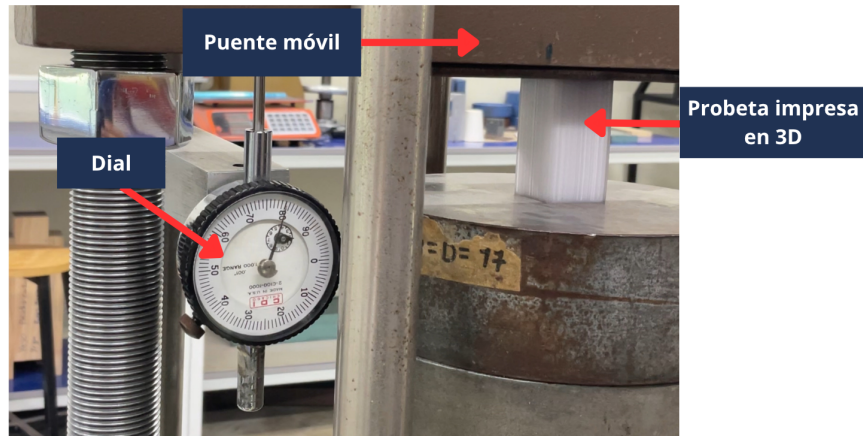
Figura 20. Vista previa de las probetas utilizadas en el ensayo de compresión



Las pruebas de compresión se realizaron en la Máquina de Ensayos Universales Versa Tester, configurada en modo de compresión (Figura 21). Antes de iniciar, se ajustó el puente móvil para que cada probeta quedara correctamente alineada. La carga se aplicó de forma

progresiva y la deformación se midió manualmente cada 500 lb, usando un sensor analógico (dial) marca CDI Chicago (CDI Chicago, IL, USA) con una resolución de 0.001 pulgadas.

Figura 21. Montaje de las probetas de compresión en la máquina de ensayos universales y medición de deformación con el dial

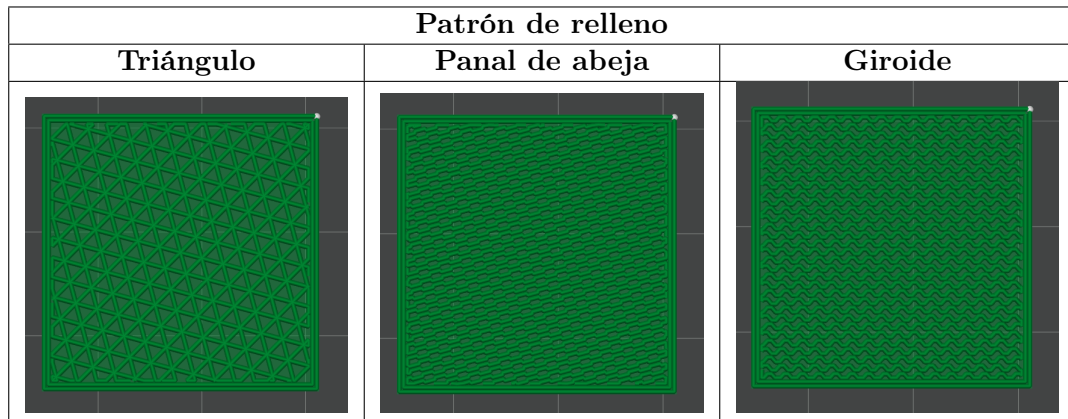


7.2.2. Diseño de las probetas para ensayos de compresión

Se evaluaron tres distintos patrones de relleno utilizados en impresión 3D: triangular, panal de abeja (honeycomb) y giroide. En todos los casos se estableció una densidad de relleno del 70 %, porcentaje adecuado para tener una estabilidad estructural óptima [58]. El propósito fue identificar cuál de ellos presenta mayor rigidez estructural frente a esfuerzos de compresión.

Se modeló en Fusion 360 un prisma rectangular (base cuadrada de 25.4 mm y altura de 50.8 mm) para las pruebas de compresión. El modelo fue exportado en formato STL y procesado en Bambu Studio (Bambu Lab, Shenzhen, China), donde se variaron los tres patrones de relleno previamente definidos (Cuadro 5) y se visualizó cada una de sus estructuras internas. Este procedimiento permitió comparar de manera controlada la arquitectura interna de cada configuración y así identificar el patrón de relleno más adecuado para la fabricación de la cubeta dental ajustable.

Cuadro 5. Visualización comparativa de los patrones de relleno con densidad del 70 %



7.2.3. Parámetros de impresión 3D para las probetas

Una vez finalizado el diseño, el modelo se exportó en formato STL y se imprimió en 3D por medio de modelado de deposición fundida (FDM) en una impresora Bambu Lab PS1 (Bambu Lab, Shenzhen, China). La impresión se realizó siguiendo los parámetros (Cuadro 6) para cada uno de los patrones de relleno elegidos.

Cuadro 6. Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de las probetas

Parámetros	Valores
Temperatura de extrusor	140 °C
Temperatura de la cama	100 °
Boquilla del extrusor	0.4 mm
Altura de capa	0.2 mm
Patrón de relleno	Triangular, giroide y panal de abeja
Filamento	PC

Se tuvo un total de 3 parámetros establecidos, los cuales fueron referenciados con un código específico a lo largo de este documento (Cuadro 7).

Cuadro 7. Códigos de identificación de los patrones de relleno con densidad del 70 %

Patrón de relleno	Código
Triangular	T
Panal de abeja (honeycomb)	H
Giroide	G

7.2.4. Evaluación mecánica

Se realizaron los ensayos de compresión utilizando una Máquina de Ensayos Universal Versa Tester (Instron Corporation, MA, USA). En la realización de las pruebas se siguió el estándar ASTM D695 para compresión en polímeros, el cual define las dimensiones que deben cumplir las probetas [59]. Sin embargo, la máquina de ensayos universales disponible está orientada principalmente a materiales de alta resistencia como los de construcción y se recomienda utilizarla únicamente con probetas capaces de soportar cargas mayores 1000 lb. Por lo tanto, se ajustaron las dimensiones de las probetas para garantizar resultados precisos y confiables.

Se partió de un único diseño de probeta, las dimensiones se ajustaron lo más cercano posible a la norma mencionada anteriormente. Se obtuvieron tres conjuntos de probetas, cada uno fabricado con un patrón de relleno diferente (triangular, giroide y panal de abeja) con una densidad de relleno del 70 %.

Para garantizar resultados con validez estadística, se elaboraron cinco probetas por cada patrón de relleno, alcanzando un total de 15 muestras. Para su identificación, las probetas correspondientes al patrón triangular se denominaron T_i , aquellas con patrón giroide como G_i , y las de panal de abeja como H_i , donde i representa el número de muestra.

Los resultados de fuerza aplicada y desplazamiento obtenidos durante los ensayos de compresión se emplearon para calcular el esfuerzo y la deformación unitaria de acuerdo con las Ecuaciones (1) y (2), respectivamente:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

donde σ representa el esfuerzo o presión ejercida sobre la probeta, expresado en N/m^2 ; F es la fuerza aplicada axialmente sobre la probeta, expresada en newton (N) y A es el área de la sección transversal de la probeta, en metros cuadrados (m^2). Para las probetas utilizadas en este ensayo, el área transversal fue de 645.16 mm^2 .

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

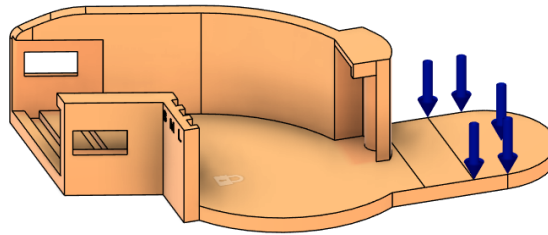
donde ε es la deformación unitaria (adimensional), ΔL corresponde al cambio de longitud medido en milímetros (mm) y L es la longitud inicial de la probeta, también en milímetros (mm). La longitud inicial para cada una de las probetas fue de 50.8 mm. Esta relación se definió conforme a la norma ASTM D695 para ensayos de compresión en polímeros.

Al terminar los ensayos en todas las probetas y a partir de los resultados de esfuerzo y deformación se elaboraron en MATLAB (MathWorks, MA, USA) las curvas de esfuerzo-deformación para cada patrón de relleno. A partir de estas curvas se determinó el módulo y se elaboraron gráficas de barras para comparar la carga máxima, la deformación y el módulo de Young logrando identificar el patrón de relleno con mejor desempeño mecánico a compresión.

7.2.5. Análisis de esfuerzos estáticos

Se seleccionó el policarbonato como material de estudio, ya que era el material seleccionado debido a la alta resistencia mecánica, propiedades para las piezas del prototipo que están sometidas a esfuerzos repetitivos durante el ajuste del tamaño y el uso clínico. En el modelo tridimensional, se establecieron planos de corte con el fin de definir las condiciones de cargas y restricción. La carga se aplicó en el mango de la cubeta dental, zona donde se concentra la fuerza durante la manipulación del instrumento, con una magnitud de 13.7N, simulando la presión ejercida durante la toma de impresión dental con alginato (Figura 22). Este análisis permitió verificar la estabilidad y resistencia de la estructura usando policarbonato como material de fabricación.

Figura 22. Colocación de cargas en el mango de la cubeta dental ajustable



7.3. Parámetros de impresión 3D para las cubetas dentales ajustables

Una vez finalizado el diseño, los modelos de la cubeta lisa y perforada se exportaron en formato STL y se imprimieron en 3D mediante el proceso de modelado por deposición fundida (FDM) utilizando una impresora Bambu Lab P1S. La impresión se realizó con filamento de policarbonato (PC), siguiendo los parámetros establecidos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Parámetros de impresión 3D establecidos para la fabricación de las cubetas dentales ajustables.

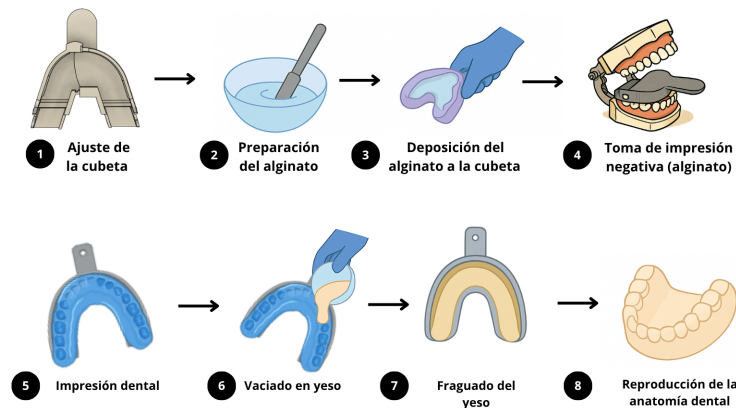
Parámetros	Valores
Temperatura de extrusor	140 °C
Temperatura de la cama	100 °
Boquilla del extrusor	0.4 mm
Altura de capa	0.2 mm
Patrón de relleno	Triangular
Filamento	PC

7.4. Toma de impresión dental

La toma de impresión dental se realizó para validar la funcionalidad de la cubeta ajustable al realizar la reproducción anatómica dental (Figura 23). Se empleó alginato (Hygedent, China) como material de impresión, este fue preparado en las proporciones indicadas por el fabricante. La mezcla se realizó hasta obtener una consistencia homogénea antes que se llegara a gelificar por completo.

El material fue colocado en la cubeta dental ajustable de policarbonato (PC). La cubeta cargada con alginato se colocó sobre el tipodonto (Nissin Dental Products Inc., Kioto, Japón), siendo el modelo para fines demostrativos, manteniéndose en contacto durante el tiempo de fraguado del alginato, aproximadamente un minuto y medio con ello se obtuvo la impresión negativa de la arcada dental inferior. Por último, se mezcló el yeso dental (Pro-Solid, Alemania) con agua hasta obtener una consistencia adecuada. El yeso fue vertido cuidadosamente sobre la impresión negativa para garantizar una reproducción uniforme de los relieves de la anatomía dental. Tras el fraguado a temperatura ambiente durante 45 minutos, se obtuvo el modelo positivo en yeso, permitiendo analizar la precisión dimensional y la eficiencia de la cubeta ajustable dental.

Figura 23. Proceso de obtención de la impresión dental negativa en alginato y positiva en yeso



7.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable

El análisis de costos de fabricación se realizó con el propósito de estimar el gasto total asociado a la producción del prototipo mediante impresión 3D. Para este cálculo, se estableció un precio unitario por gramo de material (Q1.50) para el filamento de ácido poliláctico (PLA) y (Q2.00) el gramo de filamento de policarbonato (PC). Asimismo, se definió un costo por hora de (Q16.55), calculado a partir del salario mínimo vigente más las prestaciones laborales correspondientes [60].

A partir de estos valores, se determinó el costo de material considerando la cantidad en gramos de filamento utilizado en cada una de las piezas impresas. Posteriormente, se calcularon las horas de mano de obra, dividiendo las actividades realizadas en tres etapas: impresión, limpieza y acabado. Finalmente, el costo total de fabricación se obtuvo sumando los dos subtotales de material y mano de obra.

8.1. Iteraciones del diseño de la cubeta dental ajustable

Durante el proceso de desarrollo se realizaron siete versiones del diseño, en las que se evaluaron y corrigieron distintos aspectos estructurales hasta obtener un modelo funcional que permitiera ajustar el largo, ancho y apertura de la cubeta dental. Cada iteración incorporó modificaciones para mejorar la estabilidad, la continuidad interna y la facilidad de ensamblaje.

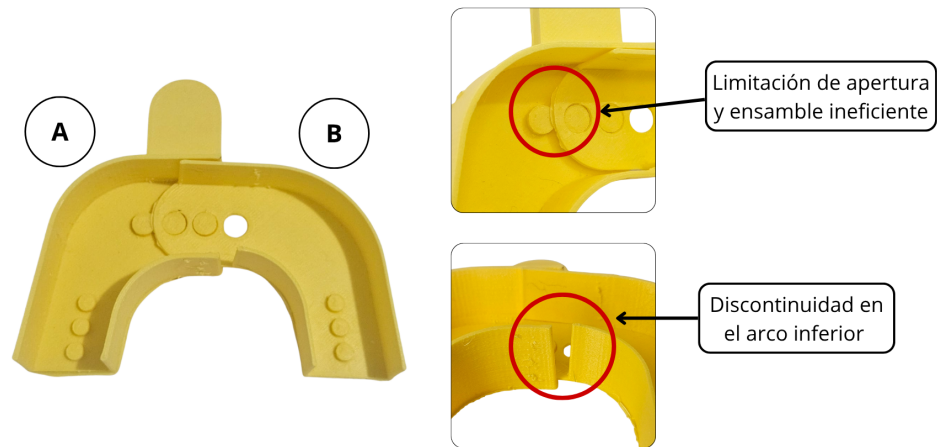
Versión 1

La versión 1 incorporó un sistema de ensamblaje tipo LEGO (cilindro-orificio), permitió una unión firme entre las piezas A y B, garantizando la continuidad estructural del modelo (Figura 12). Sin embargo, este sistema presentó limitaciones en la apertura del arco, ya que el mecanismo no permitía variar el ángulo de manera controlada.

Además, al intentar ajustar el ancho, se observó que una de las piezas se sobremontaba sobre el cilindro de unión, impidiendo un correcto acoplamiento entre las partes y restringía el desplazamiento lateral. Este comportamiento se aprecia en la (Figura 24, donde se señala la interferencia en la zona del cilindro.

Por otro lado, las paredes continuas aportaron buena rigidez estructural, pero redujeron la flexibilidad necesaria para permitir los movimientos de apertura y ajuste. Además, se observó que hubo una discontinuidad al momento de variar el ancho de la cubeta dental ajustable.

Figura 24. Versión 1: ensamble tipo LEGO (espiga-orificio)



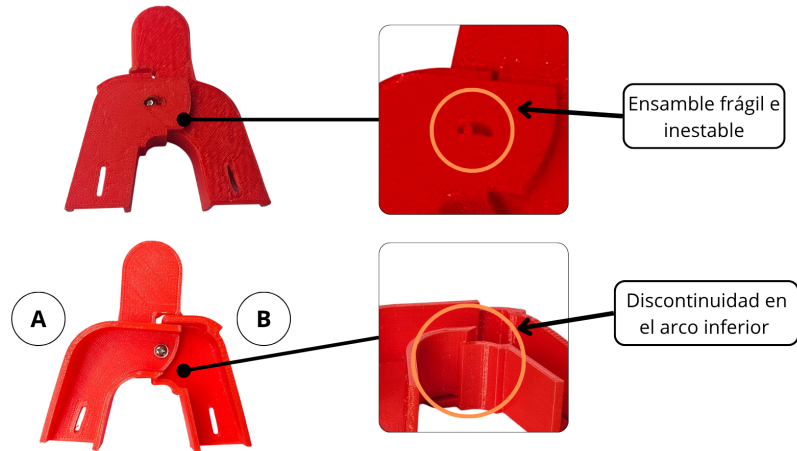
Versión 2

La versión 2 incorporó un sistema de ensamble tipo ranura-pasador, el cual permitió ajustar la apertura del arco y variar el ancho de la cubeta (Figura 13). Aunque el mecanismo funcionó adecuadamente como acople, este fue un sistema provisional que presentó cierta inestabilidad durante las pruebas de ensamblaje, ya que tras varios intentos el pasador cilíndrico se fracturó, por lo que este tipo de ensamble no era adecuado debido a que era un elemento pequeño e inestable (Figura 25).

Durante las pruebas de ajuste, se observó que al reducir el ancho de la cubeta, los bordes de las piezas se sobreponían, sobresaliendo la punta de la pieza A hacia el interior y afectando el espacio útil de la cubeta, haciendo que el arco inferior fuera ineficiente.

Haber colocado una abertura cerca del mango mejoró la continuidad interna de las paredes e impidió que la unión interfiriera con el espacio interior de la cubeta, favoreciendo una mejor transición entre las piezas.

Figura 25. Versión 2: ensamble tipo ranura–pasador para apertura y ancho



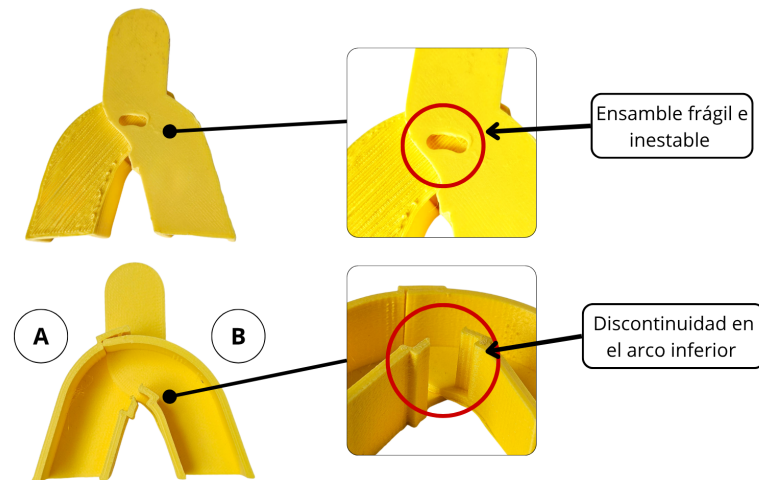
Versión 3

En la versión 3, al modificar las paredes laterales de ambas piezas, acortando los bordes para evitar que se superpusieran entre las piezas al ajustar el ancho de la cubeta, se generó un pequeño espacio en el arco inferior, este espacio podría provocar fugas de material durante la toma de impresión (Figura 14).

El ensamble tipo ranura–pasador se mantuvo de forma provisional, pero continuó siendo un punto débil del diseño, ya que el pasador se fracturó tras varios intentos de acoplamiento (Figura 26).

En esta versión, el rediseño de la pieza A con una mayor anchura y con un borde extendido en el extremo de la parte superior de la pieza A, permitió que encajara con la pieza B sin interrumpir el espacio interno del modelo. Este cambio mejoró la unión entre ambas piezas y facilitó la variación del ancho de la cubeta sin comprometer el espacio útil, pero la continuidad de las paredes aún no era la óptima al variar la apertura y ancho, ya que quedaba un espacio vacío.

Figura 26. Versión 3: paredes acortadas con borde superior extendido

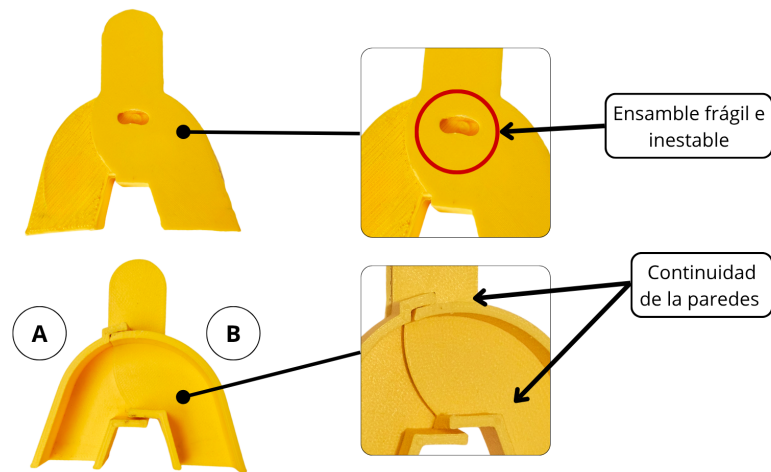


Versión 4

En la versión 4, el cambio del arco inferior a paredes rectas permitió ajustar tanto la apertura como el ancho de la cubeta sin comprometer la continuidad de las paredes y el espacio interior de la cubeta dental ajustable (Figura 15). El comportamiento estructural fue estable durante las pruebas, mostrando un movimiento uniforme en la variación del ancho y la apertura (Figura 27).

El ensamble tipo ranura–pasador se mantuvo de forma provisional y continuó representando una zona frágil, ya que el pasador se fracturó después de varios intentos de acoplamiento. La pieza A conservó una mayor anchura y el borde extendido en la parte superior permitió un mejor encaje con la pieza B y una unión continua entre ambas partes.

Figura 27. Versión 4: arco inferior recto



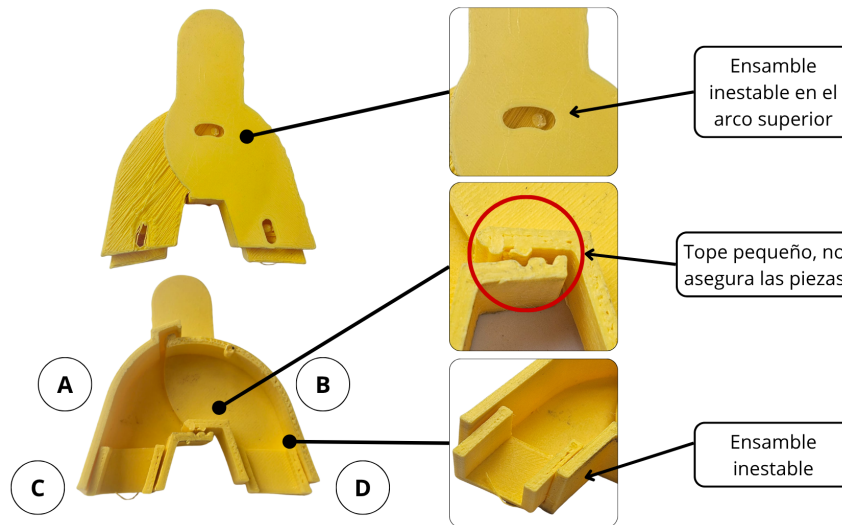
Versión 5

En la versión 5 se mantuvo el mismo sistema de ensamble tipo ranura-pasador, ya que permitía integrar los tres mecanismos de ajuste: apertura, ancho y largo (Figura 16). Sin embargo, este sistema continuó representando una zona frágil, pues el pasador se fracturó tras varios intentos de acoplamiento.

Al implementar el mismo tipo de ensamble de ranura-pasador en las piezas que controlaban el largo de la cubeta (C y D), junto con pequeñas ranuras, se observó que al involucrar dos tipos de ensamble impidió un encaje adecuado entre las piezas. Esto generó inestabilidad estructural, ya que las uniones no quedaban firmes ni alineadas, y no existían elementos de seguridad que evitaran el movimiento o la separación durante el ajuste (Figura 28).

En la parte superior, al incorporar el encaje a presión, mostró un buen comportamiento al momento de variar el ancho y la apertura de la cubeta, manteniendo la continuidad de las paredes. Aunque la ausencia de un tope como elemento de sujeción provocó que la estructura fuera inestable.

Figura 28. Versión 5: ajuste de largo mediante encaje de ranuras y junta de pasador-ranura

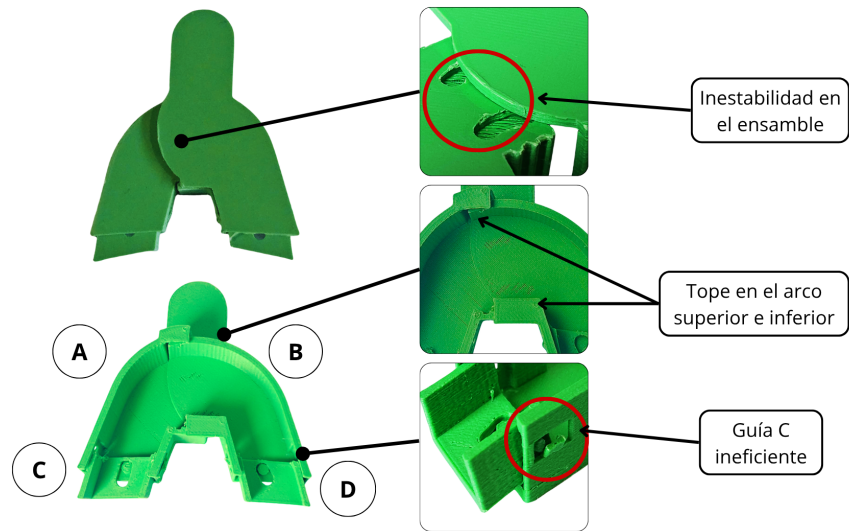


Versión 6

En la versión 6 se mantuvo el sistema de ensamble tipo ranura-pasador, pero únicamente en la parte superior de la pieza B, ya que en la zona inferior este resultaba demasiado frágil. La incorporación de un cilindro (pasador) cerca de la posición de la talla más grande (L) de ancho permitió una mayor estabilidad, reduciendo el movimiento de las piezas y brindando un mejor soporte estructural (Figura 17). Añadir otro cilindro favoreció la apertura de la cubeta junto con el encaje a presión ubicado en la parte superior (Figura 29), proporcionando más estabilidad. Sin embargo, impidieron el uso correcto de la talla pequeña (S), ya que la presión generada por los cilindros únicamente permitía ajustar las tallas mediana (M) y grande (L).

La adición de topes en los arcos superior e inferior proporcionó una unión más segura entre las piezas, evitando desplazamientos involuntarios durante las pruebas de ajuste. Sin embargo, el ensamble entre las piezas que ajustaban el largo de la cubeta, A-C y C-D presentaron deficiencias debido al diseño de la guía C en las paredes laterales. Al no ser simétricas las piezas laterales, los cilindros generaban una presión en estas piezas, provocando un desalineamiento en las guías. Además, las paredes delgadas de esta sección se fracturaban con facilidad, dejando una abertura rectangular y anulando la función del cilindro como elemento de acople.

Figura 29. Versión 6:junta de pasador y ranura con topes de seguridad

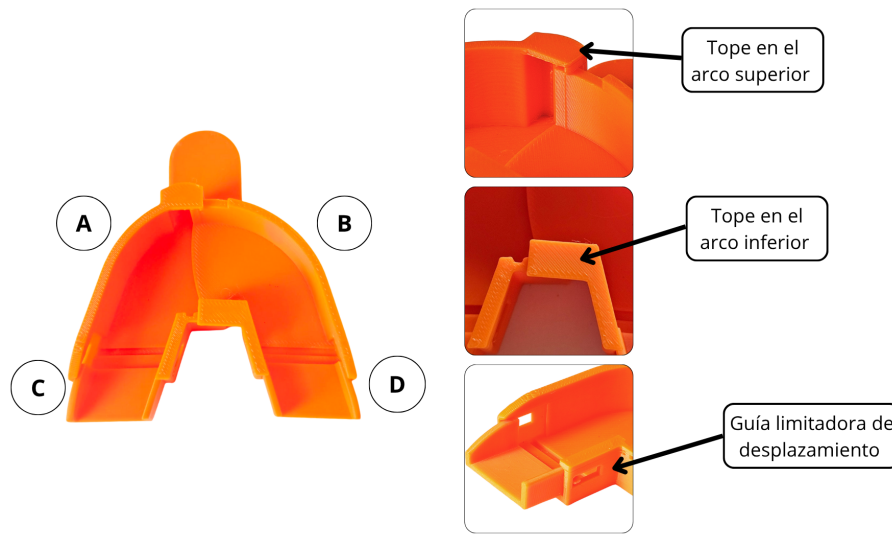


Versión 7

En la versión 7 se eliminó completamente el sistema de ranura-pasador, ya que este impedía ajustar la cubeta a la talla más angosta (S), cuyo límite mínimo quedaba restringido a la talla mediana (M) (Figura 18). Por lo que se mantuvo únicamente el encaje a presión entre las piezas A y B en la parte superior, permitiendo un ajuste más estable y continuo tanto en la apertura como en el ancho del arco, sin necesidad de cilindros externos (Figura 30).

Además, al incorporar una guía rectangular para el ajuste de largo, facilitó el desplazamiento controlado de las piezas C y D. También, la reducción del espesor de las paredes en la zona de unión entre estas piezas, obteniendo una superficie interna más uniforme y una mejor integración estructural entre los componentes de la cubeta.

Figura 30. Versión 7: sistema de encaje a presión y guía rectangular



8.2. Caracterización mecánica del material de impresión

8.2.1. Ensayos de compresión

Con el objetivo de comparar el comportamiento en la zona elástica de las estructuras, se analizó la relación entre la compresión y el porcentaje de deformación obtenida para cada tipo de patrón de relleno usado. Aunque todas las muestras fueron fabricadas con una densidad de 70 % de relleno, se evidenciaron diferencias en la respuesta a cargas.

Las curvas de esfuerzo–deformación obtenidas para los tres patrones de relleno: triangular, panal de abeja y giroide, junto con la comparación del módulo de Young promedio calculado para cada uno.

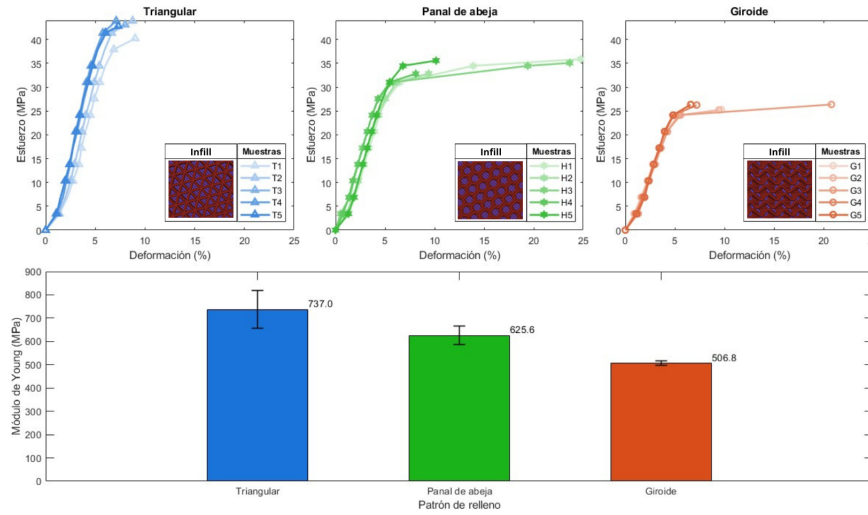
Se observó que el patrón triangular alcanzó los valores más altos de esfuerzo antes de la deformación plástica, mostrando la pendiente más pronunciada en la zona elástica de la curva. Este comportamiento se reflejó en un módulo de elasticidad de 737.03 ± 81.16 MPa, siendo el valor más alto, lo que indica una mayor rigidez del material y una menor deformación ante la misma carga aplicada (Figura 31).

El patrón panal de abeja presentó un comportamiento intermedio con un módulo de 625.62 ± 40.08 MPa, lo que representa una rigidez moderada con una respuesta uniforme entre las muestras. Por otro lado, el patrón giroide mostró los valores más bajos de esfuerzo y una pendiente más suave, con un módulo de 506.76 ± 8.45 MPa, indicando una estructura más flexible y con mayor capacidad de deformación elástica antes del colapso (Figura 31).

En cuanto a la variabilidad entre las muestras, el patrón giroide presentó la menor

dispersión, seguido del panal de abeja, mientras que el triangular, pese a su mayor resistencia, mostró una variabilidad más amplia en las muestras.

Figura 31. Curvas esfuerzo–deformación y módulo de Young obtenidos para los patrones de relleno triangular, panal de abeja y giroide



Las diferencias en la deformación final de las probetas de compresión pueden apreciarse en la deformación de estas (Figura 32), siendo el patrón triangular el que mostró menor cambio en su estructura tras la aplicación de la carga, mientras que el patrón giroide evidenció una mayor compresión.

Figura 32. Probetas impresas después del ensayo de compresión para los tres patrones de relleno: (A) triangular, (B) panal de abeja y (C) giroide



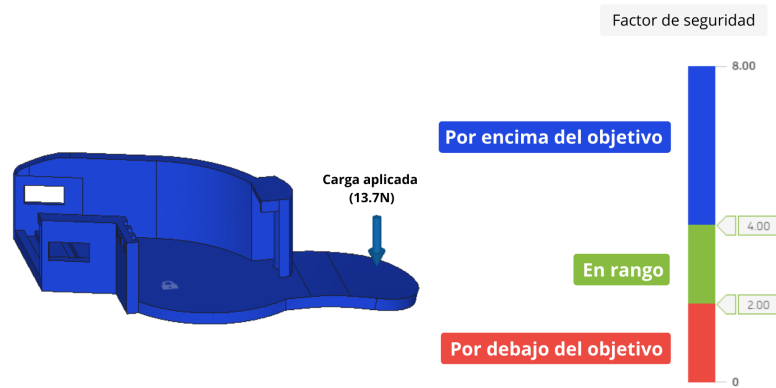
Por lo tanto, el patrón triangular fue el que presentó el mejor desempeño mecánico, al exhibir la mayor rigidez y resistencia a la compresión entre los tres patrones evaluados.

8.2.2. Análisis de esfuerzos estáticos

El policarbonato fue seleccionado debido a sus propiedades mecánicas, tales como su alta resistencia al impacto y rigidez. Estas características lo hacen adecuado para sistemas

sometidos a cargas repetitivas. Al haber evaluado el material mediante un análisis de esfuerzos estáticos, el diseño usando el policarbonato como estudio, obtuvo un factor de seguridad mínimo de 8.069 al haberle aplicado una carga de 13.7N sobre el mango, correspondiente a la fuerza que se ejerce al manipular la cubeta durante la toma de impresión dental [61]. Por ende, el material mostró que puede soportar esfuerzos ocho veces mayores antes de alcanzar su límite de fluencia (Figura 33). Además, al obtener valores superiores a uno, esto representa un diseño seguro con una buena resistencia y estabilidad estructural.

Figura 33. Simulación de cargas aplicadas en la cubeta dental ajustable fabricada en policarbonato



8.3. Diseños finales fabricados en policarbonato (PC)

Con base en los resultados de los ensayos de compresión, el patrón de relleno triangular fue seleccionado por presentar la mayor resistencia mecánica y rigidez estructural. Por ello, los modelos finales de la cubeta dental ajustable se imprimieron en policarbonato (PC) con un 70 % de relleno triangular, material elegido por su alta resistencia, estabilidad dimensional y durabilidad durante el uso clínico. Este material permitió obtener piezas robustas y con un buen acabado superficial.

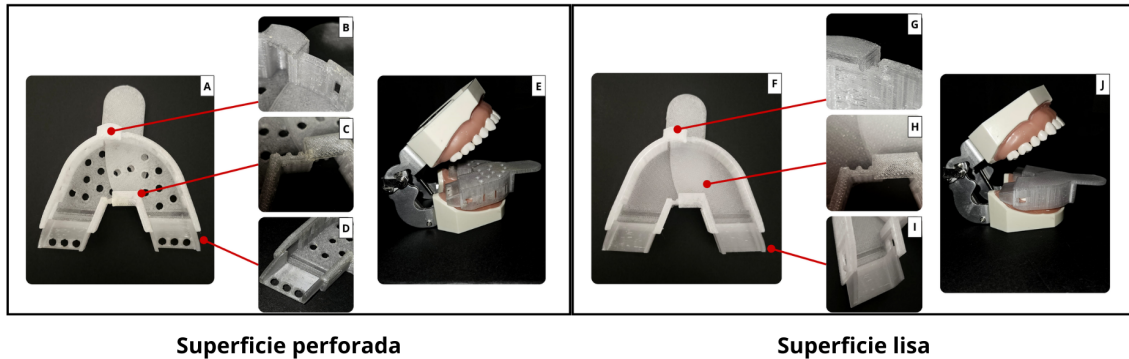
Las versiones con superficie lisa (Figura 18) y perforada (Figura 19) mantuvieron una estructura interna libre de interferencias por parte de las piezas que lo componen y permitieron un desplazamiento controlado en los mecanismos de ajuste (Figura 34A y Figura 34F). Por otro lado, en ambos diseños, las ranuras empleadas para variar el ancho y largo se conservaron, permitiendo una correcta alineación de las piezas involucradas, garantizando una estabilidad durante el movimiento al momento de ajustarse en las distintas tallas (Figura 34C y Figura 34D) para la versión con superficie perforada y (Figura 34H y Figura 34I) para superficie lisa.

Además, los topes superiores (Figura 34B y Figura 34G) e inferiores (Figura 34C y Figura 34H) evitaron desplazamientos no deseados, también mantuvieron las piezas unidas durante el uso de la cubeta dental ajustable. El ajuste de la apertura por medio de un encaje a presión se encontraba debajo de los topes superiores. En ambas versiones, los bordes redondeados y rebajados reducen el contacto con las encías, evitando puntos de presión, mejorando la comodidad durante el proceso de la toma de impresión dental con alginato

(Figura 34E y Figura 34J).

En cuanto al sistema de ajuste de largo, la guía rectangular funcionó adecuadamente al variar de tamaño, logrando mantener estabilidad y alineación de las piezas (Figura 34D y Figura 34I).

Figura 34. Cubeta dental ajustable de impresa en PC con superficie perforada y lisa (A,F) vista superior del prototipo, (B,G) tope superior, (C,H) tope inferior junto al ajuste de ancho, (D,I) ajuste de largo y (E,J) vista general del uso de la cubeta dental ajustable



8.4. Impresiones dentales con alginato

Se observó que el tiempo de gelificación del alginato no dependía del material de la cubeta dental, ya que al haber aplicado más agua de la medida indicada a temperatura ambiente, hizo retardar la gelificación del alginato, teniendo más tiempo para la colocación en el modelo anatómico usado.

8.4.1. Impresiones con la cubeta perforada

Durante las pruebas, la cubeta ajustable perforada mostró un desempeño estable y funcional. La estructura mantuvo la alineación de sus piezas sin movimientos indeseados durante la carga del material y la colocación sobre el modelo anatómico dental (tipodonto). Las perforaciones cumplieron su función al permitir la salida del exceso de alginato, evitando la acumulación de aire y logrando un llenado uniforme de la cavidad bucal (Figura 35). El cambio de talla se realizó con facilidad, permitiendo ajustar el ancho y el largo de manera rápida sin comprometer la estabilidad del sistema. En cuanto a la apertura, los modelos utilizados presentaban arcadas no tan anchas, por lo que no fue necesario ampliar este parámetro durante las pruebas.

Figura 35. Colocación de la cubeta dental ajustable perforada en el modelo anatómico durante la toma de impresión









En las impresiones negativas (alginato) se observó que las tres tallas (S,M y L) lograron adaptarse correctamente a diferentes dimensiones de arcada dental, cubriendo las zonas anatómicas dentales necesarias. Las impresiones fueron continuas, sin presencia de burbujas, vacíos o irregularidades superficiales. Las paredes de la cubeta proporcionaron un soporte adecuado, evitando desplazamientos del material durante todo el proceso (Figura 36).

En las impresiones positivas (yeso), se obtuvo cada una de las reproducciones anatómicas precisas y uniformes. Las estructuras obtenidas en la impresión negativa con alginato mantuvieron su forma tras el fraguado del yeso y no se observaron deformaciones ni desprendimientos al retirar los modelos. Las piezas conservaron su unión hasta el proceso final de limpieza, mostrando una adecuada estabilidad de la cubeta dental ajustable (Figura 36).

Según las observaciones del personal asistente, el mecanismo de ajuste fue estable y fácil de manipular durante todo el proceso, permitiendo el uso de la cubeta sin complicaciones. Solamente se señaló que las paredes podrían ser ligeramente más bajas para optimizar la cantidad de material de impresión requerido, sin afectar la calidad obtenida.

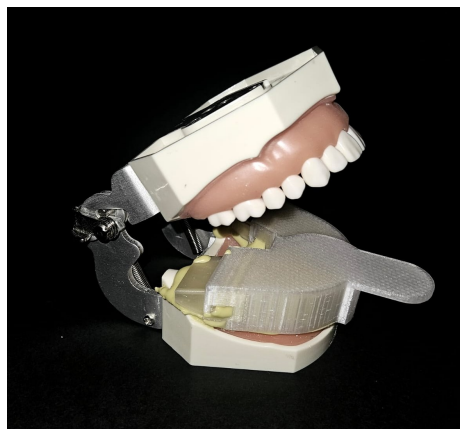
Figura 36. Resultados de las impresiones negativas (alginato) y positivas (yeso) obtenidas con la cubeta perforada en tres tallas (S, M y L)

	Talla S	Talla M	Talla L
Impresión negativa (alginato)			
Impresión positiva (yeso)			

8.4.2. Impresiones con la cubeta lisa

En las pruebas con la cubeta ajustable de superficie lisa, la estructura mantuvo su estabilidad durante toda la toma de impresión y el fraguado, sin presentar desplazamientos ni movimientos entre las piezas. A diferencia de la cubeta perforada, el exceso de material no tuvo salida, por lo que se requirió una mayor cantidad de alginato para llenar el molde completo (Figura 37).

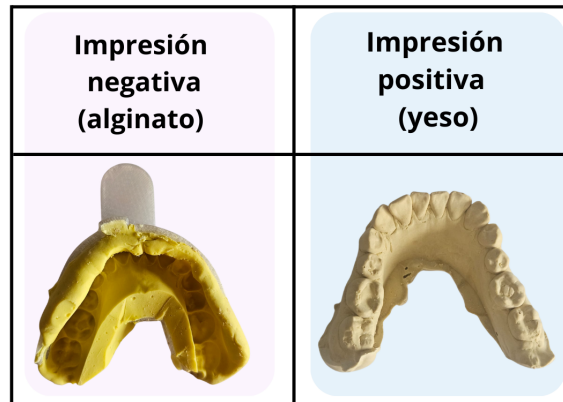
Figura 37. Colocación de la cubeta dental ajustable lisa en el modelo anatómico durante la toma de impresión



Las impresiones negativas conservaron una buena definición anatómica y no mostraron burbujas ni deformaciones, aunque se observó un ligero desperdicio de material. Durante la gelificación, las paredes ofrecieron soporte suficiente, manteniendo la forma del molde hasta el retiro del alginato.

Las impresiones positivas en yeso también fueron satisfactorias, sin fracturas ni deformaciones visibles, y el conjunto de piezas permaneció firmemente ensamblado hasta el final del procedimiento.

Figura 38. Impresión negativa y positiva usando cubeta ajustable dental con superficie lisa



8.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable





El prototipo de la cubeta dental ajustable tuvo una inversión de acuerdo con el material utilizado, ya sea ácido poliláctido (PLA) para los prototipos y policarbonato (PC) para el producto final. El costo más alto correspondió al material empleado en la impresión del producto final, mientras que la actividad con menor costo fue la mano de obra (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de costos de fabricación de cubetas dentales ajustables en PLA y PC

Concepto	PLA (Q)	PC (Q)
Materiales		
Pieza 1	16.50	16.36
Pieza 2	12.00	12.46
Pieza 3	3.00	2.30
Pieza 4	3.00	2.16
Mano de obra		
Impresión	36.92	16.55
Limpieza	0.50	0.50
Acabado	0.50	0.50
Costo total	72.91	50.83

8.6. Comparación entre cubeta convencional y cubeta dental ajustable

Cuadro 10. Comparación entre cubeta dental convencional y cubeta dental ajustable

Aspecto	Cubeta dental convencional	Cubeta dental ajustable
Estructura		
Impresión dental		

■ Cubeta dental ajustable:

- El diseño permitió variar el largo, ancho y apertura según el tamaño de la arcada dental.
- Presentó una estructura rígida y estable.
- El color transparente del material de impresión (policarbonato) puede mancharse con el uso.
- La fabricación fue por medio de impresión 3D.
- Permitted obtener adecuadamente la anatomía dental.

■ Cubeta dental convencional:

- Es fabricado con plástico rígido como el polipropileno por moldeo por inyección.
- Las dimensiones son estándares sin la posibilidad de ajuste.
- Requiere disponer de diferentes tallas para atender a todos los pacientes.
- Reproduce adecuadamente la anatomía dental.

Se desarrolló una cubeta dental ajustable por medio de la impresión 3D con el propósito de adaptarse a diferentes tamaños de arcadas dentales como una alternativa a las cubetas convencionales que son de tallas fijas. En la fase de diseño se realizaron siete versiones que fueron impresas en ácido poliláctico (PLA), permitiendo analizar la estructura de cada una de las iteraciones del modelo hasta obtener una cubeta dental ajustable óptima. Se llevaron a cabo pruebas de compresión a distintos patrones de relleno antes de la fabricación final del prototipo. Los patrones analizados fueron el patrón triangular, giroide y panal de abeja o hexagonal. Se imprimió en policarbonato (PC) dos versiones del modelo final; la primera cuenta con una superficie lisa y la otra con superficie perforada. Para evaluar el desempeño del prototipo se realizaron tomas de impresiones dentales con alginato.

9.1. Iteraciones del diseño de la cubeta dental ajustable

El ensamble tipo ranura con pasador que se utilizó como unión provisional en las primeras cinco versiones del modelo permitió ajustar el ancho, largo y apertura de la cubeta dental ajustable; sin embargo, el pasador cilíndrico de un radio de 1.05mm concentraba los esfuerzos en una zona muy reducida. Al estar localizado en la parte inferior donde se acumulaban las cargas durante el proceso de ajuste, el elemento trabajaba principalmente a flexión y corte, provocando su fractura tras varios intentos [55].

En cuanto a la sexta versión, la colocación de los pasadores cilíndricos en la parte superior, la presión generada entre las ranuras y los cilindros aumentó la fricción, restringiendo el desplazamiento, evitando alcanzar la talla más pequeña (talla S). Asimismo, la guía C puesta en la sexta versión para el ajuste de largo no permitía el encaje óptimo entre las piezas. Esto evidenció la importancia de minimizar los puntos de contacto excesivos en diseños con mecanismos ajustables para conservar la movilidad acorde al diseño propuesto [62].

Por último, el encaje a presión en el arco superior de la cubeta dental ajustable y un ensamble por ranuras en el arco inferior recto y en la unión de las piezas para variar el

largo de la cubeta permitieron equilibrar mejor la distribución de cargas, manteniendo la alineación y asegurar un ajuste sin perder estabilidad. Asimismo, estos ensambles favorecían la continuidad de las paredes laterales del prototipo.

9.2. Caracterización mecánica del material de impresión

Las dimensiones propuestas por Pimentel en 2019 se adaptaron bien a las limitaciones dichas por el proveedor, garantizando una buena estabilidad durante los ensayos de compresión. Aunque todas las muestras tuvieron una densidad de relleno del 70 %, el comportamiento mecánico varió significativamente según el patrón de relleno [63].

El patrón triangular tuvo un módulo de Young de 737MPa, esto se debe a la geometría bidimensional con ángulos de 60°, facilitando la distribución uniforme de cargas y esto reduce las concentraciones de esfuerzos. Además, este tipo de relleno es conocido por tener una alta rigidez, haciéndolo adecuado para estructuras que requieran resistencia elevada [64]. Por otro lado, el patrón de panal de abeja presentó una rigidez de 625MPa. Al ser también una estructura bidimensional, equilibra la estabilidad lateral con una cantidad menor de uniones por unidad de área, comparándolo con el patrón triangular, que tiene más uniones [65]. Aunque la orientación de este patrón de relleno no soporta directamente la carga axial, reduciendo su rigidez frente al patrón triangular. Finalmente, el patrón giroide mostró la rigidez menor de los tres tipos de relleno con un módulo de elasticidad de 507MPa. Esto ocurrió debido a que la estructura del relleno es tridimensional. Esta característica favorece la flexibilidad, pero cuenta con menos soporte axial vertical [65].

Por lo tanto, los resultados sugieren que el patrón triangular es el más apropiado tipo de relleno más apropiado porque ofrece una estructura interna más resistente frente a los esfuerzos generados durante el ajuste y la aplicación continua; así, la cubeta dental ajustable no es propensa a fracturarse ante impactos o esfuerzos repetitivos durante su manipulación. Aunque este patrón presentó una mayor desviación estándar (Figura 31) indicando una variabilidad notable entre las muestras, la resistencia y la capacidad de mantener la integridad de la estructura son más relevantes que las diferencias entre las muestras.

En cuanto al análisis de esfuerzos estáticos aplicado en el mango de la cubeta dental ajustable, se obtuvo un factor de seguridad alto de 8.069 (Figura 33). Este resultado afirmó que las propiedades del policarbonato son buenas para instrumentos como las cubetas dentales, ya que este material presenta una resistencia a la tracción de 54.88 MPa y un módulo flexural de 1073MPa, lo que garantiza una buena rigidez y resistencia ante cargas repetitivas. Además, su alta elongación al rompimiento, que es del 150 %, permite que el material absorba tensiones sin fracturarse, permitiendo mantener una estabilidad estructural buena del diseño [66].

9.3. Diseños finales fabricados en policarbonato (PC)

Durante las pruebas de ajuste, las cuatro piezas mantuvieron una alineación uniforme sin desajustes durante su uso. El sistema de ranuras permitió un desplazamiento controlado

y estable entre las piezas que ajustan el ancho y largo de la cubeta dental, evitando movimientos no deseados; al mismo tiempo, permitía cambiar fácilmente según el tamaño de arcada dental (Figura 34). Este tipo de ensamble es efectivo debido a que la ranura guía el movimiento a una dirección, mientras que el agujero rectangular asegura un acoplamiento firme que evita desplazamientos laterales o rotacionales, distribuyendo las cargas de manera uniforme [55].

Por otro lado, las guías rectangulares demostraron un comportamiento estable en la variación del largo, reduciendo el riesgo de separación e interferencia en el proceso de la toma de impresión dental. Esto funcionó, ya que las guías rectangulares actúan como un marco que limitaba el movimiento a menos que se aplicara una fuerza mayor para desplazar la pieza (Figura 30).

9.4. Impresiones dentales con alginato

Durante las tomas de impresión dental, las perforaciones de la cubeta ajustable perforada permitieron la salida del exceso de alginato, minimizando la presión interna dentro de la cubeta [34], mejorando la retención del material de impresión (Figura 35). Por otro lado, la cubeta de superficie lisa mantuvo una buena estabilidad durante la toma de impresión. Sin embargo, se requirió más material debido a la ausencia de vías de escape para el exceso de alginato, esto provocaba el desperdicio de material (Figura 38). Cuando el exceso del alginato no puede salir del interior de la cubeta, el material queda atrapado en las paredes, generando una presión interna que puede alterar la precisión del registro de la anatomía dental. Además, esta presión puede provocar la formación de burbujas de aire, afectando la calidad y fidelidad de la impresión [67]. Cabe mencionar que el tiempo de la realización de impresión y el tiempo de gelificación del alginato dependió de la temperatura del agua que se usó y la manera en que fue mezclado [43], por lo que el material con que fue fabricada la cubeta dental ajustable no fue el causante de que tan rápido se gelificara el alginato durante la impresión negativa.

Además, la altura ligeramente excesiva de las paredes incrementó la cantidad de material necesaria para llenar la cubeta con alginato. Por lo que una altura moderada sería suficiente para contener el material de forma adecuada y evitaría ejercer presión o molestar la encía durante el uso del instrumento.

9.5. Análisis de costos de fabricación de la cubeta dental ajustable

El costo total de la cubeta fabricada en policarbonato tuvo un precio de Q50.83 siendo superior al de un kit comercial de cubetas convencionales plásticas con un precio de Q41.40 [68]. Esta diferencia es debida al tipo de proceso de fabricación usado. Las cubetas comerciales se producen por medio del moldeo por inyección [69], método industrial automatizado que permite fabricar miles de unidades iguales, haciendo que el costo reduzca gracias a la economía de escala, donde los costos disminuyen al aumentar el volumen de producción [70]. Por otro lado, la fabricación se realizó por medio de impresión 3D por deposición

fundida (FDM), proceso con un proceso lento; esto incrementa el costo por pieza debido al tiempo de impresión y al consumo del material. Los prototipos elaborados con ácido poliláctico (PLA) resultaron más costosos que los fabricados con policarbonato (PC) ya que la impresora Ultimaker usada para los prototipos con PLA tuvo un tiempo de impresión cercano al doble que la Bambu Lab PS1, utilizada para el PC. Asimismo, la diferencia se debe a la velocidad de extrusión, precisión de la impresora, características que optimizan el proceso y reducen significativamente el tiempo de fabricación.

9.6. Comparación entre una cubeta convencional y una cubeta dental ajustable

La cubeta dental ajustable demostró ser una alternativa frente a las cubetas dentales convencionales, ya que permitió variar los tamaños de largo, ancho y apertura de la cubeta dental, siendo una ventaja por adaptarse a diferentes arcadas dentales. Asimismo, la rigidez del policarbonato, material usado, proporcionó rigidez y estabilidad. Estas cualidades son importantes para la toma de impresiones dentales. Por otro lado, las cubetas convencionales, aunque también cumplen su función de reproducir con precisión la anatomía dental, una de sus limitaciones es la adaptabilidad a distintos tamaños al estar fabricadas en tallas fijas. Además, la fabricación por moldeo por inyección. Este método es utilizado en la industria, permitiendo una producción masiva a bajo costo debido a la economía de escala, haciéndolo más accesible en entornos clínicos de alta demanda. En contraste, la cubeta ajustable fue fabricada por medio de la impresión 3D, este método es mas costoso debido al mayor tiempo de fabricación capa por capa y el consumo de filamento y energía.

El propósito de este trabajo fue desarrollar una cubeta dental ajustable por medio de la impresión 3D, permitiendo adaptarse a distintos tamaños de arcadas dentales. Esta es una alternativa al uso de múltiples cubetas convencionales de tallas fijas.

El diseño final demostró que la incorporación de ranuras para ajustar el largo y el ancho, junto al encaje a presión para la apertura, constituyó la configuración más adecuada para garantizar la estabilidad y alineación de las piezas que conforman la cubeta dental ajustable, logrando cumplir el primer objetivo, diseñar una cubeta dental que se adapte a distintas arcadas dentales.

La caracterización del material demostró que la resistencia a la compresión varía según la geometría del patrón de relleno, siendo el patrón triangular el más resistente, con un módulo de Young de 737MPa, mostrando una mayor rigidez, favoreciendo la estabilidad de la estructura. Es importante determinar la resistencia del material, ya que la cubeta dental ajustable resiste cargas durante el ajuste de las piezas y el proceso de impresión sin causar fracturas en la reproducción de la arcada dental. Además, se comprobó que el policarbonato fue un material adecuado para esta aplicación, ya que ofreció rigidez, biocompatibilidad y estabilidad en el diseño al no causar reacciones adversas en los tejidos cuando entró en contacto con la mucosa oral. Por lo tanto, se cumplió el objetivo de caracterizar las propiedades mecánicas del material seleccionado para garantizar un buen desempeño en la aplicación.

Las impresiones dentales con alginato evidenciaron que tanto la cubeta con superficie lisa como la perforada lograron reproducir adecuadamente la anatomía dental. Sin embargo, la cubeta perforada mostró un mejor comportamiento al permitir la salida del exceso del material de impresión, disminuyendo la presión interna y evitando la formación de burbujas durante el proceso de impresión. Por otro lado, la versión con superficie lisa requirió mayor cantidad de alginato, ya que no se removió el exceso de material. Por ende, se logró cumplir el objetivo de diseñar dos versiones del modelo final con y sin perforaciones mediante la impresión 3D.

La cubeta dental ajustable y la convencional lograron reproducir adecuadamente la ana-

tomía dental. Sin embargo, la cubeta ajustable mostró mayor capacidad de adaptabilidad al poder variar el ancho, largo y apertura según la anatomía dental, sin comprometer la estabilidad ni la precisión en la toma de impresiones con alginato. Aunque el costo de la cubeta ajustable fue superior a la convencional debido al proceso de fabricación, ya que la impresión 3D es capa por capa, mientras que las cubetas convencionales son producidas por moldeo por inyección, cuya fabricación es masiva, logrando reducir los costos gracias a la economía de escala. Por ende, se cumplió el objetivo de comparar los dos tipos de cubeta dental, demostrando que la versión ajustable ofrece ventajas frente a las convencionales.

Finalmente, el desarrollo de la cubeta dental ajustable demostró que es posible desarrollar un modelo funcional y adaptable por medio de la impresión 3D, capaz de sustituir el uso de múltiples cubetas dentales convencionales de distintas tallas. Además, el plicarbonato como material de impresión permitió obtener una estructura rígida y estable, esencial para soportar las cargas aplicadas durante el ajuste de las piezas y durante la toma de impresiones. Asimismo, los mecanismos de ajuste permitieron adaptar el instrumento a diferentes tamaños de arcada dental. Cabe mencionar que el diseño representó un gran reto, ya que el espacio disponible era limitado para integrar todos los mecanismos de ajuste sin comprometer la integridad de los tejidos durante el procedimiento, la alineación de las piezas ni interferir con el espacio interno destinado al material de impresión. Ante todas las restricciones, se logró evidenciar que la impresión 3D es una herramienta eficaz para el desarrollo de instrumentos para aplicaciones de odontología aunque se recomienda optimizar el diseño para reducir costos y tiempos de fabricación, así como explorar otros materiales que proporcionen estabilidad en la estructura.

Esta investigación representó la primera etapa del desarrollo de una cubeta dental ajustable fabricada por medio de la impresión 3D. Si bien el prototipo logró cumplir con su función, adaptarse a diferentes tamaños de arcada dental, se identificó la necesidad de optimizar el diseño. La altura de las paredes se debe reducir para mejorar la comodidad durante la toma de impresión y no comprometer la integridad de los tejidos blandos de la cavidad oral. Asimismo, será necesario realizar pruebas en personas con arcadas dentales de diferentes tamaños con el fin de evaluar la adaptabilidad y estabilidad en condiciones reales.

La altura de las paredes se mantuvo ligeramente elevada debido a los elementos de seguridad incorporados en el diseño, como los topes que evitan movimientos indeseados durante el uso del instrumento. Si las paredes fueran más bajas, estos elementos interferirían con el espacio interno de la cubeta, afectando la funcionalidad. Se propone sustituir el encaje a presión usado para la variación de apertura por un ensamble de ranura-pasador en la superficie superior que permita adaptarse a distintos tamaños de arcada sin crear presión sobre las otras piezas.

Para ampliar el estudio, se recomienda comparar la precisión de las impresiones dentales obtenidas con alginato frente a las obtenidas por medio de un escáner intraoral 3D para evaluar la exactitud y reproducibilidad de ambos métodos.

Además, se sugiere rediseñar la cubeta ajustable para que pueda emplearse tanto en impresiones de arcada completa como en impresiones seccionales. Por lo que se propone dividir el mango en dos segmentos, ubicándolos en la parte superior de las piezas. También, que pueda ensamblarse para formar un solo mango cuando se necesite la impresión completa de la arcada. Finalmente, se propone explorar nuevos materiales con propiedades mecánicas y biocompatibles que permitan fabricar cubetas más ligeras y duraderas. Finalmente, se recomienda desarrollar una versión destinada a personas con ausencia total de dientes, incorporando paredes de menor altura para optimizar el uso de material y facilitar el acceso a las zonas a tratar.

La implementación de las mejoras propuestas permitirá optimizar el desempeño de la

cubeta dental ajustable, logrando una adaptación más cómoda y precisa a diferentes arcadas dentales. En cuanto a la versión orientada a permitir su uso tanto en impresiones seccionales como en impresiones completas, esto podría reducir la necesidad de múltiples modelos. Asimismo, la incorporación de nuevos materiales y mecanismos de ensamble podría aumentar la durabilidad del instrumento y facilitar su producción.

La comparación con la tecnología digital como el escáner intraoral 3D abriría nuevas líneas de investigación que integrarían métodos tradicionales y digitales para la toma de impresiones dentales.

-
- [1] H. Aldana Sepúlveda y H. Garzón Rayo, «Toma de impresiones en prótesis fija: implicaciones periodontales,» *Avances en odontoestomatología*, vol. 32, n.º 2, págs. 83-95, 2016.
 - [2] L. Manosov, D. Unkuta, M. Hacina y O. Cheptanaru, «Digital and conventional impression techniques of obtaining complete-arch dental impression,» *Medicina stomatologică*, vol. 62, n.º 1, págs. 112-118, 2023. DOI: 10.53530/1857-1328.23.1.13.
 - [3] M.-J. Yun, Y.-C. Jeon, C.-M. Jeong y J.-B. Huh, «Comparison of the fit of cast gold crowns fabricated from the digital and the conventional impression techniques,» *The Journal of Advanced Prosthodontics*, vol. 9, n.º 1, págs. 1-13, 2017. DOI: 10.4047/jap.2017.9.1.1.
 - [4] S. Rues, T. Stober, T. Bargum, P. Rammelsberg y A. Zenthöfer, «Disposable plastic trays and their effect on polyether and vinyl polysiloxane impression accuracy—an in vitro study,» *Clinical Oral Investigations*, vol. 25, n.º 3, págs. 1475-1484, 2021.
 - [5] V. Krishna CH et al., «Fabrication of customized sectional impression trays in management of patients with limited mouth opening: a simple and unique approach,» *Case Reports in Dentistry*, vol. 2013, n.º 1, pág. 275047, 2013. DOI: 10.1155/2013/275047.
 - [6] M. Arora, S. Kohli y R. Kalsi, «Influence of custom trays, dual-arch passive, flexed trays and viscosities of elastomeric impression materials on working dies,» *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*, vol. 10, n.º 5, ZC112, 2016. DOI: 10.7860/JCDR/2016/16851.7840.
 - [7] F. San Martín-Forray, «Técnica de impresión para rebordes móviles. Parte 1: maxilar,» *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, vol. 10, n.º 3, págs. 173-175, 2017. DOI: 10.4067/S0719-01072017000300173.
 - [8] G. Cervino et al., «Alginate materials and dental impression technique: A current state of the art and application to dental practice,» *Marine drugs*, vol. 17, n.º 1, pág. 18, 2018. DOI: 10.3390/md17010018.

- [9] E. K. C. Damodara, *Clinical Trial to Determine the Accuracy of Prefabricated Trays for Making Alginate Impressions*, Master's thesis, dirección: <https://digitalcommons.library.uab.edu/etd-collection/6615/>, Birmingham, Alabama, 2008.
- [10] A. C. Novac et al., «Conventional Dental Impressions vs. Impressions Reinforced with Rigid Mouthguards,» *Polymers*, vol. 16, n.º 7, pág. 994, 2024. DOI: 10.3390/polym16070994.
- [11] M. Pal'ovčík, J. Tomášik, M. Zsoldos y A. Thurzo, «3D-printed accessories and auxiliaries in orthodontic treatment,» *Applied Sciences*, vol. 15, n.º 1, pág. 78, 2024. DOI: 10.3390/app15010078.
- [12] R. Subramani et al., «Advancements in 3D printing materials: A comparative analysis of performance and applications,» *Applied Chemical Engineering*, vol. 7, n.º 2, ACE-3867, 2024.
- [13] M. Jeong, K. Radomski, D. Lopez, J. T. Liu, J. D. Lee y S. J. Lee, «Materials and applications of 3D printing technology in dentistry: An overview,» *Dentistry journal*, vol. 12, n.º 1, pág. 1, 2023. DOI: 10.3390/dj12010001.
- [14] D. Tichá, J. Tomášik, L. Oravcová y A. Thurzo, «Three-Dimensionally-Printed polymer and composite materials for dental applications with focus on orthodontics,» *Polymers*, vol. 16, n.º 22, pág. 3151, 2024. DOI: 10.3390/polym16223151.
- [15] S. M. Sundaram y V. V. Nandini, «Revolutionizing Dental Restorations: The Impact of Digital Impressions on Conventional Techniques and Modern Implant Dentistry,» *Sch J Dent Sci*, vol. 9, págs. 139-142, 2024. DOI: 10.36347/sjds.2024.v11i09.006.
- [16] H. M. Binhuraib et al., «Prosthodontic care for patients with trismus: a comprehensive review,» *International Journal Of Community Medicine And Public Health*, vol. 12, págs. 550-554, 1 2024, ISSN: 2394-6040. DOI: 10.18203/2394-6040.ijcmph20244071. dirección: <https://www.ijcmph.com/index.php/ijcmph/article/view/13549>.
- [17] S. d. l. Á. Vásquez-Barberán, D. C. Freire-Villena y J. F. Mayorga-Pico, «Análisis de las técnicas para la toma de impresiones en prótesis parcial removible,» *Revista de Ciencias Médicas de Pinar del Río*, vol. 27, 2023.
- [18] C. E. Restrepo-Villamizar, *Guía práctica para la toma de impresión en alginato*, Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud, Example City, CA, 2019. DOI: 10.16925/GCGP.18.
- [19] O. M. Rijal, N. A. Abdullah, Z. M. Isa, F. A. Davaei, N. M. Noor y O. F. Tawfiq, «A novel shape representation of the dental arch and its applications in some dentistry problems,» en *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, IEEE, 2011, págs. 5092-5095. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091261.
- [20] P. Agurto y P. Sandoval, «Morfología del arco maxilar y mandibular en niños de ascendencia mapuche y no mapuche,» *International Journal of Morphology*, vol. 29, n.º 4, págs. 1104-1108, 2011. DOI: 10.4067/S0717-95022011000400005.
- [21] A. Sharma, P. Arora y S. S. Wazir, «Hinged and sectional complete dentures for restricted mouth opening: A case report and review,» *Contemporary Clinical Dentistry*, vol. 4, n.º 1, págs. 74-77, 2013. DOI: 10.4103/0976-237X.111597.

- [22] P. S. Patil, R. Chowdhary y S. Mishra, «Comparison of custom trays and stock trays using polyvinylsiloxane to evaluate linear dimensional accuracy: An: in vitro: study,» *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, vol. 8, n.º 3, págs. 156-161, 2008. DOI: 10.4103/0972-4052.49021.
- [23] K. Jeldi, A. Mehta, R. Gupta y S. Gill, «Modified impression technique for flabby ridge using sectional magnet retained custom tray,» *International Journal of Applied Dental Sciences*, vol. 10, págs. 89-92, 3 2024, ISSN: 2394-7497. DOI: 10.22271/oral.2024.v10.i3b.1988. dirección: <https://doi.org/10.22271/oral.2024.v10.i3b.1988>.
- [24] M. A. Solares Afre, *Informe final programa Ejercicio Profesional Supervisado realizado en la Clínica Dental de Fundación Mag de aldea Los Macizos, Chiquimulilla, Santa Rosa y Pacific Dental Services en Santo Domingo Xenacoj, Sacatepéquez, Guatemala. Febrero 2022-marzo 2023*. Tesis de licenciatura, dirección: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/20043/1/EPS864.pdf>, Guatemala, 2023.
- [25] E. Gálvez Guerra, *Informe final del Programa Ejercicio Profesional Supervisado realizado en Asociación Comunidad Esperanza Esfuerzo 1, Zona 12, Cobán, Alta Verapaz de febrero a octubre del 2,011*. Tesis de licenciatura, dirección: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5128/1/EPS296.pdf>, Guatemala, 2012.
- [26] R. Gupta y M. Brizuela, «Dental impression materials,» en *StatPearls [Internet]*, StatPearls publishing, 2023.
- [27] M. V. Karen Emilia, *Estabilidad dimensional asociada al tiempo y conservación de impresiones dentales primarias entre dos tipos de alginatos*, B.S. thesis, 2020.
- [28] M. E. INGRASSIA TONELLI y E. RIVAROLA, «Una relación íntima: Los arcos dentarios y la lengua.,» *Revista de la Facultad de Odontología. Universidad Nacional de Cuyo*, vol. 16, n.º 1, 2022.
- [29] P. Araya Via y P. Carrasco Muñoz, *COMPARACIÓN DE LA REPRODUCCIÓN DE DETALLES ENTRE IMPRESIONES CON SILICONA DE ADICCIÓN Y DE CONDENSACIÓN CON TÉCNICA SILICONA/SILICONA EN UN PASO; CON Y SIN ACONDICIONADOR DE SUPERFICIE*, 2012.
- [30] J. Gómez Vázquez, *Exactitud de prototipo de escáner 3D fotogramétrico de código abierto para uso ortodóncico*, Tesis de maestría, dirección: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/17746>, 2022.
- [31] X. A. Villegas Amán, *Identificación de microorganismos presentes en impresiones dentales de alginato en pacientes que asisten a la unidad de atención odontológica Unian-des*, B.S. thesis, 2017.
- [32] M. Ávila Caporal, *Materiales de impresión*, Facultad de Odontología, Universidad Nacional Autónoma de México, 1994. dirección: <http://132.248.9.195/pmig2016/0204738/0204738.pdf>.
- [33] M. A. Al Qahtani et al., «Evaluation of pre-alginate impression preparation methods in the surface accuracy of dental cast,» *The Saudi dental journal*, vol. 31, n.º 4, págs. 451-456, 2019.
- [34] S. Lakshmi, *Preclinical Manual of Prosthodontics-E-Book*. Elsevier Health Sciences, 2022.

- [35] Ş. C. Akmansoy, Z. S. Abbasgholizadeh e Y. K. Özkan, «Diagnostic Impressions and Custom-Made Trays,» en Springer International Publishing, ene. de 2018, págs. 133-187, ISBN: 9783319690322. DOI: 10.1007/978-3-319-69032-2_5.
- [36] A. D. Lab, *Tips For Taking Better Dental Impressions*, 2023. dirección: <https://assuredentallab.com/tips-for-taking-better-dental-impressions/>.
- [37] C. Shen, H. R. Rawls y J. F. Esquivel-Upshaw, *PHILLIPS. Ciencia de los materiales dentales*. Elsevier Health Sciences, 2022.
- [38] J. P. Huallpa Segura, *Nivel de Conocimientos y Actitudes sobre Desinfección de Impresiones Dentales de Alumnos de 6to y 8vo Ciclo de la Escuela Profesional de Odontología de la Universidad Privada de Tacna en el Semestre 2018-II*, 2019.
- [39] T. Dental, *What Are Dental Trays Made Of?* 2022. dirección: <https://www.tribestdental.com/what-are-dental-trays-made-of/>.
- [40] S. Gupta, A. I. Narayan y D. Balakrishnan, «In vitro comparative evaluation of different types of impression trays and impression materials on the accuracy of open tray implant impressions: A pilot study,» *International journal of dentistry*, vol. 2017, n.º 1, pág. 6 306 530, 2017.
- [41] Z. Machinery, *What Types of Plastic Are Used for Dental Thermoforming Materials?* 2025. dirección: <https://www.vacuumac.com/what-types-of-plastic-are-used-for-dental-thermoforming-materials/>.
- [42] A. Dilip, R. Gupta y Z. Geiger, «Dental Alginate Impressions,» *StatPearls*, mayo de 2023. dirección: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470480/>.
- [43] R. Sacramento y C. Roggers, *Influencia de la inmersión en soluciones desinfectantes sobre la estabilidad dimensional de impresiones con alginato*, 2021.
- [44] Y. Tian et al., «A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications,» *Scanning*, vol. 2021, n.º 1, pág. 9 950 131, 2021.
- [45] M. A. S. Guilcamaigua, «Impresión 3D: desde el diseño hasta la realidad,» *Impresión 3D: desde el diseño hasta la realidad*, 2024. DOI: 10.58594/XERV7893.
- [46] V. Mazzanti, L. Malagutti y F. Mollica, «FDM 3D printing of polymers containing natural fillers: A review of their mechanical properties,» *Polymers*, vol. 11, n.º 7, pág. 1094, 2019.
- [47] O. Ulkir, I. Ertugrul, S. Ersoy y B. Yağimli, «The Effects of Printing Temperature on the Mechanical Properties of 3D-Printed Acrylonitrile Butadiene Styrene,» *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 3376*, vol. 14, pág. 3376, 8 abr. de 2024, ISSN: 2076-3417. DOI: 10.3390/APP14083376. dirección: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/8/3376/htm%20https://www.mdpi.com/2076-3417/14/8/3376>.
- [48] S. Guessasma, S. Belhabib y H. Nouri, «Printability and Tensile Performance of 3D Printed Polyethylene Terephthalate Glycol Using Fused Deposition Modelling,» *Polymers 2019, Vol. 11, Page 1220*, vol. 11, pág. 1220, 7 jul. de 2019, ISSN: 2073-4360. DOI: 10.3390/POLYM11071220. dirección: <https://www.mdpi.com/2073-4360/11/7/1220/htm%20https://www.mdpi.com/2073-4360/11/7/1220>.
- [49] C. F. U. Pérez, *Caracterización de las propiedades mecánicas de materiales impresos mediante la técnica de impresión 3D fused deposition modeling (FDM)*, feb. de 2020. dirección: <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10301>.

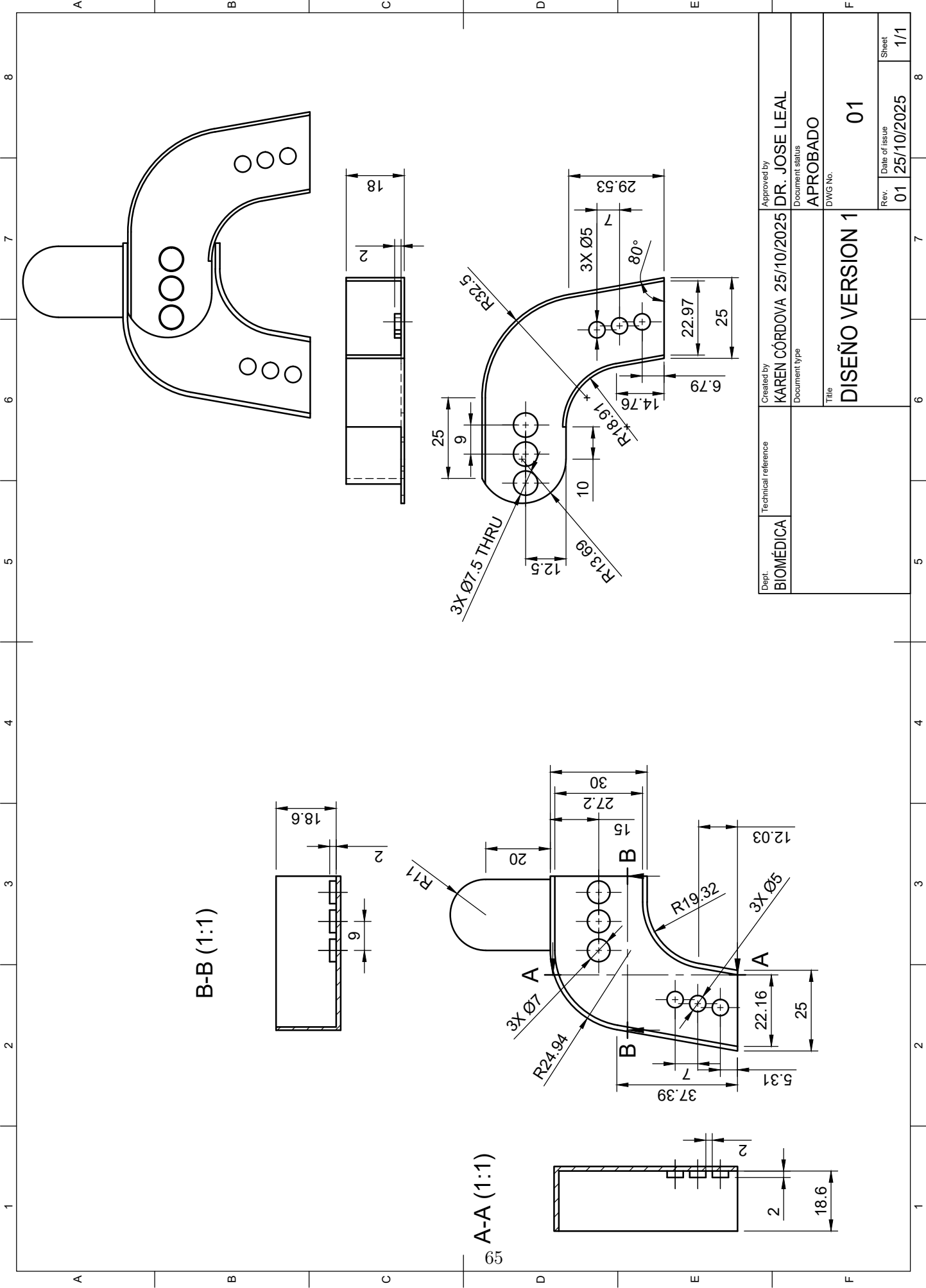
- [50] A. C. Vicent y Á. S. Aroca, «Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas,» *Nereis: revista iberoamericana interdisciplinaria de métodos, modelización y simulación*, n.º 13, págs. 227-238, 2021.
- [51] K. Tüfekci, B. G. Çakan y V. M. Küçükakarsu, «Stress relaxation of 3D printed PLA of various infill orientations under tensile and bending loadings,» *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 140, n.º 39, e54463, 2023.
- [52] M. Wikło, B. H. Byczuk y K. Skrzek, «Mechanical Characterization of FDM 3D-Printed Components Using Advanced Measurement and Modeling Techniques,» *Materials*, vol. 18, n.º 5, pág. 1086, 2025.
- [53] B. E. Beltran Condor, *Análisis de propiedades mecánicas de materiales contruidos por la tecnología de la impresión 3d-Upla Huancayo-2024*, 2025.
- [54] A. G. Gordo y N. M. Piris, *Ciencia de materiales para ingenieros*. Pearson Educación, 2012.
- [55] R. G. Budynas et al., *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Biblioteca Hernán Malo González, 2012.
- [56] R. A. Cláudio, J. Dupont, R. Baptista, M. Leite y L. Reis, «Behaviour evaluation of 3D printed polylactic acid under compression,» *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, págs. 4052-4066, nov. de 2022, ISSN: 2238-7854. DOI: 10.1016/J.JMRT.2022.10.042. dirección: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785422015824>.
- [57] X. P. Pérez, *Análisis de resistencia mecánica y térmica para piezas fabricadas en PLA con impresión 3D*. 2019. dirección: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3432>.
- [58] M. A. Hamed y T. F. Abbas, «The Impact of FDM Process Parameters on the Compression Strength of 3D Printed PLA Filaments for Dental Applications,» *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 17, págs. 121-129, 4 2023, ISSN: 22998624. DOI: 10.12913/22998624/169468.
- [59] A. Gupta, I. Fidan, S. Hasanov y A. Nasirov, «Processing, mechanical characterization, and micrography of 3D-printed short carbon fiber reinforced polycarbonate polymer matrix composite material,» *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 107, n.º 7, págs. 3185-3205, 2020.
- [60] J. Vicente, *Salario mínimo 2025 en Guatemala: aprueban aumento del 6 % y 10 %*, Consulta: 2025-??-?? 2025. dirección: <https://www.guatemala.com/noticias/sociedad/salario-minimo-2025-en-guatemala.html>.
- [61] M. Sotiriou y J. Hobkirk, «An in vivo investigation of seating and removal forces associated with recording impressions in dentate patients,» *The Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 74, n.º 5, págs. 455-462, 1995.
- [62] M. Kalifa, A. Starr y M. Khan, «Current research and challenges in modelling wear, friction, and noise in mechanical contacts,» *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, pág. 13 506 501 241 311 174, 2025.
- [63] M. Q. Tanveer, G. Mishra, S. Mishra y R. Sharma, «Effect of infill pattern and infill density on mechanical behaviour of FDM 3D printed Parts-a current review,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 62, págs. 100-108, 2022.

- [64] B. Subeshan, A. Alonayni, M. M. Rahman y E. Asmatulu, «Investigating compression strengths of 3D printed polymeric infill specimens of various geometries,» en *Nano-, Bio-, Info-Tech Sensors, and 3D Systems II*, SPIE, vol. 10597, 2018, págs. 89-94.
- [65] J. Podroužek, M. Marcon, K. Ninčević y R. Wan-Wendner, «Bio-inspired 3D infill patterns for additive manufacturing and structural applications,» *Materials*, vol. 12, n.º 3, pág. 499, 2019.
- [66] eSUN, *Filamento de impresora 3D ePC (policarbonato) eSUN*, 2021. dirección: <https://www.esun3d.com/es/epc-product/>.
- [67] G. M. Kurtzman, *Dental impression problems: Identifying and managing*, 2021. dirección: <https://dentalacademyofce.com/wp-content/uploads/2021/11/2203CEDkur.pdf>.
- [68] I. Delgado, *Cubeta De Plastico Colores KIT 12pz*, 2025. dirección: https://importadoradelgado.com/products/cubeta-de-plastico-colores-kit-12pz?_pos=2&_sid=47a3e5fe1&_ss=r.
- [69] M. H. Alyami, «The applications of 3D-printing technology in prosthodontics: A review of the current literature,» *Cureus*, vol. 16, n.º 9, 2024.
- [70] M. Parkin, *Economía* (Área: Administración y Economía). Pearson Education, 2009, ISBN: 9789702612797. dirección: <https://books.google.com.gt/books?id=GT2-PgAACAAJ>.

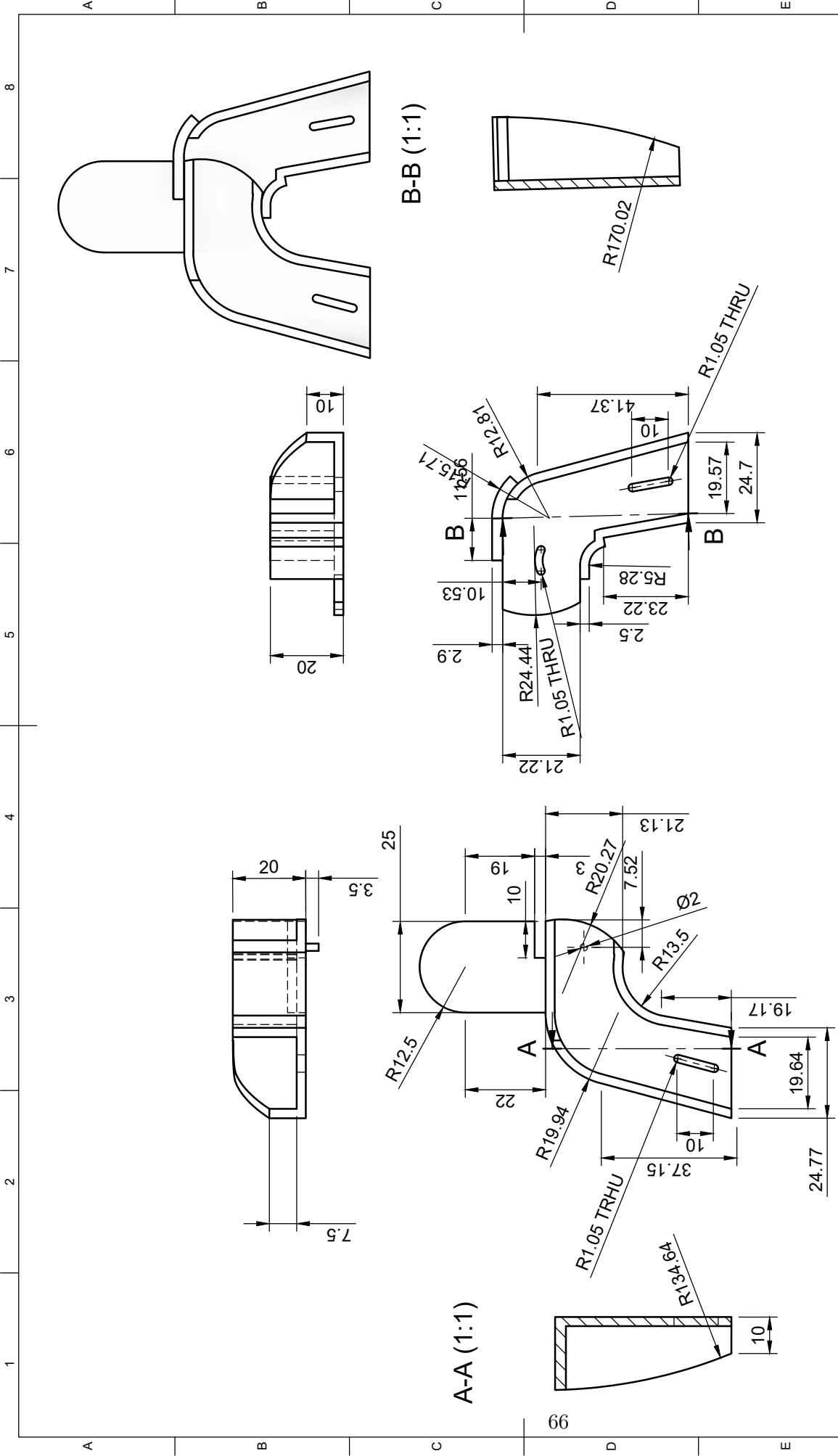
CAPÍTULO 13

Anexos

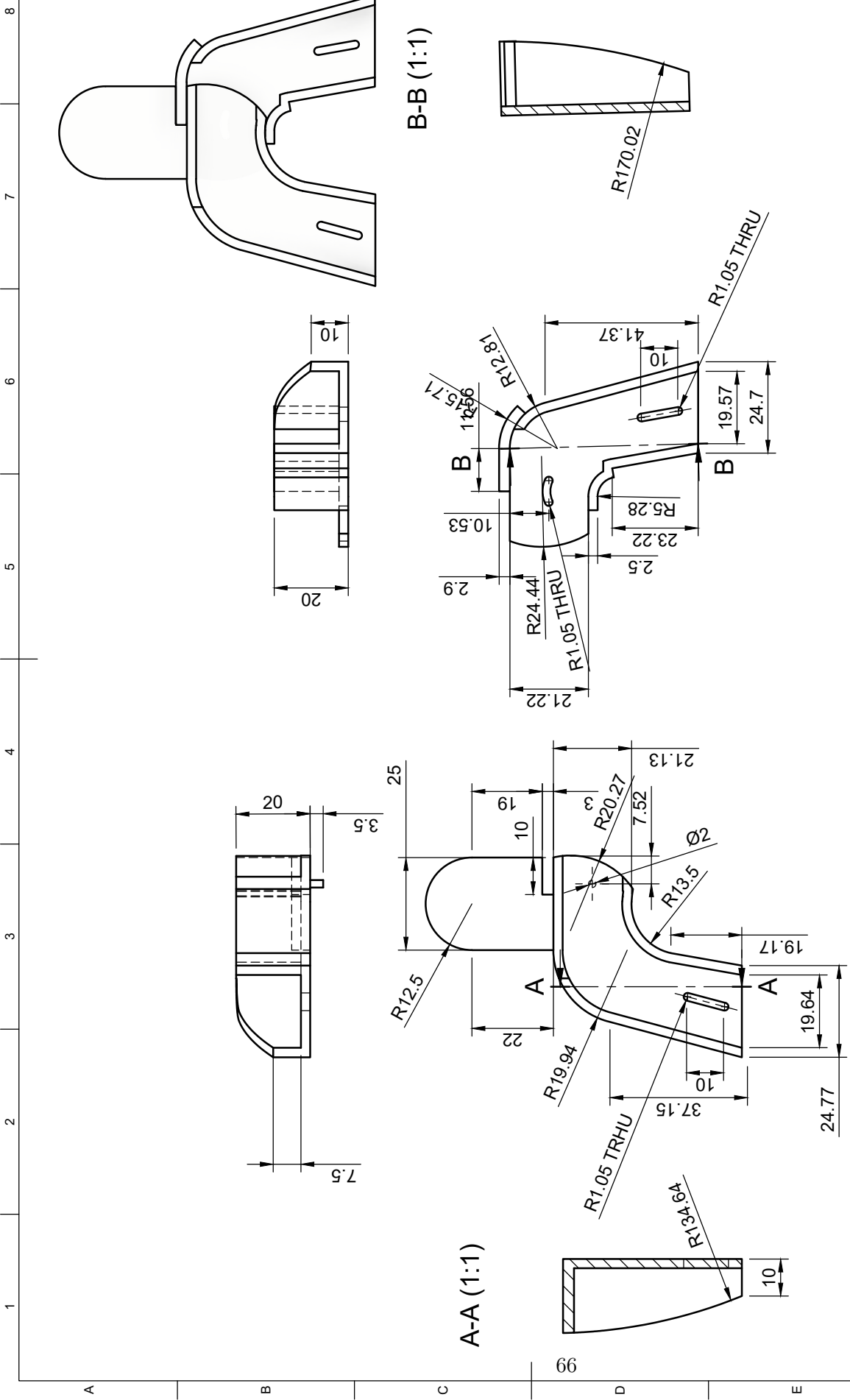
Se presentan los planos técnicos correspondientes a las ocho versiones desarrolladas durante el proceso de diseño de la cubeta dental ajustable. Cada versión muestra las diferentes modificaciones realizadas con el propósito de optimizar el sistema de ensamble y la estabilidad de las piezas.



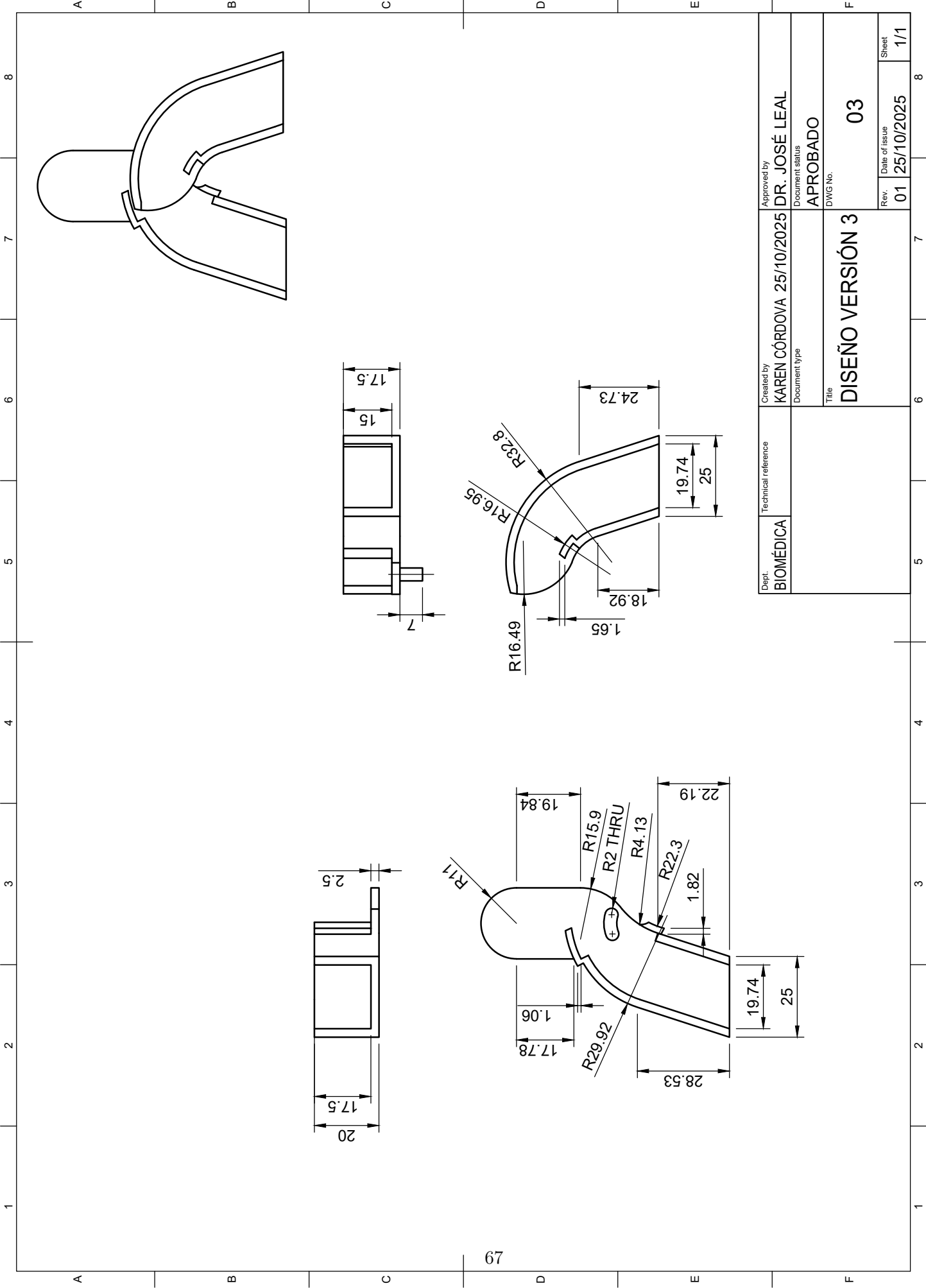
Dept.	BIOMÉDICA	Technical reference	Created by	KAREN CÓRDOVA 25/10/2025	Approved by	DR. JOSE LEAL
			Document status	APROBADO		
			Document type			
			Title	DISEÑO VERSION 1		
			DWG No.	01		
			Rev.	01	Date of issue	25/10/2025
					Sheet	1/1



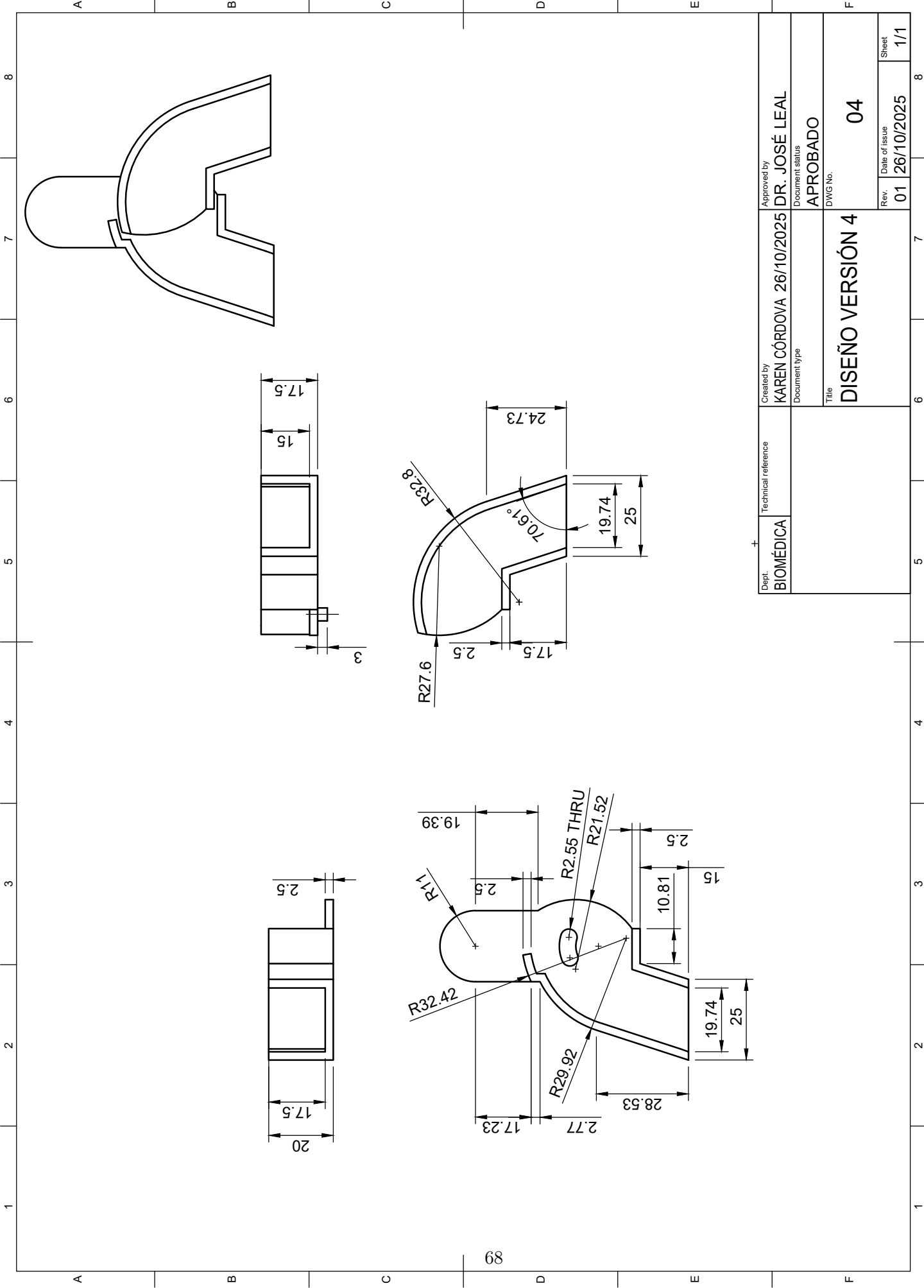
Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
BIOMÉDICA		KAREN CÓRDOVA 25/10/2025	DR. JOSÉ LEAL
		Document status	Document status
		APROBADO	APROBADO
		DWG No.	DWG No.
		Title	
		DISEÑO VERSIÓN 2	
		Rev.	Date of issue
		01	
		Sheet	1/1



99



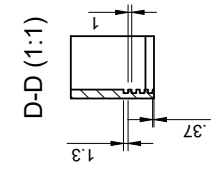
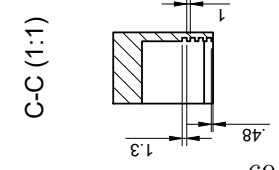
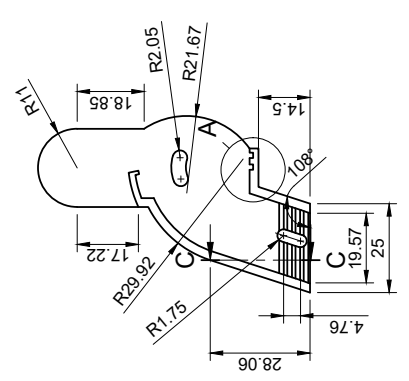
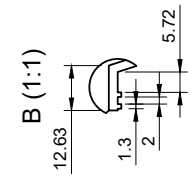
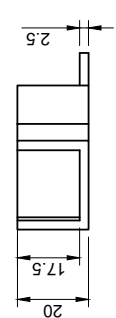
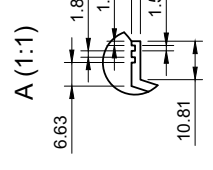
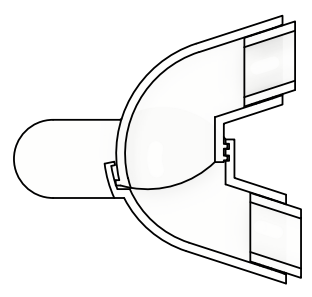
Dept.	BIOMÉDICA	Technical reference	Created by	KAREN CORDOVA 25/10/2025	Approved by	DR. JOSÉ LEAL
			Document type		Document status	APROBADO
			Title	DISEÑO VERSIÓN 3		
			DWG No.	03		
			Rev.	01	Date of issue	25/10/2025
					Sheet	1/1



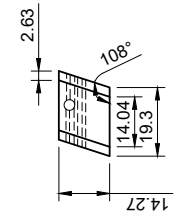
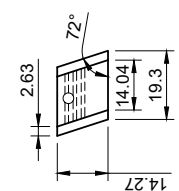
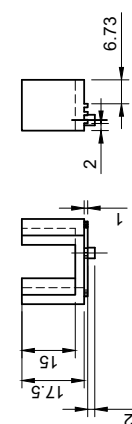
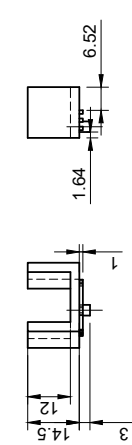
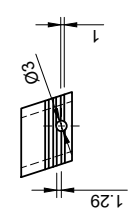
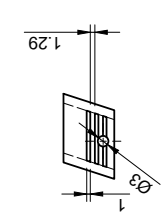
Dept. BIOMÉDICA	Technical reference	Created by KAREN CORDOVA 26/10/2025	Approved by DR. JOSÉ LEAL
		Document type APROBADO	Document status
		Title DISEÑO VERSIÓN 4	DWG No. 04
		Rev. 01	Date of issue 26/10/2025
			Sheet 1/1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

A B C D E F G H

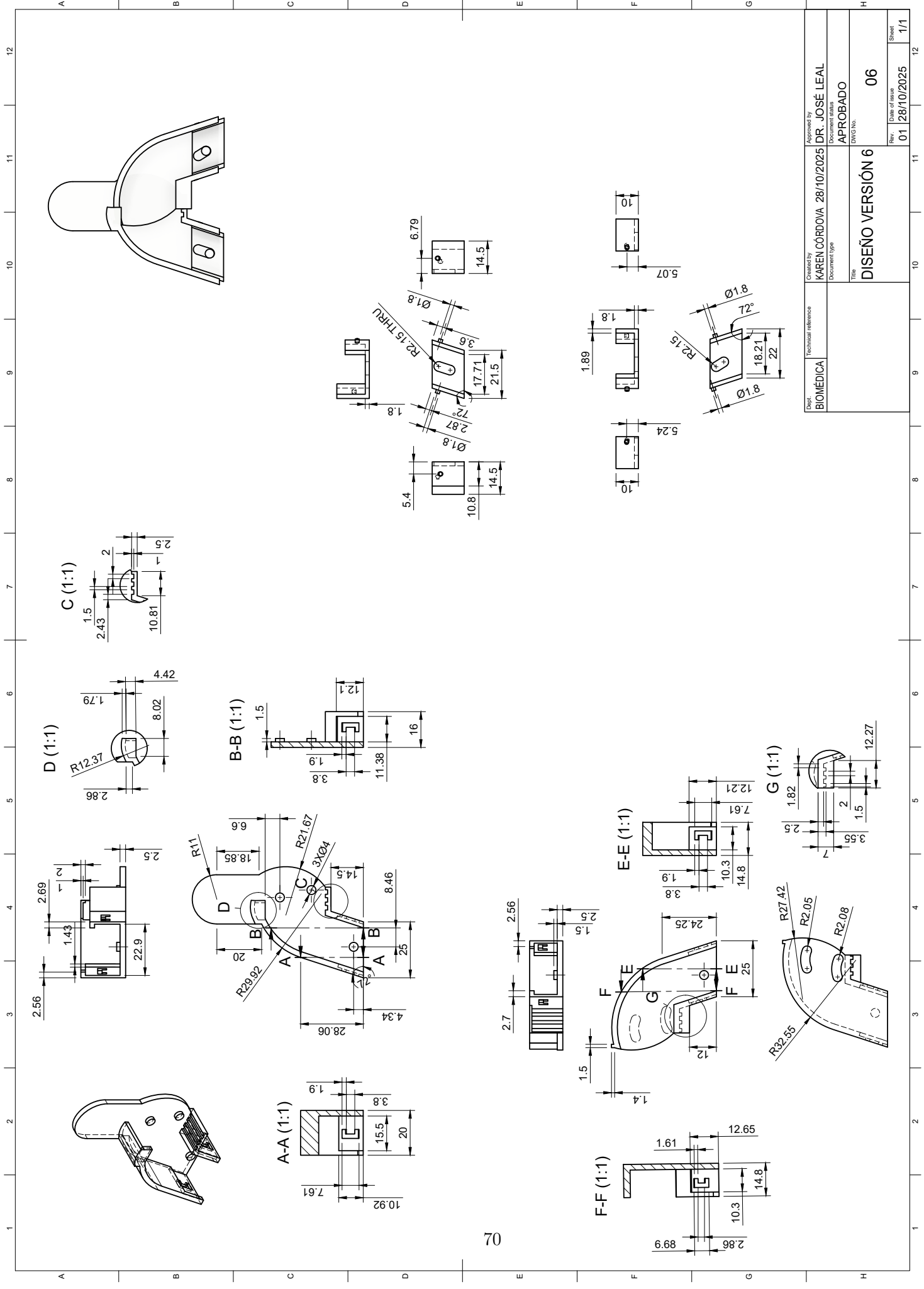


69



Dept.	BIOMÉDICA	Technical reference	
Created by	KAREN CORDOVA	27/10/2025	Approved by
Document status	APROBADO		DR. JOSE LEAL
DWG No.	05		Date of issue
			01/27/10/2025
Title		DISEÑO VERSIÓN 5	
Sheet	1/1		

A B C D E F G H 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Dept.	BIOMÉDICA	Technical reference	Created by	KAREN CORDOVA	28/10/2025	Approved by	DR. JOSÉ LEAL
			Document type	APROBADO		Document status	APROBADO
			Title	DISEÑO VERSIÓN 6			
			DWG No.	06			
			Rev.	01	28/10/2025	Date of issue	1/1
			Sheet	1/1			

