

**DESARROLLO DE MODELOS DENTALES DIDÁCTICOS PARA LA
FORMACIÓN PRÁCTICA EN ODONTOLOGÍA MEDIANTE MATERIALES
REFORZADOS E IMPRESIÓN 3D**

LUIS FELIPE RINCÓN SEPÚLVEDA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Diana María Agudelo Sánchez

Maestría en energía.

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN, COLOMBIA

JUNIO DE 2025

Tabla de Contenido

Resumen	5
Glosario	6
Introducción	7
1. Planteamiento Del Problema	9
2. Justificación.....	11
3. Objetivos	12
4. Marco Teórico	13
5. Metodología	17
6. Resultados	19
6.1. Revisión bibliográfica	19
6.2. Creación de prototipos	19
6.3. Prueba de dureza	20
6.4. Control de calidad con profesional en odontología	20
6.4. Refuerzo.....	22
6.5. Diseño del modelo odontológico didáctico.....	24
7. Conclusiones	25
8. Recomendaciones.....	26
9.Referencias Bibliográficas	27

Lista de Figuras

Figura 1. Modelo de silicona de dentición	19
Figura 2. Primer modelo dental fabricado en resina	19
Figura 3. Prueba de dureza Fuente: Elaboración propia	20
<i>Figura 4.</i> Modelo fabricado en yeso y recubierto en resina.....	21
<i>Figura 5.</i> Modelo impreso en resina y recubierto en resina	21
<i>Figura 6.</i> Modelo fabricado en yeso y recubierto en resina.....	21
<i>Figura 7.</i> Modelo impreso en yeso y recubierto en resina.....	22
Figura 8. Modelo impreso en resina y recubierto en resina	22
Figura 9. Evaluación odontológica de las piezas dentales	23
Figura 10. Modelo mandibular realizado en Meshmixer	24
Figura 11. Modelo anatómico dental Fuente: Elaboración propia	24

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados pruebas de dureza a materiales reforzados.	23
---	----

Resumen

Desarrollo De Modelos Dentales Didácticos Para La Formación Práctica En Odontología Mediante Materiales Reforzados E Impresión 3d

Luis Felipe Rincón Sepúlveda

La formación práctica de los estudiantes de odontología enfrenta limitaciones debido a la escasa disponibilidad de modelos didácticos de dientes humanos, cuyo costo es elevado, y al difícil acceso a dientes reales debido a las regulaciones legales del país. Este estudio propuso el desarrollo de modelos dentales didácticos de bajo costo, fabricados mediante impresión 3D y materiales compuestos, con el objetivo de mejorar el entrenamiento preclínico de futuros odontólogos.

Para ello, se diseñaron prototipos anatómicamente precisos utilizando impresión 3D, moldes de silicona y materiales combinados con refuerzos de polvo de cobre. Se inició con bajas concentraciones del refuerzo y se incrementaron progresivamente hasta alcanzar una dureza similar a la de la dentina. Además, se realizaron pruebas de calidad que incluyeron la evaluación de un odontólogo experto y pruebas de dureza. Los resultados de estas pruebas revelaron que las muestras con mayor contenido de polvo de cobre lograron la resistencia al desgaste necesaria para las simulaciones de tallado.

Como conclusión, se evidenció que la integración de tecnologías de fabricación digital permite replicar variaciones morfológicas y biomecánicas, facilitando la identificación de estructuras dentales y el proceso de tallado por parte de los estudiantes. Estos resultados resaltan la viabilidad de los materiales compuestos en la producción de modelos costo-efectivos, reduciendo la dependencia de insumos importados y mejorando la calidad de la formación académica. Asimismo, el estudio sugiere que la personalización de odontotipos mediante impresión 3D no solo optimiza el aprendizaje práctico, sino que también contribuye a abordar problemas de salud pública.

Palabras clave: Modelos dentales, Esmalte Dental, Pruebas de Dureza, Estudiantes de Odontología

Glosario

Cerámica: material inorgánico utilizado en odontología para la fabricación de piezas dentales con fines restaurativos o educativos.

Impresión 3D: tecnología de fabricación novedosa en la cual se crean objetos tridimensionales capa por capa utilizando diversos materiales enlazados en forma de hilos.

Modelo dental: representación física de la anatomía dental utilizada con fines terapéuticos en un paciente o educativos.

Prototipo: primer modelo realizado de un producto que permite verificar funcionalidad y diseño.

Prueba de dureza: Ensayo realizado con el objetivo de determinar la resistencia de un material a la deformación y así estimar su durabilidad.

Resina epóxica: Material polimérico caracterizado por una alta resistencia utilizado como recubrimiento o refuerzo.

Introducción

La práctica odontológica busca proporcionar elementos y herramientas a los estudiantes de modo que se facilite el conocimiento de las estructuras anatómicas y el desarrollo de habilidades para la realización de procedimientos clínicos y quirúrgicos. Sin embargo, tradicionalmente se utilizan odontotipos fabricados en yeso, madera o plástico; los cuales presentan dificultades como gran fragilidad, baja resistencia al desgaste, baja durabilidad, falta de radio-lucidez y poca precisión anatómica, lo cual limita el entendimiento de los estudiantes (Mun et al. 2025; Sinkford 2020).

Una alternativa son los dientes humanos reales, provenientes de cuerpos donados a la ciencia. Sin embargo, en Colombia solo el 2% de la población considera la donación de órganos y tejidos. De acuerdo con el Instituto Nacional de Salud (INS), en 2020 sólo una proporción de 4.4 personas por cada millón de habitantes fueron donantes reales, en 2021 se evidenció un notable incremento con 5.2 personas por cada millón de habitantes, mientras que en 2022 se registró una tasa de donantes de 8.9 por cada millón de habitantes (Ministerio de Salud n.d.; Mususú et al. 2024). En este sentido, si bien las cifras de donación han tendido al alza, se desconoce de esta proporción el valor correspondiente a donación de piezas dentales; lo cual limita significativamente la disponibilidad de modelos dentales humanos para la práctica estudiantil.

Ante la escasez de modelos adecuados, surge la necesidad de desarrollar prototipos que simulen de manera confiable la anatomía y morfología de las piezas dentales, superando las limitaciones actuales por los altos costos, según información proporcionada por docentes odontólogos de la Universidad de Antioquia. En este contexto, el presente proyecto responde a las dificultades asociadas con el uso de modelos tradicionales y a la limitada disponibilidad de modelos dentales donados para fines educativos y científicos.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar modelos dentales didácticos para la formación práctica de los estudiantes de odontología, utilizando materiales reforzados e impresión 3D. El cual se pensó en tres etapas: Inicialmente, se crearán réplicas anatómicas

precisas de piezas dentales que permitan a los estudiantes identificar y familiarizarse con las estructuras dentales y sus variaciones morfológicas y biomecánicas, utilizando tecnologías avanzadas de fabricación digital. La segunda etapa contempla la producción de los dientes utilizando la tecnología de impresión 3D, la cual ofrece una solución innovadora para la creación de prototipos a escala real, o incluso ampliada. Esto considerando que, a través del escáner 3D, es posible desarrollar modelos dentales muy detallados que permiten a los estudiantes identificar partes e incluso realizar prácticas sobre réplicas precisas de dientes. (Fayyaz et al. 2024; Zumba Macay et al. 2021). Por último, se evaluó la resistencia del material utilizado en la producción de los dientes, sometiendo a pruebas de estrés y manipulación para asegurar que los modelos seleccionados tengan posibilidad de ser tallados por los estudiantes durante sus prácticas.

Finalmente, este trabajo fue desarrollado como parte del proceso para la obtención del título de Ingeniero Mecánico. La investigación se enfocó exclusivamente en el diseño y desarrollo de prototipos dentales, utilizando materiales compuestos, que se aproximan a la dureza de los dientes humanos que se puedan utilizar para la práctica en el tallado del diente por parte de los estudiantes de odontología.

1. Planteamiento Del Problema

1.2. Descripción

La formación profesional en Odontología implica la construcción de un aprendizaje teórico y la aplicación de la información aprendida en la resolución de problemas prácticos. La educación práctica de los estudiantes de odontología se enfoca en la extracción, el cuidado bucal, el reemplazo y restauración de piezas dentales; dichas prácticas requieren el uso de material didáctico, comúnmente modelos dentales que proporcionan una representación de la estructura bucal, dientes, muelas y encías facilitando el aprendizaje y el refuerzo de habilidades con mayor confianza al practicar en un ambiente seguro y controlado.

En Colombia y particularmente en las universidades, algunos modelos son desarrollados por los mismos estudiantes y docentes, fabricados con materiales poco duraderos como plastilinas, espumas de poliuretano, entre otros (Dental Lab Shop 2023). Por otro lado, los modelos anatómicos que se encuentran en el mercado, según algunos especialistas, tienen bastantes limitaciones morfológicas y de igual modo, son realizados en materiales sin la dureza del diente y sus técnicas de fabricación no los hacen aptos para un uso a gran escala, al ser manipulados por una gran cantidad de estudiantes año tras año (Calle Fernández 2021). Adicionalmente, otros modelos dentales son obtenidos mediante la donación de órganos y tejidos, en este caso, piezas dentales. En Colombia, las cifras de trasplantes han tenido una caída desde la pandemia, registrándose en 2023 unos 1.190 trasplantes mientras que en 2019 fueron un total de 1.303 ((INS, Colombia) 2023). Si bien las estadísticas tienden al alza, el Instituto Nacional de Salud busca promover la conciencia sobre la donación altruista. En consecuencia, se evidencian las limitaciones en la obtención de modelos dentales confiables debido a los índices de donación, la escasez de los dientes reales y sumado a ello, la baja calidad de los modelos dentales disponibles en el mercado careciendo de precisión anatómica y de propiedades biomecánicas que simulen la morfología real lo que impacta en la disponibilidad de material para la docencia e investigación

La baja disponibilidad de material didáctico confiable y de calidad en las instituciones de educación superior afectan el aprendizaje práctico de los estudiantes de odontología quienes requieren de un entorno simulado seguro y controlado para desarrollar destrezas en procedimientos clínicos de variada complejidad previo a la práctica en pacientes reales. Además, impactará la calidad de la atención en salud que brindarán en el futuro, representando un posible problema de salud pública al desatender la gran variedad de afecciones maxilo-bucales.

Este problema, puede contextualizarse también en el marco de la poca financiación y la ausencia de interés en el desarrollo científico en Colombia. Adicionalmente, Colombia depende en gran medida de insumos importados para la investigación los cuales están sujetos a fluctuaciones en el precio de los aranceles dificultando su adquisición. Actualmente, Colciencias busca fortalecer políticas enfocadas a la investigación e innovación científica como un gasto necesario y una inversión estratégica para el futuro del país (Espectador 2025)

Entendiendo el problema, en esta investigación se propuso como posible solución el desarrollo de prototipos dentales fabricados utilizando impresión 3D y materiales reforzados con la dureza aproximada a la del diente humano. Se evalúan la dureza y el comportamiento de las piezas fabricadas al ser manipuladas por un odontólogo.

1.3. Formulación

¿Es posible fabricar odontotipos dentales en la I. U. Pascual Bravo para facilitar que los estudiantes de odontología adquieran habilidades prácticas?

2. Justificación

La ciencia, tecnología e innovación en el mundo han impulsado notablemente el crecimiento económico y han colocado la información cada vez más disponible facilitando la adquisición de conocimiento. Lo anterior ha hecho que, las investigaciones se enriquezcan, incluyendo el campo de los nuevos materiales, el cual es transversal a disciplinas como la ingeniería y las ciencias de la salud.

En relación con las ciencias de la salud, y tratando específicamente la rama odontológica, la búsqueda de materiales que simulen la dureza del diente se traduce en mejor calidad en los servicios y en la formación estudiantil al poder gozar de herramientas didácticas que representen un entorno seguro para fases prácticas y el desarrollo de destrezas clínicas y quirúrgicas (Espectador 2025). Algunos de los materiales que se han propuesto para la fabricación de modelos dentales son ionómeros de vidrio, materiales bioactivos que reaccionan con los tejidos, cerámicas y porcelanas dentales de alta resistencia y resinas compuestas. Además, se están utilizando tecnologías innovadoras como la impresión 3D y el escáner 3D, los cuales están revolucionando la Odontología, permitiendo la creación de modelos dentales, guías quirúrgicas y prótesis personalizadas (Grau Benítez 2022).

Otro punto a favor de estas tecnologías emergentes es que se pueden fabricar modelos dentales personalizados, lo que significa que tanto estudiantes como odontólogos podrán conocer las necesidades en salud bucal específicas de cada paciente lo que mejora la calidad tanto de la formación académica como de la atención profesional. (Fayyaz et al. 2024)

El beneficio de esta investigación se presenta con la realización de prototipos dentales fabricados empleando tecnologías emergentes y materiales reforzados. Logrando obtener odontotipos en tamaño aumentado para facilitar, a los estudiantes de pregrado de odontología, el aprendizaje de la estructura de los diferentes tipos de dientes. Conjuntamente, se suministran prototipos de dientes con la dureza cercana a la dentina por medio de los cuales podrán practicar el tallado del diente y adquirir habilidades antes de atender pacientes en la clínica. Otro de los beneficios se presenta en el bajo costo, que se puede tener en la producción de los dientes

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Desarrollar modelos dentales didácticos para la formación práctica de los estudiantes de odontología, utilizando materiales reforzados e impresión 3D.

3.2. Objetivos específicos

- Crear prototipos de piezas dentales que permita a los estudiantes identificar y familiarizarse con las estructuras dentales y sus variaciones morfológicas, utilizando tecnologías avanzadas de fabricación digital.
- Producir dientes precisos utilizando materiales reforzados que se aproxime a la dureza del diente humano, para que los estudiantes de odontología practiquen el tallado de los dientes.
- Evaluar la resistencia de los materiales reforzados utilizados en la fabricación de prototipos de dientes humanos, asegurando que los materiales seleccionados puedan soportar las manipulaciones y procedimientos simulados durante las prácticas educativas de tallado del diente.

4. Marco Teórico

La introducción de material dental fabricado en resina a mitad del siglo XX representó una revolución en la odontología restaurativa. Estos componentes dentales estéticamente simulan la apariencia de un diente y son relativamente estables y fáciles de manipular. Sin embargo, estas resinas tienen algunas dificultades como una baja resistencia e incluso efectos tóxicos al estar en contacto prolongado con mucosas. En el contexto de la enseñanza, estudios respaldan que el uso de modelos dentales ha facilitado el desarrollo de habilidades blandas de manipulación de estos modelos a la vez que elimina riesgos tanto para el estudiante como para el paciente al estar en un entorno controlado. Contrario a ello, resulta contradictorio evidenciar el difícil acceso a modelos dentales confiables, aunque actualmente se dispone de piezas dentales obtenidas por donación y de modelos dentales fabricados en cera, plástico o yeso estos no siempre se encuentran disponibles debido a su costo elevado o baja precisión (Dobroś, Hajto-Bryk, and Zarzecka 2023; Jandt and Watts 2020). Algunas alternativas exploradas en la actualidad son los nanomateriales, que permiten incluso su funcionalización, destacando materiales como sílice, cerámica o metal. Estos materiales si bien pueden aumentar exponencialmente la resistencia a la fractura y la dureza de los modelos dentales y mejorar otras propiedades fisicoquímicas, presentan una dificultad que es su elevado costo (Jeong et al. 2023).

En este contexto, la impresión 3D surge como una herramienta innovadora en materia de odontología, permitiendo la fabricación personalizada y precisa de piezas dentales, prótesis y modelos. Gracias a la impresión 3D aplicada a la odontología se ha incorporado el uso de materiales reforzados que no solo mejoran significativamente la resistencia mecánica si no también la biocompatibilidad de las piezas dentales, permitiendo además fabricar modelos con intrincadas estructuras aumentando la precisión anatómica. Además, los modelos desarrollados por impresión 3D se presentan como una alternativa segura tanto en la odontología restaurativa como para el propósito de la enseñanza odontológica.

Con la llegada de las tecnologías digitales y de los escáneres intraorales, la impresión 3D ha empezado a popularizarse en el campo de la odontología con diferentes usos. Entre ellos, cabe destacar la construcción de modelos dentales como una de las principales aplicaciones, ya

que es indispensable para obtener un modelo físico a partir de un archivo STL procedente del escáner intraoral. Antes, la única forma de obtener el modelo físico positivo de las arcadas del paciente era crear modelos de yeso a partir de una impresión dental realizada con materiales específicos (polivinilsiloxanos, siliconas de condensación, alginatos, poliéteres). Posteriormente, sobre esos modelos analógicos, el protésico dental creaba la estructura o los elementos ortodónticos que se colocaban en la boca del paciente.

El material del modelo define sus aplicaciones clínicas, su manipulación y la técnica de fabricación. Los materiales más utilizados en la producción de modelos dentales precisos se componen principalmente de termoplásticos reforzados. Los **termoplásticos** son el tipo de plástico que más se usan, su principal característica es su capacidad de soportar numerosos ciclos de fusión y solidificación, facilitando el moldeo de un producto en capas, bajo el método de fabricación de filamentos fundidos (FFF). En el método de impresión FFF cada capa de material caliente se suelda capa tras capa hasta que gradualmente produce una pieza entera.

Los principales termoplásticos utilizados son el Ácido Poliláctico (PLA), un material versátil y de bajo costo, no es tan resistente, pero es biodegradable lo que representa una gran ventaja ecológica. El Acronitrilo Butadieno Estireno (ABS), es otro material más resistente para la fabricación de piezas de uso diario. La Poliamida o Nylon, poseen una mayor resistencia por lo que es utilizado para fabricar piezas complejas. También, el Poliestireno de Alto impacto (HIPS) es utilizado aunque es un material de mayor costo, el cual requiere un control más preciso de la temperatura para evitar deformaciones excesivas (Anon 2024, Anon 2025a).

En el contexto de materiales odontológicos, la resina es uno de los insumos más utilizados. La impresión 3D con cerámica se basa en el uso de polvos con aglutinante que se solidifica, este tipo de impresión se conoce como estereolitografía. La impresión 3D con resina se conoce específicamente como impresión 3D por estereolitografía (SLA), ofrece una mayor velocidad, resolución y precisión produciendo piezas con diversas propiedades avanzadas de los materiales, acabados de la superficie de gran calidad y detalles precisos. La SLA es un proceso de fabricación aditiva en el que una fuente de luz cura resina líquida para convertirla en plástico endurecido al que se denomina “resinas”; sin embargo, este tipo de impresión admite diferentes

materiales, por ello los fabricantes de materiales han creado innovadoras fórmulas de resinas para SLA con una gran variedad de propiedades ópticas, mecánicas y térmicas capaces de igualar las de los termoplásticos estándar, industriales y para ingeniería. Si bien los modelos impresos han alcanzado un nivel de exactitud y precisión superior, estos suelen ser menos exactos que los de yeso. Esto puede atribuirse a los numerosos parámetros de impresión, el pos-procesamiento de los objetos impresos, la recopilación de los datos, la potencia del láser de impresión, la translucidez de la resina y la polimerización no controlada.

Las fórmulas de resinas novedosas implican el refuerzo con diferentes materiales para modular propiedades mecánicas. Entre los materiales de refuerzo se encuentra:

- Materiales híbridos: Nanomateriales que simulan las propiedades mecánicas de los dientes.
- Litio o Zirconio: Conocida por su versatilidad, dureza, y propiedades mecánicas.
- Biomateriales: Son cruciales en la regeneración y reparación de tejidos, son altamente biocompatibles con tejido natural.
- Fibra de carbono: Un material reforzado que ofrece alta resistencia y rigidez.
- Microfibra: Estos termoplásticos se refuerzan con fibras de calidad industrial para mejorar sus propiedades. El más común es el nylon reforzado con fibra de carbono. Añadiendo la cantidad adecuada de refuerzo, el material puede transformarse en un super plástico aumentando su dureza, rigidez, resistencia al calor y estabilidad.
- Cobre: Es un polvo fino con un tamaño de partícula menor a 63um, este tamaño facilita su dispersión en la matriz de la resina. Con un punto de fusión de 1083°C, proporciona dureza y resistencia a la resina sobretodo durante el proceso de moldeo de cada capa, y también brinda compatibilidad evitando aglomeraciones de material (Anon 2025b).

En este orden de ideas, la impresión 3D emerge como una alternativa prometedora en la fabricación de modelos dentales esenciales para la práctica de estudiantes de odontología como para la planificación y ejecución de tratamientos dentales. Esta, en conjunto con la

elección del material con las mejores características representan la solución más viable para dar acceso a modelos dentales de calidad a los estudiantes de Odontología. La exploración de materiales innovadores ha demostrado un progreso significativo en la fabricación de modelos que no solo son estéticos, personalizados y funcionales desde la parte clínica, sino que también son una alternativa didáctica para estudiantes y profesionales odontólogos quienes pueden prestar un servicio de mejor calidad, revolucionando la práctica clínica además reforzar habilidades.

5. Metodología

5.1. Tipo de proyecto

Este proyecto es de tipo cuantitativo experimental.

5.2. Materiales

La resina epóxica para fibra fue adquirida de mde Colombia (Colombia) , el polvo de cobre con un tamaño de partícula menor a 63 micras fue adquirido de Sigma Aldrich (Merck®) (Canadá) y el yeso piedra fue adquirido de YESOS AMERICA LTDA (Colombia).

5.3. Método

Creación de prototipos de modelos: Se fabricaron 4 moldes en silicona para pruebas de prototipo de modelos dentales. Luego, se seleccionaron como materiales de fabricación la resina epóxica para fibra y Yeso piedra hidrocál 105. Estos dos materiales representaron la alternativa más costo – efectiva y accesible.

Prueba de dureza: El ensayo de dureza según la escala Shore de conformidad con ASTM D224 es un método de ensayo estático normalizado para medir la dureza del caucho mediante un durómetro. Según la variación de las diferentes formas del indentador y las características de los muelles se establecen una serie de escalas Shore diferentes, en este experimento se utilizó la escala Shore A (para goma blanda, elastómeros y cauchos).

Para medir la dureza, el material se ubica sobre una superficie dura y firme, luego se posiciona el durómetro perpendicularmente sobre la superficie de la muestra, asegurando que la punta cónica de 35° del indentador quede en contacto firme y plano con el material. Posteriormente, se aplica la fuerza durante un tiempo estándar, generalmente 15 segundos, para que la punta penetre el material y se estabilice la medición. Finalmente, se lee la profundidad de penetración del indentador en el material. El valor se lee directamente en la escala del durómetro, que va de 0 (muy blando) a 100 (muy duro) Shore A. Estas mediciones se realizaron por triplicado. Para este experimento se utilizó un durómetro AFFRI.

Pruebas de calidad: Un profesional en odontología realizó inspección visual de los modelos dentales para identificar puntos a favor y a mejorar, así como seleccionar puntos de refuerzo.

Refuerzo: Considerando la evidente necesidad de aumentar la dureza de la resina, se rediseñaron los prototipos y se incorporó el aditivo Cobre en Polvo (Superco Copper fine powder particle size 63 Micras Merck®) en 6 proporciones diferentes. Esta nueva composición se preparó pesando aproximadamente 5gramos de yeso, a este peso se le agregaron porciones diferentes de cobre: 2, 5, 10, 20, 30 y 40%. Las 6 muestras se mezclaron y homogenizaron en un molino de bolas Tencan. Además, se evaluó una segunda mezcla consistente en resina epóxica + cobre en dos diferentes proporciones: 20 y 40%. Se pesaron 4.26g y 6.32g de resina epóxica respectivamente, se añadió el cobre y la mezcla se homogenizó sometiendo a agitación en un agitador ultrasónico Ultrasonics durante 5 minutos a 50rpm.

Impresión y modelado 3D: Una vez realizada la preparación del material de impresión, se realizó la personalización e impresión de cada pieza dental. Para ello, se realizó el escaneo digital de modelos de dentición humana desde diferentes ángulos para cubrir toda la superficie y todos los detalles. Luego, se creó una imagen tridimensional que se ajustó según las necesidades del modelo y finalmente, se imprimió utilizando una impresora de resina marca Anycubic Photon S.

Diseño del modelo odontológico didáctico: Finalmente, se realizó el diseño de un modelo mandibular didáctico escaneando diferentes mandíbulas humanas desde todos los cuadrantes, generando archivos en formato “.stl”. Estos archivos se cargaron en el software Meshmixer para impresión 3D donde se modificaron y editaron con alta precisión y exactitud anatómica

5.4. Fuentes de información.

Se realizó una breve revisión bibliográfica utilizando tanto fuentes primarias como secundarias destacando especialmente artículos de revista, patentes, informes técnicos y libros.

6. Resultados

6.1. Revisión bibliográfica

De acuerdo con la bibliografía consultada previamente, los materiales cerámicos son los más utilizados en la fabricación de modelos dentales. Sin embargo, el yeso piedra y la resina epóxica representaron una alternativa más costo – efectiva para realizar los primeros prototipos.

6.2. Creación de prototipos

Se crearon moldes de silicona que permitieron el moldeo tanto del yeso piedra como de la resina epóxica para obtener la forma deseada (Figura 1). De estos, se obtuvieron diferentes modelos de dientes 3D en resina (Figura 2).



Figura 1. Modelo de silicona de dentición

Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Primer modelo dental fabricado en resina

Fuente: Elaboración propia

6.3. Prueba de dureza

La prueba de dureza se realizó con un durómetro AFFRI tomando 5 muestras fabricadas en cada uno de los materiales seleccionados. Se halló que la Resina tuvo una dureza de 85 Shore A, mientras que el yeso piedra tuvo una dureza de 93 Shore A indicando una mayor resistencia a la fractura por parte de este último (Figura 3).



Figura 3. Prueba de dureza
Fuente: Elaboración propia

6.4. Control de calidad con profesional en odontología

En general, la impresión para las cinco piezas dentales presentadas (Figuras 4 a la 8) fue de una textura blanda en la capa superficial de la pieza. Coincidiendo en que los modelos fabricados a base de yeso presentaban una mejor dureza en comparación con los modelos fabricados en resina, afirmaciones coherentes con lo reflejado en la prueba de dureza. Se destaca que los modelos 2 y 3 presentaron una mayor dureza en su parte interna. Sin embargo, para el modelo 3 se evidenció una textura arenosa al avanzar hacia capas más profundas. En contraste, los modelos 4 y 5 presentaron durezas similares a la dentina, respaldando su similitud con los dientes reales.

Estos hallazgos permitieron concluir que el material de fabricación de la pieza tiene un impacto en la percepción táctil y posiblemente en la funcionalidad. Los modelos

de yeso ofrecen una mayor dureza ofreciendo resistencia a manipulaciones exigentes y simulaciones en el ámbito académico. Por otro lado, aunque los modelos impresos en resina tienen una dureza bastante buena, e incluso similar al yeso, pueden representar una ventaja en odontología restaurativa. Así mismo, la similitud con la dentina de los dientes modelos 4 y 5 con la dentina natural resulta especialmente interesante ya que proporciona una experiencia realista en la manipulación de la pieza.



Figura 4. Modelo fabricado en yeso y recubierto en resina
Fuente: Elaboración Propia



Figura 5. Modelo impreso en resina y recubierto en resina
Fuente: Elaboración Propia



Figura 6. Modelo fabricado en yeso y recubierto en resina
Fuente: Elaboración Propia



Figura 7. Modelo impreso en yeso y recubierto en resina
Fuente: Elaboración Propia



Figura 8. Modelo impreso en resina y recubierto en resina
Fuente: Elaboración Propia

6.4. Refuerzo

Se fabricaron en total 8 muestras de dentición correspondiendo 6 de ellas a una combinación de yeso y cobre en proporciones de 2, 5, 10, 20, 30 y 40% y las 2 últimas una combinación de resina y cobre a un 20 y 40% (Tabla 1). El comportamiento hallado para las muestras de yeso explica que aumentando la proporción de cobre aumenta la dureza de la pieza dental, sobretodo en las concentraciones 20 y 30%, siendo estas las óptimas. En la concentración 40% se observa un decaimiento en la dureza, que puede explicarse por la aproximación al punto crítico de saturación. Un aumento en la concentración de cobre hasta 30% representa una dureza óptima debido a la mezcla ordenada de ambos sólidos y a las fuerzas de cohesión entre ellos. Por otro lado, un exceso por encima de 30% genera precipitación de cobre en la mezcla de sólidos generando defectos estructurales como aglomerados, poros o grietas que debilitan la pieza dental.

Además, las muestras 4 a 6 fueron evaluadas por un profesional odontológico quien revisó consistencia y facilidad de tallado de la pieza con aparatología odontológica (Figura 8). Se evidenció entonces que la muestra 4 no ofreció resistencia, presentó una fácil penetración de la fresa, y el yeso se percibió como arenoso y fácilmente desmoronable. La muestra 5, ofreció una resistencia mayor al contacto con la fresa principalmente en su capa muy superficial; sin embargo, en cuanto al yeso se obtuvo la misma descripción anterior. Por su lado, la muestra 6 presentó una alta resistencia comparable incluso con un diente natural, pero esta resistencia solo se limitó a las capas externas, pues al avanzar hacia capas internas la dureza tendió a la caída.



Figura 9. Evaluación odontológica de las piezas dentales

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Resultados pruebas de dureza a materiales reforzados.

Muestra	Composición	Dureza
1	Yeso + cobre 2%	75
2	Yeso + cobre 5%	88
3	Yeso + cobre 10%	95
4	Yeso + cobre 20%	99
5	Yeso + cobre 30%	99
6	Yeso + cobre 40%	96
7	Resina + cobre 20%	99
8	Resina + cobre 40%	99

Fuente: Elaboración propia

6.5. Diseño del modelo odontológico didáctico

Se escaneó una mandíbula humana, la cual fue subida y modificada al software de edición Meshmixer, editando ruido, imperfecciones y cualquier otro detalle que dificultara la visualización e identificación clara de estructuras odontológicas. Se obtuvo entonces un archivo .stl el cual está listo para ser ejecutado e impreso (Figuras 10 y 11).

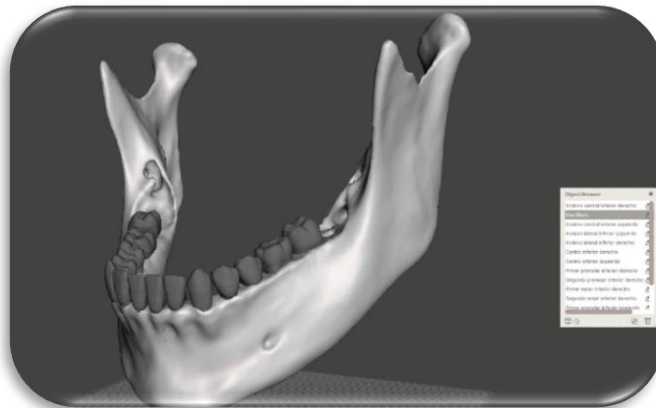


Figura 10. Modelo mandibular realizado en Meshmixer
Fuente: Elaboración propia

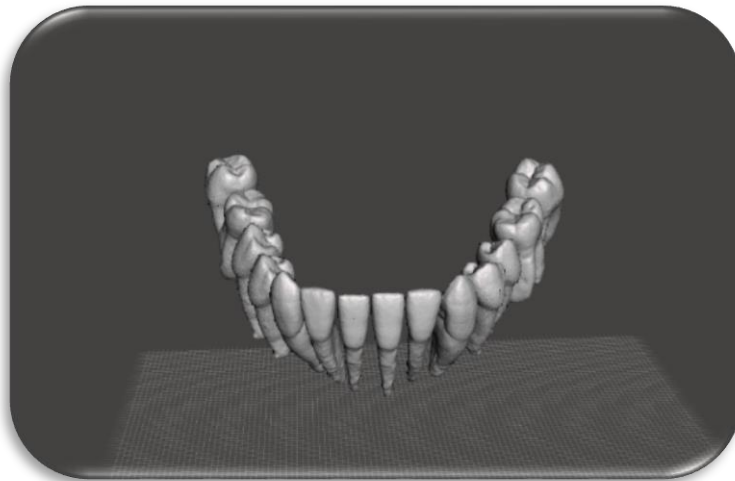


Figura 11. Modelo anatómico dental
Fuente: Elaboración propia

7. Conclusiones

La elaboración de prototipos dentales fabricados mediante impresión 3D con materiales como yeso piedra y resina reforzados en polvo de cobre demuestran ser herramientas potencialmente útiles en la academia ya que estos modelos representan una alta dureza y precisión anatómica con las estructuras dentales humanas lo que facilita la práctica de los estudiantes de odontología en un entorno seguro y controlado.

Como principal ventaja, se destaca el bajo costo de producción de estos modelos ya que se eligieron materiales como el yeso piedra y la resina, mientras que el material requerido para el refuerzo se utiliza en bajas cantidades, lo cual representa una alternativa costo – efectiva, con un precio aproximado en materiales de diez mil pesos.

Asimismo, el análisis de prototipos dentales fabricados con yeso piedra y polvo de cobre evidencia que el porcentaje de refuerzo tiene un impacto significativo en la resistencia y la fidelidad de la simulación para el entrenamiento odontológico. Por ello, es fundamental seleccionar la composición óptima de materiales para garantizar la durabilidad de las piezas frente al uso diario y las manipulaciones exigentes.

8. Recomendaciones

Para avanzar hacia una producción más eficiente, se recomienda desarrollar un método que permita fabricar los dientes a gran escala. Esto facilitará la optimización de procesos y la reducción de costos, al incrementar la cantidad de unidades fabricadas y minimizar las pérdidas de material.

Además, se aconseja consultar literatura especializada sobre materiales compuestos alternativos. Esto permitirá explorar nuevas opciones que puedan mejorar la resistencia estructural del prototipo.

Aunque el yeso ha demostrado buena resistencia a la fractura y al desgaste, se sugiere añadir aditivos que disminuyan su degradación por contacto con el agua, aumentando su estabilidad frente a la humedad y reduciendo riesgos de contaminación, corrosión o debilitamiento prematuro.

9. Referencias Bibliográficas

- (INS, Colombia), Instituto Nacional de Salud. 2023. “Balance de Trasplantes.” Retrieved April 8, 2025 (<https://www.ins.gov.co/Noticias/Paginas/Balance-de-trasplantes.aspx>).
- Anon. 2024. “Impresión 3D de Cerámica: ¿Revolución Dentro de La Fabricación Aditiva?” Retrieved June 2, 2025 (<https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-de-ceramica-170420192/>).
- Anon. 2025a. “Los Termoplásticos En La Impresión 3D - Aristegui Maquinaria.” Retrieved June 2, 2025 (<https://www.aristegui.info/los-termoplasticos-en-la-impresion-3d/>).
- Anon. 2025b. “Materiales de Impresión 3D.” Retrieved June 3, 2025 (<https://markforged.com/es/resources/learn/3d-printing-basics/how-do-3d-printers-work/3d-printing-materials>).
- Calle Fernández, Giselle Magali. 2021. “Diseño de Material Didáctico Para El Aprendizaje de La Anatomía Humana Primer Año de La Carrera de Medicina.”
- Dental Lab Shop. 2023. “Exploring the Benefits of Dental Teaching Models for Students and Professionals - Dental Lab Shop.” Retrieved November 12, 2024 (<https://www.dentallabshop.com/dental-teching-models/>).
- Dobroś, Katarzyna, Justyna Hajto-Bryk, and Joanna Zarzecka. 2023. “Application of 3D-Printed Teeth Models in Teaching Dentistry Students: A Scoping Review.” *European Journal of Dental Education* 27(1):126–34. doi: 10.1111/EJE.12784.
- Espectador, El. 2025. “La Investigación Básica Médica Está Sufriendo Una Crisis En Colombia | EL ESPECTADOR.” Retrieved April 8, 2025 (<https://www.elespectador.com/ciencia/la-investigacion-basica-medica-esta-sufriendo-una-crisis-en-colombia/>).
- Grau Benítez, María. 2022. “Actualización Sobre La Adaptación Marginal Del Ionómero de Vidrio Restaurador. Una Revisión Sistemática.”
- Jandt, Klaus D., and David C. Watts. 2020. “Nanotechnology in Dentistry: Present and Future Perspectives on Dental Nanomaterials.” *Dental Materials* 36(11):1365–78. doi: 10.1016/J.DENTAL.2020.08.006.
- Jeong, Min, Kyle Radomski, Diana Lopez, Jack T. Liu, Jason D. Lee, and Sang J. Lee. 2023. “Materials and Applications of 3D Printing Technology in Dentistry: An Overview.” *Dentistry Journal* 12(1):1. doi: 10.3390/DJ12010001.

Mun, Michelle, Samantha Byrne, Louise Shaw, and Kayley Lyons. 2025. "Digital Dentists: A Curriculum for the 21st Century." *JMIR Med Educ* 11:54153. doi: 10.2196/54153.

Sinkford, Jeanne C. 2020. "What Is the Dental Practice Model of the Future?" *Journal of Dental Education* 84(4):502–4. doi:

10.1002/JDD.12149;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:19307837;WGROU:STRING:
PUBLICATION.