

**RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES:
COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA,
ESTUDIO *in vitro***

**AUTORES
ENZO GABRIEL CORTES BONILLA
HELENA MARYEL ERAZO ZEPEDA**

**COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL
SANTIAGO DE CALI**

9 de marzo de 2026

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL
SANTIAGO DE CALI
9 DE MARZO DE 2026**



**RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES:
COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA,
ESTUDIO *in vitro***

AUTORES

CORTES BONILLA ENZO GABRIEL
ERAZO ZEPEDA HELENA MARYEL

DIRECTOR

EDGAR HERNÁN MENESES SILVA
ESPECIALISTA EN REHABILITACIÓN ORAL

ASESOR METODOLÓGICO

ALEJANDRA ORDOÑEZ MOLINA
MAGISTER EN EPIDEMIOLOGÍA

ASESOR ESTADÍSTICO

JULIAN ANDRES TAMAYO
MAGISTER EN LOGÍSTICA

COLEGIO ODONTOLÓGICO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL



Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, 9 de marzo de 2026

DEDICATORIA

A Dios, por guiar cada uno de mis pasos a lo largo de este proceso, por ser mi fuente de fortaleza y sabiduría, permitiéndome superar los desafíos y lograr esta meta.

A mis padres, por su amor y apoyo incondicional y por ser pilar fundamental en mi vida. Gracias por acompañarme en cada momento, por creer en mí y motivarme a seguir adelante.

A mi novio, por creer siempre en mí, por su amor, paciencia y su apoyo incondicional durante este proceso, por estar siempre conmigo en los momentos difíciles, motivándome a seguir adelante y celebrar cada pequeño avance.

A mis compañeros y docentes, quienes formaron parte importante de este proceso académico, aportando conocimientos, apoyo y experiencias que contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente dedico este logro a mi esfuerzo y perseverancia, recordándome que con disciplina, constancia y fe es posible alcanzar los sueños y metas.

Helena Maryel Erazo Zepeda

Esta obra académica está dedicada, en primer lugar, a Dios, por concederme el don de la vida, la salud y la sabiduría necesaria para culminar este proyecto de investigación.

A mis padres, por ser el pilar fundamental de mi formación, brindándome día a día la energía y la motivación necesarias, pero, sobre todo, por rodearme de un amor incondicional que hizo posible este camino académico. A mi pareja e hija, quienes han estado presentes segundo a segundo, entregándome el apoyo, la paciencia y la fortaleza que solo el amor verdadero puede dar. Gracias por enseñarme que todo es posible cuando se actúa con pasión.

Finalmente, de manera especial extendiendo esta dedicatoria a mis familiares, quienes con su apoyo constante se convirtieron en el bastón y el aliento necesarios para no desfallecer y seguir siempre hacia adelante. Enzo Gabriel Cortes Bonilla

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos a Dios por ser nuestro guía durante todo este proceso, por brindarnos sabiduría y perseverancia y la oportunidad de culminar esta etapa de formación profesional.

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Dr. Edgar Meneses Silva por su orientación, paciencia y apoyo constante durante el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos y acompañamientos fueron fundamentales para la realización y culminación de este trabajo.

De igual manera, agradecemos a nuestros asesores Magister Alejandra Ordoñez y Mg. Julián Tamayo, por su disposición, apoyo académico y significativos aportes científicos, los cuales enriquecieron el desarrollo de este proyecto de investigación.

Extendemos un especial agradecimiento al Laboratorio de Materiales cerámicos de la Universidad del Valle, por facilitar sus instalaciones y el apoyo técnico necesario para la realización de las pruebas de resistencia a la compresión, etapa fundamental para el desarrollo de nuestro estudio.

También agradecemos al Laboratorio de Investigación en Materiales y Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Colombia, por la realización del proceso de termociclado de las muestras, contribuyendo al desarrollo metodológico de la investigación.

Finalmente agradecemos a nuestras familias, docentes, compañeros y todas las personas que brindaron su apoyo, motivación y confianza a lo largo del camino, haciendo posible la culminación de este logro académico.

TABLA DE CONTENIDO

1. Contenido

2.	INTRODUCCIÓN	10
3.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
3.1	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	14
4.	MARCO TEÓRICO	15
4.1	ODONTOLOGÍA DIGITAL Y NUEVAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE RESTAURACIONES.....	15
4.2	FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA CAD/CAM.....	16
4.2.1	FABRICACIÓN SUSTRACTIVA	16
4.2.1	FABRICACIÓN ADITIVA (IMPRESIÓN 3D)	17
4.2.2	DIFERENCIAS MECÁNICAS INTRÍNSECAS ENTRE LA FABRICACIÓN SUSTRACTIVA Y ADITIVA.....	19
4.3	RESTAURACIONES INDIRECTAS EN EL SECTOR POSTERIOR	19
4.4	MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE RESTAURACIONES INDIRECTAS EN EL SECTOR POSTERIOR	21
4.5	BLOQUES DE RESINA COMPUESTAS PARA FRESADO:.....	22
4.6	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MATERIALES PARA FABRICACIÓN ADITIVA Y SUSTRACTIVA.....	26
5.	OBJETIVOS.....	27
5.1	OBJETIVO GENERAL	27
5.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
6.	METODOLOGÍA	28
6.1	DISEÑO DEL ESTUDIO.....	28

6.2	POBLACIÓN OBJETIVO	28
6.2.1	Criterios de selección.....	28
6.3	TAMAÑO DE MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO	29
6.3.1	Cálculo del tamaño de muestra.....	29
6.3.2	Diseño de muestreo.	31
6.4	DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	31
6.4.1	Variables.	31
6.4.2	Cuadro operacional de las variables	31
6.5	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	32
6.5.1	Elaboración de muestras:	32
6.5.2	Envejecimiento artificial:	38
6.5.3	Prueba de resistencia compresiva:	39
6.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	41
6.7	CONSIDERACIONES ÉTICAS	41
7.	RESULTADOS.....	43
8.	DISCUSIÓN.....	51
9.	RECOMENDACIONES.....	54
10.	CONCLUSIONES.....	56
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
12.	ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 .COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MATERIALES EVALUADOS	25
Tabla 2. Definición operacional de las variables	31
Tabla 3 Resistencia compresiva según grupos experimentales.....	44
Tabla 4. Resistencia compresiva según el tipo de material	47
Tabla 5. Comparación de resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina	49
Tabla 6. Comparación de resistencia compresiva entre resinas con y sin termociclado.	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diente natural	32
Figura 2. Diente encerado - ligamento periodontal	33
Figura 3. Prototipo diente natural	34
Figura 4. Diente duplicado y diseño de incrustación.....	35
Figura 5 impresora 3D y Cámara de curado.....	36
Figura 6. Incrustaciones	36
Figura 7. Protocolo de Cementación.....	38
Figura 8. Termociclado	39
Figura 9. Prueba de Compresión	40

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales impresas 3D sin termociclar.....	44
Gráfico 2. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales impresas 3D termocicladas.....	45
Gráfico 3. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales fresadas mediante CAD-CAM sin termociclar	45
Gráfico 4. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales fresadas mediante CAD-CAM termocicladas.....	46
Gráfico 5. Resistencia compresiva entre grupos experimentales	46
Gráfico 6. Resistencia compresiva según tipo de resina:	48
Gráfico 7. Resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina	50

GLOSARIO

Adhesión - Unión: Procedimiento que utiliza una sustancia adhesiva para combinar, unir o fortalecer; técnica que condiciona el esmalte o la dentina para crear "tags" que logren retención mecánica (1)

CAD-CAM: acrónimo de Diseño Asistido por Computadora-Fabricación Asistido por Computadora (o Mecanizado Asistido por Computadora) (1)

Dientes anatómicos: Dientes artificiales que duplican la forma anatómica de los dientes naturales. O dientes con cúspides prominentes en las superficies masticatorias y diseñados para articularse con los dientes de la dentición antagonista, natural o protésica (1)

Fabricación por sustracción: Es un proceso de manufactura en el cual el material es removido de un bloque sólido para crear la forma deseada. En odontología, este método se conoce comúnmente como fresado (milling) (2)

Grabado ácido: Procedimiento de acondicionamiento de las estructuras dentales para crear retención mecánica(1)

Overlay: Es un tipo de restauración indirecta que cubre completamente las cúspides, está indicada en cavidades de grandes dimensiones donde las paredes axiales no están soportadas, cuando hay ausencia de ambas crestas marginales y cuando hay presencia de fisuras (3).

Resina en bloque: Materiales dentales híbridos prefabricados industrialmente que se utilizan con las tecnologías CAD/CAM para crear restauraciones dentales, mediante el uso de instrumentos rotatorios para desgastar o dar forma a un material a partir de un bloque (milling o fresado) (1,4)

Resina Impresa: Son Materiales a base de polímeros utilizados en las tecnologías de manufactura aditiva (AM) o impresión 3D, algunos diseñados específicamente para la fabricación de restauraciones dentales (5)

Resistencia a la compresión: Se refiere a la capacidad de un material para soportar una fuerza de compresión sin fracturarse, es una propiedad mecánica crucial para materiales dentales (6).

Restauración Dental Indirecta: También conocida como restauración adhesiva indirecta, se define como una restauración de corona parcial fabricada con

composite o cerámica completa, su principal objetivo es ser colocada pasivamente y cementada adhesivamente en una cavidad dental que posee atributos específicos (3)

2. INTRODUCCIÓN

Las restauraciones indirectas son una opción muy utilizada y a menudo preferida para dientes significativamente comprometidos. La resistencia a la compresión es una propiedad crucial para asegurar la longevidad de estas restauraciones, ya que estas deben soportar cargas masticatorias intensas (7).

En la actualidad la impresión 3D como método de fabricación ofrece ventajas como personalización y menores costos. A pesar de que las resinas de impresión 3D han sido estudiadas se requiere evaluación adicional para determinar si su indicación es válida para todo tipo de restauraciones definitivas de un solo diente (2). Una evaluación del comportamiento mecánico de los materiales protésicos podría orientar a los clínicos hacia la selección de un material adecuado para cada caso clínico.

Este estudio buscó evaluar comparativamente la resistencia compresiva de restauraciones indirectas tipo overlay en el sector posterior, fabricadas con una impresora tridimensional (3D) y un sistema de diseño y fabricación asistido por computadora (CAD/CAM). Para ello se utilizó la resina de impresión PriZma Bio Crown Diamond de Makertech Labs y la resina en bloque Hyramic (Upcera), fresada mediante CAD-CAM. Con el fin de analizar el comportamiento de los materiales en diferentes condiciones, las muestras de resina se dividieron en dos grupos: uno sometido a un proceso de termociclado en saliva artificial para simular el envejecimiento que sufren las restauraciones en la cavidad oral y otro que no fue sometido a este procedimiento.

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de materiales cerámicos y compuestos de la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, en Santiago de Cali, Colombia, por medio de una máquina universal de ensayos (Tinius Olsen). Asimismo, se consideró relevante evaluar esta propiedad mecánica con la simulación de tejido de soporte periodontal ya que al ser materiales relativamente

recientes en el mercado, no han sido ampliamente estudiados en dichas condiciones.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La evolución de las tecnologías de fabricación en odontología ha transformado significativamente los métodos para realizar restauraciones dentales, especialmente en el sector posterior donde las demandas funcionales son elevadas, la selección del material adecuado para las restauraciones dentales indirectas es crucial para garantizar la durabilidad y funcionalidad de estas (7).

En la última década, las restauraciones dentales se han fabricado utilizando un flujo de trabajo CAD/CAM (Diseño y Fabricación Asistida por Computadora) que utiliza métodos sustractivos como el fresado, las cuales han demostrado una excelente adaptabilidad clínica y mayor precisión en comparación con los materiales convencionales (2,5,8). En este proceso, se pierde un gran número de material en relación con el volumen necesario para la restauración final. Además, el proceso de fresado es lento. Recientemente, se ha propuesto la impresión tridimensional (3D) como método de fabricación aditiva para las restauraciones dentales (2,5,9).

Entre las ventajas de la impresión 3D, se cree que mejoran la productividad y permiten la fabricación de restauraciones complejas, también permite reducir el consumo de material lo que reduce los costos y parecen presentar mejores resultados que los convencionales (5,10–12). Actualmente, las resinas compuestas impresas en 3D han sido comercializadas como materiales para restauraciones definitivas (3). La introducción de partículas cerámicas y nanopartículas a los composites a base de resina ha generado una nueva clase de materiales, los composites de resina nanohíbridos para impresión 3D, que los fabricantes afirman son adecuados para restauraciones permanentes (5). No obstante, es necesario contar con más datos preclínicos y clínicos sobre su comportamiento mecánico a largo plazo antes de que estos materiales puedan ser recomendados para restauraciones definitivas (5,9). A pesar de las ventajas potenciales de las resinas de la impresión 3D, existen preocupaciones sobre la precisión y comportamiento mecánico de las restauraciones impresas (2).

Las restauraciones indirectas permanentes en el sector posterior se ven expuestas a intensas cargas masticatorias. Se conoce que en la región de premolares puede ser de 424–583 N y en la zona molar es hasta de 900 N, y estos valores pueden ser más altos en pacientes con bruxismo (5). De este modo, se requiere que los materiales de estas restauraciones ofrezcan alta resistencia a la fractura para soportar las fuerzas masticatorias (13).

Como la fractura de restauraciones es una causa común de consulta, es fundamental estudiar el esfuerzo de fractura que se refiere a la cantidad de carga necesaria para causar la falla de un material, este se mide en megapascuales (MPa) y es un factor que determina la capacidad de una restauración para soportar las fuerzas masticatorias ya que es importante para la longevidad y eficacia de las restauraciones en el sector posterior y así asegurar la selección adecuada del material restaurador en uso (13)

Los tejidos dentales naturales presentan una resistencia a la compresión aproximada de 297 MPa para la dentina, valores que sirven como referencia para el desarrollo de materiales restauradores (14) Estudios recientes han reportado que las resinas utilizadas para restauraciones definitivas fabricadas mediante impresión 3D presentan valores de resistencia mecánica aproximados entre 128 y 143 MPa, mientras que los fresados mediante CAD-CAM pueden alcanzar valores entre 155 y 244 MPa, mostrando generalmente propiedades mecánicas superiores debido a su proceso de fabricación industrial altamente controlado (15)

Algunos estudios preliminares también han evaluado el comportamiento mecánico de materiales de impresión 3D como resinas destinadas a prótesis provisionales, sometiéndolos a pruebas bajo compresión y flexión frente a otros materiales utilizados para restauraciones dentales, evidenciando resultados favorables en ensayos de compresión frente otros materiales fabricados por métodos de sustracción (8,16,17). Esta información no es directamente aplicable a

restauraciones definitivas, ya que estas demandan mayor resistencia y durabilidad para tolerar las fuerzas masticatorias con el tiempo.

Las resinas fresadas CAD-CAM han establecido un estándar con tasas de supervivencia del 90-95% a 5 años y una resistencia a la fractura entre 2600 N y más de 3300 N (13). En contraste, un estudio clínico de 12 meses con restauraciones 3D reportó una tasa de supervivencia del 84.4%, con complicaciones técnicas como problemas anatómicos (7%) e integridad marginal (6%), aunque sin complicaciones biológicas (18). Un metaanálisis reciente confirma que las resinas fresadas tienen significativamente mejores propiedades mecánicas que las impresas 3D (19).

Existe una falta de evidencia concluyente sobre si las resinas de impresión 3D como la PriZma Bio Crown Diamond para restauraciones definitivas, puede igualar o superar el rendimiento mecánico bajo fuerzas compresivas de otros materiales como las resinas en bloque fresada como la Hyramic. Aunque las resinas fresadas tienen tasas de supervivencia documentadas del 90-95 % a 5 años, la impresión 3D ofrece una reducción del 90% en el desperdicio del material lo que plantea un dilema entre eficiencia económica y durabilidad mecánica (13)

Esta brecha, unida a la escasa evidencia clínica para las resinas 3D (20), subraya la necesidad de estudios comparativos que evalúen propiedades críticas como la resistencia compresiva bajo condiciones que simulen el entorno oral como el envejecimiento artificial ya que los polímeros dentales sufren degradación hidrofílica en el medio oral, para orientar a los clínicos en la selección de materiales y asegurar el éxito de restauraciones overlays que sean duraderas y efectivas.

3.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es el efecto del envejecimiento artificial sobre la resistencia compresiva de restauraciones tipo overlays fabricadas con resina impresa 3D en comparación con resinas fresadas?

4. MARCO TEÓRICO

4.1 ODONTOLOGÍA DIGITAL Y NUEVAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN DE RESTAURACIONES

El éxito de los tratamientos restauradores depende mucho de la resistencia de la restauración. Con el objetivo de mejorar el desempeño clínico a largo plazo y garantizar el éxito de estos tratamientos, se han desarrollado innovadoras técnicas y materiales. La evolución de las tecnologías de fabricación ha transformado la elaboración de las restauraciones dentales, particularmente en el sector posterior, donde se requiere alta funcionalidad (21).

El surgimiento y la creciente aceptación de las aplicaciones computarizadas en la práctica odontológica han impulsado el desarrollo del concepto de odontología digital. La digitalización se ha convertido en un elemento fundamental de la odontología moderna, integrándose cada vez más en la práctica diaria. Dentro de este flujo de trabajo, dichas aplicaciones facilitan la creación del producto final mediante dos enfoques de fabricación distintos: la fabricación sustractiva y la fabricación aditiva (21–23)

En la última década, las tecnologías CAD/CAM (sistema de diseño y fabricación asistido por computadora), han mejorado la precisión y adaptabilidad clínica de las restauraciones definitivas, aunque este proceso genera pérdida de material y es lento. La impresión tridimensional (3D) que es un método de fabricación aditiva ha surgido como una alternativa eficiente, reduciendo costos y material, además de permitir restauraciones más complejas (2,10,23). Sin embargo, existen dudas sobre la resistencia y durabilidad de estas restauraciones frente a otros materiales utilizados en la elaboración de restauraciones permanentes como son las resinas en bloque fresadas mediante CAD/CAM.

4.2 FABRICACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA CAD/CAM

Esta tecnología se fundamenta en la recopilación y el procesamiento de datos, así como en la fabricación de restauraciones, lo que ha dado lugar a la incorporación de diversas técnicas y nuevos materiales de procesamiento (22,23). Las tecnologías CAD/CAM incluyen tanto métodos de producción aditiva como sustractiva, estas nuevas tecnologías en odontología han permitido el escaneo digital de la preparación dental dentro de la cavidad bucal del paciente, el diseño y fabricación de una restauración a medida y su colocación en un tiempo reducido. Este proceso digital ofrece una mayor comodidad para el paciente y menos margen de error en comparación con los métodos protésicos convencionales, que pueden ser más complejos y requerir más tiempo (22,24).

4.2.1 FABRICACIÓN SUSTRACTIVA

La fabricación sustractiva en odontología es una técnica en la que el producto final se obtiene a partir de un bloque de material mediante un proceso de fresado controlado por una computadora a través de un dispositivo de control numérico. Este método busca generar una geometría tridimensional precisa, organizando los datos de diseño según la configuración de la herramienta de fresado dentro del sistema del dispositivo de control numérico (25).

El método sustractivo para la fabricación de restauraciones puede generar imperfecciones, como muescas y micro fisuras, en los bordes marginales y las superficies como consecuencia del proceso de fresado. Además, una de sus principales limitaciones es la producción de material residual, debido a que el material utilizado para fabricar la restauración final genera un alto nivel de desperdicio. En estudios sobre fabricación sustractiva, aproximadamente el 90% del material se perdió durante el proceso. La imposibilidad de reutilizar estos residuos plantea desafíos tanto ambientales como económicos, incluyendo la gestión de desechos, el consumo energético, y dificultades en el diseño y la selección de materiales (21)

4.2.2 FABRICACIÓN ADITIVA (IMPRESIÓN 3D)

La fabricación aditiva, también conocida como impresión 3D, se define como "técnicas de combinación de materiales para diseñar elementos a partir de datos de modelos 3D, a menudo capa por capa, en contraste con los enfoques sustractivos"(23), es una alternativa a los métodos de fabricación sustractiva. El principio esencial de la fabricación aditiva consiste en el proceso de unir materiales poliméricos en forma de polvo o líquido capa por capa para crear objetos, utilizando una fuente de energía regulada por computadora, lo que permite la creación de estructuras tridimensionales complejas a partir de datos de modelos 3D. La impresión 3D produce la fabricación en masa de restauraciones dentales individualizadas de calidad, evitando procesos intensivos en mano de obra y dependientes del operador, reduciendo los costos de fabricación, disminuyendo los tiempos de espera del paciente y minimizando la posibilidad de errores humanos relacionados con la fabricación (2,11,20,21,23).

La impresión 3D, una tecnología amplia y diversa, la American Society for Testing and Materials (ASTM) (23) ha clasificado las técnicas de fabricación aditiva en siete tipos principales incluye:

Polimerización foto-vat (VPP): Incluye el procesamiento digital de la luz (DLP) y la estereolitografía (SLA)(23).

- La estereolitografía (SLA): Una impresora 3D SLA opera mediante una fuente de luz láser ultravioleta que polimeriza la resina fotosensible. El láser traza una sección transversal del objeto, formando una nueva capa que se solidifica. Luego, la base de impresión se sumerge en la resina líquida no curada para cubrir la capa previa, repitiendo el proceso hasta completar el objeto final(20,22,23).
- El procesamiento digital de la luz (DLP) utiliza una fuente de luz para crear objetos capa por capa, La tecnología de impresión DLP es similar a SLA, pero su principal diferencia radica en la fuente de luz. En DLP, en lugar de

un láser, un proyector proyecta la forma de cada capa sobre la plataforma de impresión (20,22,23).

Fusión de lecho de polvo (PBF): Implica el uso de polvos (cerámica, metal, plástico) este incluye las siguientes técnicas:

Sinterizado selectivo por láser (SLS): Utiliza un láser de alta potencia para sinterizar selectivamente el material en polvo a temperaturas por debajo de su punto de fusión. Se utiliza generalmente para procesar polímeros y cerámicas (23).

Sinterizado directo por láser de metal (DMLS): Sinteriza polvos metálicos utilizando un láser de alta potencia, es una continuación del método SLS, recreando componentes tridimensionales a partir de adiciones capa por capa de polvo metálico fusionado, utilizando aleaciones de acero, níquel, cobalto y titanio (5,10,23).

Fusión selectiva por láser (SLM): Similar al SLS pero el polvo se funde completamente en lugar de parcialmente. Su principal beneficio es la capacidad de fabricar topologías complejas de piezas metálicas con alta precisión espacial a un precio razonable (10,23).

Fusión por haz de electrones (EBM).

Extrusión de material (MEX): Utiliza filamentos, pellets o pasta de materiales como cerámica, metal y plástico (18,22).

Inyección de aglutinante (BJ): Emplea polvos de cerámica, metal y plástico, con una tecnología como la impresión por chorro de color (CJP) (23).

Deposición de energía dirigida (DED): Usa polvo o alambre metálico (23).

Laminado de láminas (SL): Utiliza láminas de metal o plástico, con una tecnología como la fabricación de objetos laminados(23).

Inyección de material (MJT): Emplea líquido plástico, con una tecnología como PolyJet.(3,18)

Todos estos métodos están disponibles para imprimir objetos y se utilizan en diversas aplicaciones en la industria y la investigación científica (2,23,28).

La impresión 3D ofrece múltiples ventajas, como la capacidad de personalización total, permitiendo fabricar productos adaptados a las necesidades específicas de

cada usuario o paciente. Además, es un método rápido y eficiente, que reduce tanto los costos operativos como el desperdicio de materiales en comparación con técnicas tradicionales, posee versatilidad en el uso de diferentes materiales y la facilidad para crear geometrías complejas (10,11,23).

4.2.3 DIFERENCIAS MECÁNICAS INTRÍNSECAS ENTRE LA FABRICACIÓN SUSTRACTIVA Y ADITIVA

En el fresado, los bloques de resina compuesta están fabricados industrialmente bajo altas presiones y temperaturas, lo que resulta en un mayor grado de conversión de monómeros y una estructura más homogénea y densa. Por el contrario, la impresión 3D se basa en la polimerización fotoquímica capa por capa lo que puede introducir anisotropía en el material, es decir, variaciones en la resistencia dependiendo de la dirección de la capa en relación con la orientación de las capas impresas (29,30)

4.3 RESTAURACIONES INDIRECTAS EN EL SECTOR POSTERIOR

La odontología restauradora moderna ha experimentado un gran desarrollo de los procedimientos adhesivos, esta evolución, junto con la mejora de los materiales restauradores y los sistemas adhesivos, ha transformado el enfoque del tratamiento de los dientes posteriores (3).

Las restauraciones indirectas, o restauraciones adhesivas indirectas, se describen como coronas parciales elaboradas en composite o cerámica. Su finalidad principal es colocarse de manera pasiva y fijarse mediante cementación adhesiva en preparaciones dentales con características determinadas.

Si bien las técnicas directas continúan siendo la alternativa inicial para restauraciones Clase I y II de tamaño pequeño a mediano con esmalte cervical presente, resultan menos adecuadas en casos donde existe una pérdida extensa de estructura dental dura (3).

La durabilidad de las restauraciones está influenciada por múltiples factores. Investigaciones previas han señalado elementos vinculados al material, la estructura dental y las características del paciente como determinantes clave. Las restauraciones indirectas, como coronas e incrustaciones adhesivas a menudo son la opción más ideal para los dientes que se han sometido a un compromiso estructural significativo (13).

La preparación estándar de una incrustación, se basa en la anatomía de la superficie oclusal y la provisión de un espacio interoclusal adecuado de acuerdo con el material restaurador utilizado y el diseño sin preparación o mínimamente invasivo, que se ha recomendado para dientes con una pérdida significativa de tejido dental o dientes con desgaste oclusal, las restauraciones indirectas son elaboradas externamente de la cavidad oral para adaptarse a la configuración de la preparación y a la morfología del diente (31). En la literatura se pueden encontrar diferentes tipos de restauraciones indirectas parciales adhesivas: onlay, inlay, overlays y endocrown; estas se han documentado como restauraciones duraderas mínimamente invasivas y se describen a continuación(3,31):

Inlay: Es una restauración dental que no cubre las cúspides dentales, estas incrustaciones son una opción para restaurar dientes con cavidades de clase II de tamaño moderado a grande, siempre que las paredes vestibular y lingual se mantengan en buen estado (3,32).

Onlay: Es una restauración de cobertura parcial que reconstruye una o más cúspides, sin cubrir toda la superficie oclusal, indicadas en cavidades Clase II grandes con paredes laterales parcialmente soportadas(3,32).

Overlay o Table Top: Restauraciones de cobertura total de cúspides. Indicadas en cavidades extensas con paredes axiales sin soporte, también son la primera opción para dientes afectados por el síndrome del diente fisurado debido a su mayor

resistencia y capacidad para estabilizar la cúspide, la carilla oclusal puede ser de diferentes grosores según la estructura del diente perdido (3,31,32)

Endocrowns: Es un tipo de restauración dental que se describe como una restauración monolítica adhesiva de una sola pieza con núcleo y corona cuya retención depende de la fricción con las paredes de la cámara pulpar y de la adhesión con la estructura dental disponible. Las indicaciones de las endocoronas incluyen un espacio interoclusal insuficiente para el núcleo del poste y la corona, para evitar el alargamiento de la corona quirúrgica donde no se puede establecer una férula, conductos radiculares calcificados, curvos o cortos donde la colocación de postes es difícil, y para molares permanentes jóvenes tratados endodónticamente (18,31).

Vonlay: Una restauración que cubre las superficies oclusal y vestibular, indicadas para la restauración de dientes que están intrínseca o extrínsecamente con decoloración (31).

4.4 MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE RESTAURACIONES INDIRECTAS EN EL SECTOR POSTERIOR

Una serie de nuevos materiales pueden ser procesados mediante la tecnología de diseño asistido por ordenador y fabricación asistida por ordenador (CAD/CAM), utilizados en odontología para la fabricación de incrustaciones y se caracterizan por su alta precisión y capacidad para producir restauraciones dentales con propiedades mecánicas, biocompatibles y estéticas adecuadas. Algunos de los materiales CAD/CAM más utilizados en odontología son los materiales cerámicos y los materiales poliméricos (11)

Dentro de dichos materiales y desde hace varias décadas, las cerámicas, debido a su estabilidad química y a que tienen buenas propiedades mecánicas y ópticas, así como excelente biocompatibilidad, han sido ampliamente utilizadas en odontología(13).

Todos los materiales analizados en este estudio pueden ser procesados por tecnología CAD/CAM, diseñados y fabricados digitalmente con el uso de una fresadora o una impresora 3D y se describen más específicamente a continuación (33)

4.5 BLOQUES DE RESINA COMPUESTAS PARA FRESADO.

Los nuevos materiales para fabricación sustractivos incluyen resinas compuestas para restauraciones indirectas permanentes (22). Las resinas en bloque son materiales dentales híbridos prefabricados industrialmente que se utilizan con las tecnologías CAD/CAM para crear restauraciones dentales, estos materiales combinan las ventajas de las cerámicas y de las resinas compuestas (4).

Los bloques de resina de compuesta para fresado emplean un proceso de tallado húmedo para dar forma a la restauración final a partir de los bloques, idealmente la restauración final debe requerir un tiempo de pulido y/o maquillado y glaseado antes de ser cementada definitivamente lo cual se puede hacer en una única cita, reduciendo el tiempo de tratamiento y eliminando la necesidad de un provisional (2,13).

Comercialmente se puede encontrar una gran variedad de marcas comerciales de resinas en bloque CAD-CAM disponibles para la fabricación de restauraciones indirectas. Entre estas resinas se encuentra Hyramic (Upcera), material utilizado en este estudio. Hyramic (Upcera) se posiciona como el primer fabricante mundial en desarrollar una cerámica híbrida de 3 capas, recientemente introducida en el mercado. La mayor parte de la información disponible sobre este material proviene directamente del fabricante. Hyramic (Upcera) es una cerámica híbrida disponible en versiones Monocromática y Multicapa, adecuada para sistemas CAD/CAM tanto de laboratorio como en el consultorio. Su composición química incluye un 55% - 85% de relleno inorgánico, 13% - 43% de polímeros de resina, y menos del 1% de aditivos y colorantes (34) (Tabla 1).

El fabricante indica que este material presenta excelentes propiedades biológicas, habiendo superado pruebas de citotoxicidad con nivel 0, toxicidad sistémica subcrónica, sensibilización de la piel, hemólisis <5%, mutagenicidad, prueba de Ames negativa, irritación de mucosa oral y aberración cromosómica, todas con resultados favorables. En cuanto a sus parámetros técnicos, HYRAMIC ofrece una fuerza flexible ≥ 180 MPa, una absorción de agua ≤ 25 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$, una solubilidad ≤ 2 $\mu\text{g}/\text{mm}^3$ y una dureza de 1.0 - 1.2 GPa (34)

Sus indicaciones clínicas incluyen: carillas ultrafinas, carillas convencionales, incrustaciones inlays y onlays. coronas monolíticas, tabletops y restauraciones tanto anteriores como posteriores (34)

Por último, los estudios científicos sobre Hyramic (Upcera) se centran en propiedades como cerámica híbrida de doble red de cerámica-composite, que ofrece una resistencia a la flexión superior a 180 MPa y alta translucidez, permitiendo restauraciones inmediatas y duraderas sin necesidad de sinterización o cristalización (34,35)

Respecto otros materiales de resina en bloque se han realizado múltiples estudios que han evaluado su comportamiento mecánico como:

- Enamic® de VITA que es un material híbrido que combina cerámica (86% en peso) y resina (14% en peso) según los fabricantes, VITA informa que Enamic® tiene una resistencia a la fractura de 2766 N (36) y según otro estudio su resistencia fue 312,924 N (13)
- CERASMART™ de GC está compuesto por una matriz de resina (29%) reforzada con cerámica ultrafina (71%) se ha reportado una resistencia a la fractura de 338,327 N (13) otro estudio reportó que no hubo fractura incluso bajo una carga máxima de 2000 N (4).
- Para LAVA™ ULTIMATE de 3M ESPE se ha reportado un valor de 2600N (13).

En 2017, Goujat et al. realizaron un estudio *in vitro* en el que evaluaron las propiedades mecánicas y la adaptación marginal resinas en bloque CAD-CAM

utilizados en incrustaciones. Sus resultados mostraron que estos materiales presentaban valores dentro del rango aceptado por la norma ISO 6872:2008 para cerámicas, confirmando su idoneidad para la fabricación de restauraciones clínicas (37), hasta la fecha son muy pocos los estudios sobre Hylamic (Upcera) por lo que la información detallada sobre este material puede ser limitada, ya que es un producto relativamente nuevo e introducido al área comercial de la odontología y se requieren más estudios sobre este material (34,35)

4.4.1 RESINAS DE IMPRESIÓN 3D

La efectividad de la impresión 3D en odontología depende en gran medida de los materiales utilizados, las avanzadas técnicas de impresión 3D han incorporado nuevos polímeros en la odontología. Actualmente, estos materiales se emplean en la fabricación de modelos dentales, férulas oclusales, prótesis fijas, restauraciones temporales y restauraciones definitivas (2,5,22)

Las resinas compuestas impresas 3D son un material apropiado para restauraciones provisionales al menos a largo plazo, ya que presentan una adaptación marginal aceptable con ventajas de costo y tiempo (2) y en la actualidad las resinas compuestas fabricadas mediante impresión 3D han sido introducidas al mercado como materiales de opción para restauraciones definitivas de dientes individuales (5,22) La incorporación de partículas cerámicas y nanopartículas en los composites de resina ha dado lugar a una nueva generación de materiales: los composites de resina nanohíbridos para impresión 3D, que según los fabricantes están diseñados para su uso en restauraciones permanentes (5)

Las propiedades mecánicas de los composites dependen de su composición y porcentaje de partículas de relleno, lo que puede generar ciertas limitaciones. por lo que la adición de rellenos inorgánicos a las resinas sin relleno modifica las propiedades mecánicas del producto final impreso en 3D(5). Además, en restauraciones indirectas impresas en 3D también se deben considerar la estabilidad del color y la estética, estos factores influyen en la aplicación específica

del material. Actualmente, hay pocas resinas disponibles para restauraciones permanentes impresas en 3D y su denominación varía según el fabricante; algunos, como Crowntec (Saremco Dental AG), se etiquetan como resinas, mientras que otros, como VarseoSmile Crown Plus (Bego) y PriZma Bio Crown Diamond (Makertech Labs) se describen como resinas híbridas (6,25).

La resina PriZma Bio Crown Diamond de Makertech Labs es una resina imprimible para restauraciones definitivas, está compuesta químicamente: monómeros metacrilados (>10%), sílice amorfa ($\leq 8\%$), uretano dimetacrilato (< 75%), Dióxido de titanio (< 0.5%), Zirconia silanizada (< 2%), Rellenos cerámicos (propietarios) (< 15%), Óxido de difenil (2,4,6-trimetilbenzoil)-fosfina (< 5%) (38), se han realizado estudios que han reportado su resistencia a la flexión que es de 76.4 MPa a 96.0 MPa y su módulo elástico de 1.7 GPa a 2.3 GPa (Tabla 1). También demostró que la formación de biopelícula es menos patógena que la de otros materiales (38,39), sin embargo hacen falta más estudios de sus propiedades mecánicas.

Aunque los materiales para las restauraciones indirectas permanentes impresas tienen un gran potencial, aún no se dispone de suficientes estudios que comparen el comportamiento de estas restauraciones en cuanto a la fatiga, el tiempo y el costo con los métodos sustractivos (5,13,22,25,39)

Tabla 1 .COMPOSICIÓN QUÍMICA DE MATERIALES EVALUADOS

Material de Estudio	Composición Química Principal	Características Técnicas	Método de Procesamiento
Hyramic (Upcera)	55-85% relleno inorgánico, 13-43% polímeros de resina.	Cerámica híbrida multicapa, ≥ 180 MPa fuerza flexible.	Fresado CAD/CAM (Sustractivo).
PriZma Bio Crown Diamond	Monómeros metacrilados, sílice amorfa ($\leq 18\%$), uretano dimetacrilato (<75%), zirconia silanizada.	Resina nanohíbrida, resistencia flexural 76-96 MPa.	Impresión 3D DLP (Aditivo).

4.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MATERIALES PARA FABRICACIÓN ADITIVA Y SUSTRACTIVA

Para predecir el éxito clínico o fracaso de un material, existen parámetros físicos-mecánicos que al ser evaluados permiten tener una idea del comportamiento de dicho material bajo condición estática y dinámica (13)

La capacidad de un material para soportar las fuerzas en el sector posterior es fundamental para la longevidad de las restauraciones (40), se han llevado a cabo diversos estudios con el objetivo de medir la fuerza masticatoria, y se ha informado que, en condiciones clínicas, las restauraciones dentales están expuestas a fuerzas cíclicas que oscilan entre 60 y 250 N durante su funcionamiento. No obstante, este rango puede variar considerablemente dependiendo de la zona de la boca en la que se encuentren algunos estudios han informado que en zona de premolares varía entre 133 a 334 N y en la región molar de 400 a 890N y otros estudios reportaron que en la región de premolares puede ser de 424–583 N y hasta 900 N en la zona molar (5,13)

La resistencia a la compresión es una propiedad mecánica de los materiales. La resistencia a la fractura se refiere a la capacidad de un material para soportar una fuerza de compresión sin fracturarse, es una propiedad mecánica crucial para materiales dentales su unidad de medida es el newton(6). Teniendo en cuenta que la fractura de restauraciones es un motivo de consulta frecuente, dicha propiedad amerita ser estudiada para obtener un resultado que soporte la elegibilidad del material restaurador actual (13)

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar la resistencia a la compresión de restauraciones indirectas para el sector posterior elaboradas con resina de impresión PriZma Bio Crown Diamond (Makertech Labs) y resina Hyramic (Upcera) fresada mediante CAD-CAM, sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la resistencia a la compresión de restauraciones indirectas para el sector posterior elaboradas con resina de impresión 3D PriZma Bio Crown Diamond (Makertech Labs), sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.
2. Determinar la resistencia a la compresión de restauraciones indirectas para el sector posterior elaboradas con resina Hyramic (Upcera) la cual es fresada mediante CAD-CAM, sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.

6. METODOLOGÍA

6.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio experimental comparativo *in vitro*. Se seleccionó este diseño de estudio porque proporciona un ambiente controlado y reproducible para evaluar y comparar la resistencia a la compresión de los materiales estudiados, minimizando variables externas. Además, permite la simulación de condiciones clínicas relevantes, como el envejecimiento que padecen las restauraciones indirectas dentro de la boca y aspectos biológicos clave, como el ligamento periodontal, con el fin de representar el entorno de un diente vital.

Asimismo, al evaluar la resistencia a la compresión de restauraciones overlay elaborada con resina PriZma Bio Crown Diamond (Makertech Labs) y con resina Hyramic (Upcera) por medio de una maquina universal de ensayos, el diseño *in vitro* permite establecer un protocolo estandarizado para realizar esta comparación.

6.2 POBLACIÓN OBJETIVO

Incrustaciones tipo overlays elaboradas de dos materiales:

- Resina de impresión 3D: PriZma Bio Crown Diamond de Makertech
- Resina en bloque fresada: Hyramic (Upcera).

Cementadas en preparaciones dentales estandarizadas en dientes de resina impresa, que inicialmente se realizaron en 1 molar humano que luego fue duplicado en resina impresa portux model (New Stetic).

6.2.1 Criterios de selección

6.2.1.1 Criterios de inclusión.

- Dientes de resina impresa con preparaciones duplicados de un molar humano natural con preparación overlay.

- Incrustaciones overlays de resina PriZma Bio Crown Diamond de Makertech, elaboradas mediante tecnología de impresión 3D de resina PriZma Bio Crown Diamond de Makertech sin imprecisiones, deformidad o burbujas.
- Incrustaciones overlays de resina Hyramic (Upcera) elaboradas mediante tecnología CAD-CAM sin imprecisiones, deformidad o burbujas.
- Restauraciones indirectas tipo overlay fabricadas con resina Hyramic (Upcera) fresada mediante CAD-CAM y con resina PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) obtenida por impresión 3D, la cual sean sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial

6.2.1.2 Criterios de exclusión.

- Especímenes que se fracturaron antes de la prueba en la maquina universal de ensayos.

6.3 TAMAÑO DE MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO

6.3.1 Cálculo del tamaño de muestra.

Hipótesis:

La Hipótesis para este estudio fue la siguiente:

Hipótesis Nula: No existe diferencia significativa en la resistencia compresiva entre las restauraciones indirectas posteriores fabricadas con resinas impresas en 3D y las fabricadas con resinas en bloque CAD-CAM. La cual fueron sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.

Hipótesis Alterna: Sí existe una diferencia significativa en la resistencia compresiva entre las restauraciones posteriores fabricadas con resinas impresas en 3D y las fabricadas con resinas en bloque CAD-CAM. La cual fueron sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.

Fórmula utilizada:

El cálculo del tamaño de muestra se realizó por medio de los resultados obtenidos en la prueba piloto.

Realizando un cálculo de muestra para dos medias independientes con los siguientes datos:

Riesgo α : 0.05 $\rightarrow Z=1.96$

Poder Estadístico (Potencia): 80%= 0.80 $\rightarrow Z= 0.84$

Desviación estándar común $\sigma^2= 222.35$ N.

Diferencia mínima a detectar $\Delta = 282.66$ N.

Serian 10 muestras para cada grupo de resina (10 para las restauraciones de resina 3D y 10 para restauraciones CAD/CAM).

Tamaño de muestra:

El tamaño de muestra seleccionado para cada grupo es de 10 incrustaciones overlay para cada grupo de estudio:

Resinas 3D: 10 Incrustaciones overlay de PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) cementadas en dientes de resina impresa, este grupo a la vez se dividió en 2 grupos:

- **3D:** 5 incrustaciones overlay de PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) cementadas en dientes de resina impresa que no fueron sometidas a proceso de termociclado.
- **3D Termo:** 5 incrustaciones overlay de PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) cementadas en dientes de resina impresa que fueron sometidas a proceso de termociclado.

Resinas CAD-CAM: 10 Incrustaciones

- **CAD-CAM:** 5 incrustaciones overlay de Hyramic (Upcera) cementadas en dientes de resina impresa Portux model (New Stetic, Colombia) que no fueron sometidas a proceso de termociclado.

- **CAD-CAM Termo:** 5 incrustaciones overlay de Hyramic (Upcera) cementadas en dientes de resina impresa Portux model (New Stetic, Colombia) que fueron sometidas a proceso de termociclado.

Teniendo un total de 20 incrustaciones overlays para la realización del estudio.

6.3.2 Diseño de muestreo.

Probabilístico aleatorio simple:

Se escanearon preparaciones de tipo overlay realizadas en 1 molar humano y se escaneó y se duplicó en resina de impresión 3D para modelos obteniendo 20 copias idénticas del molar preparado y aleatoriamente se realizó una restauración indirecta de Resina 3D o Resina CAD-CAM, obteniendo la misma cantidad de incrustaciones por cada grupo.

6.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

6.4.1 Variables.

1. Material de restauración: Variable Independiente
2. Resistencia compresiva: Variable dependiente

6.4.2 Cuadro operacional de las variables

Definición operacional de las variables

Tabla 2. Definición operacional de las variables

Variable	Definición operacional	Tipo / nivel de medición	Valores posibles	Fuente de información
Material de Restauración	Es la clasificación de la restauración indirecta según el material y método de fabricación utilizado.	Cualitativa Dicotómica	Resina de Impresión 3D: PriZma Bio Crown Diamond Resina CAD-CAM: Hyramic (Upcera)	Impresora 3D Fresadora CAD-CAM
Envejecimiento Artificial	Proceso de simulación de cambios térmicos del ambiente oral mediante el termociclado aplicado a las restauraciones para evaluar su comportamiento mecánico posterior.	Cualitativa dicotómica	Sin termociclado / Con termociclado	Máquina de termociclado
Resistencia Compresiva	Es la capacidad de la restauración overlay para resistir fuerzas de compresión aplicadas de manera axial antes de fracturarse.	Cuantitativa Continua	Valores en Newtons o Megapascals (MPa)	Máquina Universal de pruebas

6.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

6.5.1 Elaboración de muestras:

Primera fase: montaje de dientes naturales.

Se obtuvo 1 molar recién extraído (Figura 1) a un paciente de una clínica privada por medio de solicitud con Consentimiento informado, el diente fue almacenado en agua destilada a temperatura ambiente.



Figura 1. Diente natural

Fuente: elaboración del autor 2025

Segunda fase: Simulación de ligamento periodontal y montaje de dientes naturales.

La raíz fue cubierta hasta 2 mm por debajo de la unión amelocementaria con cera calibrada a 0,3mm (Geo classic Renfert) con el propósito de simular el ligamento periodontal, luego se posicionó en un molde en forma de redondo de 4.2cm de ancho y 1.8 cm de alto y se realizó el vaciado conacrílico transparente autopolimerizable (Veracryl®, New Estetic, Colombia) hasta el nivel de la cera, quedando 1 mm por debajo de la unión amelo-cementaria, manteniendo el plano oclusal paralelo al piso.

Posteriormente, una vez completado el proceso de polimerización, el diente se retiró de su base, se eliminaron los restos de cera y en el espacio resultante dentro del cubo se colocó silicona de adición (Elite HD+®, Zhermak, Italia). Finalmente, el

mismo diente fue recolocado en el molde y se esperó polimerización de la silicona, tras el tiempo indicado por el fabricante, se eliminaron los excesos de silicona con bisturí. (Figura 2).

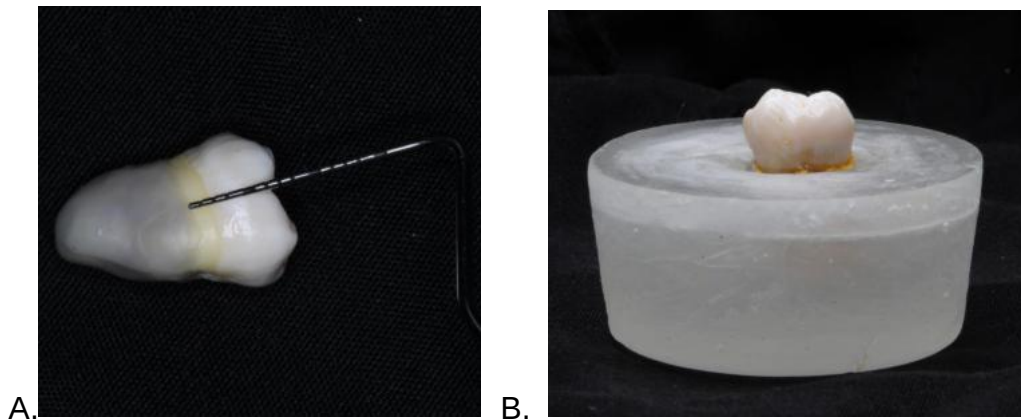


Figura 2. Diente encerado - ligamento periodontal

Fuente: elaborada propia del autor 2025

Tercera fase: Preparación de cavidades Overlay

Las preparaciones se basaron en un protocolo de diseño guiado por la morfología dental (Figura 3), siguiendo a Veneziani que busca preservar la estructura dental máxima mientras proporciona un espesor de material suficiente (3), se utilizaron llaves de silicona por condensación (Z-labor de Zhermak), una llave sagital y otra vestibular para guiar el desgaste de la preparación.

Los parámetros de preparación overlay para los molares fueron:

Reducción oclusal anatómica: 1.5 mm con ángulos redondeados, con márgenes biselados. Se utilizó una pieza de mano de alta velocidad (NSK) y una fresa toncocónica diamantada grano azul primero (850 Jota) y luego una de grano rojo (852F Jota) y una fresa siguiendo la morfología del diente.

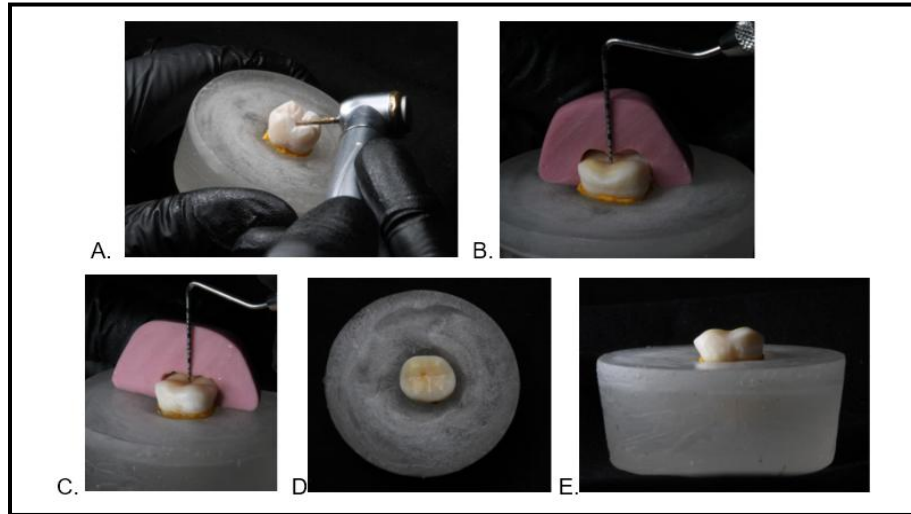


Figura 3. Prototipo diente natural

A. Realización reparaciones anatómicas overlay, B. Matriz sagital con desgaste a 1.5 mm, C. Matriz vestibular con desgaste a 1.5 mm, D. Preparación overlay vista oclusal, E. preparación overlay vista vestibular. Fuente: elaborado por el autor 2025

Cuarta fase: Duplicación de dientes

Escaneo intraoral de preparaciones para duplicación de la muestra.

Se realizó un escaneo con un escaner 3shape de Trios de los dientes naturales preparados para la obtención de modelos digitales STL (Figura 4A), que fueron utilizados para el diseño de las incrustaciones (Figura 4B), con los datos STL se imprimieron 20 duplicados del diente utilizando resina para modelos Portux model (New Stetic, Colombia) (Figura 4C).

Quinta fase: Simulación de ligamento periodontal y montaje de dientes de resina impresa.

Para la simulación del ligamento periodontal se realizó el mismo procedimiento que en los dientes naturales colocando cera 2mm por debajo de la unión amelocementaria calibrada a 0.3mm de los dientes de resina impresa y luego se realizó el montaje de estos en los moldes redondo de 4.2cm de ancho y 1.8 cm de alto de la misma forma que en el diente natural.

Las muestras se marcaron como 3D para PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) sin termociclado y 3D Termo para PriZma Bio Crown Diamond (Makertech) con

termociclado, CAD/CAM para HYRAMIC (UPCERA) sin termociclado y CAD/CAM Termo para para HYRAMIC (UPCERA) con termociclado, además cada muestra se enumeró del 1 al 5 para cada grupo.

El ligamento periodontal actúa como un amortiguador de tensiones, no incluir esta variable podría conducir a resultados de fractura artificialmente altos y patrones de falla que no se observan en la clínica.

Sexta Fase: Diseño CAD

Con los datos STL obtenidos se diseñaron las incrustaciones para los grupos de resinas 3D y resinas CAD-CAM, se utilizó un Software de diseño asistido por ordenador (Exocad 3.2), los parámetros del diseño fueron estandarizados para ambos grupos, se realizó 1 diseño para las incrustaciones (Figura 4B).

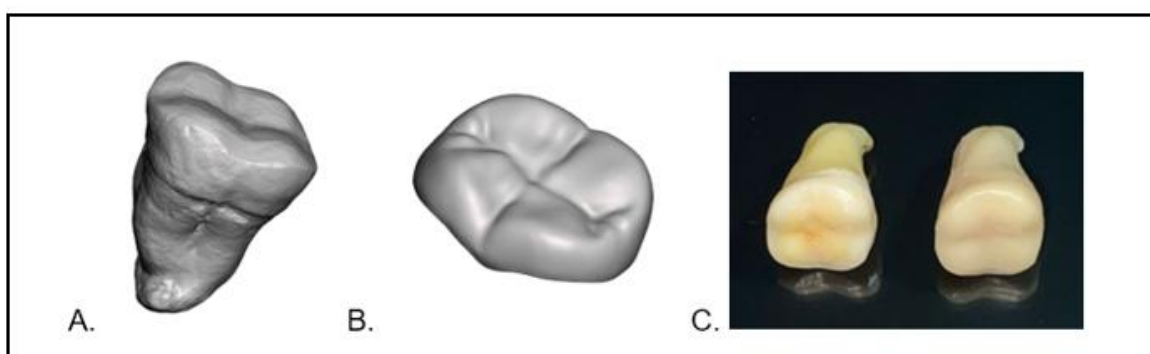


Figura 4. Diente duplicado y diseño de incrustación

A. Diente natural escaneado B. diseño de incrustación overlay C. Diente natural y diente escaneado.

Fuente: elaborado por el autor 2025

Séptima Fase: Fabricación de incrustaciones

Resinas 3D: Con los datos STL se procedió a realizar la impresión 3D de las restauraciones indirectas del grupo resinas 3D, se fabricaron 20 restauraciones, 10 restauraciones indirectas mediante una impresora de resina 3D de resina de marca ELEGOO serie Mars (Figura 5A) siguiendo las instrucciones del fabricante, como material se utilizó PriZma Bio Crown Diamond (Makertech), una vez impresas las incrustaciones se realizó el protocolo de post-procesado y curado: Se lavaron las

incrustaciones con alcohol isopropílico al 95% por 5 minutos para eliminar la resina sin polimerizar. Luego se secaron completamente antes del curado y luego se procedió a realizar un proceso de post-curado UV de 380-405 nm durante 15 minutos, esto se realizó en una cámara de curado ELEGOO Mercury Plus (Figura 5B) y luego se retiraron los pines de soporte y se realizaron ajustes y pulido mecánico.

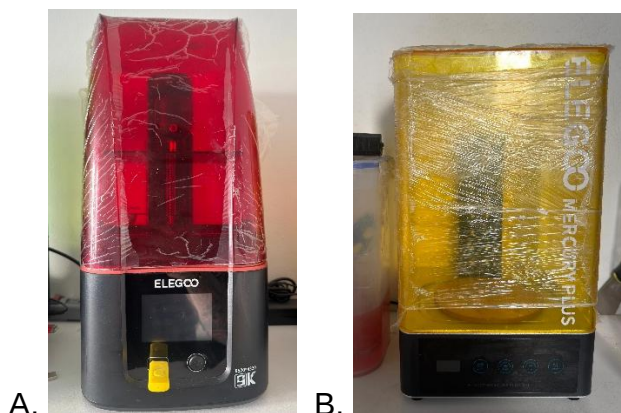


Figura 5 impresora 3D y Cámara de curado

A. Impresora 3D ELEGOO serie Mars B. Cámara de curado ELEGOO Mercury Plus. Fuente: elaborada por el autor 2025

Resinas fresadas CAD-CAM: Se fabricaron 10 restauraciones indirectas utilizando una fresadora dental en bloques de resina HYRAMIC (UPCERA) siguiendo las recomendaciones del fabricante, se recortaron los excesos y se pulieron (Figura 6 B).

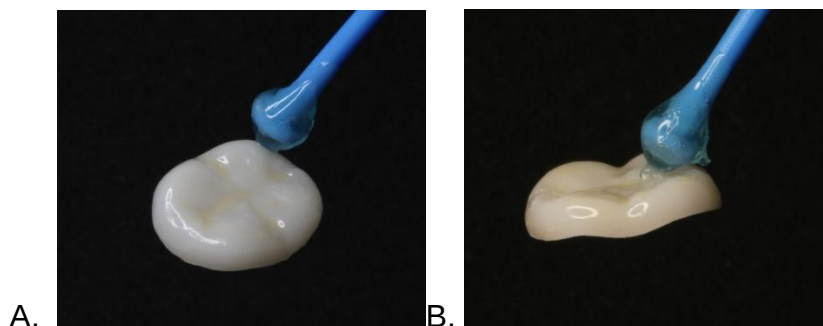


Figura 6. Incrustaciones

A. Restauración de resina 3D Prizma Crown Diamond de Makertech, B. Restauración de resina fresada Hynamic. de Upcera. Fuente: Elaborada por autor.

Octava fase: Prueba de ajuste

Se midió cada restauración en su respectiva muestra, asegurando que tuvieran una correcta adaptación y sellado margina y que asentarán pasivamente.

Novena fase: Cementación

Las restauraciones de resina 3D y de resina CAD-CAM, así como las preparaciones en los dientes impresos, se arenaron con partículas de alúmina de 50 μm a 10 mm de distancia por 10 segundos para aumentar la energía superficial y la retención mecánica.

Las superficies de los dientes impresos y las superficies internas de las restauraciones de resina 3D se grabaron con ácido fosfórico al 37% durante 5 segundos y luego se lavaron bien con agua durante 30 segundos, se secó y en las restauraciones de resina CAD-CAM se colocó silano y se dejó por 1 minuto para que este se evaporara, este paso es vital para establecer enlaces químicos entre la matriz orgánica de la cerámica híbrida.

Posteriormente, en las restauraciones de ambos materiales se aplicó una capa del adhesivo universal (All bond, Bisco) tanto en la superficie de la restauración acondicionada como en la de la cavidad, se aplicó aire para eliminación del solvente y se fotopolimerizó por 20 segundos, se colocó cemento resinoso dual (Duolink, Bisco) en la restauración y se asentó la restauración en la cara oclusal del diente.

Se retiró el exceso de cemento con un pincel y se esperó auto polimerización por 60 segundos y luego la restauración se fotopolimerizó por 40 segundos con intermitencia de 10 segundos en cada cara del diente utilizando una lámpara de fotocurado a 1500w (Curing pen, Eigtheeth) (Figura 7).



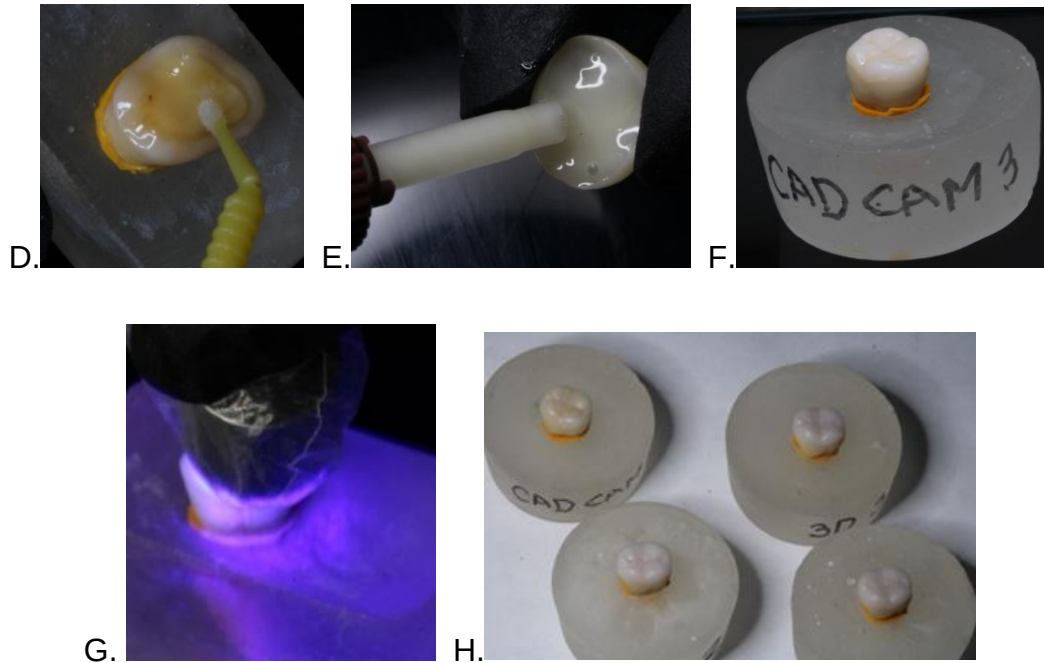


Figura 7. Protocolo de Cementación

A: proceso de micro-arenado: aplicación de silano en la cara interna de la incrustación C: grabado ácido fosforico al 37% D: aplicación de adhesivo universal E: colocación del cemento resinoso dual (Duolink, Bisco) en la restauración F: unión de la incrustación y el diente con presión táctil. G: proceso de fotocurado del cemento H: muestras con incrustaciones cementadas

6.5.2 Envejecimiento artificial:

Una vez cementadas las incrustaciones en los dientes impresos, las muestras de los grupos 3D Termo y CAD/CAM Termo fueron sometidos a un proceso de envejecimiento usando saliva artificial Salivar NF (Farpag) que añade realismo químico al proceso, en una máquina de termociclado SD Mechatronik Termocicler, se hicieron 5,000 ciclos a 5.5°C – 55° que equivalen aproximadamente a 6 meses en la cavidad oral (Figura 8).

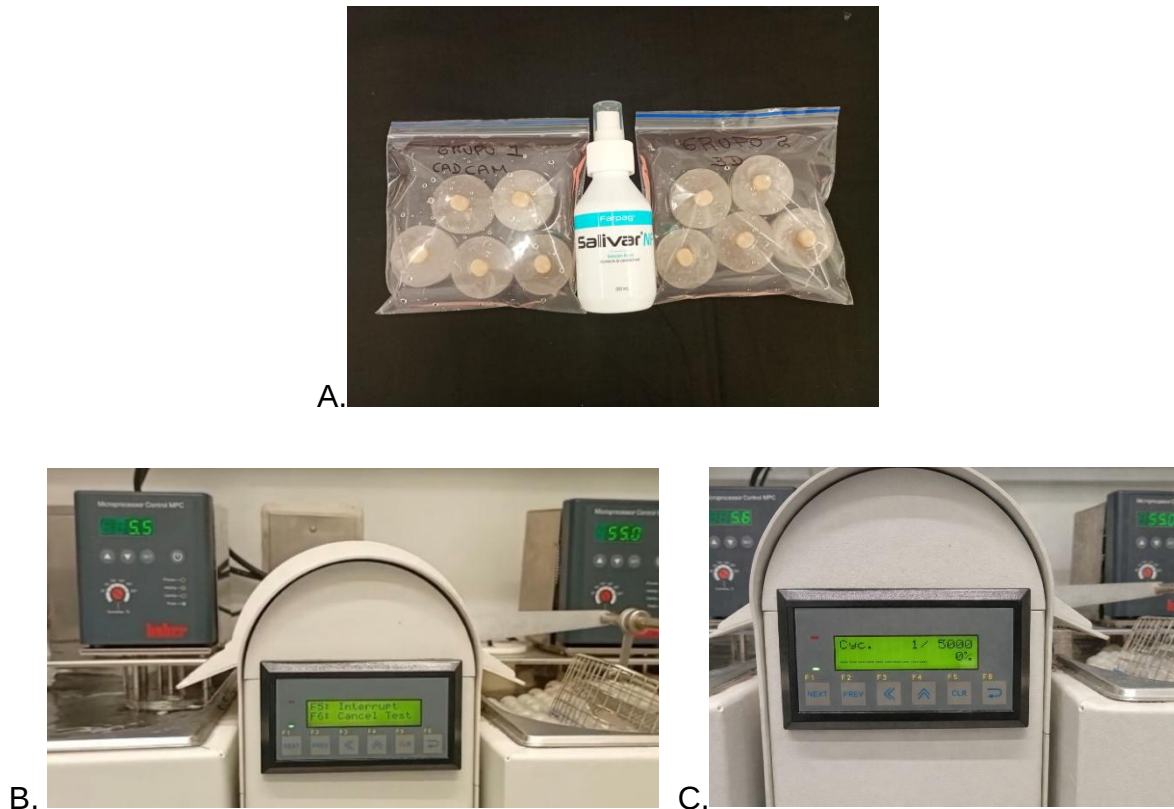


Figura 8. Termociclado

A. Muestras de 3D y CAD-CAM en saliva artificial B: Proceso de termociclado C: 5000 ciclos de termociclado.

6.5.3 Prueba de resistencia compresiva:

La evaluación de la resistencia compresiva se realizará por medio de la Máquina de ensayos universal (Tinius Olsen) del laboratorio de materiales cerámicos de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, las dimensiones de las muestras fueron medidas con un calibrador digital con precisión de $\pm 0,01$ mm. Se midió el ancho de mesial a distal y de vestibular a palatino de cada muestra y se midió también la altura, para la prueba de compresión se utilizó un balón metálico de 3.8 mm que se colocó en la cara oclusal de las incrustaciones y luego las muestras se colocaron sobre discos de compresión en la maquina universal, ubicándolo de manera que el disco superior contactase con el balón metálico y posteriormente se inició el desplazamiento en 0 aplicando una fuerza uniaxial a 90° con una velocidad constante de carga de 0.5 mm/min hasta que la incrustación llegara a su fallo (41) (Figura 9).

Los parámetros medidos correspondieron a la fuerza máxima (N) antes de fractura y la deformación (mm) y módulo elástico.

Para el ensayo de compresión, el esfuerzo y la deformación se calcularon a través de las siguientes ecuaciones: Esfuerzo = F / A , donde F es la fuerza (N) y A el área transversal (ancho 1 $\times$ ancho 2 en mm^2). Deformación (%) = $((h_f - h_o) / h_o) \times 100$.

La celda utilizada de 50 KN durante los ensayos de compresión y flexión tiene un valor de incertidumbre o de error del 0,21%.

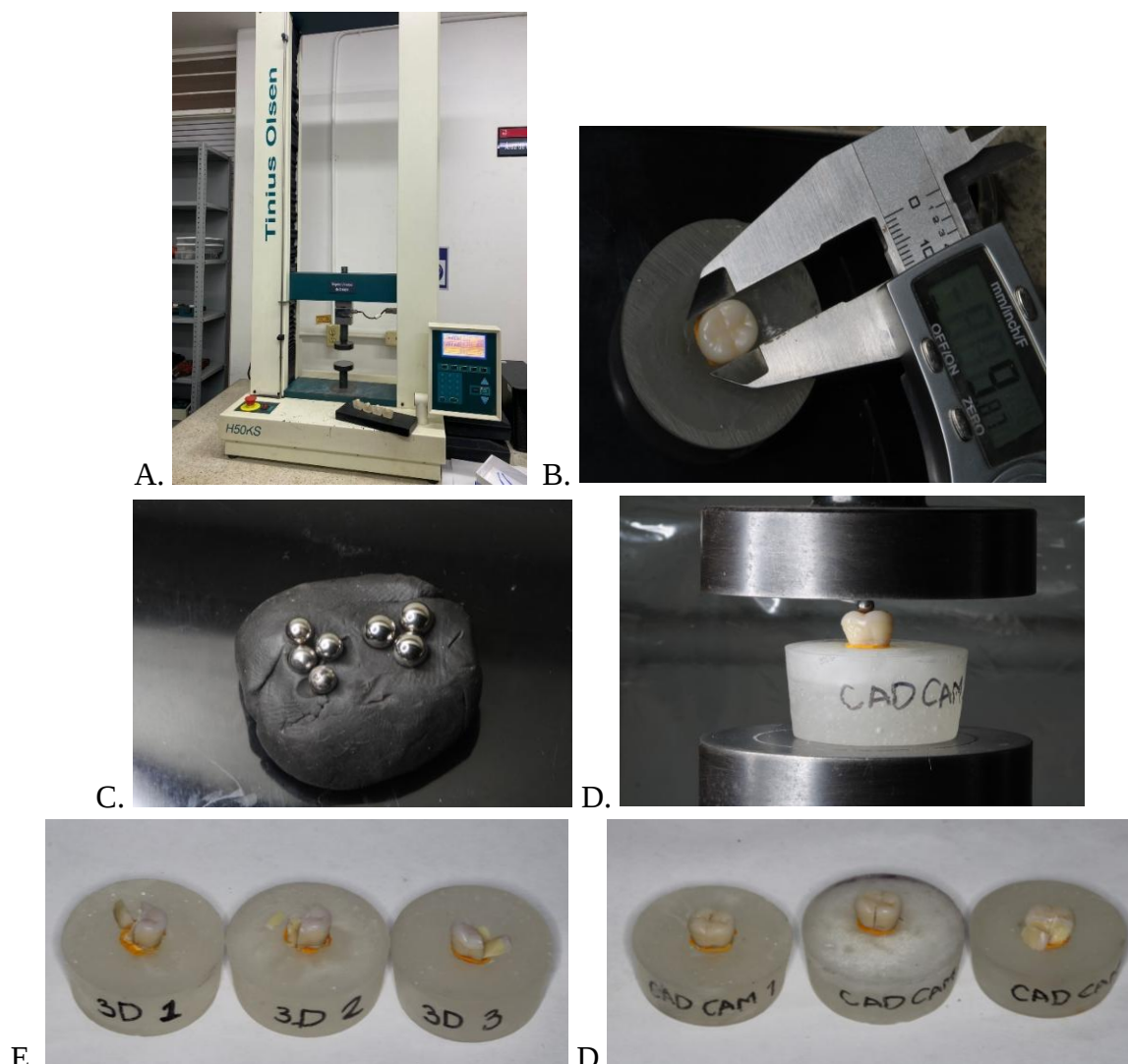


Figura 9. Prueba de Compresión

A. Maquina Universal de pruebas Tinius Olson. **B.** Medidas de ancho de incrustación. **C.** Incrustación con balón de 3.8 mm. **D.** Prueba de compresion con discos compresivos. **E.** Incrustación fracturada

Obtención de resultados:

Se registraron los valores de resistencia compresiva para cada grupo.

6.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó utilizando descriptiva e inferencial. Inicialmente, las variables cuantitativas fueron evaluadas mediante pruebas de normalidad con el fin de determinar la distribución de los datos. Debido a que los datos no presentaron distribución normal, se emplearon pruebas estadísticas no paramétricas para el análisis inferencial.

Para el análisis descriptivo de las variables cuantitativas se utilizaron medianas y rangos intercuartílicos (RIC), mientras que para las variables cualitativas se utilizaron frecuencias absolutas y relativas.

Para la comparación de la resistencia compresiva entre los diferentes grupos experimentales se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis. Posteriormente, para la comparación entre dos grupos independientes se empleó la prueba U de Mann - Whitney. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0.05$.

6.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este estudio se llevó a cabo respetando las normas establecidas en la Declaración de Helsinki, y las normativas vigentes en Colombia, incluyendo la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud, que regula la investigación en seres humanos. Se clasificó como una investigación con riesgo mínimo: Artículo 11 parágrafo 2 y artículo 16 parágrafo 1 de la resolución N° 008430 de 1993 (42)

No involucró directamente a seres humanos en procedimientos invasivos adicionales. Sin embargo, sí se utilizaron estructuras biológicas (dientes). Por esto, el proyecto garantizó que el diente extraídos fuera obtenido con el consentimiento informado de los pacientes y utilizados exclusivamente para fines de investigación.

El paciente firmó un consentimiento informado, en el que se explica el propósito del estudio, la forma en que se utilizaron sus muestras y se garantizó la confidencialidad

de su información. Las muestras dentales fueron manipuladas de acuerdo con protocolos de bioseguridad, asegurando su correcto almacenamiento y eliminación posterior. Además, este estudio fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de la Institución Universitaria Colegios de Colombia, cumpliendo con los requisitos de evaluación y supervisión ética para garantizar el respeto por la dignidad y los derechos de los participantes.

Se utilizó equipo de protección personal por parte de los investigadores al momento de elaborar las muestras y al momento de realizar las respectivas pruebas y siguiendo las normas de bioseguridad del laboratorio de la Universidad del Valle y de la Universidad Autónoma Nacional para la recolección de datos de la resistencia compresiva.

Se documentó cada proceso paso a paso del proyecto y todos los resultados obtenidos en las pruebas, se referenciaron adecuadamente el uso de todos los artículos consultados en este estudio y no hubo conflicto de intereses.

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la realización de este estudio. Los materiales utilizados fueron adquiridos comercialmente sin patrocinio por parte de los fabricantes.

7. RESULTADOS

Se evaluó la resistencia a la compresión de restauraciones indirectas del sector posterior fabricadas con resina de impresión 3D (PriZma Bio Crown Diamond de MakerTech Labs) y resina Hyramic Upcera fresada mediante tecnología CAD-CAM, analizando tanto muestras que no fueron sometidas a termociclado como muestras que fueron sometidas a termociclado. Los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas utilizando una maquina universal de ensayos (Tinius Olsen), equipada con una celda de carga de 50 kN, aplicando una velocidad de ensayo de 0.5 mm/min. Debido a que los datos fueron analizados mediante pruebas no paramétricas, los resultados se describen mediante medianas y rangos intercuartílicos (RIC).

Comparación de la resistencia compresiva entre los grupos experimentales:

En el análisis de los cuatro grupos (3D, 3D Termo, CAD-CAM, CAD-CAM Termo), se observó que las restauraciones fabricadas mediante CAD-CAM presentaron medianas de resistencia compresiva ligeramente superiores en comparación a las 3D.

El grupo 3D sin termociclado presentó 16,59 MPa como valor máximo de resistencia compresiva y el valor mínimo fue de 10,02 MPa (Gráfico 1), también presento mediana de 11,91 Megapascals (MPa) (RIC:10,66-13,72 MPa), mientras que el grupo 3D con termociclado mostró un valor máximo de resistencia compresiva de 12,05 MPa y un valor mínimo de 7,58 MPa (Gráfico 2), mostró una mediana de 8,79 MPa (RIC: 7,76-8,97 MPa) evidenciando una reducción en los valores centrales de resistencia tras el proceso de envejecimiento artificial.

En los grupos CAD-CAM, el grupo sin termociclado mostró un valor máximo de resistencia compresiva de 13,84 MPa y un valor mínimo de 8,81 MPa (Gráfico 3), la mediana del grupo sin termociclado fue de 13,02 con (RIC:11,22-13,72 MPa), mientras que el grupo CAD-CAM con termociclado presento un valor mínimo de 11,33 MPa y un valor máximo de 14,95 MPa (Gráfico 4), mostró una mediana de

12,95 (RIC: 11,84-14,48 MPa), mostrando valores relativamente similares entre ambos.

El análisis estadístico mediante la prueba de Kruskal-Wallis no mostró diferencias significativas entre los cuatro grupos evaluados ($p = 0,071$). Esto indica que, considerando el tipo de tecnología de fabricación y el proceso de termociclado, no se evidencian diferencias significativas en la resistencia compresiva entre los grupos evaluados. (Tabla 3) (Gráfico 5)

Tabla 3 Resistencia compresiva según grupos experimentales.

Resistencia Compresiva entre Grupos									
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75	Valor p
Grupo	1 3D	10,02	16,59	12,58	11,91	2,65	10,66	13,72	0,071
	2 3D Termo	7,58	12,05	9,03	8,79	1,8	7,76	8,97	
	3 CAD/CAM	8,81	13,84	12,12	13,02	2,13	11,22	13,72	
	2 CAD/CAM Termo	11,33	14,95	13,11	12,95	1,59	11,84	14,48	

Gráfico 1. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales impresas 3D sin termociclar.



Gráfico 2. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales impresas 3D termocicladas.

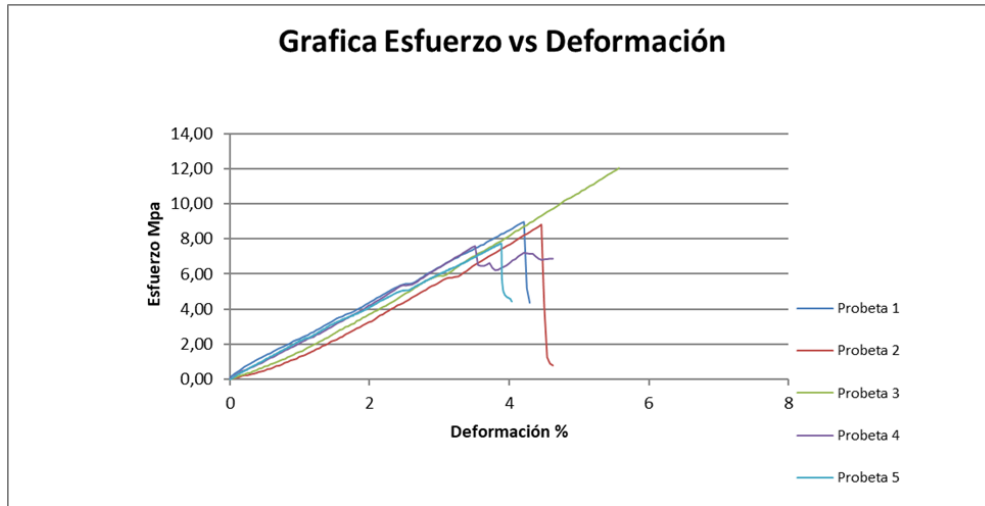


Gráfico 3. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales fresadas mediante CAD-CAM sin termociclar



Gráfico 4. Resistencia a la compresión de restauraciones dentales fresadas mediante CAD-CAM termocicladas

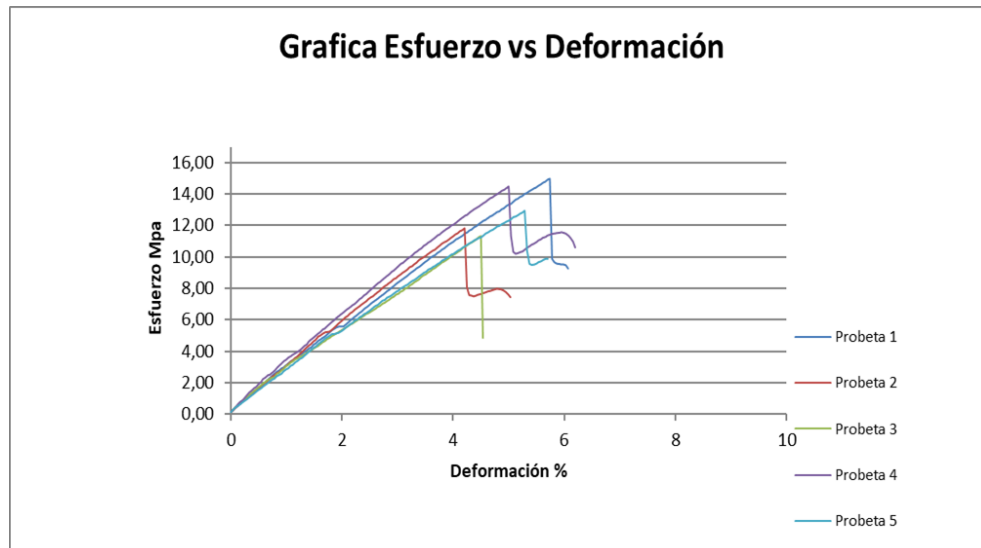
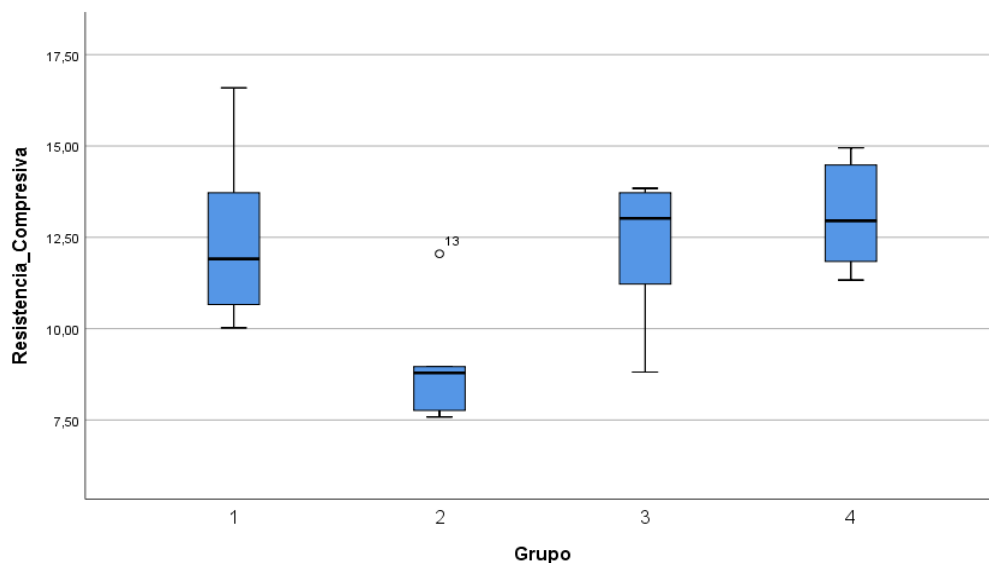


Gráfico 5. Resistencia compresiva entre grupos experimentales



Las restauraciones indirectas elaboradas mediante resina de impresión 3D (PriZma Bio Crown Diamond) presentaron una media global de la resistencia compresiva de 10,34 MPa (RIC: 8,79-12,05 MPa).

Al analizar los grupos según el proceso de envejecimiento artificial, se observó que las restauraciones sin termociclado presentan una mediana de 11,91 MPa (RIC:

10,66-13,72 MPa) mientras que las restauraciones sometidas a termociclado presentan una mediana de 8,79 MPa (RIC: 7,76-8,97 MPa).

El análisis mediante la prueba de Mann-Whitney U mostró diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p = 0,047$), lo que indica que el proceso de termociclado produjo una disminución significativa en la resistencia compresiva de las restauraciones impresas en resina 3D.

Comparación de la resistencia compresiva según el tipo de material:

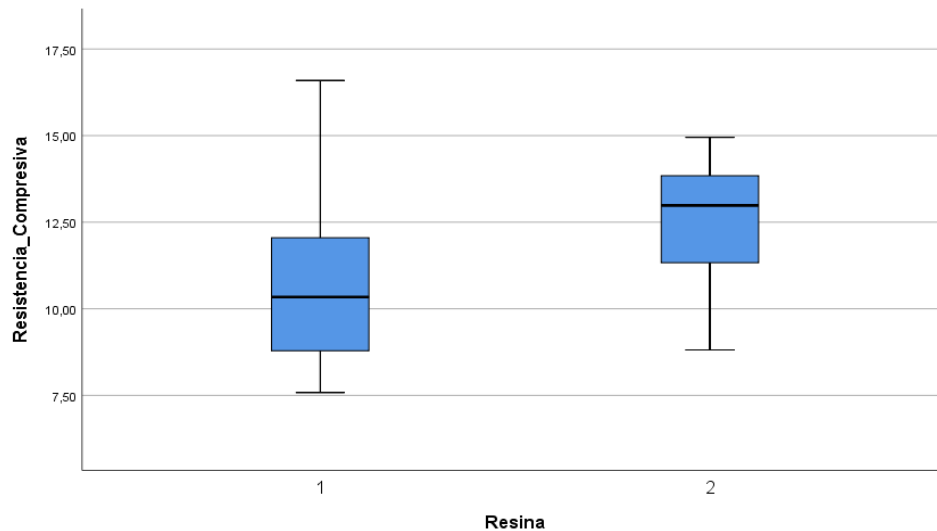
Al agrupar los datos según el tipo de material restaurador, independientemente del termociclado se observó que la resina CAD-CAM presento una mediana de 12,99 MPa (RIC: 11,33-13,84 MPa), mientras que la resina impresa 3D mostró una mediana de 10,34 MPa (RIC: 8,79 – 12,05 MPa).

La comparación mediante la prueba Mann-Whitney U no evidenció diferencias estadísticamente significativas entre ambos materiales ($p= 0,089$). No obstante, la resina fresada mediante CAD-CAM mostró valores de resistencia compresiva ligeramente superiores y menor variabilidad. (Tabla 4) (Gráfico 2)

Tabla 4. Resistencia compresiva según el tipo de material

Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina 3D y CADCAM									
Grupo		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75	Valor p
1	3D + 3D Termo	7,58	16,59	10,8	10,34	2,84	8,79	12,05	0,089
2	CADCAM + CADCAM Termo	8,81	14,95	12,62	12,99	1,84	11,33	13,84	

Grafico 6. Resistencia compresiva según tipo de resina:



Comparación de la resistencia compresiva según el efecto del envejecimiento artificial de cada resina:

Al analizar el efecto de cada material, se observaron comportamientos diferentes. En el caso de la resina impresa 3D, las restauraciones sin termociclado presentaron una mediana de 11,91 MPa mientras que las restauraciones sometidas a termociclado mostraron una mediana de 8,79 MPa (Tabla 4). La comparación mediante la prueba Mann-Whitney U evidenció una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ($p= 0,047$), lo que indica que el termociclado redujo significativamente la resistencia compresiva de la resina impresa 3D. (Tabla 5) (Gráfico 3)

Por otro lado, en la resina CAD-CAM, las restauraciones sin termociclado presentaron una mediana de 13,02 MPa, mientras que las restauraciones termocicladas mostraron una mediana de 12,95 MPa. El análisis con la prueba Mann-Whitney U no evidencio diferencias estadísticamente significativas ($p= 0,465$),

lo que sugiere que el envejecimiento artificial no afectó de manera significativa la resistencia compresiva de este material. (Tabla 5) (Gráfico 3).

Se comparó la resistencia compresiva entre las muestras sin termociclado correspondientes a la resina impresa 3D sin envejecimiento artificial y la resina CAD-CAM sin termociclado, el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre ambos materiales ($p= 1,00$), lo que indica que la resistencia compresiva entre las restauraciones que no fueron sometidas a envejecimiento artificial fue comparable entre la resina impresa 3D y la resina fresada mediante CAD-CAM. (Tabla 6)

Se comparó la resistencia compresiva de las muestras que fueron sometidas a envejecimiento artificial mediante termociclado correspondientes a la resina 3D termociclada y la resina CAD-CAM termociclada. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas ($p= 0,28$), esto indica que el envejecimiento artificial no produjo diferencias estadísticamente significativas en la resistencia compresiva entre ambos materiales dentro de las condiciones del presente estudio (Tabla 6).

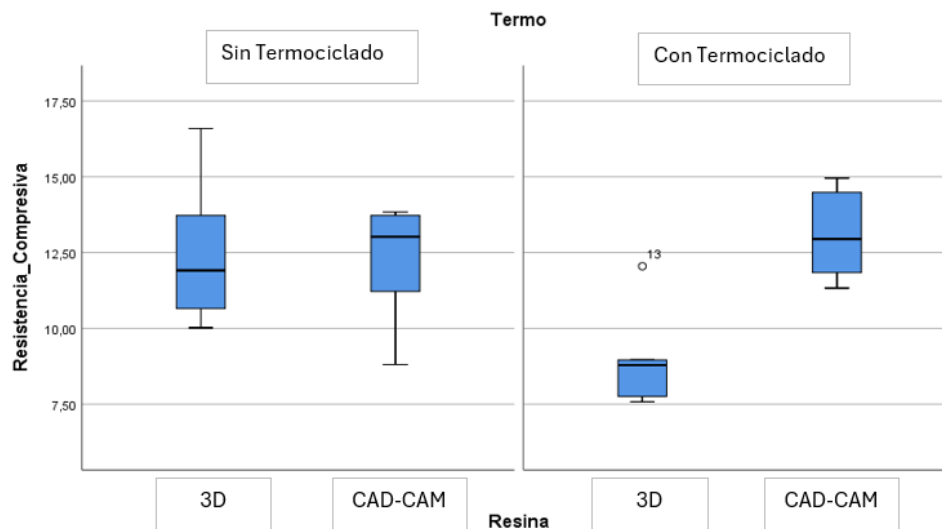
Tabla 5. Comparación de resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina

Comparación de Resistencia Compresiva según el efecto de termociclado entre el mismo tipo de resina				
Grupo	Mediana	Percentil 25	Percentil 75	Valor p
3D	11,91	10,66	13,72	0,047
3D Termo	8,79	7,76	8,97	
CADCAM	13,02	11,22	13,72	0,465
CADCAM Termo	12,95	11,84	14,48	

Tabla 6. Comparación de resistencia compresiva entre resinas con y sin termociclado.

Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina con y sin termociclado	
Grupo	Valor p
3D VS CAD-CAM	1
3D VS CAD-CAM Termo	0,28

Grafico 7. Resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina



En conjunto, los resultados indican que ambos materiales presentaron valores comparables de resistencia compresiva en restauraciones indirectas para el sector posterior. No obstante, la resina Hyramic fresada mediante CAD-CAM mostró medianas ligeramente superiores y mayor estabilidad frente el envejecimiento artificial, mientras que la resina PriZma Bio Crown Diamond impresa evidenció una disminución significativa de su resistencia compresiva tras el termociclado.

8. DISCUSIÓN

El presente estudio evaluó la resistencia compresiva de restauraciones indirectas elaboradas con la resina PriZma Bio Crown Diamond de impresión 3D y la resina Hyramic Upcera fresada mediante CAD-CAM, considerando también el efecto de envejecimiento artificial mediante termociclado. Los resultados obtenidos aportan información relevante sobre el comportamiento mecánico de estos materiales en condiciones que simulan el entorno oral.

Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la resistencia compresiva entre los grupos experimentales ($p=0,071$), sin embargo, al analizar el comportamiento específico de cada material frente al envejecimiento artificial, se observaron diferentes patrones.

La resina fresada mediante CAD-CAM presentó medianas de resistencia compresiva ligeramente superiores (Mediana 12,99 MPa; RIC: 11,33-13,84 MPa) y mayor estabilidad frente al envejecimiento artificial en comparación a la resina impresa 3D (Mediana: 12,99 MPa; RIC: 8,79-12,05 MPa) aunque esta diferencia no alcanzó significancia estadística ($p=0,089$).

Estos hallazgos concuerdan con estudios previos que han reportado que los materiales restauradores obtenidos mediante tecnología CAD-CAM generalmente superan en propiedades mecánicas a los materiales fabricados mediante impresión 3D. Esto se debe principalmente a que los bloques CAD-CAM son fabricados industrialmente bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que favorece la formación de cadenas de polímeros más largas y un mayor grado de conversión de monómeros lo que genera una estructura más homogénea, menor porosidad y menor contracción, mientras que los materiales de impresión 3D presentan estructuras en capas y potenciales puntos de debilidad estructural, también pueden presentar micro defectos asociados al proceso de fotopolimerización, por lo que pueden presentar una estructura menos homogénea lo que puede influir en su comportamiento mecánico, esto podría explicar los valores ligeramente inferiores observados en el grupo 3D.(43,44)

La mayor estabilidad mecánica observada en Hyramic (Upcera) podría estar relacionada con su mayor contenido de relleno inorgánico (55-85%), en comparación con PriZma 3D Bio Crown (52%). Una mayor proporción de partículas inorgánicas se asocia con mejor resistencia mecánica y menor degradación por envejecimiento, lo que podría explicar la estabilidad de la resina CAD-CAM tras el termociclado (44).

Con relación al envejecimiento artificial, los resultados del presente estudio demostraron que el termociclado produjo una disminución significativa en la resistencia compresiva de las restauraciones impresas en 3D ($p= 0,047$). Este hallazgo puede atribuirse a los efectos del estrés térmico repetido y la absorción de agua, fenómenos que pueden generar contracción y expansión del material, degradación de la matriz polimérica y debilitamiento de las capas que se forman en el proceso de impresión (45). Previas investigaciones reportan que los ciclos térmicos que simulan las condiciones de la cavidad oral puede afectar de manera negativa las propiedades mecánicas de las resinas dentales especialmente las que presentan menor grado de conversión. (45,46)

Por otro lado, la resistencia compresiva de las restauraciones elaboradas con resina Hyramic fresada mediante CAD-CAM no mostraron diferencias significativas después del termociclado ($p= 0,465$), lo que sugiere una mayor estabilidad mecánica frente al envejecimiento artificial. Diversos estudios han reportado que los materiales CAD-CAM presentan mayor resistencia al estrés térmico y menos absorción de agua por su alta densidad de entrecruzamiento y la polimerización industrial, lo cual contribuye a mantener sus propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.(47)

A pesar de las diferencias observadas en la respuesta al envejecimiento artificial, el análisis entre los materiales evaluados no mostró diferencias estadísticamente significativas. Este resultado coincide con algunos estudios experimentales que han reportado propiedades mecánicas comparables entre restauraciones fabricadas mediante impresión 3D y mediante CAD-CAM, sugiriendo que ambas tecnologías

pueden ofrecer resultados clínicamente aceptables en aplicaciones restauradoras.
(48)

Los valores obtenidos en este estudio (reportados en MPa) son comparables en términos de esfuerzo, pero el tipo de restauración evaluada (overlay) y el sistema de soporte periodontal simulado influyen en que los valores no sean idénticos a estudios que utilizan cilindros de material puro.(13)

Desde el punto de vista clínico, una resistencia post envejecimiento de 8.79 MPa para la resina impresa está dentro de los parámetros de seguridad de un solo diente, pero aún se requiere mayor evidencia científica para poder utilizar este material en áreas de gran carga oclusal, no obstante, la impresión 3D continúa consolidándose como una tecnología emergente dentro de la odontología debido a sus ventajas en términos de rapidez y fabricación, reducción de desperdicio de material y capacidad de producir restauraciones altamente personalizadas(23)

9. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se proponen las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones:

1. Se recomienda realizar estudios con tamaños de muestra mayores, lo cual permita aumentar la potencia estadística y detectar con mayor precisión diferencias entre los materiales, así como realizar análisis estratificados por variables como grosor de la restauración o tipo de preparación. Esto con la intención de que se obtengan más información investigativa y poder eliminar el porcentaje de inquietudes hipotéticas sobre un material y otro.
2. Es aconsejable evaluar otras propiedades mecánicas, como la resistencia a la flexión, dureza superficial, módulo elástico y resistencia al desgaste de estos materiales, ya que estas propiedades también influyen significativamente en el comportamiento clínico de las restauraciones.
3. Se recomienda analizar la interfaz adhesiva, mediante microscopía electrónica de barrido se podría analizar la calidad de la unión adhesiva entre las restauraciones y el sustrato dental, así como los patrones de fractura, para identificar posibles mecanismos de falla asociados a cada material.
4. Es aconsejable evaluar diferentes marcas comerciales de resinas de impresión 3D y bloques CAD-CAM disponibles en el mercado, para determinar si los hallazgos obtenidos se pueden generalizar en su uso y función clínica o si tendrán grandes diferencias.
5. Es ideal realizar estudios clínicos longitudinales que evalúen la supervivencia y el desempeño de restauraciones elaboradas con resinas impresas 3D en pacientes, a largo plazo para validar los hallazgos in vitro en condiciones clínicas reales.
6. Se sugiere realizar investigaciones que incluyan dientes naturales y protocolos de envejecimiento artificial más prolongados, como un mayor

número de ciclos de termociclado, para determinar si la degradación observada en la resina impresa 3D progresa o se estabiliza con el tiempo.

7. Para la práctica clínica se recomienda considerar que, aunque ambos materiales evaluados presentan valores de resistencia compresiva compatibles con su uso en restauraciones indirectas del sector posterior, las resinas fresadas mediante CAD-CAM podrían ofrecer una mayor durabilidad clínica.
8. Se recomienda limitar el uso o el uso con precaución de la resina PriZma Bio Crown Diamond en restauraciones definitivas, su uso preferiblemente en casos de demandas funcionales moderadas y con un seguimiento clínico estrecho, hasta que exista mayor evidencia clínica que respalde su uso en restauraciones permanentes.

10. CONCLUSIONES

De manera concluyente y basados los resultados obtenidos y bajo las condiciones controladas de este estudio *in vitro*, se puede deducir lo siguiente:

Se inicia por decir que la resina de impresión 3D presentó una mediana de resistencia compresiva de 11,91 MPa en ausencia de envejecimiento artificial. Sin embargo, se observó una disminución estadísticamente significativa en su resistencia compresiva (mediana de 8,79 MPa) tras ser sometida a termociclado, evidenciando que el envejecimiento artificial afecta negativamente el comportamiento mecánico de este material.

Por otro lado, se puede deducir bajo los resultados del estudio que la resina fresada mediante CAD-CAM mostró una mediana de resistencia compresiva de 13,02 MPa sin envejecimiento y de 12,95 MPa con envejecimiento artificial, sin diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p=0,465$). Esto quiere decir que este material presenta una mayor estabilidad mecánica y resistencia a la degradación por estrés térmico en comparación con la resina impresa que sería la 3D.

Lo que si queda claro es que, al comparar ambos materiales, independientemente del efecto del envejecimiento artificial, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia compresiva ($p=0,089$). Aunque se debe tener en cuenta que, la resina fresada CAD-CAM (Hyramic) demostró una tendencia a valores de resistencia compresiva ligeramente superiores y una menor variabilidad en los datos, lo que sugiere un comportamiento más predecible.

Si bien los materiales mostraron un comportamiento comparable sin envejecimiento ($p=1,00$) y con envejecimiento ($p=0,28$), la diferencia importante radica en la respuesta individual de cada resina al termociclado. La resina impresa 3D (PriZma Bio Crown Diamond) demostró ser más susceptible al envejecimiento artificial, comprometiendo su resistencia compresiva a lo largo del tiempo simulado. Por el contrario, la resina fresada CAD-CAM (Hyramic Upcera) mantuvo sus propiedades mecánicas estables sin termociclado y con termociclado.

Para concluir, estos materiales presentan valores de resistencia compresiva comparables en un inicio, la resina fresada mediante CAD-CAM (Hyramic Upcera) está ofreciendo un comportamiento mecánico más estable y fiable a largo plazo o a mayor tiempo. Por el contrario, la resina de impresión 3D (PriZma Bio Crown Diamond), a pesar de su desempeño inicial comparable, mostró una degradación significativa de su resistencia tras el envejecimiento artificial esto deja al material con varias dudas en cuanto a su desempeño clínico, lo que nace la necesidad de una evaluación más profunda realizar un seguimiento clínico cuidadoso si se piensa utilizar el material para restauraciones definitivas en el sector posterior.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Veneziani M. Posterior indirect adhesive restorations: updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique. *Int J Esthet Dent*. 2017;12(2):2-28.
2. Daher R, Ardu S, di Bella E, Krejci I, Duc O. Efficiency of 3D-printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and production time. *J Prosthet Dent*. 2022 Nov. doi: 10.1016/j.prosdent.2022.08.001
3. Mandurino M, Cortili S, Coccoluto L, Greco K, Cantatore G, Gherlone EF, et al. Mechanical Properties of 3D Printed vs. Subtractively Manufactured Composite Resins for Permanent Restorations: A Systematic Review. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/ma18050985
4. Suksuphan P, Krajangta N, Didron PP, Wasanapiarnpong T, Rakmanee T. Marginal adaptation and fracture resistance of milled and 3D-printed CAD/CAM hybrid dental crown materials with various occlusal thicknesses. *J Prosthodont Res*. 2024;68(2):326–35. doi:10.2186/jpr.JPR_D_23_00089 PubMed PMID: 37438119.
5. The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition. *J Prosthet Dent*. 2017;117(5S):C1-e105.
6. Vilela SA, Franco AG, Franco ABG, Carvalho GAP de, Dias SC, Mecca Junior S, et al. Analysis of compressive strength of occlusal splints manufactured with three liquid resins at three angles of orientation on 3D printer. *Research, Society and Development*. 2022 Mar 1;11(3):e40811326820. doi:10.33448/rsd-v11i3.26820
7. Alshargawi WK, Tawhari FE, Aladwani AS, Hassanein ZA, Fageeh SN, Almeshrf AW, et al. The effectiveness of direct versus indirect restoration techniques following canal therapy. *Int J Community Med Public Health*. 2024 Sep 18;11(10):4077–80. doi:10.18203/2394-6040.ijcmph20242686
8. Pantea M, Ciocoiu RC, Greabu M, Totan AR, Imre M, Țâncu AMC, et al. Compressive and Flexural Strength of 3D-Printed and Conventional Resins

Designated for Interim Fixed Dental Prostheses: An In Vitro Comparison. *Materials*. 2022 May 1;15(9). doi:10.3390/ma15093075

9. Prause E, Malgaj T, Kocjan A, Beuer F, Hey J, Jevnikar P, et al. Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: An in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024 Feb 1;36(2):391–401. doi:10.1111/jerd.13132 PubMed PMID: 37680013.
10. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *Journal of Prosthodontics*. 2017 Feb 1;26(2):156–63. doi:10.1111/jopr.12510 PubMed PMID: 27662423.
11. M. Beleges Essa, A. Khurayzi T, A. Dallak S, M.A. Hadi R, M. Akkam A, J. Okiry A, et al. Applications of 3D Printing in Restorative Dentistry: The Present Scenario. *Saudi Journal of Oral and Dental Research*. 2021 Jan 9;6(1):15–21. doi:10.36348/sjodr.2021.v06i01.003
12. Alenezi A, Yehya M. Evaluating the Accuracy of Dental Restorations Manufactured by Two CAD/CAM Milling Systems and Their Prototypes Fabricated by 3D Printing Methods: An In Vitro Study. *Int J Prosthodont*. 2023 May;36(3):293–300. doi:10.11607/ijp.7633 PubMed PMID: 34919097.
13. Torres E. Comparación de la resistencia a la fractura de tres materiales CAD-CAM para incrustaciones: Vita Enamic®, Cerasmart™ Gc E Ips E.Max® CAD. Estudio in-vitro [Internet]. 2018. Report. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/349475254>
14. Berar AM, Dudescu MC, Carbonel M, Bocanet V, Buduru SD. In-Vitro Comparative Study of Compressive Strength in CAD/CAM Dental Materials [Internet]. 2023. Available from: <https://www.preprints.org/manuscript/202309.1181/v1> doi:10.20944/preprints202309.1181.v1
15. Tayeb HK, Silikas N, Alhaddad AJ, Satterthwaite J. Flexural Strength and Hardness Analysis of 3D-Printed vs. Milled Resin Composites Indicated for

Definitive Crowns. J Funct Biomater. 2025 Dec 1;16(12). doi:10.3390/jfb16120468

16. Grzebieluch W, Kowalewski P, Grygier D, Rutkowska-Gorczyca M, Kozakiewicz M, Jurczyszyn K. Printable and machinable dental restorative composites for cad/cam application—comparison of mechanical properties, fractographic, texture and fractal dimension analysis. *Materials*. 2021 Sep 1;14(17). doi:10.3390/ma14174919
17. Tello S, Ana L, Alava EC, Estuardo M, Calderón B. Universidad de Cuenca Facultad de Odontología Carrera de Odontología Fracture Resistance Comparative Analysis of Milled-Derived vs. 3D-Printed CAD/CAM Materials for Single-Unit Restorations [Internet]. Report. Available from: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>
18. Caussin E, Izart M, Ceinos R, Attal JP, Beres F, François P. Advanced Material Strategy for Restoring Damaged Endodontically Treated Teeth: A Comprehensive Review. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/ma17153736
19. Nunes Sampaio G, Pedro J, De J, Limírio O, Marcela J, Gomes L, et al. Evaluation of mechanical properties of CAD-CAM composite resins for milled versus 3D printed definitive restorations: A systematic review and meta-analysis [Internet]. Report. Available from: <https://osf.io/gps2f/>
20. Balestra D, Lowther M, Goracci C, Mandurino M, Cortili S, Paolone G, et al. 3D Printed Materials for Permanent Restorations in Indirect Restorative and Prosthetic Dentistry: A Critical Review of the Literature. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/ma17061380 PubMed PMID: 38541534.
21. Peskersoy C, Oguzhan A. Evaluation of the Mechanical and Adhesion Characteristics of Indirect Restorations Manufactured with Three-Dimensional Printing. *Polymers (Basel)*. 2024 Mar 1;16(5). doi:10.3390/polym16050613
22. Pot GJ, Van Overschelde PA, Keulemans F, Kleverlaan CJ, Tribst JPM. Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials*.

Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024.
doi:10.3390/ma17163951

23. Rafal Kareem Rasheed, Nidhal Sahib Mansoor, Nihad Hasan Mohammed, Syed Saad B Qasim. Subtractive and Additive Technologies in Fixed Dental Restoration: A Systematic Review. *Journal of Techniques*. 2023 Dec 31;5(4):162–7. doi:10.51173/jt.v5i4.1034
24. Abad-Coronel C, Bravo M, Tello S, Cornejo E, Paredes Y, Paltan CA, et al. Fracture Resistance Comparative Analysis of Milled-Derived vs. 3D-Printed CAD/CAM Materials for Single-Unit Restorations. *Polymers (Basel)*. 2023 Sep 1;15(18). doi:10.3390/polym15183773
25. Pot GJ, Van Overschelde PA, Keulemans F, Kleverlaan CJ, Tribst JPM. Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/ma17163951
26. Ford S, Despeisse M. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *J Clean Prod*. 2016 Nov 20;137:1573–87. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.150
27. Daher R, Ardu S, di Bella E, Krejci I, Duc O. Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024 May 1;131(5):943–50. doi:10.1016/j.prosdent.2022.08.001 PubMed PMID: 36333176.
28. Abad-Coronel C, Bravo M, Tello S, Cornejo E, Paredes Y, Paltan CA, et al. Fracture Resistance Comparative Analysis of Milled-Derived vs. 3D-Printed CAD/CAM Materials for Single-Unit Restorations. *Polymers (Basel)*. 2023 Sep 1;15(18). doi:10.3390/polym15183773
29. Prpić V, Schauperl Z, Ćatić A, Dulčić N, Čimić S. Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed, CAD/CAM, and Conventional Denture Base Materials. *Journal of Prosthodontics*. 2020 Jul 1;29(6):524–8. doi:10.1111/jopr.13175 PubMed PMID: 32270904.

30. Mahran GA, El-Banna A, El-Korashy DI. Evaluation of a 3D-printed nanohybrid resin composite versus a milled resin composite for flexural strength, wear and color stability. *BMC Oral Health*. 2025 Dec 1;25(1). doi:10.1186/s12903-025-05861-2 PubMed PMID: 40234948.
31. Sultan S, Al Garni H, Al Onazi M, Gangi KK, Al Otha S, Al Ruwaili F, et al. Minimally Invasive Posterior Full Crown Competitors: Onlays, Occlusal Veneers, Vonlays and Endocrowns: A Review and Proposed Classification. *J Int Dent Med Res* [Internet]. 2021;14(4):1617–22. Available from: <http://www.jidmr.com>
32. Fan J, Xu Y, Si L, Li X, Fu B, Hannig M. Long-term Clinical Performance of Composite Resin or Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent*. 2021 Jan 1;46(1):25–44. doi:10.2341/19-107-LIT PubMed PMID: 33882133.
33. Abad-Coronel C, Bravo M, Tello S, Cornejo E, Paredes Y, Paltan CA, et al. Fracture Resistance Comparative Analysis of Milled-Derived vs. 3D-Printed CAD/CAM Materials for Single-Unit Restorations. *Polymers (Basel)*. 2023 Sep 1;15(18). doi:10.3390/polym15183773
34. MP00115 BLOQUE HYRAMIC 18-14-12 LT B1.
35. Tozo-Burgos JG, Juárez-Vizcarra CF, Calla-Poma R, Sánchez-Tito M. Fracture Resistance of CAD/CAM Nanohybrid Resin Occlusal Veneers Based on Bonding Surface: Enamel vs. Enamel-Dentin vs. Enamel-Resin Coating. *J Clin Exp Dent*. 2025;17(6):e675–82. doi:10.4317/jced.62793
36. VITA ENAMIC ® VITA-perfect match. Documentación científico-técnica. Report.
37. Goujat A, Bernard C, Lyon U, Abouelleil H, Seux D. In vitro evaluation of internal/marginal fit of CAD/CAM glass ceramic (IPS e.max (R) CAD (R)) and composite nano ceramic (Cerasmart (TM)) inlays Maxime Ducret [Internet]. Report. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/305702291>
38. Koji Uehara E, Castro de Lima G, Sardi J de CO, de Figueiredo LC, Shibli JA, Asbi T, et al. Next-Generation Dental Materials: Exploring Bacterial Biofilm

Formation on 3D-Printable Resin-Based Composites. *J Funct Biomater*. 2025 Jan 1;16(1). doi:10.3390/jfb16010012

39. Soares L de M, Romano B de C, André CB, Giannini M. Effect of glycerin gel application for post-curing process on the flexural strength, elastic modulus, and microhardness of 3D printing resins. *Braz Dent J*. 2025;36. doi:10.1590/0103-644020256361
40. Tribst JPM, Veerman A, Pereira GKR, Kleverlaan CJ, Dal Piva AM de O. Comparative Strength Study of Indirect Permanent Restorations: 3D-Printed, Milled, and Conventional Dental Composites. *Clin Pract*. 2024 Oct 1;14(5):1940–52. doi:10.3390/clinpract14050154
41. Dentistry-Polymer-based restorative materials COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT [Internet]. 2019. Report. Available from: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/266125c4-2c3b-48e8-8905-e1fcb82cf589/iso-4049-2019> Website: www.iso.org
42. De Salud M. Hoja 1 de 1. Report.
43. Prpić V, Schauperl Z, Ćatić A, Dulčić N, Čimić S. Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed, CAD/CAM, and Conventional Denture Base Materials. *Journal of Prosthodontics*. 2020 Jul 1;29(6):524–8. doi:10.1111/jopr.13175 PubMed PMID: 32270904.
44. Mahran GA, El-Banna A, El-Korashy DI. Evaluation of a 3D-printed nanohybrid resin composite versus a milled resin composite for flexural strength, wear and color stability. *BMC Oral Health*. 2025 Dec 1;25(1). doi:10.1186/s12903-025-05861-2 PubMed PMID: 40234948.
45. Di Fiore A, Stellini E, Alageel O, Alhotan A. Comparison of mechanical and surface properties of two 3D printed composite resins for definitive restoration. *J Prosthet Dent*. 2024 Jul 3 [Epub ahead of print]. doi: 10.1016/j.prosdent.2024.07.003
46. Xiao S, Zhang RJ, Tan FB. Effect of thermal cycling on the mechanical properties of conventional, milled, and 3D-printed base resin materials: a comparative in vitro study. *PeerJ*. 2025;13(3). doi:10.7717/peerj.19141

47. Azab A, Abdelhady WA, Elwakeel E, Ashraf M, Wally R, Soliman A, et al. Systematic review and meta analysis of mechanical properties of 3D printed denture bases compared to milled and conventional materials. *Sci Rep.* 2025 Dec 1;15(1). doi:10.1038/s41598-025-14288-2 PubMed PMID: 40783443.
48. Tribst JPM, Veerman A, Pereira GKR, Kleverlaan CJ, Dal Piva AM de O. Comparative Strength Study of Indirect Permanent Restorations: 3D-Printed, Milled, and Conventional Dental Composites. *Clin Pract.* 2024 Oct 1;14(5):1940–52. doi:10.3390/clinpract14050154

12. ANEXOS



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA
COLEGIO ODONTOLÓGICO COLOMBIANO

TÍTULO DE LA PROPUESTA

FORMATO PARA DONACIÓN DE DIENTES Y TEJIDOS

Fecha:				folio:
	Día	Mes	Año	

Datos personales (Res. 3200 de 1998)			
Apellido paterno		Apellido materno	Nombre(s)
_____		_____	_____
Fecha de nacimiento	Documento de Identidad		Número: _____
Clase: _____	_____		
Día	Mes	Año	Cédula de Ciudadanía Cédula de Extranjería / Pasaporte
_____	_____	_____	_____
Dirección	Barrio		Teléfono(s)
_____	_____		_____
Municipio	Departamento		País
_____	_____		_____
Edad	Sexo		Ocupación
_____	_____		_____
Estado Civil	Escolaridad		Religión
_____	_____		_____

Yo _____
Dono con fines Educativos y de Investigación (Dec. 2493 de 2004)
Los siguientes tejidos u órganos _____
Destino _____
Condiciones Personales (el donador puede registrar si presenta alguna alteración sistémica)

Dejo constancia escrita que la donación se hace en pleno uso de mis facultades mentales, en forma libre y consiente.

Firma del donador voluntario

CONSERVE COPIA DE ESTE DOCUMENTO COMO CONSTANCIA DE SU VOLUNTAD

El presente documento fue elaborado de acuerdo a la reglamentación establecida por la Ley 9 de 1979, Ley 73 de 1988, Resolución 3200 de 1998, Ley 919 de 2004, Decreto 2493 de 2004, Resolución 2460 de 2005, Resolución 5108 de 2005, Resolución 2279 de 2008, Resolución 2003 de 2014, circular 2017 N0000007, Ley 1805 del 4 de agosto de 2016.