

**RESISTENCIA COMPRESIVA DE CORONAS EN RESINA IMPRESA 3D EN
DIFERENTES ESPEORES: ESTUDIO *IN VITRO***

**AUTOR
YEFERSON SARRIA GARCIA**

**COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACIÓN ORAL
SANTIAGO DE CALI
21 DE OCTUBRE DE 2025**



AUTORES
**RESISTENCIA COMPRESIVA DE CORONAS EN RESINA IMPRESA 3D DE
DIFERENTES ESPORES: ESTUDIO INVITRO**

DIRECTOR

Edgar Meneses Silva
Especialista en Rehabilitación Oral

CODIRECTOR

Carlos Humberto Martínez Cajas
Magister en epidemiología

ASESOR METODOLÓGICO

Alejandra Ordóñez Molina
Magister en epidemiología

ASESOR ESTADÍSTICO

Julián Andrés Tamayo Cardona
Magister en logística

COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACION ORAL



Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, 21 Octubre de 2025

DEDICATORIA

A la Institución Universitaria Colegios de Colombia (UNICOC), faro de conocimiento que iluminó cada etapa de este recorrido académico. A mi familia, cimiento inquebrantable de amor y paciencia, cuyo aliento transformó los desafíos en oportunidades. A los maestros y compañeros, artífices de sabiduría y colaboración, que tejieron con sus enseñanzas la base de este logro. Este trabajo no es solo un resultado, sino el reflejo de sueños compartidos y el primer peldaño hacia horizontes aún más grandes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la institución universitaria colegios de Colombia (UNICOC) por brindar las condiciones académicas y logísticas necesarias para el desarrollo de este trabajo de grado. De manera especial, se extiende un reconocimiento al Dr. Edgar meneses silva, director de esta investigación, por su invaluable orientación, dedicación y paciencia durante todo el proceso. Asimismo, se agradece a la Dra. Alejandra Ordóñez Molina por sus contribuciones en la metodología y el análisis de datos, fundamentales para el rigor científico del estudio. Finalmente, se destaca el apoyo recibido de compañeros y colegas, cuyo acompañamiento fue esencial para la culminación de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	14
3. MARCO TEÓRICO.....	15
4. OBJETIVOS.....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
5. METODOLOGÍA	19
5.1 DISEÑO DEL ESTUDIO	19
5.2 POBLACIÓN OBJETIVO	19
5.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN	19
5.3 TAMAÑO DE MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO.....	20
5.3.1 CÁLCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	20
5.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES	20
5.4.1 VARIABLES.....	20
5.4.2 CUADRO OPERACIONAL DE LAS VARIABLES	20
5.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	21
5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	25
5.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	25
6. RESULTADOS.....	26
7. DISCUSIÓN	30
8. RECOMENDACIONES	32
9. CONCLUSIONES.....	33
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Definición operacional de las variables	20
Tabla 2. Resistencia en Megapascales de las coronas de dos espesores	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resistencia en Megapascales en coronas de 1 mm de espesor	28
Gráfico 2. Resistencia en Megapascales en coronas de 1,5 mm de espesor.	28
Gráfico 3. Diagrama de cajas y bigotes con resistencia en Megapascales de coronas de 1 mm y 1,5 mm de espesor.....	29

GLOSARIO

Amelogénesis imperfecta: Trastorno hereditario que afecta la formación del esmalte dental, resultando en anomalías estructurales y estéticas.

Biocompatibilidad: Capacidad de un material para estar en contacto con tejidos vivos sin provocar efectos adversos.

CAD/CAM: Sistema de diseño y fabricación asistidos por computadora, utilizado para crear restauraciones dentales personalizadas con alta precisión.

Caries dental: Enfermedad multifactorial que causa la desmineralización y destrucción de los tejidos duros del diente.

Cementación dual: Proceso de fijación de una restauración utilizando un cemento que se activa tanto por reacción química como por fotopolimerización.

Erosión dental: Pérdida de estructura dental por acción química de ácidos, no asociada a bacterias.

Espesor oclusal: Grosor del material de la corona en la zona de contacto masticatorio.

Estudio in vitro: Investigación realizada en un entorno controlado fuera de un organismo vivo, como en laboratorio.

Fotopolimerización: Proceso de endurecimiento de un material mediante la aplicación de luz de una longitud de onda específica.

Impresión 3D: Técnica de fabricación aditiva que construye objetos capa por capa a partir de un diseño digital.

Megapascal (MPa): Unidad de medida de la resistencia a la compresión o tensión de un material.

Resina compuesta 3D: Material polimérico utilizado en impresión 3D odontológica, compuesto por una matriz orgánica y partículas de relleno.

Resistencia compresiva: Capacidad de un material para soportar fuerzas axiales que tienden a reducir su volumen sin fracturarse.

Variable dependiente: Variable que se mide en un estudio y que se espera que cambie en función de la variable independiente.

Variable independiente: Factor que es manipulado o seleccionado por el investigador para observar su efecto sobre la variable dependiente.

1. INTRODUCCIÓN

La caries dental es una patología que afecta principalmente al esmalte y la dentina, generando destrucción coronal y comprometiendo la vitalidad del diente. En Colombia, el índice de dientes cariados en dentición permanente alcanza el 1.63, lo que evidencia la necesidad de tratamientos oportunos para evitar complicaciones como pérdida de estructura dental, desarmonías oclusales y alteraciones fisiológicas. Aunque la caries inicia como una lesión subyacente, su progresión puede llevar a cavidades extensas, muchas veces no detectadas por los pacientes debido a su localización en zonas posteriores. Además de la caries, condiciones como la erosión dental y la amelogénesis imperfecta requieren abordajes restauradores que combinen funcionalidad y estética, demandando materiales biocompatibles, resistentes a las cargas oclusales y con resultados estéticamente aceptables. En este contexto, la odontología moderna ha incorporado materiales como las resinas impresas en 3D, las cuales se proyectan como una alternativa prometedora para rehabilitaciones posteriores con destrucción coronal extensa. Sin embargo, a diferencia de opciones tradicionales como las coronas de metalcerámica, disilicato de litio o zirconio, existen limitados estudios comparativos que evalúen su desempeño biomecánico, específicamente frente a fuerzas compresivas. Esta brecha en la literatura clínica dificulta la selección informada de materiales, lo cual justifica la realización de esta investigación (1)

El presente estudio tiene como objetivo comparar la resistencia a fuerzas compresivas de diferentes espesores de resinas impresas en 3D utilizadas en la rehabilitación de dientes posteriores. La investigación se llevó a cabo mediante ensayos biomecánicos en laboratorio, simulando condiciones clínicas de carga oclusal. Los resultados buscan proporcionar evidencia científica que oriente a los profesionales en la elección de materiales, garantizando restauraciones duraderas, funcionales y estéticas. Este trabajo contribuye al campo de la rehabilitación oral al evaluar una tecnología emergente, con potencial para optimizar los protocolos clínicos en situaciones de alta demanda masticatoria.

La impresión 3D es un método de producción diseñado según la necesidad de cada paciente y usado para imprimir piezas dentales, sus inicios se dieron en el siglo XX en el área odontológica, permitiendo automatizar el proceso, mejorando los tiempos de producción de las mismas, facilitando el procedimiento de elaboración, lo que optimizó el trabajo en el consultorio del odontólogo, este estudio busca ampliar el conocimiento en la aplicación de coronas impresas 3D en el sector posterior evaluando las resistencia compresiva. (2)

En el presente estudio se propone por su relevancia para los profesionales de la salud en odontología, en particular para quienes realizan procedimientos de rehabilitación oral en la parte posterior. Quienes requieren para dichos procedimientos de materiales que le permitan trabajar de forma eficiente y con los que se obtengan los resultados esperados, como la versatilidad para realizar las restauraciones requeridas por los pacientes tanto estéticas como funcionales cuando se ha presentado alguna patología como caries, fractura o desgaste de la estructura dental (3). Así como por la durabilidad del material requerido, brindando al paciente un buen producto, que mantenga sus características físicas por el mayor tiempo posible.

La capacidad de una corona dental para resistir las fuerzas oclusales es crucial para su éxito a largo plazo en aplicaciones clínicas. Comprender y comparar las propiedades de resistencia a la compresión de las coronas de resina impresa en 3D de diferentes espesores es esencial para tomar decisiones informadas en la selección del material restaurativo más adecuado para cada paciente y su aplicación clínica (4)

Las muestras se fabricaron en el laboratorio de la Institución Universitaria Colegios de Colombia, donde se realizó el escaneo 3D para el diseño de coronas con diferentes espesores. Posteriormente, se procedió a la cementación bajo condiciones controladas (temperatura, humedad y protocolo de adhesión) para garantizar la precisión del ensayo. Finalmente, las pruebas de resistencia a fuerzas compresivas se ejecutaron en una máquina universal de ensayos, gracias a un

convenio interinstitucional que permitió el uso del laboratorio de materiales de la universidad del valle. Este proceso aseguró la estandarización de los protocolos.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la impresión de piezas dentales se usa como material la resina 3D (resina compuesta o composite), un nuevo material para restaurar la estructura de los dientes, requerida parcial o totalmente por motivos, que presenta el desgaste natural (por el tiempo y uso del diente); por grietas, lesiones o fracturas del material. (2)

Este material ofrece varios beneficios sobre otros materiales de relleno (amalgamas) utilizados en años anteriores por los especialistas; como es la versatilidad para utilizarse en diversos procedimientos dentales; su alta estética, ya que es posible establecer el color del diente natural del paciente por medio de esta; ofrece mayor durabilidad, pues su composición hace que sea más durable y resistente a fracturas o desgaste. La mayoría de las resinas 3D poseen características similares, que permiten la utilización en los procedimientos mencionados, como son carillas (venners), onlays, inlays o coronas permanentes; estas resinas están hechas de material “monofásico con opacidad adecuada”, su biocompatibilidad es excelente.(5)

Con base en lo mencionado se requiere realizar estudios como el presente, para ampliar el conocimiento a nivel teórico y práctico con el cual tanto estudiantes como profesionales, residentes y especialistas, así como pacientes y la comunidad en general, se beneficie de los saberes adquiridos que les permita a su vez contar con mejores resultados en los procesos de rehabilitación oral y estética dental,(6) con los cuales se mejore la salud dental de los pacientes, incrementando su calidad de vida al contar con una buena salud de las estructuras dentarias que les permita realizar cada una de sus actividades diarias sin molestias o dolores causados por los problemas dentales referidos por los mismos pacientes.

A pesar de las ventajas de las resinas impresas 3D en rehabilitación oral, persiste un vacío en la evidencia científica sobre cómo los diferentes espesores oclusales (1.0 mm y 1.5 mm) de coronas fabricadas con resina Prizma BioCrown afectan su resistencia compresiva (en MPa) bajo cargas masticatorias. Actualmente, la falta de parámetros estandarizados limita su uso definitivo en dientes posteriores, donde la

exigencia biomecánica es crítica. Este estudio busca establecer la relación entre espesor y desempeño mecánico, con el fin de optimizar la conservación de estructura dental, garantizar durabilidad clínica y ofrecer una alternativa costo-efectiva frente a materiales tradicionales.

2.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la resistencia compresiva (en Megapascuales) de las coronas fabricadas con resina impresa 3D Prizma BioCrown, cementadas sobre especímenes de resina epóxica marca Elegoo, al variar los espesores del material entre 1 mm y 1.5 mm?

3. MARCO TEÓRICO

La odontología digital ha revolucionado los procesos de fabricación de restauraciones protésicas, destacándose la impresión 3D como una tecnología eficiente y versátil. Las coronas en resina impresas en 3D han ganado popularidad por su precisión, rapidez y menor costo en comparación con métodos tradicionales. Sin embargo, la resistencia compresiva es fundamental para soportar fuerzas masticatorias depende de múltiples factores, entre los cuales el espesor juega un papel crítico(6). Este marco teórico explora los fundamentos científicos detrás de la resistencia mecánica de las resinas impresas en 3D, la influencia del espesor oclusal y su relevancia clínica en la rehabilitación oral.

La resina impresa en 3D es un material polimérico utilizado en la fabricación aditiva de coronas dentales. Este material ofrece ventajas como su capacidad para personalizarse según las necesidades del paciente, su facilidad de procesamiento y su potencial para una rápida fabricación. Sin embargo, su resistencia a la compresión puede variar según la formulación de la resina y el proceso de impresión utilizado.

La formulación de la resina impresa en 3D, como material utilizado en el estudio de Zimmermann et al (2), incluye una matriz polimérica reforzada con partículas de relleno, lo que influye directamente en su resistencia a la compresión. Este estudio demostró que coronas fabricadas con este material alcanzaron una fuerza de fractura promedio de 1478.7 N con un espesor de 1.5 mm, mientras que en espesores menores (0.5 mm) la resistencia disminuyó a 571.1 N, evidenciando la dependencia de la resistencia mecánica respecto al grosor del material. Además, el proceso de impresión por tecnología DLP (procesamiento de luz digital) y los parámetros empleados —como el espesor de capa (50 μm) y el tiempo de exposición (0.6 s)— afectan la homogeneidad y la integridad estructural de las coronas. Otros estudios, como el de Alharbi et al (7), han reportado variaciones en la resistencia a la compresión de resinas 3D debido a diferencias en la composición de las partículas de relleno (entre 71% y 79% en materiales como Lava Ultimate y Cerasmart), lo que refuerza la importancia de optimizar tanto la formulación como

los protocolos de impresión para garantizar propiedades mecánicas adecuadas en aplicaciones clínicas.

La fabricación de coronas dentales ha evolucionado desde métodos analógicos, como la técnica de colado tradicional, que requiere modelos físicos y procesos manuales propensos a errores humanos, hacia técnicas digitales, como la impresión 3D, que ofrece mayor precisión y eficiencia. Mientras que los métodos analógicos dependen de materiales como yeso y cera, la impresión digital utiliza archivos CAD/CAM y resinas fotopolimerizables, permitiendo una adaptación milimétrica y personalización avanzada. Las coronas impresas digitalmente, muestran resistencia a la compresión comparable a los materiales fresados, con la ventaja adicional de reducir tiempos de producción y desperdicio de material. Además, la tecnología digital facilita la reproducción de anatomías complejas y ajustes iterativos sin necesidad de repetir procesos manuales, optimizando los resultados clínicos (2)

Para diseñar y elaborar las coronas de resina impresa 3D se emplean sistemas CAD-CAM (Computer-Aided Design – Computer-Aided Manufacturing), es decir, de diseño y fabricación asistidos por ordenador, lo que ofrece una gran precisión a la hora de elaborarlas (2).

La resistencia compresiva es la capacidad de un material para soportar fuerzas axiales sin deformarse o fracturarse. En coronas dentales, está directamente relacionada con las fuerzas masticatorias y la fatiga cíclica por carga oclusal repetitiva son factores que Afectan la Resistencia Compresiva, el espesor de Coronas con espesores <1.0 mm presentan mayor riesgo de fractura y estudios sugieren que espesores ≥ 1.5 mm mejoran la distribución de tensiones.

En la orientación de la impresión se requiere un ángulo de 45° reduce anisotropía y mejora la resistencia, en el postprocesado el Lavado y postpolimerización aumentan el grado de conversión y resistencia.

En el espesor y la resistencia compresiva se demuestra que coronas con 2.0 mm de espesor soportan cargas compresivas un 30% mayores que aquellas con 1.0

mm. En análisis de elementos finitos revela que espesores menores generan puntos de tensión críticos en crestas cuspidas (7).

En la estética los espesores <0.8 mm comprometen la resistencia, pero permiten mayor conservación de estructura dental. En la recomendación clínica el espesor indicado es de 1.5 mm en zonas de carga oclusal.(8).

Para comparar la resistencia a la compresión de las coronas de resina impresas en 3D con diferentes espesores oclusales, se utilizan métodos de evaluación estandarizados, como pruebas de laboratorio utilizando máquinas de ensayo universal. Estas pruebas aplican cargas graduales a las muestras y registran la resistencia a la compresión en términos de fuerza aplicada hasta la falla (1).

El espesor oclusal es un factor determinante en la resistencia compresiva de coronas impresas en 3D. Mientras que espesores ≥ 1.5 mm ofrecen mayor seguridad mecánica, la selección debe equilibrarse con requisitos estéticos y conservadores. Este marco sustenta la necesidad de evaluar experimentalmente cómo diferentes espesores afectan el desempeño clínico de estas restauraciones, aportando evidencia para protocolos de diseño en odontología digital.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar la resistencia a la compresión entre coronas de resina impresa 3D Prizma BIOCROWN con diferentes espesores.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer la resistencia a la compresión de las coronas de resina impresa 3D de 1mm de espesor.
2. Establecer la resistencia a la compresión de las coronas de resina impresa 3D de 1.5 .mm de espesor.

5. METODOLOGÍA

5.1 DISEÑO DEL ESTUDIO

Este estudio adopta un enfoque experimental *IN VITRO* para comparar las propiedades de resistencia a la compresión entre coronas de resina impresa 3D con diferentes espesores. Este enfoque experimental proporciona la oportunidad de controlar cuidadosamente las variables del estudio y de realizar mediciones precisas en un entorno de laboratorio para abordar en la práctica clínica(2).

Inicialmente se realizó una prueba piloto para evaluar la resistencia compresiva de coronas de resina impresas en 3D (Prizma BioCrown) con 4 coronas, 2 por cada grupo con espesores de 1.0 mm y 1.5 mm, cementadas con RelyX U200 sobre muñones de resina IMPRESA 3D Elegoo, Las pruebas se realizaron en máquina universal (50 toneladas, 0.5 N/min) usando una punta esférica para simular carga oclusal. Inicialmente se detectó inestabilidad durante la compresión, lo que requirió implementar una mordaza tipo cuña para garantizar sujeción adecuada.

5.2 POBLACIÓN OBJETIVO

La población de este estudio está constituida por coronas dentales en resina impresa en 3D.

5.2.1 Criterios de selección

5.2.1.1 Criterios de inclusión.

1. Dientes molares de resina epóxica preparados con línea de terminación chamfer.
2. Dientes molares de resina epóxica que cumplan con los parámetros de preparación para cada tipo corona.
3. Coronas fabricadas con resina impresa en 3D.

5.2.1.2 Criterios de exclusión.

1. Coronas con defectos visibles (grietas, burbujas, irregularidades).
2. Coronas con desadaptaciones marginales.
3. Muestras con errores en la aplicación del cemento o fotocurado.

4. Muestras que presenten fallas técnicas en la medición.

5.3 TAMAÑO DE MUESTRA Y DISEÑO DE MUESTREO

5.3.1 Cálculo del tamaño de muestra.

El tamaño de muestra se realizó por medio de 14 dientes los cuales serán de resina epoxica marca ELEGOO imitando las preparaciones para corona en el sector posterior, para lo cual se realizaron 14 coronas de resina 3D Prizma BIOCROWN divididos en dos grupos de la siguiente manera, 7 coronas en resina impresa 3D con espesor de 1 mm y 7 coronas en resina impresa 3D con espesor de 1.5 mm, las cuales producen un intervalo de confianza de 100%.

5.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Las variables que se implementaron en este estudio son: espesor de coronas en resina impresa 3D este tipo de coronas se fabrican utilizando la tecnología de impresión 3D con la resina Prizma BIOCROWN. La otra variable se presentó con la resistencia a las fuerzas compresivas se refiere a la capacidad de cada tipo de material dental para resistir las fuerzas compresivas aplicadas durante la masticación la cual se medirá en megapascales (MPa).

5.4.1 Variables.

- **Variable independiente:** Espesor de Coronas en Resina impresa 3D (coronas de 1mm y 1.5mm).
- **Variable dependiente:** Resistencia a las fuerzas compresivas (fuerza máxima en megapascales).

5.4.2 Cuadro operacional de las variables

Tabla 1. Definición operacional de las variables

Variable	Definición operacional	Tipo / nivel de medición	Valores posibles	Fuente de información
Espesor de las Coronas	Diámetro de las coronas de Resina Impresa 3D.	Cuantitativo	1.0 mm y 1.5 mm	Software Exocad
Resistencia a las fuerzas compresivas.	Medida de la capacidad del material a resistir a las fuerzas compresivas.	Cuantitativo	6 Mpa a 20 Mpa	Máquina Universal

5.5 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Preparación del modelo maestro: Se utilizaron modelos de ivorina (Foto N°1) con preparaciones dentales estandarizadas en primeros molares inferiores (Diente 36). Las preparaciones presentaron línea de terminación tipo chamfer de 120° y espesores específicos: 1.0 mm y 1.5 mm en toda la superficie del diente (oclusal, lingual, vestibular, mesial y distal) (para los grupos experimentales) (Foto N°2), Los espesores se verificaron por medio de las matrices. La impresión de las matrices se realizó con silicona pesada de la casa comercial ZHERMACK (Foto N°3), mezclando base y catalizador en proporción 1:1, inyectando el material alrededor de los dientes preparados y esperando 5 minutos para su polimerización (2).



Foto N° 1 Diente de Referencia



Foto N°2 Diente Preparado



Foto N°3 Matriz de preparación.

Digitalización y diseño protésico: Los modelos maestros se escanearon con el escáner intraoral Shining 3D a una resolución de 20 μ m, exportando los archivos en formato STL(Foto N°4), al software de exocad Dental CAD se diseñaron las coronas con dos configuraciones de espesor: 1.0 mm (Grupo 1) y 1.5 mm (Grupo 2), manteniendo los demás espesores constantes según el diseño experimental (Foto N°5). Se imprimieron 14 coronas con la RESINA PRIZMA 3D BIOCROWN BL (7 coronas con espesor de 1.0mm y 1.5 mm) con la impresora ELEGOO MARS 5 y 14 muñones en resina epoxica marca ELEGOO usando la impresora ELEGOO MARS 5 (Foto N°6), con parámetros de capa de 50 μ m y postpolimerización.

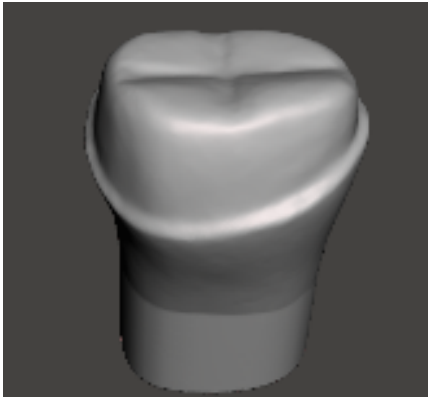


Foto N°4 Diente escaneado.

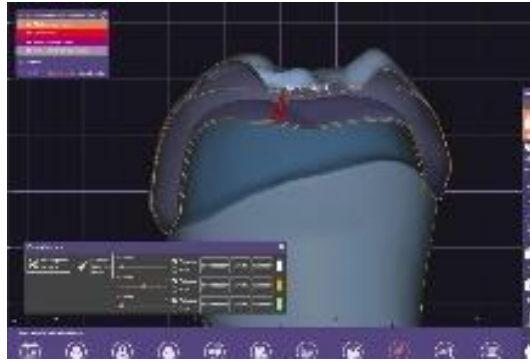


Foto N°5 Diseño de coronas



Foto N°6 Diente impreso

Procedimiento de cementación:

Tratamiento de superficie del muñón.

Previo a la cementación, todos los muñones se limpiaron con alcohol isopropílico y posterior recibieron grabado con ácido ortofosfórico al 37% durante 15 segundos para limpiar impurezas, seguido de lavado y secado. Se aplicó el adhesivo scotchbond universal plus – (Solventum®) con un microbrush y se fotopolimerizó durante 20 segundos con lámpara LED polliwave O-Star (Woodpecker®)

Tratamiento de Superficie de la corona.



Foto N°7 Desinfección



Foto N°8 Aplicación de ácido ortofosfórico



Foto N°9 aplicación de silano



Foto N°10 Aplicación de adhesivo



Foto N°11 Cementación con Relyx™ U200

Corona 3D → Limpieza → Grabado Ácido → Silano → Adhesivo → Cementación

El proceso de tratamiento de superficie comenzó con una limpieza exhaustiva de la corona. Primero se lavó la pieza con alcohol isopropílico para eliminar cualquier residuo de la impresión que pueda haber quedado del proceso de fabricación (Foto N°7). Posteriormente, se seca cuidadosamente con aire comprimido, evitando el uso de gasas que podrían dejar fibras o residuos en la superficie. Esta limpieza inicial es fundamental para garantizar una adecuada adhesión del cemento.

Para mejorar la retención mecánica, se procede al grabado de la superficie interna de la corona. Se aplicó ácido ortofosfórico al 37% de la casa comercial (Densell®) exclusivamente en la zona que estará en contacto con el cemento (Foto N°8), utilizando una jeringa para mayor precisión y evitando que el ácido entre en contacto con las superficies externas estéticas. El tiempo de aplicación es de 20 segundos,

tras lo cual se enjuaga abundantemente con agua/aire durante 15 segundos para eliminar completamente los residuos del ácido (2).

Posterior, se realizó la aplicación de silano de la casa comercial (Ultradent®), una capa uniforme con microbrush (Foto N°9), dejándolo actuar durante 60 segundos. Luego se evaporan los solventes con aire suave durante 5 segundos.

Finalmente, se aplicó el adhesivo scotchbond universal plus – (solventum®), se frota el adhesivo sobre la superficie tratada interna de la corona durante 20 segundos con un microbrush (Foto N°10), se airea para eliminar los solventes y lograr capa uniforme, y se fotopolimeriza durante 20 segundos por cada superficie con una lámpara O-Star de (Woodpecker®) con fotopolimerización LED.

El cemento resinoso de polimerización dual utilizado fue Relyx™ U200 – (Solventum®) se preparó en papel parafinado con Fp3 metálico y se aplicó en la superficie interna de las coronas(Foto N°11), que se asentarán sobre los muñones con presión controlada. Los excesos se eliminaron inmediatamente con pincel pelo de marta número 2 y se fotopolimerizará durante 40 segundos por cada cara (vestibular, lingual y oclusal) usando lámpara O-Star de (Woodpecker®) con fotopolimerización LED (Foto N°12). El almacenamiento de las coronas se realizó en agua destilada posterior a la cementación.

Evaluación de resistencia compresiva: Las muestras cementadas se sometieron a prueba en máquina universal de ensayos Tinius Olsen H50ks, con carga máxima de 50 kilo Newton de 50 toneladas y con fuerza uniaxial a 90 grados con 0.5N/Min (Foto N°13). Se utilizó una punta esférica (balín) de acero de 3.9 mm para simular el contacto oclusal. Cada muestra se colocó en posición vertical y se cargó hasta fractura, registrando la fuerza máxima (M) (Foto N°14), Todos los ensayos se realizarán en condiciones ambientales controladas (2).



Foto N°12 Coronas Cementadas.



Foto N° 13
Ensayo en maquina
universal



Foto N° 14 Coronas fracturadas

5.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó el análisis de datos de resistencia compresiva (Megapascales) para coronas de 1.0 mm no cumplieron con el supuesto de normalidad (Shapiro-Wilk, $p = 0.021$), se aplicó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney para comparar ambos grupos (1.0 mm vs. 1.5 mm). Los resultados mostraron diferencias significativas ($p = 0.002$), rechazando la hipótesis nula (H_0 : igualdad de distribuciones entre grupos). Las coronas de 1.5 mm presentaron mayor resistencia (media = 128.91M, DE = 21.67) frente a las de 1.0 mm (media = 92.00M, DE = 6.24), evidenciando que el espesor influye estadísticamente en la resistencia compresiva ($p < 0.05$). Estos hallazgos respaldan la hipótesis del estudio *IN VITRO*.

5.7 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Este estudio in vitro se clasifica como sin riesgo según la Resolución 8430 de 1993 (Colombia), al no involucrar seres humanos o animales. Se adhirió a normas internacionales ISO 6872:2015 (para materiales dentales) e ISO 19450:2015 (manufactura aditiva), garantizando estandarización en los protocolos. El diseño experimental utilizó un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$) y poder estadístico del 80% ($\beta=0.20$), parámetros aceptados para estudios biomecánicos. Se implementaron controles de calidad para evitar sesgos, y todos los datos se registraron de forma anónima y trazable, cumpliendo con principios de integridad científica.

6. RESULTADOS

Los resultados del estudio mostraron mayor resistencia compresiva en coronas de 1.5 mm (11.54 MPa) frente a las de 1.0 mm (8.74 MPa), con una diferencia significativa ($p < 0.05$). Como conclusión, se validó el uso de mordazas, se confirmó la velocidad de carga y se estableció un tamaño muestral de $n=7$ por grupo para el estudio, demostrando que el espesor influye significativamente en la resistencia compresiva de las coronas.

En el (Gráfico 3) de cajas y bigotes de carga de fractura de coronas fabricadas con diferentes espesores, se identifica con una dispersión mayor en las coronas de 1mm y en las coronas de 1.5 mm presenta una dispersión menor en la resistencia en Megapascales, confirmando que mayores espesores mejoran la resistencia mecánica de las coronas en resina 3D.

Los resultados revelaron diferencias significativas entre los grupos. Las coronas de 1.0 mm mostraron una resistencia compresiva media de 8.74 MPa (DE = 2.06), con una amplia dispersión (rango: 5.51 – 11.32 MPa), mientras que las de 1.5 mm presentaron valores superiores y más homogéneos (media = 11.54 MPa, DE = 0.56; rango: 10.63 – 12.12 MPa). Las pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) indicaron que los datos de 1.0 mm no seguían una distribución normal ($p = 0.021$), mientras que los de 1.5 mm sí cumplían este supuesto ($p = 0.053$). Esta divergencia justificó el uso de métodos no paramétricos para el análisis.

Al aplicar la prueba U de Mann-Whitney (no paramétrica), se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($p = 0.002$), rechazando la hipótesis nula de igualdad de distribuciones. Adicionalmente, la prueba t para muestras independientes (asumiendo varianzas desiguales, $p = 0.011$ en Levene) corroboró este hallazgo ($t = -4.33$, $p = 0.003$), con una diferencia media de -2.80 MPa (IC95%: -4.24, -1.36). Estos resultados confirman que el espesor de 1.5 mm confiere una resistencia compresiva significativamente mayor, con un efecto clínicamente relevante.

El análisis evidenció que las coronas de 1.5 mm no solo superan en resistencia a las de 1.0 mm, sino que también presentan menor variabilidad, sugiriendo mayor fiabilidad clínica. La no normalidad en el grupo de 1.0 mm podría asociarse a factores como heterogeneidad en la fabricación o tensiones residuales. Estos hallazgos respaldan la hipótesis del estudio, destacando la importancia del espesor en el diseño de coronas 3D.

Tabla 2. Resistencia en Megapascales de las coronas de dos espesores

CORONAS 1 MM							
	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75
RESISTENCIA_Megapascales	57.99	119.16	92.00	90.88	21.67	78.24	109.12

CORONAS 1.5 MM							
	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75
RESISTENCIA_Megapascales	118.76	135.40	128.91	127.36	6.24	124.69	134.90

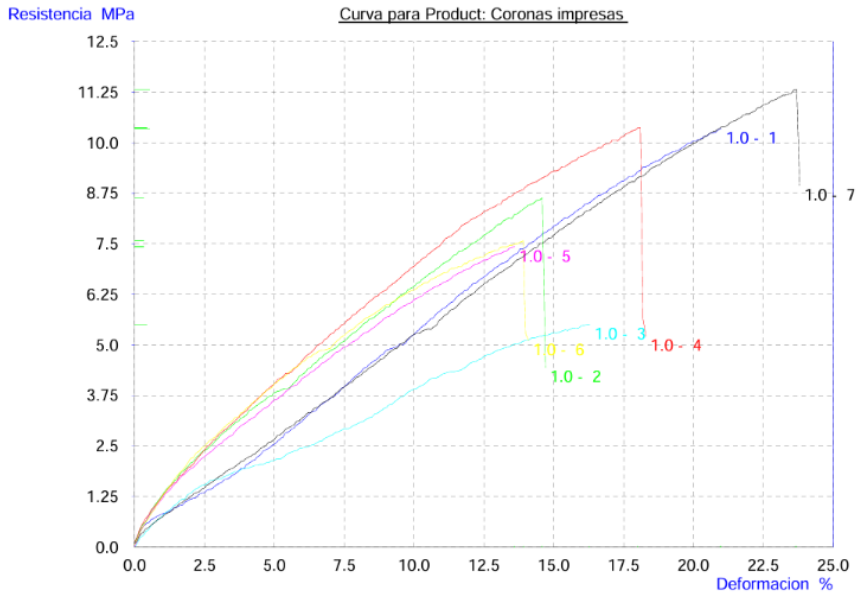


Gráfico 1. Resistencia en Megapascales en coronas de 1 mm de espesor

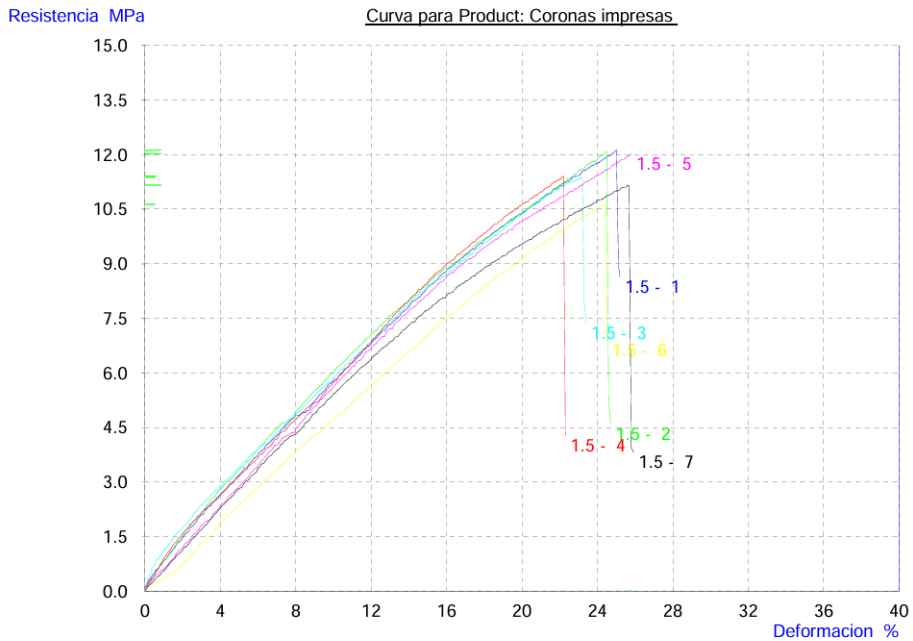


Gráfico 2. Resistencia en Megapascales en coronas de 1,5 mm de espesor.

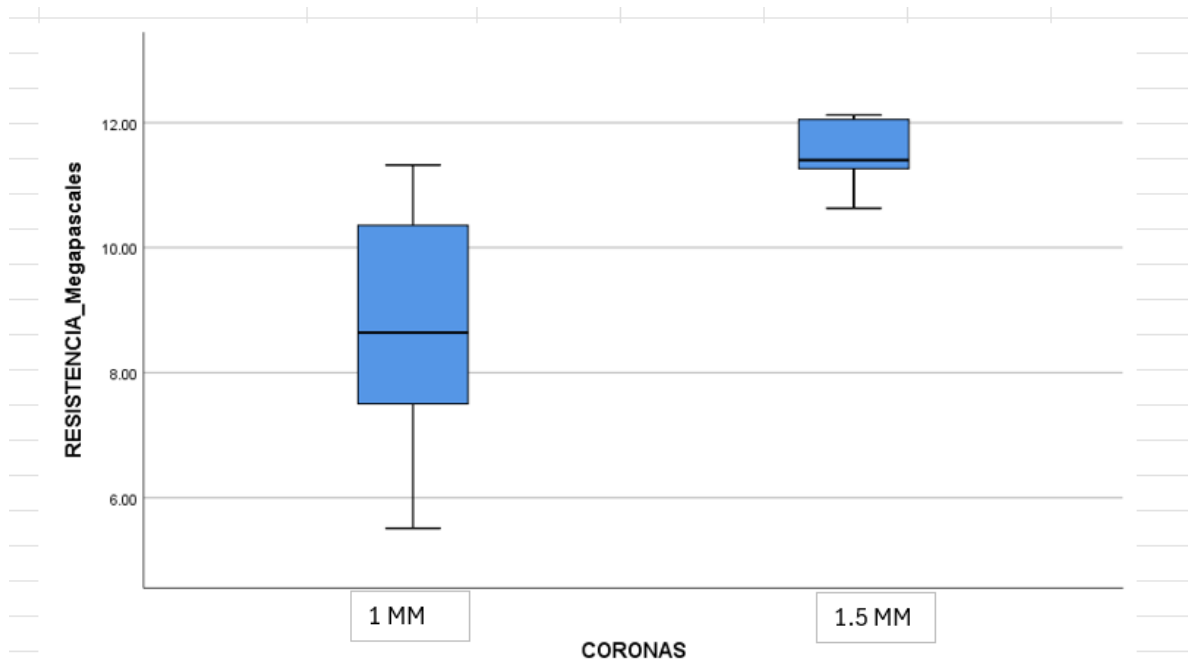


Gráfico 3. Diagrama de cajas y bigotes con resistencia en Megapascals de coronas de 1 mm y 1,5 mm de espesor

7. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran de manera robusta que el espesor de 1.5 mm en coronas de resina impresa 3D proporciona una resistencia compresiva significativamente mayor y más consistente que el de 1.0 mm ($p < 0.05$), validando la hipótesis principal del estudio. Los principales resultados se presentan de forma clara, mostrando una diferencia media de -36.91 MPa (IC95%: -57.07, -16.74) a favor del grupo de 1.5 mm, con una dispersión notablemente menor (DE = 6.24 MPa vs. 21.67 MPa) (10), lo que sugiere una mayor confiabilidad estructural en este espesor. Entre los hallazgos más relevantes se destaca no solo la superioridad numérica del grupo de 1.5 mm, sino también su homogeneidad, lo cual es crucial para predecir el comportamiento clínico en entornos de alta carga oclusal (11).

Estos hallazgos pueden explicarse mediante mecanismos biomecánicos y de fabricación. La mayor resistencia observada en coronas de 1.5 mm se atribuye a una mejor distribución de tensiones bajo carga compresiva, reduciendo la concentración de esfuerzos en áreas críticas como las crestas cuspídeas. Por el contrario, la heterogeneidad en el grupo de 1.0 mm (Shapiro-Wilk, $p = 0.021$) sugiere la presencia de tensiones residuales durante la impresión 3D o irregularidades en la microestructura del material(12), factores que se acentúan en espesores reducidos donde los defectos tienen un impacto proporcionalmente mayor. Esta interpretación científica se alinea con estudios previos que utilizan análisis de elementos finitos, los cuales demuestran que espesores menores generan puntos de tensión críticos bajo carga axial(13).

Al comparar estos resultados con investigaciones similares, se observa una clara coincidencia con los hallazgos de Zimmermann et al. (2019), quienes reportaron que coronas de composite CAD/CAM con espesores de 1.5 mm alcanzaron fuerzas de fractura superiores (1478.7 N) frente a espesores de 0.5 mm (571.1 N)(14). Sin embargo, existe una discrepancia parcial con estudios en cerámicas vitreas, como el de Bergamo et al. (2019), donde espesores de 1.0 mm en zirconio-reforzado mostraron adecuada resistencia en condiciones controladas. Esta divergencia puede deberse a diferencias en la composición del material y la metodología de

ensayo, destacando la necesidad de evaluar materiales resinosos por separado(15).

Entre las posibles fuentes de sesgo o error, se identifica la limitación del tamaño muestral ($n = 7$ por grupo), el cual, aunque suficiente para detectar diferencias estadísticas, reduce el poder estadístico y la generalización de los resultados (16). Además, la no normalidad en el grupo de 1.0 mm sugiere imprecisiones en la estandarización de la fabricación o el curado, lo que podría introducir variabilidad no controlada. Se reconoce que la multiplicidad de análisis (pruebas paramétricas y no paramétricas) fue necesaria debido al incumplimiento de supuestos, pero se aplicaron de manera rigurosa para asegurar la validez de las conclusiones(7).

Para mejorar estudios futuros, se sugiere incrementar el tamaño de la muestra, incorporar ensayos de fatiga térmica y mecánica para simular el envejecimiento oral, y evaluar espesores intermedios (ej. 1.2 mm) que puedan ofrecer un equilibrio entre conservación dentaria y resistencia(17). Estos resultados podrían influir en el diseño de ensayos clínicos posteriores orientados a validar el desempeño in vivo de coronas de 1.5 mm en sectores posteriores, así como a explorar el uso de resinas modificadas con nanopartículas para reducir el espesor sin comprometer la resistencia(18).

8. RECOMENDACIONES

Con los resultados obtenidos, se recomienda priorizar un espesor oclusal de 1.5 mm en el diseño de coronas de resina compuesta impresas en 3D para restauraciones posteriores, ya que garantiza una resistencia compresiva adecuada y un comportamiento biomecánico más predecible. Sin embargo, es fundamental complementar estos hallazgos con estudios clínicos a largo plazo que evalúen el desempeño bajo condiciones de fatiga y envejecimiento oral, así como explorar el desarrollo de materiales con refuerzos nanométricos que permitan reducir el espesor sin comprometer la durabilidad.

9. CONCLUSIONES

A lo largo de este estudio, hemos comprobado que el espesor de las coronas de resina impresa en 3D juega un papel fundamental en su capacidad para resistir las fuerzas compresivas a las que están sometidas en la cavidad oral. Los resultados obtenidos demuestran, de manera consistente y estadísticamente significativa, que las coronas con un espesor de 1.5 mm ofrecen una resistencia notablemente superior y un comportamiento más predecible que aquellas de 1.0 mm. Esta diferencia no es solo numérica; se traduce en una mayor confiabilidad clínica, lo que puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de una restauración en sectores posteriores, donde las cargas masticatorias son más exigentes.

Estos hallazgos nos llevan a reflexionar sobre la importancia de equilibrar la conservación de tejido dentario con la necesidad de garantizar restauraciones duraderas y seguras. Si bien la odontología mínimamente invasiva nos impulsa a preservar la mayor cantidad de estructura dental posible, los resultados de este trabajo sugieren que, en el caso de las resinas impresas en 3D, un espesor de 1.5 mm podría considerarse un valor de referencia para asegurar un desempeño biomecánico adecuado en zonas de alta carga oclusal.

Sin embargo, también somos conscientes de las limitaciones propias de un estudio in vitro. Aunque los resultados son alentadores, es esencial validarlos en contextos clínicos reales, donde factores como la fatiga mecánica, los ciclos térmicos y las condiciones específicas de cada paciente pueden influir en el comportamiento a largo plazo de estas restauraciones. La no normalidad observada en el grupo de 1.0 mm nos recuerda la importancia de optimizar los procesos de fabricación y curado para minimizar la variabilidad y asegurar resultados consistentes.

En última instancia, este trabajo no solo aporta evidencia científica valiosa para la toma de decisiones clínicas, sino que también abre la puerta a futuras investigaciones. Explorar espesores intermedios, mejorar la formulación de las resinas con incorporación de nanopartículas o evaluar el desempeño bajo

condiciones de envejecimiento acelerado son solo algunos de los caminos que pueden seguirse para seguir avanzando en este campo.

Como profesionales de la salud oral, nuestro compromiso es ofrecer a pacientes restauraciones que no solo devuelvan la función y la estética, sino que también perduren en el tiempo. Este estudio es un paso más en esa dirección, y confiamos en que sus hallazgos contribuyan a enriquecer la práctica clínica y a mejorar la calidad de vida de quienes confían en nosotros para cuidar su sonrisa.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Zimmermann M, Egli G, Zaruba M, Mehl A. Influence of material thickness on fractural strength of CAD/CAM fabricated ceramic crowns. *Dent Mater J.* 2017;36(6):778–83.
2. Zimmermann M, Ender A, Egli G, Özcan M, Mehl A. Fracture load of CAD/CAM-fabricated and 3D-printed composite crowns as a function of material thickness. *Clin Oral Investig.* 2019 Jun 1;23(6):2777–84.
3. Bergamo ETP, Bordin D, Ramalho IS, Lopes ACO, Gomes RS, Kaizer M, et al. Zirconia-reinforced lithium silicate crowns: Effect of thickness on survival and failure mode. *Dental Materials.* 2019 Jul 1;35(7):1007–16.
4. In vitro fracture load of monolithic lithium disilicate ceramic molar crowns with different wall thicknesses. - EBSCO.
5. Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness.
6. Choi S, Yoon HI, Park EJ. Load-bearing capacity of various CAD/CAM monolithic molar crowns under recommended occlusal thickness and reduced occlusal thickness conditions. *Journal of Advanced Prosthodontics.* 2017 Dec 1;9(6):423–31.
7. Ardu S. Staining susceptibility of recently developed resin composite materials. *Journal of Clinical Advances in Dentistry.* 2018 Jul 25;001–7.
8. Johansson C, Kmet G, Rivera J, Larsson C, Vult Von Steyern P. Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. *Acta Odontol Scand.* 2014 Feb;72(2):145–53.
9. Rinke S, Zuck T, Hausdörfer T, Leha A, Wassmann T, Ziebolz D. Prospective clinical evaluation of chairside-fabricated zirconia-reinforced lithium silicate ceramic partial crowns—5-year results. *Clin Oral Investig.* 2022 Feb 1;26(2):1593–603.
10. Zandinejad A, Zadeh RS, Khanlar LN, Barmak AB, Revilla-León M. Fracture resistance, marginal and internal adaptation of innovative 3D-printed graded structure crown using a 3D jet printing technology. *Journal of Prosthodontics.* 2024 Aug 1;33(7):684–90.

11. Blackburn C, Rask H, Awada A. Mechanical properties of resin-ceramic CAD-CAM materials after accelerated aging. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2018 Jun 1;119(6):954–8.
12. Leitão CIMB, Fernandes GV de O, Azevedo LPP, Araújo FM, Donato H, Correia ARM. Clinical performance of monolithic CAD/CAM tooth-supported zirconia restorations: systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res*. 2022;66(3):374–84.
13. Marginal adaptation and fracture resistance of 3D-printed and CAD_CAM-milled definitive resin matrix ceramic crowns. - EBSCO.
14. Dejak B, Młotkowski A, Langot C. Three-dimensional finite element analysis of molars with thin-walled prosthetic crowns made of various materials. *Dental Materials*. 2012 Apr;28(4):433–41.
15. The effect of crown length on the fracture resistance of posterior porcelain and glass-ceramic crowns. - EBSCO.
16. Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service - EBSCO.
17. Kelly JR, Nishimura I, Campbell SD. *Ceramics in dentistry: Historical roots and current perspectives*.
18. Kia Juan. Consideraciones de los materiales disponibles en América Latina para la fabricación de coronas cerámicas libres de metal. *Revisión Bibliográfica*. - EBSCO. 2010;
19. Lise DP, Van Ende A, De Munck J, Vieira LCC, Baratieri LN, Van Meerbeek B. Microtensile bond strength of composite cement to novel CAD/CAM materials as a function of surface treatment and aging. *Oper Dent*. 2017 Jan 1;42(1):73–81.
20. Turkyilmaz I, Wilkins GN, Varvara G. Tooth preparation, digital design and milling process considerations for CAD/CAM crowns: Understanding the transition from analog to digital workflow. Vol. 16, *Journal of Dental Sciences*. Association for Dental Sciences of the Republic of China; 2021. p. 1312–4.
21. Jurado CA, Bora P V., Azpiazu-Flores FX, Cho SH, Afrashtehfar KI. Effect of resin cement selection on fracture resistance of chairside CAD-CAM lithium

- disilicate crowns containing virgilite: A comparative in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025 Jan 1;133(1):203–7.
22. Ellakany P, Madi M, Aly NM, Alshehri T, Alameer ST, Al-Harbi FA. Influences of Different CAD/CAM Ceramic Compositions and Thicknesses on the Mechanical Properties of Ceramic Restorations: An In Vitro Study. *Materials*. 2023 Jan 1;16(2).
 23. Cui C, Sun J. Optimizing the design of bio-inspired functionally graded material (FGM) layer in all-ceramic dental restorations. *Dent Mater J*. 2014;33(2):173–8.
 24. Zandinejad A, Revilla-León M, Methani MM, Khanlar LN, Morton D. The fracture resistance of additively manufactured monolithic zirconia vs. Bi-layered alumina toughened zirconia crowns when cemented to zirconia abutments. evaluating the potential of 3d printing of ceramic crowns: An in vitro study. *Dent J (Basel)*. 2021 Oct 1;9(10).
 25. Rauch A, Schrock A, Schierz O, Hahnel S. Material selection for tooth-supported single crowns-a survey among dentists in Germany. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03363-9>
 26. Preis V, Hahnel S, Behr M, Rosentritt M. In vitro performance and fracture resistance of novel CAD/CAM ceramic molar crowns loaded on implants and human teeth. *Journal of Advanced Prosthodontics*. 2018 Aug 1;10(4):300–7.
 27. Jurado C, Lee D, Cortes D, Kaleinikova Z, Hernandez A, Donato M, et al. Fracture Resistance of Chairside CAD/CAM Molar Crowns Fabricated with Different Lithium Disilicate Ceramic Materials. *Int J Prosthodont*. 2023 Dec 18;36(6):722–9.
 28. Chun KJ, Lee JY. Comparative study of mechanical properties of dental restorative materials and dental hard tissues in compressive loads. *J Dent Biomech*. 2014 Oct 14;5(0).
 29. Jurado CA, Bora P V., Azpiazu-Flores FX, Cho SH, Afrashtehfar KI. Effect of resin cement selection on fracture resistance of chairside CAD-CAM lithium disilicate crowns containing virgilite: A comparative in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2025 Jan 1;133(1):203–7.

30. Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: Two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013 Apr;20:113–25.
31. Shembish FA, Tong H, Kaizer M, Janal MN, Thompson VP, Opdam NJ, et al. Fatigue resistance of CAD/CAM resin composite molar crowns. *Dental Materials.* 2016 Apr 1;32(4):499–509.
32. Zimmermann M, Koller C, Reymus M, Mehl A, Hickel R. Clinical Evaluation of Indirect Particle-Filled Composite Resin CAD/CAM Partial Crowns after 24 Months. *Journal of Prosthodontics.* 2018 Oct 1;27(8):694–9.