Facultad de ciencias de la salud

Posgrado de rehabilitación oral y prótesis implanto asistida

Tema:

Influencia de la forma de elaboración de inlays de disilicato de litio en la distribución de fuerzas: estudio en elemento finito

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN REHABILITACIÓN ORAL Y PRÓTESIS IMPLANTO ASISTIDA

Presentado por:

Andrea Estefania Medina Fonseca

Tutor:

Dra. Ana del Carmen Armas Vega

Quito, abril de 2025

Resumen

Introducción: Las incrustaciones tipo *inlay* de disilicato de litio combinan estética y resistencia mecánica, siendo esenciales en odontología restauradora. Las técnicas de fresado (IPS e.max CAD) e inyección (IPS e.max Press) influyen en su comportamiento biomecánico, lo que destaca la necesidad de evaluar su desempeño bajo cargas funcionales. Objetivo: Comparar la distribución de tensiones y deformaciones en restauraciones tipo *inlay* de disilicato de litio fabricadas mediante fresado e inyección, utilizando análisis por elementos finitos (FEM). Material y métodos: Se generaron modelos tridimensionales de dientes de ivorina mediante escaneo intraoral y software CAD, diseñando restauraciones con un espesor uniforme de 2 mm. Estas fueron sometidas a cargas oclusales de 500 N aplicadas perpendicularmente a la superficie, analizando tensiones de Von Mises y deformaciones. Resultados: Las restauraciones fresadas (IPS e.max CAD) mostraron una distribución más uniforme de tensiones, alcanzando 62,201 MPa y una deformación de 1.2×10^{-7} mm. En contraste, las restauraciones inyectadas (IPS e.max Press) registraron tensiones de 62,461 MPa y mayores deformaciones de 7.3793×10^{-7} mm, indicando una mayor transferencia de cargas hacia las estructuras adyacentes. Conclusión: Las restauraciones fresadas son más efectivas para soportar altas cargas funcionales, ofreciendo mejor distribución de tensiones y menor deformación. Este estudio resalta la importancia de considerar las propiedades biomecánicas del material y la técnica de fabricación para optimizar el desempeño clínico de las restauraciones dentales.

Palabras clave: análisis de estrés dental, método de elementos finitos, Incrustaciones Dentales, Biomecánica.

Declaración de aceptación de norma ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Andrea Estefania Medina Fonseca Firma

C.I. 1722444765

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado principalmente a mis padres Ximena Fonseca y Marco Medina por brindarme la oportunidad de estudiar gracias por su apoyo sacrificio, confianza en mí y por ser un pilar fundamental para mi carrera. A mis hermanos Andrés Medina, Sofía Medina, Anaai Fonseca y abuelito Oswaldo Fonseca por ayudarme y apoyarme siempre, a mi tío Oswaldo Fonseca y siempre de manera muy especial a mi abuelita Gloria Chacón que, aunque ya no ésta presente físicamente siempre me apoyo incondicionalmente. A mis perritas que ya no están a mi lado Canela y Piña y a los que están a mi lado Copito y Enzo.

A mi novio Hugo Montalvo que además de escucharme me apoyo y me brindo todo su cariño y amor siempre.

A mi tutora Dra. Ana Armas, cuyo apoyo, paciencia y orientación fueron fundamentales para la realización de este artículo.

Finalmente, a los docentes del posgrado de Odontología de la Universidad Hemisferios que me brindaron muchos conocimientos sin guardarse información gracias por sus consejos y enseñanzas.

Con mucho cariño y aprecio.

Andrea Estefania Medina Fonseca

Índice

Influencia de la forma de elaboración de inlays de disilicato de litio en la distribución de fuerzas: estudio en elemento finito 8

Resumen 8

Abstract 9

Metodología 11

Hallazgos 19

Discusión…… 22

Conclusiones 24

Referencias 25

Índice De Figuras

Figura 1 Escaneo inicial de la dentadura inferior en formato STL. 12

Figura 2 Modelo geométrico final: cavidad dental e incrustación inlay 13

Figura 3 Conversión del modelo STL a sólido y preparación para análisis FEM. 14

Figura 4 Mallado de cavidad dental. 15

Figura 5 Mallado de incrustación inlay. 15

Figura 6 Configuración de análisis FEM. 16

Figura 7 Condiciones de Contacto 17

Figura 8 Configuración de software CAE 18

Figura 9 Resultados gráficos del análisis de elementos finitos de la resina fresada. 20

Figura 10 Esfuerzos de Von Misses de Resina fresada. 20

Figura 11 Figura 11: Resultados gráficos del análisis de elementos finitos de la resina inyectada. 21

Figura 12 Esfuerzos de Von Misses de Resina fresada 21

Índice De Tablas

Tabla 1 Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el análisis por elementos finitos 13

Tabla 2 Resultados del análisis por elementos finitos según técnica de fabricación 19

Influencia de la forma de elaboración de inlays de disilicato de litio en la distribución de fuerzas: estudio en elemento finito

Andrea Estefania Medina Fonseca
Universidad Hemisferios
aemedinaf@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Introducción: Las incrustaciones tipo *inlay* de disilicato de litio combinan estética y resistencia mecánica, siendo esenciales en odontología restauradora. Las técnicas de fresado (IPS e.max CAD) e inyección (IPS e.max Press) influyen en su comportamiento biomecánico, lo que destaca la necesidad de evaluar su desempeño bajo cargas funcionales. Objetivo: Comparar la distribución de tensiones y deformaciones en restauraciones tipo *inlay* de disilicato de litio fabricadas mediante fresado e inyección, utilizando análisis por elementos finitos (FEM).

Material y métodos: Se generaron modelos tridimensionales de dientes de ivorina mediante escaneo intraoral y software CAD, diseñando restauraciones con un espesor uniforme de 2 mm. Estas fueron sometidas a cargas oclusales de 500 N aplicadas perpendicularmente a la superficie, analizando tensiones de Von Mises y deformaciones. Resultados: Las restauraciones fresadas (IPS e.max CAD) mostraron una distribución más uniforme de tensiones, alcanzando 62,201 MPa y una deformación de 1.2×10^{-7} mm. En contraste, las restauraciones inyectadas (IPS e.max Press) registraron tensiones de 62,461 MPa y mayores deformaciones de 7.3793×10^{-7} mm, indicando una mayor transferencia de cargas hacia las estructuras adyacentes. Conclusión: Las restauraciones fresadas son más efectivas para soportar altas cargas funcionales, ofreciendo mejor distribución de tensiones y menor deformación. Este estudio resalta la importancia de considerar las

propiedades biomecánicas del material y la técnica de fabricación para optimizar el desempeño clínico de las restauraciones dentales.

Palabras clave: análisis de estrés dental, método de elementos finitos, Incrustaciones Dentales, Biomecánica

Abstract

Introduction: Lithium disilicate inlays combine esthetics and mechanical strength, being essential in restorative dentistry. Milling (IPS e.max CAD) and pressing (IPS e.max Press) techniques influence their biomechanical behavior, which highlights the need to evaluate their performance under functional loads. Objective: To compare the distribution of stresses and strains in lithium disilicate inlay restorations fabricated by milling and pressing using finite element analysis (FEM).

Material and methods: Three-dimensional models of ivorine teeth were generated by intraoral scanning and CAD software, designing restorations with a uniform thickness of 2 mm. These were subjected to occlusal loads of 500 N applied perpendicularly to the surface, analyzing Von Mises stresses and deformations. Results: Milled restorations (IPS e.max CAD) showed a more uniform stress distribution, reaching 62,201 MPa and a deformation of 1.2×10^{-7} mm. In contrast, the pressed restorations (IPS e.max Press) recorded stresses of 62,461 MPa and higher deformations of 7.3793×10^{-7} mm, indicating a higher load transfer to adjacent structures. Conclusion: Milled restorations are more effective in withstanding high functional loads, offering better stress distribution and lower deformation. This study highlights the importance of considering the biomechanical properties of the material and the fabrication technique to optimize the clinical performance of dental restorations.

Keywords: dental stress analysis, finite element method, Dental Inlays, Biomechanics.

Introducción

La odontología restauradora moderna se orienta hacia la preservación de la mayor cantidad posible de estructura dental remanente, ofreciendo soluciones avanzadas para la rehabilitación de dientes comprometidos (Angeletakia et al., 2016). Dentro de estas soluciones, las restauraciones indirectas tipo inlay han adquirido relevancia, especialmente en combinación con materiales innovadores como el disilicato de litio, que equilibran funcionalidad y estética (Ioannidis et al., 2019; Veneziani, , 2017). Este tipo de restauraciones, que no cubren cúspides, se distinguen de las onlay y overlay al centrarse en reforzar áreas específicas de pérdida estructural sin afectar significativamente la anatomía dental remanente (González et al., 2012).

Aunque las restauraciones indirectas han demostrado una alta efectividad clínica, su éxito depende de la consideración de factores biomecánicos esenciales durante su planificación y diseño (Assunção et al., 2009). Las fuerzas masticatorias, aplicadas de manera perpendicular o en ángulos oblicuos, generan concentraciones de tensión que pueden comprometer la longevidad de la restauración y del diente subyacente si no se gestionan adecuadamente (Dejak y Młotkowski, 2020). En este contexto, las propiedades mecánicas de los materiales restauradores juegan un papel clave (Altier et al., 2018). El disilicato de litio, con un módulo de elasticidad entre 470 y 530 MPa y una resistencia a la flexión de 350 MPa, se posiciona como uno de los materiales más utilizados gracias a su resistencia y comportamiento biomecánico óptimo (Wang et al., 2013)

La cavidad oral, al actuar como un sistema biomecánico complejo, somete las restauraciones a cargas dinámicas y variables que afectan no solo a la restauración en sí, sino también a las estructuras adyacentes, resaltando la importancia de evaluar cómo los diferentes materiales y técnicas de fabricación influyen en la distribución de tensiones, especialmente en áreas específicas como cúspides y márgenes, donde las tensiones

concentradas pueden incrementar el riesgo de fracturas y comprometer la longevidad de los tratamientos (Aguiar et al., 2012; Wang et al., 2013). En este contexto, el método de elementos finitos (FEM) se ha consolidado como una herramienta computacional esencial para simular condiciones clínicas reales, permitiendo predecir comportamientos mecánicos complejos y áreas críticas de tensión y deformación en restauraciones dentales (Choi et al., 2014; Fish & Belytschko, 2007; Piccioni et al., 2013).

Frente a lo expuesto, este estudio tiene como objetivo analizar la influencia de la forma de elaboración de las incrustaciones tipo inlay de disilicato de litio en la distribución de fuerzas, utilizando el método de análisis por elementos finito.

Metodología

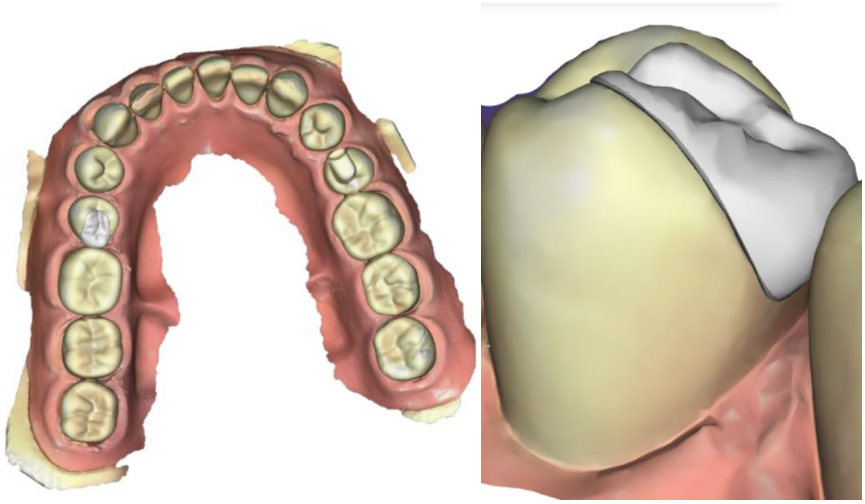
Se plantea una investigación del tipo experimental, descriptiva a través de simulación mediante elemento finito; para ello se seleccionaron dientes de ivorina pensando en replicar la forma del diente humano, pese a las imperfecciones existentes en este material, mas no para considerar las propiedades ni del diente ni de la ivorina para el estudio; garantizando con este material un comportamiento predecible durante el análisis biomecánico, facilitando la interpretación de los resultados (Cunha, 2014). Los dientes fueron preparados siguiendo un protocolo estándar que incluyó tallado con fresas diamantadas calibradas, alcanzando una profundidad uniforme de 4 mm en dentina y eliminando socavados. Este procedimiento aseguró cavidades homogéneas, necesarias para una adaptación precisa de las incrustaciones (Mourelle et al., 2016).

La creación del modelo geométrico inició con el escaneo de la dentadura inferior utilizando un escáner intraoral Aoralscan 3 (Shining 3D, China). Este dispositivo generó un archivo tridimensional en formato STL, representando con alta resolución las

características anatómicas de los dientes (Figura 1). A partir de este modelo inicial, se identificó la pieza dental de interés y se aisló la cavidad a analizar.

Figura 1

Escaneo inicial de la dentadura inferior en formato STL. Fuente: Autores

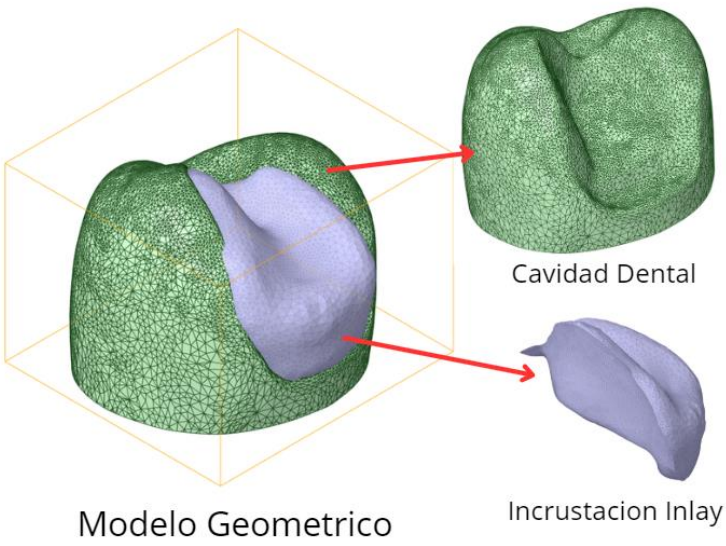


Con el apoyo de software CAD, se generaron dos representaciones geométricas independientes: una para la cavidad dental y otra para la incrustación tipo inlay. Diseñar la incrustación con un espesor uniforme de 2 mm en las zonas oclusales permitió garantizar la resistencia mecánica y la distribución adecuada de fuerzas, según lo recomendado por estudios previos (Dejak y Młotkowski, 2020a). Este diseño replicó las dimensiones ideales de una restauración indirecta.

Una vez obtenido el modelo geométrico, se eliminó la raíz del diente debido a las limitaciones inherentes al escaneo superficial y al alto costo computacional asociado al análisis FEM (Śmielak et al., 2019). Tratar la base del diente como una restricción fija permitió simplificar el modelo sin afectar los resultados del análisis, como se detalla en la Figura 2.

Figura 2

Modelo geométrico final: cavidad dental e incrustación inlay. Fuente: Autores



Fueron asignadas propiedades específicas a los materiales involucrados en el modelo geométrico fue esencial para garantizar la precisión del análisis, propiedades, extraídas de la literatura, así, con relación al Disilicato de litio: IPS e.max CAD (fresado): Módulo de elasticidad de 530 MPa, resistencia a la flexión de 350 MPa y tenacidad a la fractura de 2.5 MPa·$m^{1/2}$. IPS e.max Press (inyectado): Módulo de elasticidad de 470 MPa, resistencia a la flexión de 350 MPa y tenacidad a la fractura de 2.5 MPa·$m^{1/2}$ (Krejci y Daher, 2017)y en relación al Diente: Módulo de elasticidad: 10 GPa, resistencia a la tracción: 100. En la tabla 1 se puede observar las propiedades de los materiales.

Tabla 1

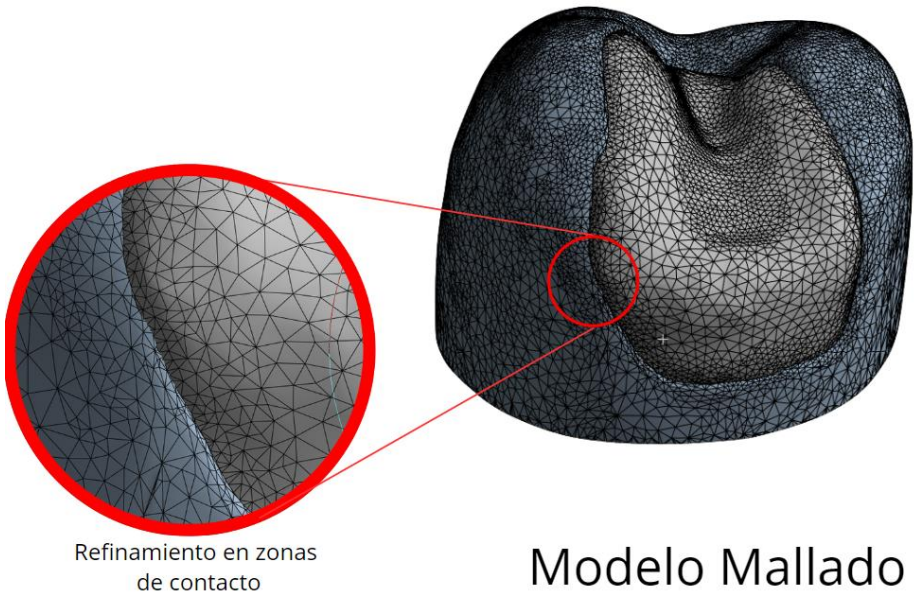
Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en el análisis por elementos finitos

Material	**Técnica**	**Módulo de Elasticidad (MPa)**	**Resistencia a la Flexión (MPa)**	**Tenacidad a la Fractura (MPa·$m^{1/2}$)**
IPS e.max CAD	Fresado	530	350	2.5
IPS e.max Press	Inyección	470	350	2.5
Diente (Ivorina)	-	10,000	100 (tracción)	-

El modelo STL fue convertido a un sólido mediante software CAD avanzado para permitir su análisis en el software CAE. Este paso fue crucial para asignar propiedades mecánicas y generar un mallado preciso (Figura 3).

Figura 3

Conversión del modelo STL a sólido y preparación para análisis FEM. Fuente: Autores



El mallado se configuró para capturar las características geométricas y mecánicas de cada componente, Pieza dental: Se utilizó un tamaño de elemento de 0.2 mm. Incrustación inlay: Se empleó un mallado más fino, con un tamaño de elemento de 0.1 mm, para detallar las interacciones críticas con la cavidad. El mallado final constó de 117,227 elementos y 193,724 nodos, resultado de un proceso iterativo de refinamiento y convergencia (Gallardo y Mera, 2015). Este proceso garantizó la precisión del análisis, como se observa en la Figura 4 y Figura 5.

Figura 4

Mallado de cavidad dental. Fuente Autores

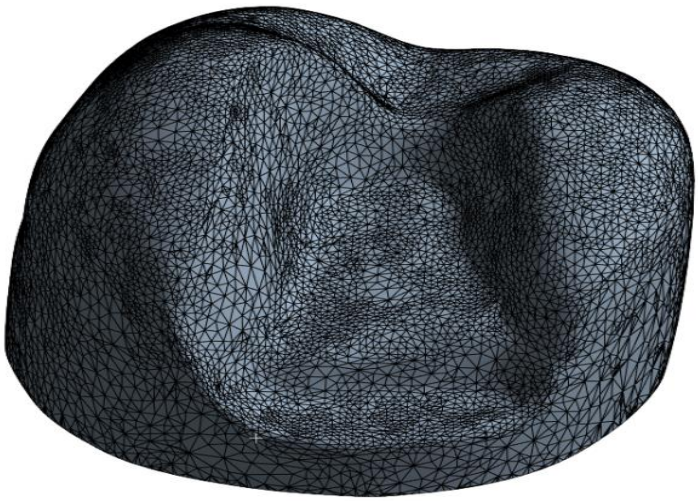
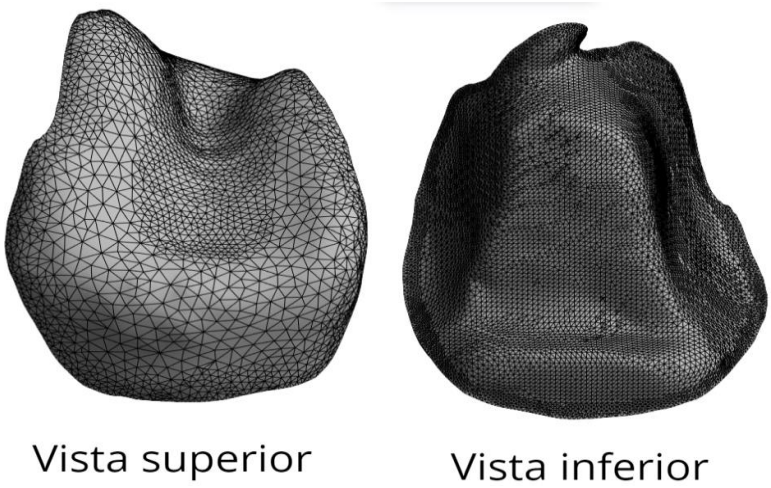


Figura 5

Mallado de incrustación inlay. Fuente Autores



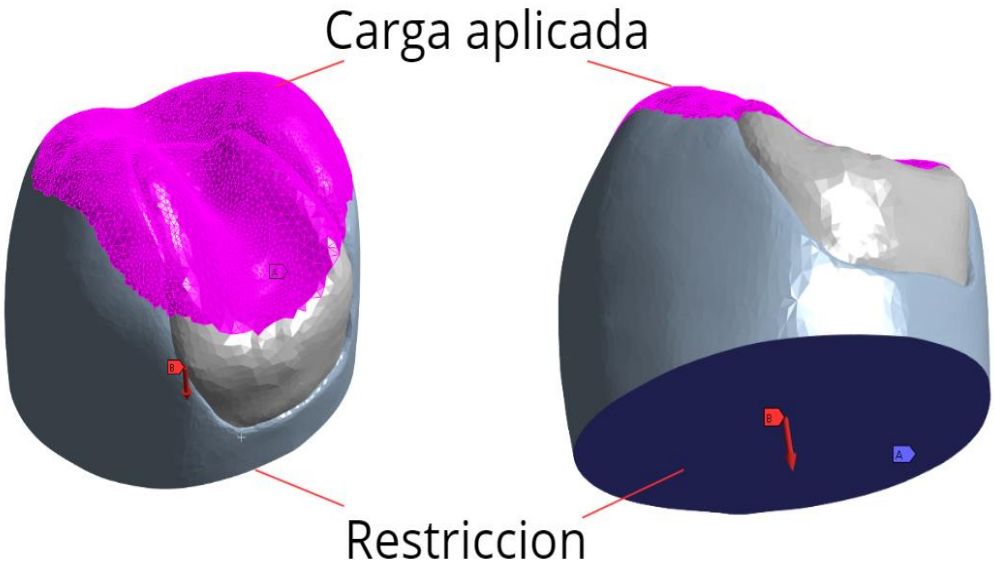
En la etapa de análisis por elementos finitos (FEM), se definieron condiciones específicas para simular el comportamiento biomecánico de las restauraciones dentales bajo cargas oclusales representativas.

Restricciones: La base del diente fue fijada como una condición rígida, replicando el soporte que proporciona el hueso alveolar en un entorno clínico. Esta restricción eliminó cualquier grado de libertad del modelo en la base, permitiendo concentrar el análisis en las tensiones generadas dentro de la estructura dental y la incrustación. Cargas aplicadas: Se

utilizó una fuerza oclusal de 500 N (Şahabettinoğlu et al., 2024), aplicada de manera perpendicular (90°) a la superficie oclusal de la incrustación (figura 6)(Matus, 2024).

Figura 6

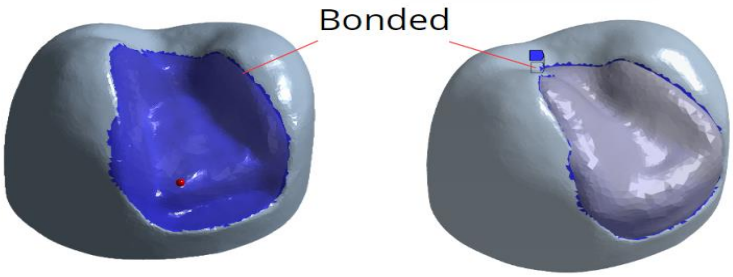
Configuración de análisis FEM. Fuente: Autores



Condición de unión cavidad-incrustación: Para representar la interacción entre la cavidad dental y la incrustación inlay, se utilizó un modelo de unión tipo bonded. Esta configuración simula la adhesión proporcionada por el cemento dental, replicando las condiciones de un pegante homogéneo que distribuye las cargas de manera uniforme. Dado que el cemento adhesivo tiene un espesor típico de 50 a 100 micras (Molina, 2022), su representación como una película sólida en el análisis no es viable, se optó por simplificar esta unión como un contacto perfectamente adherido (bonded), asegurando una transferencia directa de las cargas entre la cavidad y la incrustación (figura 7)(Ioannidis et al., 2019).

Figura 7

Condiciones de Contacto Fuente: Autores



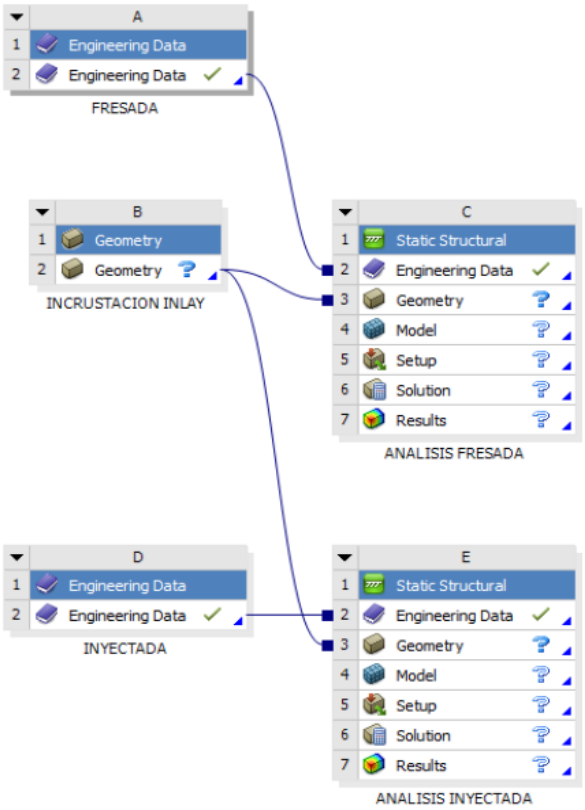
Contact	15958 Faces
Target	5518 Faces
Contact Bodies	inlay\Solid
Target Bodies	Geom\cavidaddental
Protected	No
Definition	
Type	Bonded
Scope Mode	Automatic
Behavior	Program Controlled
Trim Contact	Program Controlled
Trim Tolerance	8,1819e-004 m

CONTACTO TIPO BONDED

La configuración de la simulación en el software CAE (ANSYS R4 2024) se realizó con un enfoque estructurado que permitió analizar las propiedades específicas de los materiales mientras se mantenían constantes la geometría de la incrustación y las condiciones de carga. El proceso consistió en compartir la geometría, definir las cargas aplicadas y variar únicamente el material de la incrustación (Liu et al., 2025). Con base en esto, se establecieron configuraciones de simulación, donde Módulo A: Configurado con las propiedades mecánicas del material fresado (IPS e.max CAD). Módulo B: Representó la geometría fija de la incrustación dental, la cual permaneció constante en todas las simulaciones. La cavidad dental y la unión tipo *bonded* también fueron idénticas para garantizar comparabilidad entre las configuraciones. Módulo D: Incorporó las propiedades mecánicas del material inyectado (IPS e.max Press) la configuración de los módulos y su conexión, esta representación destaca cómo se realizó la simulación para analizar las propiedades estructurales y el comportamiento mecánico de los materiales bajo condiciones de carga máxima (Figura 8).

Figura 8

Configuración de software CAE Fuentes: Autores



Las propiedades del diente se definieron como isotrópicas, considerando que el objeto principal del estudio fue la incrustación dental, en sus vertientes internas y externas de cúspides de soporte, se concentran. Así fue interés de la investigación determinar los puntos de concentración de dichas fuerzas a nivel de la incrustación únicamente, otorgando a la estructura dental propiedades ortotrópicas es decir independientes entre sí e independientes con la estructura de la incrustación evaluada (Tommaso y Krejci, 2008). Los datos arrojados tras el análisis de elementos finitos mostró, las tensiones de Von Mises alcanzaron un valor máximo y deformaciones bajo condiciones de carga extrema (Budynas et al., 2020) fueron registrados y analizados mediante un análisis comparativo con los valores de elasticidad y módulos de resistencia mencionados en las propiedades de los materiales, verificando que los esfuerzos obtenidos no sobrepasan los valores establecidos.

Hallazgos

El software CAE (ANSYS R4 2024) arrojo diferencias en la distribución de tensiones especialmente en las cúspides y zonas de contacto entre los dos materiales analizados preparados en incrustaciones (ver tabla 2),. Las técnicas de fabricación fresado (IPS e.max CAD) e inyección (IPS e.max Press) al recibir cargas masticatorias, identificaron puntos críticos de tensión al ser sometidas a las fuerzas.

Tabla 2

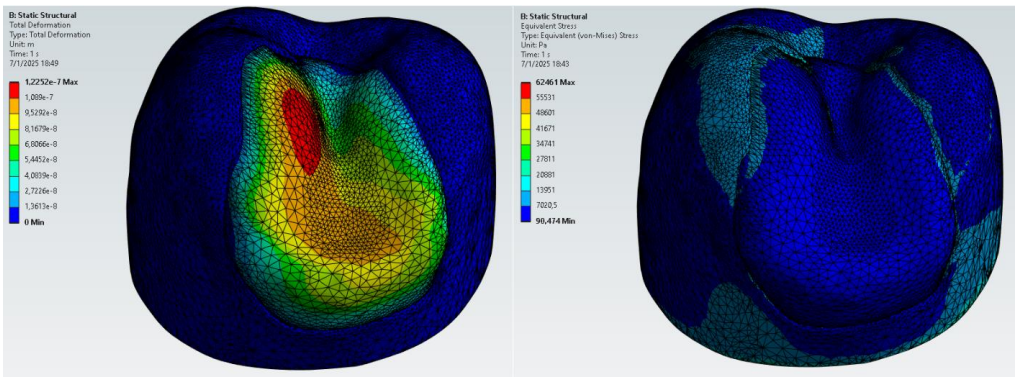
Resultados del análisis por elementos finitos según técnica de fabricación

Técnica	Material	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tensión Máxima Von Mises (MPa)	Deformación Máxima (mm)	Distribución de Tensión	Impacto Clínico Potencial
Fresado	IPS e.max CAD	530	62.201	1.2×10^{-7}	Uniforme	Reduce concentración de tensiones, menor riesgo de fractura
Inyectado	IPS e.max Press	470	62.461	7.3793×10^{-7}	Menos uniforme	Mayor transferencia de tensiones a interfaces y márgenes; posible inestabilidad estructural

El material fresado, (IPS e.max CAD) con un mayor módulo de elasticidad (530 MPa), presentó una capacidad superior para absorber las cargas aplicadas, distribuyendo de manera más uniforme las tensiones generadas en las cúspides y zonas de contacto (figura 9); si bien la fuerza fue aplicada sobre la incrustación en las superficies de sus vertientes internas y externas de las cúspides de soporte, es inevitable que estas se dispersen en el diente sin embargo el diente no fue objeto de análisis en este estudio. Esta característica mecánica reduce la concentración de esfuerzos en áreas críticas, contribuyendo a minimizar el riesgo de fractura tanto en la restauración como en las estructuras subyacentes del diente.

Figura 9

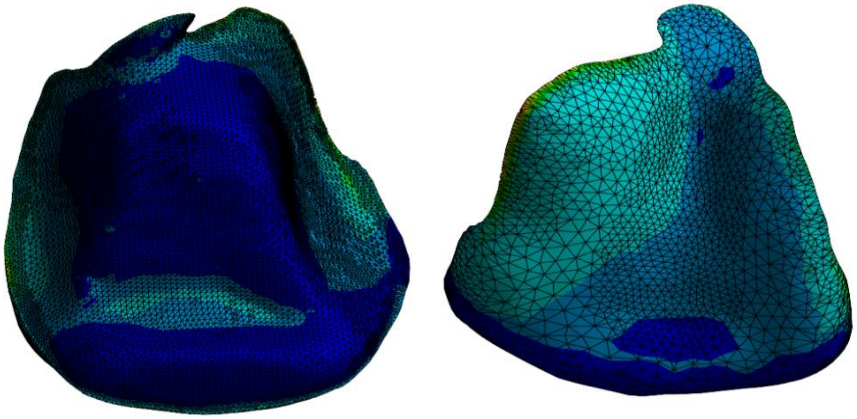
Resultados gráficos del análisis de elementos finitos de la resina fresada. Fuentes: Autores



Los resultados del análisis por elementos finitos mostraron que, para este material, las tensiones de Von Mises alcanzaron un valor máximo de 62,201 MPa, mientras que las deformaciones fueron de 1.2×10^{-7} mm, reflejando su capacidad para mantener la integridad estructural bajo condiciones de carga extrema.

Figura 10

Esfuerzos de Von Misses de Resina fresada. Fuente: Autores

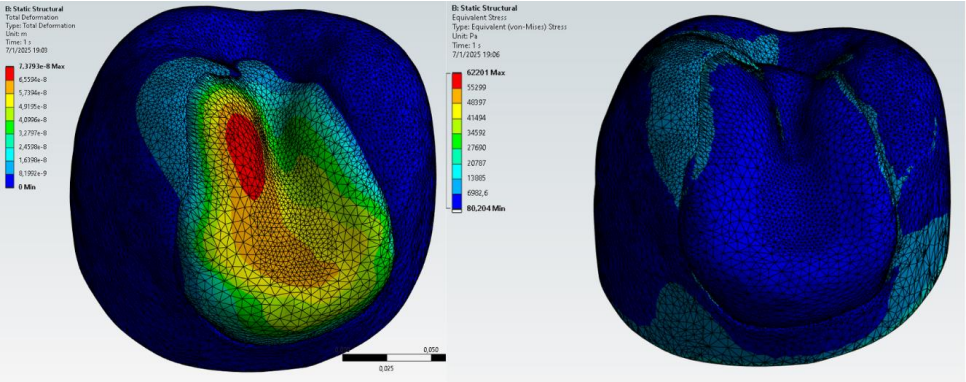


Por otro lado, el material inyectado (IPS e.max Press), con un menor módulo de elasticidad (470 MPa), se comportó de manera más rígida, transfiriendo una mayor cantidad de la carga aplicada hacia la cavidad dental. Esta transferencia de tensiones puede

generar un incremento en los esfuerzos concentrados en las interfaces adhesivas y los márgenes, aumentando el riesgo de daño estructural en escenarios clínicos exigentes.

Figura 11:

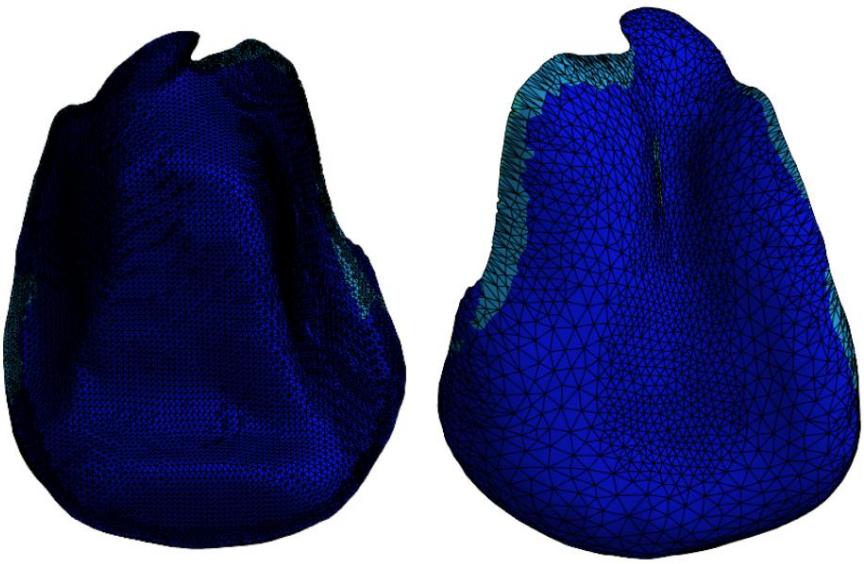
Resultados gráficos del análisis de elementos finitos de la resina inyectada. Fuentes: Autores



En este caso, las tensiones de Von Mises alcanzaron un valor máximo de 62,461 MPa, mientras que las deformaciones fueron de 7.3793 x10-7 mm, indicando una mayor transferencia de cargas hacia las estructuras internas del diente.

Figura 12

Esfuerzos de Von Misses de Resina fresada. Fuente: Autores



Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio destacan diferencias significativas en el comportamiento biomecánico de las restauraciones tipo inlay de disilicato de litio fabricadas mediante las técnicas de fresado (IPS e.max CAD) e inyección (IPS e.max Press) a través del análisis por elementos finitos (FEM), donde la restauración fresada (IPS e.max CAD) presentó una distribución más uniforme de las tensiones, con valores máximos de Von Mises de 62,201 MPa y una deformación mínima de 1.2×10^{-7} mm. Este comportamiento puede atribuirse al mayor módulo de elasticidad del material fresado (530 MPa), que le permite absorber mejor las cargas oclusales y distribuirlas eficientemente en las cúspides y zonas de contacto. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, como las realizadas por Dejak y Młotkowski (2020b) quienes encontraron que un mayor módulo de elasticidad en materiales restauradores contribuye a minimizar las concentraciones de tensiones críticas en restauraciones tipo inlay, lo que a su vez reduce el riesgo de fracturas tanto en las restauraciones como en las estructuras dentales subyacentes.

En contraste, las restauraciones inyectadas (IPS e.max Press) registraron tensiones de Von Mises ligeramente superiores (62,461 MPa) y una deformación mayor de 7.3793×10^{-7} mm. Aunque estas diferencias son numéricamente pequeñas, su impacto clínico puede ser relevante, ya que un menor módulo de elasticidad (470 MPa) en el material inyectado se asocia con una mayor transferencia de las cargas hacia las estructuras adyacentes (Krejci y Daher, 2017). Este fenómeno podría aumentar las tensiones en las interfaces adhesivas y márgenes de la restauración, comprometiendo la estabilidad a largo plazo en situaciones de cargas funcionales intensas (Gómez et al., 2011)

Desde un punto de vista clínico, los resultados sugieren que las restauraciones fresadas ofrecen ventajas significativas en casos que requieren soportar altas cargas

funcionales, como en pacientes con bruxismo o fuerzas oclusales aumentadas (Rodríguez , 2017). Por otro lado, las restauraciones inyectadas podrían ser una opción adecuada en escenarios donde las demandas funcionales sean menores y la estética sea prioritaria, considerando que esta técnica ofrece mayor flexibilidad en el diseño y acabado del material (Zhermack, 2019)

Aunque el análisis por elementos finitos (FEM) se destaca como una herramienta eficaz para predecir comportamientos biomecánicos bajo condiciones controladas (Coelho et al., 2007) presenta ciertas limitaciones que deben ser consideradas. Esta metodología, al ser virtual, no logra reproducir completamente las condiciones orales reales, como la temperatura, el pH bucal y otros factores que, en situaciones clínicas, influyen de manera determinante en el desempeño de los materiales de restauración (Piccioni et al., 2013). Además, la simplificación de las propiedades del cemento adhesivo y la exclusión de las propiedades ortotrópicas del diente pueden afectar la distribución de tensiones en escenarios clínicos reales (Yang et al., 2018). Por lo tanto, los resultados obtenidos deben interpretarse como predictores que requieren un análisis cuidadoso para la toma de decisiones clínicas. Futuros estudios podrían incorporar estas variables para validar los hallazgos y ampliar el alcance del análisis.

Como clínicos, la selección del material restaurador más adecuado para cada paciente representa un desafío frecuente. Este estudio, dentro de sus limitaciones, plantea un punto de debate sobre la importancia de considerar las necesidades clínicas y estructurales del paciente como criterio decisivo. En este sentido, resulta fundamental realizar una evaluación clínica exhaustiva que contemple tanto las estructuras dentales remanentes como los hábitos del paciente(Sánchez et al., 2024). La concientización sobre la importancia de una valoración integral es tan relevante como la elección del material restaurador. Por ello, las instituciones formadoras de odontólogos deben enfatizar estos

aspectos en la enseñanza, con el propósito de asegurar que los tratamientos restaurativos no solo restituyan la función dental, sino también la estética perdida.

Conclusiones

En las condiciones en las que este estudio fue ejecutado, no es factible concluir de manera absoluta, pero se observó que las restauraciones tipo inlay de disilicato de litio fabricadas mediante fresado (IPS e.max CAD) tienden a mostrar una distribución más uniforme de tensiones y menor deformación en comparación con las fabricadas mediante inyección (IPS e.max Press). Este comportamiento puede atribuirse al mayor módulo de elasticidad del material fresado, que le permite absorber y distribuir las cargas funcionales de manera más eficiente. En contraste, se probaron restauraciones inyectadas y fresadas, la tensión no se transmite de la misma manera, se pudo apreciar que en las inyectadas, la transferencia de las tensiones es más intensa lo que lleva a que la tensión traspase la restauración construida por inyección y llegue con igual intensidad hacia la parte más profunda en contacto con el diente por eso decimos q se observa transmitirse hacia la interface adhesiva lo que podría comprometer su estabilidad a largo plazo bajo cargas oclusales intensas. El análisis por elementos finitos (FEM) demostró ser una herramienta útil para evaluar el comportamiento biomecánico de restauraciones dentales, ofreciendo información clave que permite orientar decisiones clínicas y optimizar los diseños restauradores, aunque los resultados deben ser interpretados con precaución debido a las limitaciones inherentes del método y la falta de condiciones clínicas reales.

Referencias

Altier, M., Erol, F., Yildirim, G., & Dalkilic, E. E. (2018). (“Endocrown – A Paradigm Shift in Rehabilitation: A Report of Two Cases”) *Comparison of fracture resistance of different direct restorative materials used in class II cavities prepared with ultrasonic tips*. *10*(5), e419-e426. https://doi.org/10.4317/jced.54671

Angeletakia, F., Koumanidou, E., Rahiotis, C., & Kakaboura, A. (2016). *The effect of restorative material and placement technique on marginal adaptation and seal of class II composite restorations*. *18*(6), 495-502. https://doi.org/10.3290/j.jad.a35753

Assunção, W. G., Barao, V. A. R., Pita, M. S., & Gomes, E. A. (2009). *Effect of framework material on the biomechanical behavior of implant-supported partial fixed prosthesis*. *89*(1), 27-35. https://doi.org/10.1002/jbm.b.31167

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley’s Mechanical Engineering Design* (11.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Butzke Coelho, L. F., Herbstrith Segundo, R. M., Gonçalves Mota, E., & Grossi, M. (2007). "Configuración cavitária: Análisis fotoelástico de la concentración y distribución de tensiones." (“Configuración cavitária: Análisis fotoelástico de la concentración y ...”) *Acta Odontológica Venezolana*, *45*(4), 524-527.

Cruz González, A. C., Díaz Caballero, A., & Méndez Silva, J. (2012). Uso de incrustaciones de resina compuesta tipo onlay en molares estructuralmente comprometidos. *Revista Cubana de Estomatología*, *49*(1), 55-62.

Cunha, L. F. da. (2014). Contemporary CAD/CAM view in dentistry. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, *11*(3). https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=153038118001

Dejak, B., & Młotkowski, A. (2020a). A comparison of mvM stress of inlays, onlays and endocrowns made from various materials and their bonding with molars in a computer simulation of mastication – FEA. *Dental Materials*, *36*(7), 854-864. https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.04.007

Dejak, B., & Młotkowski, A. (2020b). A comparison of mvM stress of inlays, onlays and endocrowns made from various materials and their bonding with molars in a computer simulation of mastication—FEA. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *36*(7), 854-864. https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.04.007

Gallardo, D. C. D., & Mera, K. F. (2015). "Restauraciones indirectas: Análisis comparativo en elemento finito de inlays y overlays en premolares con cavidades mod restauradas con cerómero y cerámica." ("Restauraciones indirectas: Análisis comparativo en elemento finito de ...") *Odontología*, *17*(1), 117-125.

Gómez, J. R., Ortega, R. M., Parada, L. A., Camargo, E. D. J. L., Benavides, E. R. R., Muñoz, M. C. T., & Bautista, G. (2011). Comparación In Vitro de la adaptación marginal entre incrustaciones mod maquinadas con el sistema IPS e. Max CAD® y restauraciones mod en oro colado tipo III. *Revista Salud Bosque*, *1*(2), 7-14.

Ioannidis, A., Mühlemann, S., Özcan, M., Hüsler, J., Hämmerle, C. H. F., & Benic, G. I. (2019). Ultra-thin occlusal veneers bonded to enamel and made of ceramic or hybrid materials exhibit load-bearing capacities not different from conventional restorations. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, *90*, 433-440. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.09.041

Krejci, I., & Daher, R. (2017). Stress distribution difference between Lava Ultimate full crowns and IPS e.max CAD full crowns on a natural tooth and on tooth-shaped

implant abutments. *Odontology*, *105*(2), 254-256. https://doi.org/10.1007/s10266-016-0276-z

Liu, T., Huang, Y., Li, Y., Meng, J., Liu, Y., Wei, Y., Huang, Y., Zhou, Q., Yang, W., Yan, F., Wang, X., & Zhu, Y. (2025). Effect of different restorative design and materials on stress distribution in cracked teeth: A finite element analysis study. *BMC Oral Health*, *25*(1), 31. https://doi.org/10.1186/s12903-024-05122-8

Matus Cañez, L. A. (2024). *Comparación de la tensión masticatoria transmitida al implante y los tejidos periimplantarios por los distintos materiales de restauración en prótesis implantosoportadas unitarias y ferulizadas de cuatro o seis implantes*. https://hdl.handle.net/20.500.12371/22392

Molina-Olivares, K. L. (2022). *INVESTIGACION BASICA, LICENCIATURA, CAR^{TEL} UV-CA-449 MATERIALES DENTALES Y ODONTOLOGIA INTEGRAL ADSCRIPCION: UNIVERSIDAD VERACRUZANA FLUIDEZ Y ESPESOR DE PELÍCULA DE DOS CEMENTOS DE RESINA DUAL: PRIME-DENT Y ICEM.* https://www.uv.mx/veracruz/ceo/files/2022/08/Ejemplo-2022.pdf

Mourelle, P. M., Hernández^{o}, P. S., Vallejo, M. Z., & Meneses, D. R. (2016). Materiales y técnicas para incrustaciones dentales. *Revista internacional de prótesis estomatológica*, *18*(1), 15-23.

Piccioni, M. A. R. V., Campos, E. A., Saad, J. R. C., Andrade, M. F. de, Galvão, M. R., & Rached, A. A. (2013). Application of the finite element method in Dentistry. *RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia*, *10*(4), 369-377.

Rodríguez Villarreal, J. P. (2017). *Análisis por elemento finito sobre la resistencia mecánica de incrustaciones IN - LAY fabricadas en cerámica y resina con diferente distancia intercuspidea* [masterThesis, Quito: Universidad de las Américas, 2017]. http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7487

Şahabettinoğlu, A., Aybar, B., Emes, Y., Eren, Y., Balkan, B., & Atalay, B. (2024). Finite element analysis of stress distribution in zirconia implants. *International Dental Journal*, *74*, S230. https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.07.086

Sánchez, R. J. S., Baidal, M. F. P., Quiñónez, L. F. A., & Valdiviezo, M. N. S. (2024). Técnicas y materiales para la restauración dental: Una revisión sistemática. *RECIMUNDO*, *8*(3), Article 3. https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(3).julio.2024.408-430

Śmielak, B., Klimek, L., & Świniarski, J. (2019). *Finite element analysis of stress distribution in zirconia dental implants. 12*(6), 885. https://doi.org/10.3390/ma12060885

Tommaso, G., & Krejci, I. (2008). Restauraciones indirectas adheridas en dientes posteriores: De la preparación de la cavidad a la provisionalización. *Quintessence*, *21*(7), 427-435.

Veneziani, M. (2017). *Posterior indirect adhesive restorations: Updated indications and the morphology-driven preparation technique. 12*(2), 204-230.

Wang, L., Garcia, F. C., Araújo, P. A., Franco, E. B., & Mondelli, R. F. (2013). *Wear resistance of packable resin composites after simulated toothbrushing test. 26*(1), 60-68. https://doi.org/10.1111/jerd.12068

Zhermack. (2019). *Inlays, onlays, overlays: Materiales y métodos de preparación*. https://magazine.zhermack.com/es/estudio-es/inlays-onlays-overlays-materiales-y-preparaciones/