



Facultad De Ciencias De La Salud

Tema:

Distribución De Fuerzas Compresivas En Incrustación Tipo Overlay De Resina Fresada

Mediante Elementos Finitos

Trabajo de Titulación para la obtención de Título de especialidad en “Rehabilitación

Oral e Implanto Soportado”

Presentado por:

Vinicio Sebastián Andrade Ruiz

Tutor:

Dra. Ana Del Carmen Armas Vega

Quito, febrero de 2025

Resumen

Introducción: Las incrustaciones tipo overlay son una opción restauradora eficaz para preservar la estructura dental en molares sometidos a fuerzas masticatorias. Su diseño geométrico y las propiedades de los materiales influyen directamente en su desempeño biomecánico, lo que las convierte en una solución confiable en odontología restauradora.

Objetivo: Evaluar la distribución de fuerzas compresivas y tensiones en incrustaciones tipo overlay de resina fresada., considerando diferentes ángulos y magnitudes de carga, para analizar su desempeño biomecánico a través de elementos finitos.

Material y métodos: Se desarrollaron modelos tridimensionales de incrustaciones tipo overlay mediante software CAD/CAM con un espesor constante de 2 mm. Las simulaciones aplicaron cargas compresivas de 220 N, 400 N y 500 N en ángulos de 90° y 45°. Se analizaron las deformaciones máximas, tensiones de Von Mises y la distribución de cargas en las zonas cóncavas.

Resultados: Las cargas compresivas se distribuyeron homogéneamente en las zonas cóncavas de la cavidad dental, minimizando las concentraciones de tensiones. Los esfuerzos máximos de Von Mises permanecieron por debajo del límite seguro de 5848.15 MPa, incluso bajo condiciones de carga extrema, confirmando la resistencia del diseño y el espesor utilizado.

Conclusión: Las incrustaciones tipo overlay de resina fresada distribuyen las tensiones de manera uniforme, asegurando un desempeño biomecánico confiable y minimizando el riesgo de fallas estructurales.

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.

Vinicio Sebastián Andrade Ruiz

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'V. Andrade', with several large, overlapping loops and flourishes.

Cedula de identidad: 1725667230

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado de manera muy especial a Dios, a mis padres y a toda mi familia, ya que en el transcurso de mi vida me supieron inculcar valores, pusieron su total confianza en mi persona y en mis deseos de superación sin poner en duda ni un instante en mi capacidad. Es por aquello que soy lo que ahora soy. Los amo con mi vida.

Índice

Resumen.....	2
Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos.....	3
Dedicatoria	4
Índice.....	5
Índice De Figuras.....	6
Índice De Tablas.....	7
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	9
Metodología	10
Hallazgos.....	17
Discusión.....	20
Conclusiones.....	23
Referencias.....	24

Índice De Figuras.

Figura 1. Modelo Geométrico de Incrustación	12
Figura 2. Solido Mallado	14
Figura 3. Configuración de Simulación.....	16
Figura 4. Configuración de análisis en Software CAE.....	16
Figura 5. Deformaciones máximas	19
Figura 6. Esfuerzos máximos.....	20

Índice De Tablas.

Tabla 1. Propiedades Mecánicas por Material	12
Tabla 2. Condiciones de Contorno.....	13
Tabla 3. Proceso de Convergencia de la Malla.....	15
Tabla 4. Resultados de las Simulaciones: Deformación y Esfuerzo Máximo Von Mises para Incrustación Tipo Overlay.	18

DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS COMPRESIVAS EN INCRUSTACIÓN TIPO OVERLAY DE RESINA FRESADA MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS.

Vinicio Sebastián Andrade Ruiz

viniandrade2@hotmail.com

Resumen

Introducción: Las incrustaciones tipo overlay son una opción restauradora eficaz para preservar la estructura dental en molares sometidos a fuerzas masticatorias. Su diseño geométrico y las propiedades de los materiales influyen directamente en su desempeño biomecánico, lo que las convierte en una solución confiable en odontología restauradora. **Objetivo:** Evaluar la distribución de fuerzas compresivas y tensiones en incrustaciones tipo overlay de resina fresada., considerando diferentes ángulos y magnitudes de carga, para analizar su desempeño biomecánico a través de elementos finitos. **Material y métodos:** Se desarrollaron modelos tridimensionales de incrustaciones tipo overlay mediante software CAD/CAM con un espesor constante de 2 mm. Las simulaciones aplicaron cargas compresivas de 220 N, 400 N y 500 N en ángulos de 90° y 45°. Se analizaron las deformaciones máximas, tensiones de Von Mises y la distribución de cargas en las zonas cóncavas. **Resultados:** Las cargas compresivas se distribuyeron homogéneamente en las zonas cóncavas de la cavidad dental, minimizando las concentraciones de tensiones. Los esfuerzos máximos de Von Misses permanecieron por debajo del límite seguro de 5848.15 MPa, incluso bajo condiciones de carga extrema, confirmando la resistencia del diseño y el espesor utilizado. **Conclusión:** Las incrustaciones tipo overlay de resina fresada distribuyen las tensiones de manera uniforme, asegurando un desempeño biomecánico confiable y minimizando el riesgo de fallas estructurales.

Palabras clave: ANÁLISIS DE ESTRÉS DENTAL, MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, INCRUSTACIONES DENTALES, BIOMECÁNICA.

Abstract

Introduction: Overlay-type inlays are an effective restorative option for preserving tooth structure in molars subjected to masticatory forces. Their geometric design and material properties directly influence their biomechanical performance, which makes them a reliable solution in restorative dentistry. **Objective:** To evaluate the distribution of compressive forces and stresses in milled resin overlays, considering different load angles and magnitudes, to analyze their biomechanical performance by means of finite element analysis. **Material and methods:** Three-dimensional models of overlay inlays were developed using CAD/CAM software with a constant thickness of 2 mm. The simulations applied compressive loads of 220 N, 400 N and 500 N at 90° and 45° angles. Maximum deformations, Von Misses stresses and load distribution in the concave zones were analyzed. **Results:** The compressive loads were homogeneously distributed in the concave zones of the dental cavity, minimizing stress concentrations. The maximum Von Misses stress remained below the safe limit of 5848.15 MPa, even under extreme loading conditions, confirming the strength of the design and thickness used. **Conclusion:** Milled resin overlays distribute stress evenly, ensuring reliable biomechanical performance and minimizing the risk of structural failure.

Keywords: DENTAL STRESS ANALYSIS, FINITE ELEMENT METHOD, DENTAL INLAYS, BIOMECHANICS.

Introducción

La odontología restauradora actual se enfoca en conservar al máximo la estructura dental remanente, ofreciendo una variedad de técnicas avanzadas para rehabilitar dientes posteriores. Las restauraciones indirectas, como las incrustaciones tipo overlay, han ganado relevancia gracias a los avances en la tecnología adhesiva y a la creciente exigencia estética por parte de los pacientes (Angeletakia, et al., 2016). Este tipo de restauración no solo busca satisfacer criterios estéticos, sino que también integra principios biomecánicos para reforzar

los dientes estructuralmente comprometidos (Veneziani, 2017). Las incrustaciones se clasifican en inlay, que no cubre cúspides; onlay, que cubre una o dos cúspides; y overlay, que cubre más de dos cúspides (Morimoto, et al., 2016).

A pesar de su eficacia, las restauraciones pueden fallar si no se consideran factores biomecánicos esenciales durante la planificación del tratamiento (Assunção, et al., 2009). En este contexto, la compresión, definida como la acción de fuerzas que actúan en la misma dirección sobre una estructura, desempeña un papel crucial en la distribución de tensiones en restauraciones dentales (Altier, et al., 2018; Kassis, et al., 2021). Las propiedades mecánicas de los materiales restauradores, como las resinas fresadas, son fundamentales para garantizar la resistencia de estas incrustaciones. Estas resinas, compuestas por una matriz orgánica y partículas de relleno inorgánico, presentan características como un módulo de elasticidad entre 8354.5 y 12,060.8 MPa, y una resistencia a la flexión de 97.6 a 140.1 MPa, que las hacen ideales para aplicaciones en la cavidad oral (Alzraikat, et al., 2014; Olabisi, et al., 2017).

La cavidad oral es un sistema biomecánico complejo donde las restauraciones están expuestas a fuerzas masticatorias dinámicas y variables (Alzraikat, et al., 2014). Para comprender mejor la respuesta de las incrustaciones bajo estas condiciones, el análisis por elementos finitos (FEA) se ha consolidado como una herramienta eficaz, este método permite simular el comportamiento de restauraciones indirectas bajo diferentes condiciones de carga, identificando áreas críticas de tensión y deformación (Choi, et al., 2014; Śmielak, et al., 2019). Frente a lo expuesto este estudio pretende determinar la distribución de fuerzas compresivas y tensiones en incrustación tipo overlay de resina fresada mediante elementos finitos.

Metodología

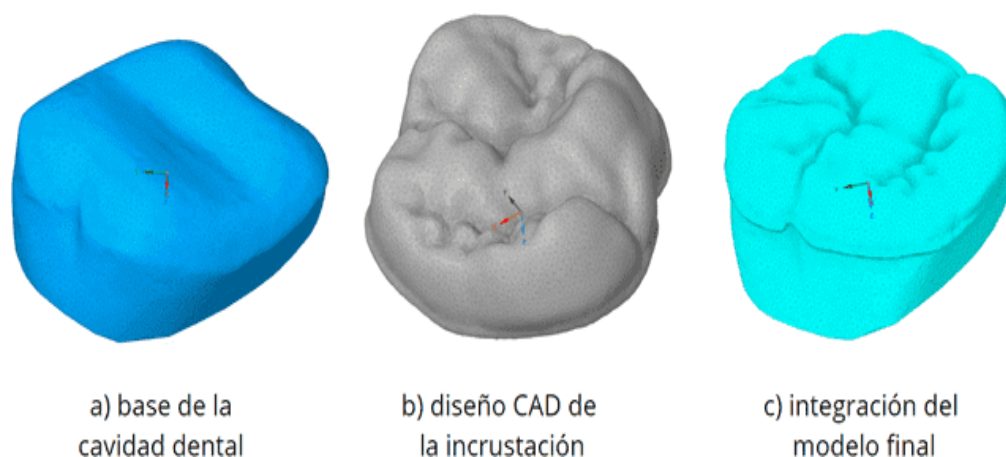
El presente estudio adopta un enfoque experimental utilizando el análisis por

elementos finitos (FEA) para evaluar la distribución de fuerzas compresivas en incrustaciones tipo overlay de resina fresada. Este método permite simular condiciones clínicas mediante modelos geométricos tridimensionales precisos, generados con software especializado como ANSYS, el cual se ha consolidado como una herramienta efectiva para este tipo de análisis (Aguiar, et al., 2012). Estas simulaciones replican de manera realista la respuesta biomecánica de las restauraciones dentales frente a cargas específicas, identificando áreas de concentración de tensiones que podrían comprometer la integridad estructural del material (Piccioni et al., 2013). el análisis por elementos finitos ha sido ampliamente utilizado en odontología para obtener datos detallados sobre tensiones y deformaciones internas, imposibles de medir directamente en estudios in vivo, ofreciendo una representación precisa y cuantitativa de los comportamientos estructurales (Fish y Belytschko, 2007; Śmielak, et al., 2019).

Se desarrollaron un modelo digitales de una preparación tipo overlay elaborada sobre un primer molar superior de diente de ivorina, el tallado involucro el empleo de fresas de la marca jota: línea azul 830 P.22, 833L P. 23, 893 P.34L, línea roja: 830F P.22, 893F P.34 línea amarilla: 827 P.21, 893H P.35, mismo que fue desarrollado mediante un escaneo tridimensional de un primer molar superior, utilizando un escáner intraoral, siguiendo metodología previamente empleada (Cunha, 2014) , quien destacó la precisión de los sistemas CAD/CAM para capturar morfologías dentales complejas. De igual manera, la incrustación fue obtenida mediante escaneo tridimensional y post procesado en software CAD (Diseño asistido por computador), ajustando las dimensiones y eliminando ruidos generados por el escaneo para garantizar un ajuste óptimo. Este método, como lo describe Rodrigues y Vitral, (2007), permite la creación de modelos geométricos tridimensionales con alta fidelidad, integrando técnicas de diseño asistido por computadora, mismo que involucro tres etapas del modelo geométrico: (a) base de la cavidad dental obtenida por escaneo, (b)

diseño CAD de la incrustación, y (c) integración de ambos para formar el modelo final (Figura 1).

Figura 1. Modelo Geométrico de Incrustación



A seguir, dentro del programa se incorporaron las propiedades mecánicas de los tejidos dentales, así para la dentina, se utilizaron valores como un módulo de elasticidad entre 10 y 20 GPA, resistencia a la tracción de 37 a 131 MPa, y una micro dureza que oscila entre 250 y 800 MPa, (Fuentes, 2004). Para las resinas fresadas se consideró un módulo de elasticidad entre 8354.5 y 12,060.8 MPa, y una resistencia a la flexión que varía entre 97.6 y 140.1 MPa. (Corts, 1992; Resycam, 2019; Zhermack, 2019) (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades Mecánicas por Material

Material	Propiedad	Rango de valores
Dentina	Módulo de elasticidad	10-20 GPA
Dentina	Resistencia a la tracción	37-131 MPa
Dentina	Micro dureza	250-800 MPa
Resina fresada	Módulo de elasticidad	8354.5-12,060.8 MPa
Resina fresada	Resistencia a la flexión	97.6-140.1 MPa

Fuente:(Fuentes, 2004; Resycam, 2019; Zhermack, 2019)

Considerando que las fuerzas masticatorias, influyen de forma determinante en la distribución de tensiones en las estructuras dentales y restauraciones (Matus, 2024) Las simulaciones aplican fuerzas masticatorias en ángulos de 90°, representando cargas axiales estándar, así como en ángulos de 30° y 45°, para reflejar condiciones funcionales más realistas. Las cargas se distribuyeron en puntos específicos cúspides mesiovestibulares, distal, mesolingual y distolingual para simular los contactos típicos de la oclusión.

Estas cargas fueron aplicadas con una fuerza promedio de 220 N hasta 500 N, para simular situaciones extremas como el bruxismo o fuerzas excéntricas. Además, fueron consideradas las condiciones ambientales de la cavidad oral, una temperatura oral promedio de 37 °C, una humedad relativa elevada, cercana al 95% (Tabla 2).

Tabla 2. Condiciones de Contorno

Parámetro	Descripción
Ángulo de aplicación de carga	Fuerzas aplicadas a 90° (axiales) y entre 30°-45° (inclinadas)
Puntos de contacto	Cúspides mesiovestibulares y distovestibulares de molares
Magnitud de las cargas	Fuerza promedio de 220 N; hasta 500 N en situaciones extremas
Temperatura oral	Aproximadamente 37 °C
Humedad relativa	Aproximadamente 95%

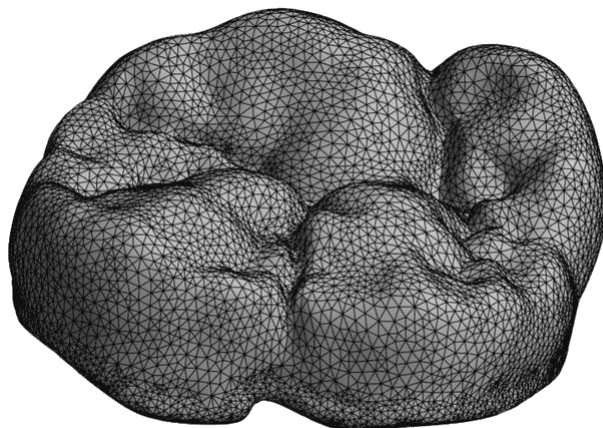
Fuente: (Matus, 2024)

El análisis estructural mediante elementos finitos se realizó exclusivamente sobre la incrustación tipo overlay, ya que la base dental fue definida como una restricción fija en el modelo y evitar una carga en el recurso computacional, es decir se idealiza el modelo geométrico solamente al elemento principal de la simulación.

La incrustación fue dividida en 95,068 elementos tetraédricos y 163,238 nodos, seleccionados por su capacidad para adaptarse a geometrías complejas y garantizar una representación precisa del sistema. La conexión entre nodos permitió modelar las propiedades del material y simular su comportamiento biomecánico bajo condiciones de carga. Este enfoque aseguró que las tensiones y deformaciones fueran localizadas con alta resolución en

zonas críticas de la incrustación. La calidad del mallado alcanzó un 88 % de homogeneidad, con un tamaño de elemento de 0.02 mm, optimizando la precisión del análisis obteniéndose el modelo geométrico convertido en sólido y mallado (Figura 2).

Figura 2. Solido Mallado



Fuente: Autores

Para validar el mallado se realizó el proceso de convergencia de malla en análisis de elementos finitos, el cual consiste en realizar simulaciones iterativas, donde en cada una se incrementa la cantidad de elementos y nodos en la malla para refinar el modelo. Tras cada simulación, los resultados obtenidos son evaluados para analizar cómo disminuye el error en comparación con la iteración anterior, donde el mallado fue refinado mediante los métodos de refinamiento **h** y **p** refinamiento progresivo que permitió asegurar que el modelo final represente con mayor precisión el sistema estudiado. Así, se realizaron cinco simulaciones, y en la última iteración, con 95,068 elementos y 163,238 nodos, el error se redujo al 3%, alcanzando el nivel de precisión esperado, se siguió así un proceso de evolución del número de elementos, nodos y la reducción de errores (Caro, 2002) (Tabla 3).

Tabla 3. Proceso de Convergencia de la Malla

Simulación	Número de elementos	Número de nodos	Error inicial (%)	Error final (%)	Error < 3%
1	25,000	50,000	-	-	No
2	50,000	100,000	8	5.0	No
3	75,000	125,000	5	3.8	No
4	85,000	150,000	4	3.2	No
5	95,068	163,238	3	3.0	Sí

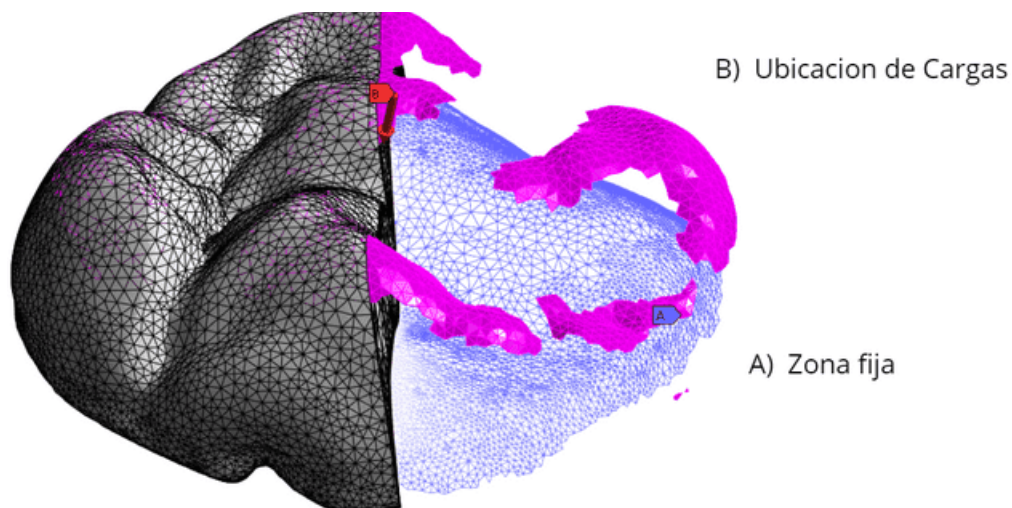
Considerando que el análisis por elementos finitos busca evaluar el desempeño biomecánico de la distribución de fuerzas en la incrustación tipo overlay, la cual fue modelada mediante un proceso CAD. Los componentes del sistema, cavidad dental y cemento se definieron como restricciones fijas en el modelo. La cavidad dental se excluyó del análisis debido a su geometría y volumen, que incrementaría considerablemente la cantidad de nodos y elementos, sin aportar información adicional relevante más allá de su función como base fija. De manera similar, el cemento, con un espesor aproximado de 50 micras, genera un contacto tipo "bonded", lo cual también se idealizó como una condición fija. Estas simplificaciones permitieron optimizar la simulación evitando una sobrecarga computacional derivada de un mallado más complejo.

Para la simulación las condiciones ambientales se mantuvieron constantes en todas las simulaciones, con una temperatura de 37 °C y una humedad relativa del 97 %, representando de manera realista el entorno de la cavidad oral, fue aplicada una carga perpendicular (90°) sobre las cúspides de la incrustación, utilizando tres magnitudes diferentes: 220 N, 400 N y 500 N (Figura 3 a). Evaluándose, además, la inclinación de la carga a un ángulo de 45°, manteniendo las mismas magnitudes de carga mencionadas (Figura 3 b).

Figura 3. Configuración de Simulación

Fuente: Autores

A través del software de simulación Computer Analysis Engineering (CAE), las cargas y condiciones se realizaron con un corte seccional para visualizar las condiciones de simulación, donde "A" identifica las áreas de restricción de movimiento, que corresponden al contacto fijo del cemento y la cavidad dental; "B" indica la ubicación específica de las cargas aplicadas en las cúspides y zonas oclusales (Figura 4).

Figura 4. Configuración de análisis en Software CAE

Fuente: Autores

Las configuraciones realizadas, incluyendo la magnitud de las cargas y el ángulo de aplicación, los cuales variaron entre 220 N y 500 N, aplicados perpendicularmente (90°) y oblicuamente (45°) a la superficie oclusal.

El modelo geométrico de la incrustación consideró un espesor mínimo de 2 mm en las áreas de contacto oclusal, garantizando la resistencia mecánica necesaria para soportar las fuerzas masticatorias en molares, diseño que asegura una distribución uniforme de las tensiones, lo que ayuda a minimizar el riesgo de fallas estructurales y mejora el desempeño biomecánico bajo diferentes condiciones de carga, siguiendo las recomendaciones de manuales técnicos y estudios recientes (González et al., 2012; Tommaso y Krejci, 2008).

La ejecución de las 6 simulaciones permitió obtener datos que fueron comparados con el esfuerzo máximo Von Mises equivalente al 70 % de su módulo de elasticidad (8354.5 MPa). Este límite, ampliamente utilizado en ingeniería estructural y odontología restauradora, asegura que el material opere dentro de su rango elástico, evitando deformaciones plásticas o fallas estructurales (Budynas y Nisbett, 2020). Para este caso, el límite seguro se estableció en 5848.15 MPa, proporcionando un criterio confiable para evaluar la resistencia de la incrustación frente a las cargas aplicadas en las simulaciones, los datos recolectados expuestos a seguir.

Hallazgos

Las seis simulaciones realizadas permitieron obtener datos de deformación y esfuerzo máximo en la incrustación ejecutada en resina fresada, con valores de deformación máxima que oscilaron entre 0.00254 y 0.00512. Estos valores corresponden a las diferentes combinaciones de ángulo de carga (90° y 45°) y magnitudes de carga (220 N, 400 N y 500 N) aplicadas en las simulaciones (Tabla 4).

En términos de esfuerzo máximo de Von Mises, los resultados variaron entre 1135.54 MPa y 4845.966 MPa, dependiendo de las condiciones de carga. Se mantuvo constante un módulo de elasticidad del material de 8354.5 MPa. En todas las simulaciones, los valores de esfuerzo máximo se encontraron por debajo del límite seguro establecido en 5848.15 MPa, lo que indica que el diseño y material de la incrustación son adecuados para soportar las fuerzas

oclusales simuladas.

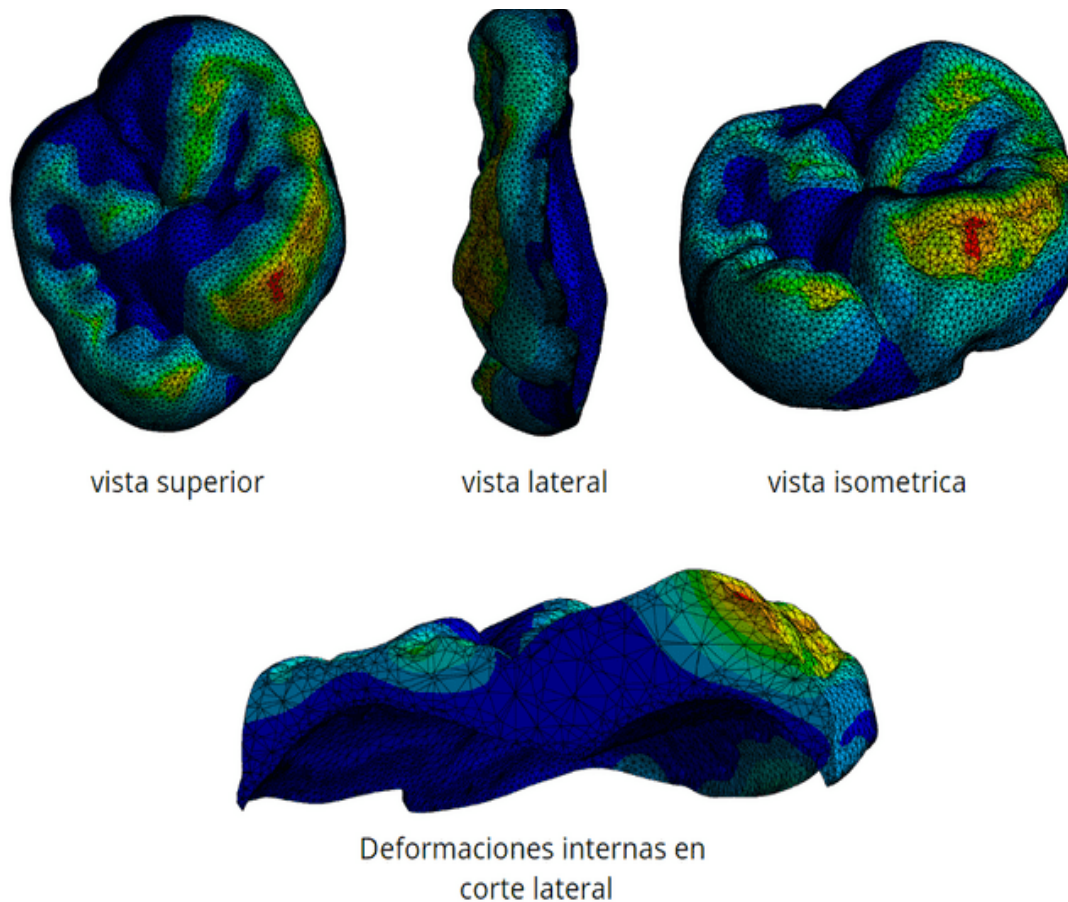
Tabla 4. Resultados de las Simulaciones: Deformación y Esfuerzo Máximo Von Mises para Incrustación Tipo Overlay.

Simulación	Ángulo de carga	Magnitud de la carga (N)	Espesor de la incrustación (mm)	Deformación máxima (Strain)	Esfuerzo máximo Von Mises (Stress) (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Límite Seguro (MPa)	Cumple Criterio
1	90°	220	2	0.00254	1135.54	8354.5	5848.15	Sí
2	90°	400	2	0.00378	1925.45	8354.5	5848.15	Sí
3	90°	500	2	0.00456	2734.87	8354.5	5848.15	Sí
4	45°	220	2	0.00287	1534.68	8354.5	5848.15	Sí
5	45°	400	2	0.00432	3645.23	8354.5	5848.15	Sí
6	45°	500	2	0.00512	4845.966	8354.5	5848.15	Sí

Fuente: Autores

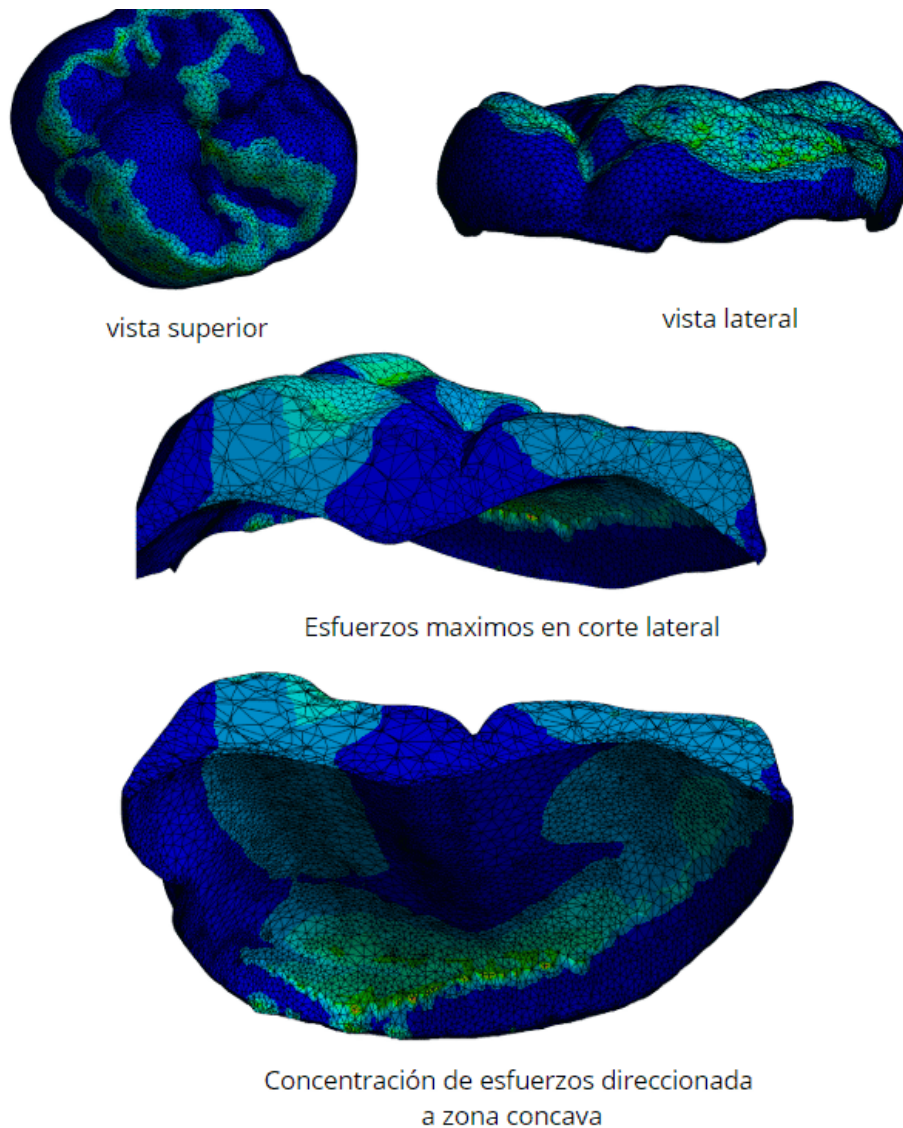
Los resultados de las simulaciones realizadas muestran que los puntos críticos de deformación se localizan principalmente en las cúspides de la incrustación tipo overlay y los esfuerzos máximos en las áreas internas donde los radios de curvatura son menores o cambio de sección. Estas zonas concentran tensiones debido a la geometría del diseño cavitario y la distribución de las cargas aplicadas, tanto en ángulos perpendiculares (90°) como oblicuos (45°). se observa así que las deformaciones máximas se encuentran en las cúspides, las cuales reciben la mayor intensidad de deformación debido a su exposición directa a las cargas oclusales aplicadas, especialmente bajo condiciones de fuerzas más elevadas y ángulos oblicuos. Este comportamiento resalta la sensibilidad de las cúspides como puntos críticos en la distribución de tensiones, alcanzando valores más altos en las simulaciones con cargas de 500 N y ángulos oblicuos (45°) (Figura 5).

Figura 5. Deformaciones máximas



Fuente: Autores

La distribución de los esfuerzos generados por las cargas compresivas aplicadas sobre la incrustación tipo overlay evidencia que estas se dirigen hacia la parte inferior de la restauración, concentrándose principalmente en las zonas cóncavas de la cavidad dental, estas áreas, identificadas como puntos críticos de concentración de tensiones, destacan la importancia del diseño geométrico en el desempeño estructural (Figura 6).

Figura 6. Esfuerzos máximos

Discusión

Los resultados de nuestro estudio mostraron que las cargas compresivas aplicadas perpendicularmente (90°) sobre la superficie oclusal se distribuyen de manera homogénea a lo largo de las zonas cóncavas de la cavidad dental, incluso bajo condiciones de cargas oblicuas (45°) y magnitudes altas, como las de 500 N, los esfuerzos máximos de Von Mises permanecen dentro del límite seguro establecido en 5848.15 Mpa, coincidiendo con estudios previos (Dejak y Młotkowski, 2020; Yang et al., 2018) donde analizando el comportamiento biomecánico de restauraciones tipo onlay y overlay también a través de elementos finitos, detectaron una distribución uniforme de las tensiones a lo largo de las zonas cóncavas y

cúspides, reduciendo las concentraciones de esfuerzos en las estructuras dentales adyacentes y minimizando el riesgo de fallas estructurales, las restauraciones tipo overlay mantienen los esfuerzos de Von Mises dentro de límites seguros, confirmando su capacidad para soportar cargas funcionales y extremas.

Las tensiones generadas en restauraciones tipo overlay al cubrir las cúspides proveen una mejor estabilidad de la restauración permitiendo que las cargas compresivas en las incrustaciones tipo overlay se distribuyen de manera homogénea en las zonas cóncavas (Dejak y Młotkowski, 2020; Silva y Delvasto, 2016), optimizando el desempeño biomecánico bajo diferentes condiciones de carga, lo que explicaría nuestros resultados; sin embargo, el mantener un espesor de 2 mm en la incrustación, las tensiones se distribuyen de manera adecuada en las zonas cóncavas, proporcionando una resistencia mecánica óptima, de ahí la importancia de un tallado adecuado y controlado (Gallardo y Mera, 2015). un adecuado tallado garantiza la distribución de fuerza y permite minimizar las concentraciones de tensiones localizadas (Butzke et al., 2007), protegiendo tanto la restauración como las estructuras dentales subyacentes.

Por otro lado, a más del diseño adecuado de la cavidad, para optimizar la funcionalidad y reducir significativamente el riesgo de sobrecargas que puedan comprometer la integridad estructural (Rodríguez et al., 2017) hace falta considerar el espesor que la futura restauración deba contar, ya que un espesor inferior, como de 1.5 mm, podría acercar los esfuerzos críticos al límite seguro, incrementando el riesgo de fallas estructurales (Budynas y Nisbett, 2020); sin embargo, aumentar el espesor por encima de 2 mm no resulta funcionalmente necesario y solo implicaría un incremento en el uso de material restaurador sin beneficios adicionales significativos (González et al., 2012) en nuestro estudio los espesores empleados fueron controlados lo que permitió obtener los resultados reportados, garantizando una resistencia mecánica adecuada y un comportamiento biomecánico confiable

bajo diferentes escenarios de carga funcional.

Si bien un estudio mediante elementos finitos es un análisis virtual, sus resultados resultan interesantes cuanto se considera a través de su ejecución, simular condiciones que en clínica pocas veces es posible hacerlas; sin embargo, este mismo hecho es un limitante importante del estudio, las condiciones de temperatura y humedad son virtuales por tanto los materiales y sus propiedades no pueden verse afectados por ellas, lo que en la práctica clínica esto resulta poco probable. Otro punto por considerarse es el hecho de haber probado un único material en el estudio, si bien la resina fresada es un material actualmente muy empleado en la práctica diaria por sus excelentes propiedades mecánicas y biológicas (Resycam, 2019). Actualmente existe una gran cantidad de alternativas, y estudios ejecutados con cerámicas evaluando su comportamiento también bajo elementos finitos muestran que estos materiales presentan una distribución uniforme de tensiones y una mayor resistencia mecánica frente a las fuerzas oclusales, lo que disminuye significativamente el riesgo de fallas estructurales (Liu, et al., 2025) lo que invita a reflexionar sobre la importancia de conocer las propiedades de los materiales para poder seleccionarlos de la forma adecuada.

En la práctica clínica con frecuencia nos encontramos con dientes comprometidos en su estructura, las actuales tendencias involucran el empleo de resinas compuestas reforzadas con fibras (Escobar, et al., 2023) su empleo sin embargo requiere ser analizado y evaluado considerando que las tensiones y presiones que un individuo tiene al morder (Matus, 2024) requieren que no únicamente se refuerce el interior de la cavidad, si no se cubra las cúspides dentales, sobre todo aquellas que están ubicadas para soportar fuerzas masticatorias, de ahí la necesidad de pensar en alternativas como las incrustaciones con cubrimiento cuspidé como opción de tratamiento.

El análisis por elementos finitos (FEM) es una herramienta virtual ampliamente utilizada en odontología para simular condiciones clínicas complejas. Aunque esta técnica

ofrece una alternativa interesante y eficaz para predecir comportamientos biomecánicos (Piccioni, et al., 2013), es importante señalar que no representa las condiciones reales de la cavidad oral. Factores como la temperatura, el pH salival y otros elementos propios del entorno bucal no pueden ser completamente replicados en estas simulaciones. No obstante, los resultados obtenidos en este estudio destacan la utilidad del FEM como un método para generar hipótesis y evaluar el comportamiento de materiales y diseños restauradores. Estos hallazgos subrayan la necesidad de realizar investigaciones futuras que analicen el desempeño de otros materiales, diseños de cavidades y fuerzas oclusales, considerando además la influencia de la posición de los dientes en la cavidad bucal.

Como odontólogos buscamos siempre brindar las mejores alternativas de tratamiento, hacia nuestros pacientes, por ello debemos estar preparados para emplear nuevos materiales de uso restaurador y estar actualizados en cuanto a su desempeño en la cavidad bucal. Las incrustaciones tipo overlay mostraron tener un comportamiento biomecánico eficiente al distribuir de manera uniforme las cargas compresivas en las zonas cóncavas de la cavidad dental, sin embargo las condiciones de estas requieren rigurosidad en cuanto a su confección (González et al., 2012), espesor (Tommaso y Krejci, 2008) y condiciones de preparación, lisura e integridad que fue uno de los elementos clave en ese estudio y que permitió una distribución adecuada de tensiones, de las fuerzas compresivas aplicadas; lo que resulta importante para asegurar el mantenimiento de la estructura dental y el éxito clínico.

Conclusiones

En las condiciones que este estudio fue ejecutado, nos atrevemos a concluir que la distribución de fuerzas compresivas y tensiones aplicadas perpendicularmente a 90° , sobre la superficie oclusal de incrustación tipo overlay de resina fresada, se distribuyen de manera homogénea en las zonas cóncavas de la cavidad dental, con un espesor de 2 mm, lo que resulto clave para una distribución uniforme de tensiones de las fuerzas aplicadas.

Referencias

- Aguiar, R. C. de, Corso, L. L., Larentis, N. L., Marczak, R. J., & Fontanella, V. (2012). Stress to the Bone around Orthodontic Implants in the Mandibular Molar Region: A Finite Element Evaluation. *Stomatos*, 18(34), 40-51.
- Altier, M., Erol, F., Yildirim, G., & Dalkilic, E. E. (2018). *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>
- Alzraikat, H., Burrow, M. F., Maghaireh, G. A., & Taha, N. A. (2014). *Nanofilled resin composite properties and clinical performance: A review*. 39(4), e173-e190. <https://doi.org/10.2341/13-158-LIT>
- 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. *Acta Odontológica Venezolana*, 45(4), 524-527.
- Caro, J. E. T. (2002). *Estimación y control del error de discretización en el método hp de elementos finitos* [PhD Thesis, Universitat Politècnica de València]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=10667>
- Choi, S., Conway, R. S., & Ben, G. D. (2014). *Applications of finite element analysis in*

- dentistry: A review*. 23(4), 317-323. <https://doi.org/10.1111/jopr.12137>
- Corts, J. P. (1992). Incrustaciones de resina compuesta. *Odontología Postgrado*, 3(2), 34- 35.
- 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>
- Dávila Gallardo, D. C., & Farfán Mera, K. (2015). Restauraciones indirectas: Análisis comparativo en elemento finito de inlays y overlays en premolares con cavidades mod restauradas con cerómero y cerámica. *Odontología*, 17(1), 117-125.
- Dejak, B., & Młotkowski, A. (2020). 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>
- Escobar, L. B., Pereira da Silva, L., & Manarte-Monteiro, P. (2023). Fracture Resistance of Fiber-Reinforced Composite Restorations: A Systematic Review and Meta- Analysis. *Polymers*, 15(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/polym15183802>
- Fish, J., & Belytschko, T. (2007). *A First Course in Finite Elements*. John Wiley & Sons.
- Fuentes, V. (2004). Propiedades mecánicas de la dentina humana. *Avances en Odontoestomatología*, 20(2), 79-83.
- Kassis, C., Caputo, A. A., & Matyas, J. (2021). *Biomechanical behavior of different post-and-core systems under oblique loading: A finite element study*. 126(4), 515-522.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.06.016>
- 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>
- Morimoto, S., Rebello de Sampaio, F. B., Braga, M. M., Sesma, N., & Özcan, M. (2016). *Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: A systematic review and meta-analysis*. 95(9). <https://doi.org/10.1177/0022034516658231>
- Olabisi, A. O., Folasade, A. J., & Femi, S. A. (2017). *Mechanical properties of hybrid dental composites containing two types of fillers*. <https://doi.org/10.1155/2017/4583498>
- 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.
- Resycam. (2019). *Cementación adhesiva de inlays y onlays CAD/CAM*. <https://www.resycam.com/cementacion-adhesiva-de-inlays-y-onlays-cad-cam-en-la-consulta/>
- Rodrigues, A. F., & Vitral, R. W. F. (2007). Aplicações da Tomografia Computadorizada na Odontologia. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada*, 7(3), 317-324.
- Rodríguez-Villarreal, J. P., Mena-Serrano, A., Armas-Vega, A., & Velasquez-Ron, B. (2017). Distribución de fuerzas en incrustaciones tipo inlay, con diferente distancia intercuspídea. *Revista Científica Odontológica*, 13, 2.
- Silva, Y., & Delvasto, S. (2016). Características físicas y mecánicas de porcelanas dentales

- feldespáticas empleando hueso bovino como reemplazo del feldespató. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 36(1), 61-69.
- 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>
- Śmielak, B., Klimek, L., & Świniarski, J. (2019). *The Use of the Finite Elements Method (FEM) to Determine the Optimal Angle of Force Application in Relation to Grooves Notched into a Zirconia Coping with the Aim of Reducing Load on a Connection with Veneering Ceramic*. <https://doi.org/10.1155/2019/7485409>
- 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.
- Yang, H., Park, C., Shin, J.-H., Yun, K.-D., Lim, H.-P., Park, S.-W., & Chung, H. (2018). Stress distribution in premolars restored with inlays or onlays: 3D finite element analysis. *The Journal of Advanced Prosthodontics*, 10(3), 184-190. <https://doi.org/10.4047/jap.2018.10.3.184>
- Zhermack. (2019). *Inlays, onlays, overlays: Materiales y métodos de preparación*. <https://magazine.zhermack.com/es/estudio-es/inlays-onlays-overlays-materiales-y-preparaciones/>