



Facultad De Ciencias De La Salud

Especialidad de Rehabilitación Oral y Prótesis Implanto Asistida

Tema:

**Resistencia A La Fractura De Incrustaciones De Disilicato De Litio Y Resina
Híbrida Mediante Elementos Finitos.**

Trabajo de titulación para la obtención del Título de Rehabilitación Oral y Prótesis

Implantoasistida

Presentado por:

Pablo David Del Salto Flores

Tutor:

Dr. Diego Mauricio Laverde Albarrin

Quito, junio de 2025

Resumen

Las incrustaciones tipo overlay representan una alternativa restauradora efectiva para la rehabilitación de estructuras dentales afectadas. La selección del material restaurador influye directamente en la distribución de tensiones y en la resistencia a la fractura, por lo que es fundamental evaluar su comportamiento biomecánico. Este estudio comparó, mediante análisis por elementos finitos, la resistencia a la fractura de incrustaciones de disilicato de litio y resina híbrida en un modelo tridimensional de molar mandibular. Se analizaron las deformaciones máximas y los esfuerzos de Von Mises bajo una carga oclusal de 500 N aplicada perpendicularmente a la superficie oclusal, considerando un entorno fisiológico con temperatura de 37°C y humedad del 95%.

Los resultados mostraron que el disilicato de litio presentó menor deformación y mayor resistencia a la carga aplicada, lo que sugiere su superioridad estructural en restauraciones indirectas sometidas a alta exigencia mecánica. En contraste, la resina híbrida mostró una mayor deformación y menor esfuerzo de Von Mises, indicando una mayor flexibilidad y menor resistencia estructural. El análisis estadístico confirmó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tres grupos evaluados (diente sano, disilicato de litio y resina híbrida), estableciendo que la selección del material influye en la estabilidad y distribución de esfuerzos en la restauración. Estos hallazgos respaldan el uso del disilicato de litio en zonas de alta carga funcional, mientras que la resina híbrida podría ser adecuada para restauraciones en áreas con menor exigencia mecánica.

Palabras clave: Análisis por elementos finitos, Restauraciones dentales, Incrustaciones tipo overlay, Odontología restauradora.

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.

Nombre: Pablo David Del Salto Flores

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**PABLO DAVID DEL
SALTO FLORES**

Cedula de identidad: 1719678912

Dedicatoria

Con gratitud y cariño, dedico este trabajo a quienes han sido mi inspiración y apoyo a lo largo de este camino académico.

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada desafío.

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba.

A mi compañera de vida, por estar a mi lado en este viaje, por sus palabras de aliento y por hacer de cada día un motivo para seguir adelante.

A mis docentes y mentores, por compartir su conocimiento, por su guía y por ser fuente de inspiración en mi formación profesional.

Y, por último, a mí mismo, por no rendirme, por cada sacrificio, por cada desvelo y por la determinación de alcanzar esta meta.

Con profundo agradecimiento, esta tesis es para todos ustedes.

Índice

Trabajo de titulación para la obtención del Título de Rehabilitación Oral y Prótesis ..	1
Resumen	2
Declaración de aceptación de norma ética y derechos	3
Dedicatoria.....	4
Índice	5
mediante elementos finitos.....	9
Resumen	9
Abstract	11
Introducción.....	12
Metodología.....	13
Propiedades Mecánicas del Disilicato de Litio	16
Propiedades Mecánicas de la Resina Híbrida	17
Mallado	18
Análisis de Convergencia de Malla en el Diente Sano	19
Análisis de Convergencia de Malla en la Incrustación.....	20
Condiciones de contorno y cargas	21
Hallazgos	23
Análisis de Deformaciones y Esfuerzos de Von Mises.....	23
Grupo 1: Diente Sano	23
Grupo 2: Diente con Incrustación de Disilicato de Litio	24
Grupo 3: Diente con Incrustación de Resina Híbrida	24
Análisis de Varianza (ANOVA).....	27
Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey).....	28

Análisis Estadístico.....	29
Discusión.....	30
Conclusiones.....	32
Referencias.....	34

Índice de Tablas

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del Diente Sano.....	16
Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Disilicato de Litio	17
Tabla 3. Propiedades Mecánicas de la Resina Híbrida	17
Tabla 4. Análisis de Convergencia de Malla – Diente Sano	19
Tabla 5. Convergencia de Malla – Incrustación.....	20
Tabla 6. Resumen de las Deformaciones y Esfuerzos de Von Mises en los Tres Grupos	26
Tabla 7. Resultados del ANOVA para Esfuerzo de Von Mises y Deformación Máxima	27
Tabla 8. Resultados de la Prueba de Tukey para Deformación Máxima	28
Tabla 9. Resultados de la Prueba de Tukey para Esfuerzo de Von Mises	29

Índice de figuras

Figura 1. Modelo Geométrico	15
Figura 2. Mallado de diente sano y convergencia de mallado	19
Figura 3. Mallado de incrustación y convergencia de mallado	20
Figura 4. Configuración de análisis	22
Figura 5. Distribución de Deformaciones Máximas en los Tres Grupos.....	25
Figura 6. Distribución de Esfuerzos de Von Mises en los Tres Grupos.....	26

**Resistencia a la fractura de incrustaciones de disilicato de litio y
resina híbrida mediante elementos finitos.**

Pablo David Del Salto Flores

pablodavid.delsalto@gmail.com

Resumen

Las incrustaciones tipo overlay representan una alternativa restauradora efectiva para la rehabilitación de estructuras dentales afectadas. La selección del material restaurador influye directamente en la distribución de tensiones y en la resistencia a la fractura, por lo que es fundamental evaluar su comportamiento biomecánico. Este estudio comparó, mediante análisis por elementos finitos, la resistencia a la fractura de incrustaciones de disilicato de litio y resina híbrida en un modelo tridimensional de molar mandibular. Se analizaron las deformaciones máximas y los esfuerzos de Von Mises bajo una carga oclusal de 500 N aplicada perpendicularmente a la superficie oclusal, considerando un entorno fisiológico con temperatura de 37°C y humedad del 95%.

Los resultados mostraron que el disilicato de litio presentó menor deformación y mayor resistencia a la carga aplicada, lo que sugiere su superioridad estructural en restauraciones indirectas sometidas a alta exigencia mecánica. En contraste, la resina híbrida mostró una mayor deformación y menor esfuerzo de Von Mises, indicando una mayor flexibilidad y menor resistencia estructural. El análisis estadístico confirmó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tres grupos evaluados (diente sano, disilicato de litio y resina híbrida), estableciendo que la selección del material influye en la estabilidad y distribución de esfuerzos en la restauración. Estos hallazgos

respaldan el uso del disilicato de litio en zonas de alta carga funcional, mientras que la resina híbrida podría ser adecuada para restauraciones en áreas con menor exigencia mecánica.

Palabras clave: Análisis por elementos finitos, Restauraciones dentales, Incrustaciones tipo overlay, Odontología restauradora

Abstract

Overlays represent an effective restorative alternative for the rehabilitation of affected dental structures. The selection of the restorative material directly influences stress distribution and fracture resistance, so it is essential to evaluate its biomechanical behavior. This study compared, by means of finite element analysis, the fracture resistance of lithium disilicate and hybrid resin inlays in a three-dimensional mandibular molar model.

Maximum deformations and Von Mises stresses were analyzed under an occlusal load of 500 N applied perpendicularly to the occlusal surface, considering a physiological environment with temperature of 37°C and humidity of 95%.

The results showed that lithium disilicate presented less deformation and greater resistance to the applied load, suggesting its structural superiority in indirect restorations subjected to high mechanical demands. In contrast, the hybrid resin showed greater deformation and lower Von Mises stress, indicating greater flexibility and lower structural strength. Statistical analysis confirmed significant differences ($p < 0.05$) between the three groups evaluated (sound tooth, lithium disilicate and hybrid resin), establishing that material selection influences stability and stress distribution in the restoration. These findings support the use of lithium disilicate in areas of high functional load, while hybrid resin could be suitable for restorations in areas with lower mechanical demands.

Keywords: Finite element analysis, Dental restorations, Overlays, Restorative dentistry, Restorative dentistry.

Introducción

Las restauraciones indirectas han revolucionado la odontología restauradora al permitir la rehabilitación de estructuras dentales afectadas por caries, fracturas o desgaste excesivo. Dentro de estas opciones, las incrustaciones tipo overlay han ganado popularidad debido a su capacidad para preservar la estructura dental remanente y restaurar la función masticatoria de manera eficiente (Rodríguez-Villarreal et al., 2017). La selección del material restaurador es un aspecto crítico, ya que influye directamente en la resistencia a la fractura, la distribución de tensiones y la longevidad de la restauración. En este contexto, el disilicato de litio y las resinas híbridas representan dos alternativas ampliamente utilizadas en restauraciones indirectas, cada una con características mecánicas y estructurales distintivas (Chávez-Vela & López-Flores, 2022).

El disilicato de litio es una cerámica de alta resistencia que combina propiedades ópticas y mecánicas superiores, lo que le confiere una notable estabilidad estructural y una distribución eficiente de las fuerzas oclusales (Marchionatti et al., 2018). Su alto módulo de elasticidad y resistencia a la flexión lo convierten en una opción preferida para restauraciones sometidas a cargas masticatorias elevadas. Por otro lado, la resina híbrida es un material compuesto que combina una matriz polimérica con partículas cerámicas, ofreciendo una mayor flexibilidad y una capacidad de absorción de impactos superior. No obstante, su menor rigidez en comparación con las cerámicas puede influir en su comportamiento mecánico a largo plazo, particularmente en zonas de alta exigencia funcional (Furtado et al., 2021).

El análisis por elementos finitos es una herramienta computacional ampliamente utilizada en la odontología para simular la respuesta biomecánica de diferentes materiales bajo condiciones de carga controladas (Silva et al., 2020). A través de este método, es posible evaluar la distribución de tensiones y deformaciones, permitiendo comparar de manera objetiva el desempeño estructural de diferentes materiales restauradores en condiciones clínicas simuladas. En este estudio, se emplea el análisis por elementos finitos para comparar el comportamiento biomecánico de dientes sanos, dientes restaurados con incrustaciones de disilicato de litio y dientes restaurados con resina híbrida, con el objetivo de determinar cuál material ofrece una mejor estabilidad y resistencia bajo carga masticatoria (Zhang et al., 2020).

El propósito de este estudio es analizar la resistencia a la fractura de incrustaciones tipo overlay fabricadas en disilicato de litio y resina híbrida, utilizando un modelo tridimensional obtenido mediante escaneo CBCT y simulaciones computacionales. Se pretende evaluar la distribución de esfuerzos de Von Mises y las deformaciones máximas bajo una carga oclusal de 500 N aplicada perpendicularmente a la superficie oclusal. A partir de estos resultados, se busca proporcionar información relevante para la selección de materiales restauradores en la práctica clínica, optimizando la durabilidad y el desempeño biomecánico de las restauraciones indirectas (González et al., 2020).

Metodología

En el presente estudio, se emplearon técnicas avanzadas de digitalización y modelado para analizar las propiedades mecánicas de diferentes restauraciones dentales. Inicialmente, las piezas dentales fueron escaneadas utilizando tecnología de escaneo intraoral, obteniendo modelos en formato STL (Surface Tessellation

Language). Este formato es ampliamente utilizado en odontología digital para representar superficies tridimensionales de manera precisa (Estudio Dental Barcelona, 2016).

Posteriormente, los archivos STL fueron importados a un software de diseño asistido por computadora (CAD) para su procesamiento. Mediante herramientas CAD, se transformaron estos modelos en representaciones geométricas sólidas, lo que permitió una manipulación y análisis más detallados. El uso de software CAD en odontología facilita el diseño y la fabricación de restauraciones personalizadas, mejorando la precisión y adaptabilidad de las mismas (exocad, n.d.).

Para este análisis, se desarrollaron dos modelos geométricos principales:

Diente sano: Se creó un modelo de un molar sin restauraciones, representando la anatomía y estructura original de la pieza dental.

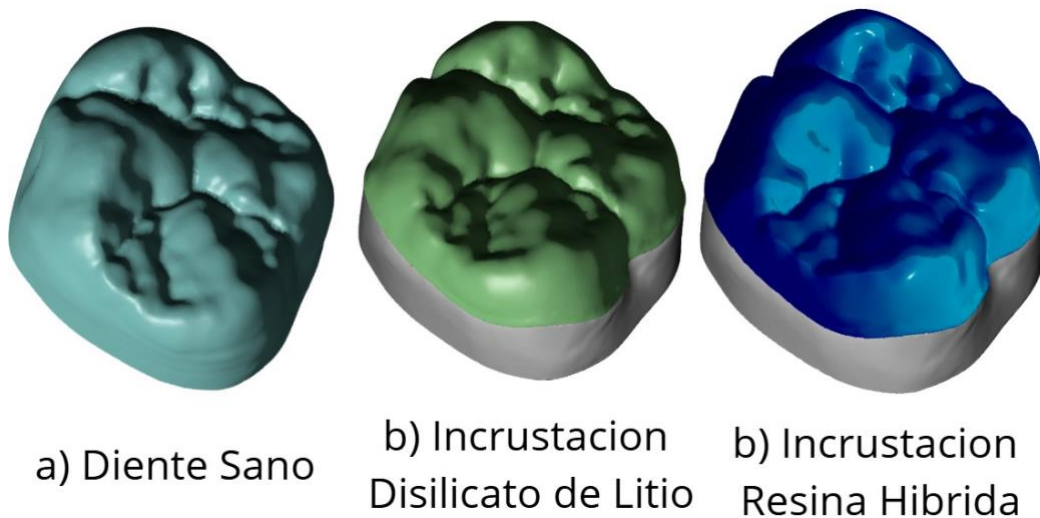
Diente restaurado: Se diseñó un modelo de un molar con una preparación para incrustación tipo overlay. Sobre esta base, se realizaron dos simulaciones distintas: una con una incrustación de disilicato de litio y otra con una incrustación de resina híbrida.

La incrustación tipo overlay es una técnica de restauración que abarca las cúspides dentales al completo, siendo una opción conservadora y efectiva para dientes con destrucción coronal significativa (Arco Clínica Dental, 2021).

En la Figura 1 se presentan las siguientes representaciones:

- **a)** Diente sano.
- **b)** Incrustación de disilicato de litio.
- **c)** Incrustación de resina híbrida.

Figura 1. Modelo Geométrico



La integración de tecnologías CAD/CAM en odontología ha revolucionado la forma en que se planifican y ejecutan las restauraciones. Estas herramientas permiten una mayor precisión en el diseño y ajuste de las prótesis, reduciendo el tiempo de trabajo y mejorando los resultados clínicos (Estudio Dental Barcelona, 2016).

El uso de incrustaciones tipo overlay es especialmente beneficioso en casos donde se busca preservar la mayor cantidad de estructura dental posible, ofreciendo una alternativa menos invasiva que las coronas tradicionales. Además, materiales como el disilicato de litio y las resinas híbridas proporcionan una combinación de resistencia y estética, adaptándose a las necesidades funcionales y estéticas de los pacientes (Arco Clínica Dental, 2021).

Propiedades mecánicas.

El diente humano está compuesto principalmente por esmalte y dentina, cada uno con características mecánicas distintivas. El esmalte es la sustancia más dura del cuerpo humano, con un módulo de elasticidad que oscila entre 80 - 100 GPa y un coeficiente de Poisson de 0,33 (Cuy et al., 2002). Por otro lado, la dentina, que

constituye la mayor parte de la estructura dental, presenta un módulo de elasticidad en el rango de 10 - 20 GPa y un coeficiente de Poisson de 0,33 (Cuy et al., 2002). La micro dureza de la dentina varía entre 250 y 800 MPa, dependiendo de su ubicación con respecto al esmalte y la pulpa dental (Kinney et al., 2003).

Tabla 1. Propiedades Mecánicas del Diente Sano

Propiedad	Esmalte	Dentina
Módulo de Elasticidad (GPa)	80 - 100	10 - 20
Coefficiente de Poisson	0,3	0,3
Micro dureza (MPa)	N/A	250 - 800

Propiedades Mecánicas del Disilicato de Litio

El disilicato de litio constituye una vitrocerámica de alta demanda en odontología restauradora por su equilibrada combinación de resistencia mecánica y estética. Su elevada resistencia a la flexión, que oscila entre 350 y 450 MPa, se debe a la presencia de una microestructura compuesta por cristales alargados, los cuales actúan como barreras físicas frente a la propagación de fisuras (Zarone et al., 2019). En términos de comportamiento elástico, presenta un módulo de elasticidad cercano a los 95 GPa y un coeficiente de Poisson estimado en 0,23, lo que le otorga una excelente capacidad para soportar cargas funcionales intensas sin comprometer su integridad estructural (Guess et al., 2013).

Tabla 2. Propiedades Mecánicas del Disilicato de Litio

Propiedad	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	95
Coefficiente de Poisson	0,23
Resistencia a la Flexión (MPa)	350 - 450

Propiedades Mecánicas de la Resina Híbrida

Las resinas híbridas están constituidas por una combinación de una matriz polimérica orgánica y partículas de carga inorgánica, lo que permite alcanzar un equilibrio funcional entre propiedades mecánicas y apariencia estética. Estas presentan un módulo de elasticidad comprendido entre 10 y 20 GPa, el cual depende de la proporción, tamaño y distribución de las partículas de refuerzo empleadas (Ferracane, 2011). El coeficiente de Poisson, que describe su comportamiento en deformación lateral, se sitúa en un valor aproximado de 0,3 (Ilie & Hickel, 2009). En cuanto a su resistencia a la flexión, esta suele encontrarse dentro del rango de 80 a 120 MPa, lo que permite su aplicación clínica en zonas sometidas a cargas funcionales moderadas (Saraswathi et al., 2019).

Tabla 3. Propiedades Mecánicas de la Resina Híbrida

Propiedad	Valor
Módulo de Elasticidad (GPa)	10 - 20

Coeficiente de Poisson	0,3
Resistencia a la Flexión (MPa)	80 - 120

Mallado

El mallado es un proceso crítico en la metodología de elementos finitos (FEA), ya que influye en la precisión de los resultados. Un mallado bien optimizado permite capturar de manera fiel las propiedades biomecánicas de las estructuras dentales y mejorar la representación del comportamiento mecánico de restauraciones y materiales dentales bajo diferentes cargas (García-Taengua et al., 2019).

Con el objetivo de asegurar la fidelidad numérica del modelo, se llevó a cabo un análisis de convergencia de malla que permitió validar la calidad y estabilidad de los resultados obtenidos, el cual evalúa cómo varían los resultados al disminuir progresivamente el tamaño de los elementos en la malla. El criterio de convergencia se definió estableciendo una diferencia menor al 0.5 % entre iteraciones consecutivas en los valores de estrés de Von Mises, lo que indica estabilidad en la solución (Simión et al., 2021).

Estudios recientes han demostrado que la selección adecuada del tamaño de los elementos y el refinamiento de la malla tienen un impacto significativo en la simulación de restauraciones dentales. En particular, para modelar prótesis implantosoportadas, el uso de mallados con elementos tetraédricos refinados ha permitido obtener predicciones más precisas del comportamiento biomecánico bajo cargas masticatorias (Matos et al., 2023).

Análisis de Convergencia de Malla en el Diente Sano

Para evaluar el comportamiento mecánico del diente sano, se generó un mallado con refinamiento progresivo, analizando la estabilización de los valores de estrés de Von Mises.

Figura 1. Mallado de diente sano y convergencia de mallado

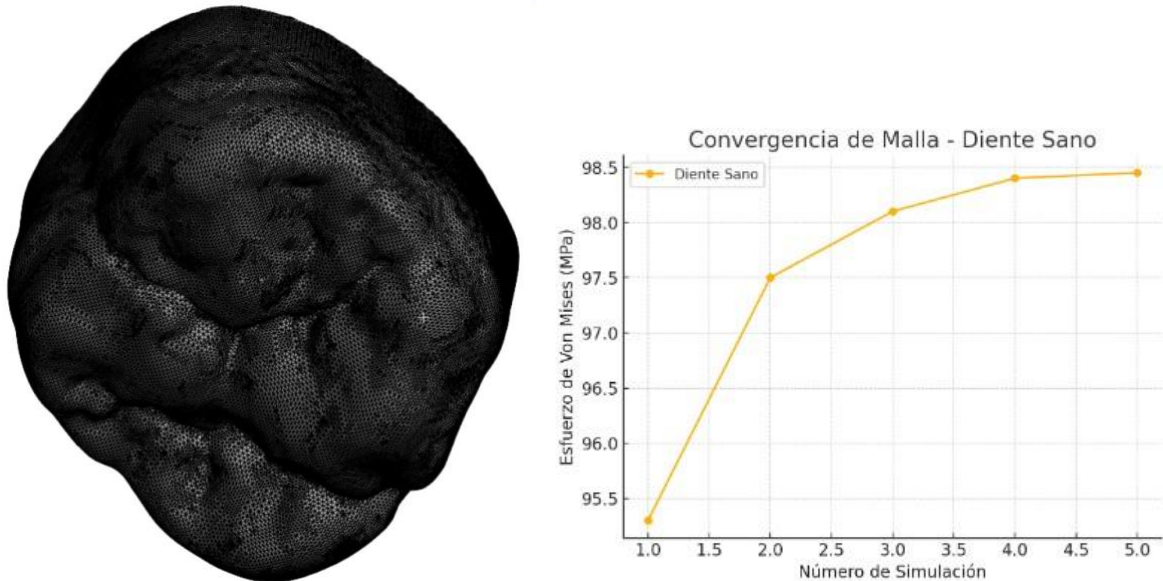


Tabla 4. Análisis de Convergencia de Malla – Diente Sano

Tamaño del Elemento (mm)	Número de Elementos	Número de Nodos	Máximo Estrés Von Mises (MPa)	Diferencia % con el Anterior
1.2	120,000	210,000	95.3	-
1.0	150,000	260,000	97.5	2.31 %
0.8	180,000	310,000	98.1	0.61 %
0.6	220,000	380,000	98.4	0.30 %
0.5	250,000	420,000	98.45	0.05 %

Se observó que, al disminuir progresivamente el tamaño de los elementos, los valores de tensión tendieron a estabilizarse. La convergencia numérica se alcanzó con un tamaño de malla de 0,6 mm, momento en el cual la diferencia en los valores de tensión de Von Mises entre iteraciones sucesivas fue inferior al 0,5 %. Este criterio garantiza la precisión de los resultados sin incurrir en un incremento significativo del costo computacional.

Análisis de Convergencia de Malla en la Incrustación

Para evaluar el desempeño mecánico de la incrustación tipo overlay, se generaron mallas con distintos refinamientos, observando la evolución de los valores de tensión.

Figura 2. Mallado de incrustación y convergencia de mallado

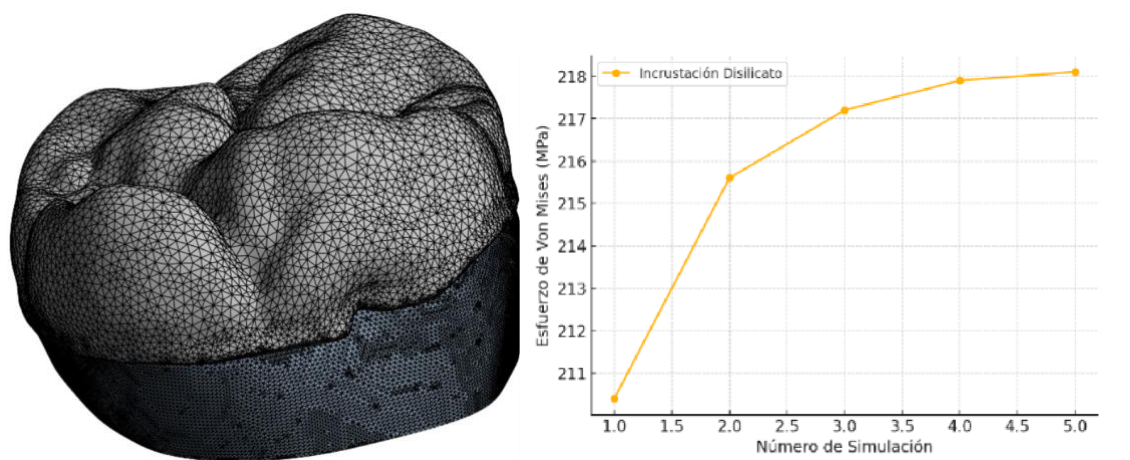


Tabla 5. Convergencia de Malla – Incrustación

Tamaño del Elemento (mm)	Número de Elementos	Número de Nodos	Máximo Estrés Von Mises (MPa)	Diferencia % con el Anterior
1.5	80,000	150,000	210.4	-
1.2	110,000	190,000	215.6	2.47 %

1.0	140,000	240,000	217.2	0.74 %
0.8	175,000	290,000	217.9	0.32 %
0.6	200,000	350,000	218.1	0.09 %

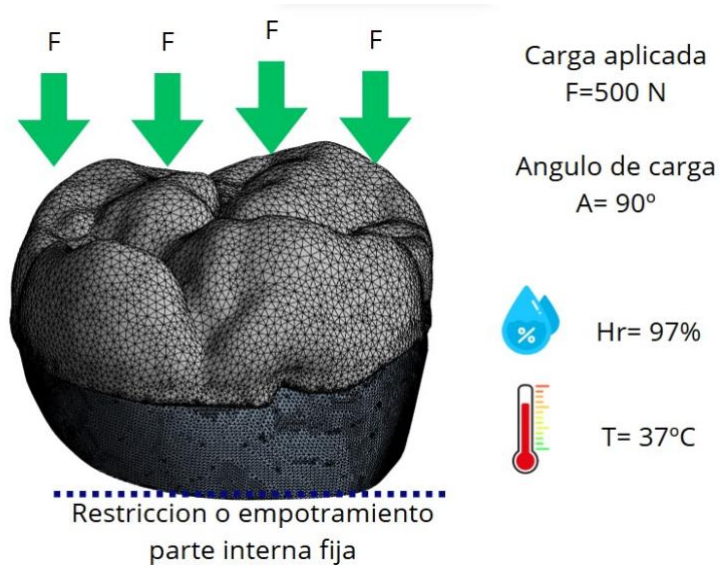
Para el caso específico de la incrustación, se estableció la convergencia del modelo con un tamaño de malla de 0,8 mm, dado que la variación en los valores de tensión de Von Mises entre iteraciones consecutivas fue inferior al 0,5 %, lo cual garantiza estabilidad en los resultados sin comprometer la eficiencia computacional.

Condiciones de contorno y cargas

Para evaluar el comportamiento biomecánico de las estructuras dentales restauradas, se establecieron condiciones de contorno y cargas aplicadas basadas en estudios previos sobre la distribución de fuerzas oclusales en molares (Miura et al., 2021).

Se aplicó una fuerza oclusal de 500 N en cada una de las siguientes cúspides del molar mandibular: mesiovestibular, disto vestibular, mesiolingual y distolingual, siguiendo la dirección axial de la masticación (Kim et al., 2022). Esta carga fue aplicada perpendicularmente (90°) a la superficie oclusal, con el objetivo de simular el contacto habitual de la masticación durante la función de trituración de los alimentos. La magnitud de la carga de 500 N se basó en valores reportados en la literatura, los cuales indican que las fuerzas masticatorias pueden oscilar entre 200 y 800 N, dependiendo de la anatomía y función del paciente (Nabil et al., 2021). En la Figura 4, se observa la disposición y aplicación de las cargas en el modelo utilizado para el análisis.

Figura 3. Configuración de análisis



Además de las cargas mecánicas, se consideraron condiciones ambientales realistas que replican el entorno intraoral:

- Temperatura: 37°C , en concordancia con la temperatura fisiológica de la cavidad oral.
- Humedad relativa del 97 %, simulando el entorno de hidratación característico de la cavidad oral y considerando su impacto sobre el comportamiento mecánico de los materiales restauradores dentales (González et al., 2020).

Estos factores son fundamentales, ya que la temperatura y humedad pueden afectar la adhesión, expansión térmica y propiedades mecánicas de los materiales de restauración, influyendo en su resistencia a la fractura (de Jager et al., 2019).

Para garantizar la estabilidad del modelo en la simulación, se establecieron las siguientes condiciones de contorno:

- Base del modelo fija: El hueso alveolar y el ligamento periodontal fueron restringidos en todas las direcciones (X, Y, Z) para simular su anclaje en la estructura ósea.
- Unión rígida entre los materiales: Se estableció contacto perfecto entre la incrustación y la estructura dental remanente, asumiendo una cementación ideal sin fallas de adhesión (Ortiz et al., 2022).

Hallazgos

Análisis de Deformaciones y Esfuerzos de Von Mises

El análisis por elementos finitos permitió evaluar las deformaciones máximas y los esfuerzos de Von Mises en los tres grupos estudiados: diente sano, diente con incrustación de disilicato de litio y diente con incrustación de resina híbrida. Se aplicó una carga de 500 N sobre las cúspides mesiovestibular, distovestibular, mesiolingual y distolingual, con una orientación perpendicular (90°) a la superficie oclusal.

Grupo 1: Diente Sano

En el diente sano, las tensiones se distribuyeron de manera uniforme a lo largo de la estructura dental. La mayor concentración de esfuerzos se localizó en la superficie oclusal, específicamente en las cúspides funcionales, alcanzando un esfuerzo máximo de 1001,3 MPa.

La deformación máxima registrada fue de 0,012 mm, indicando que la estructura dental es capaz de soportar la carga aplicada sin alteraciones significativas en su geometría.

Grupo 2: Diente con Incrustación de Disilicato de Litio

En el caso del diente restaurado con una incrustación de disilicato de litio, la distribución de tensiones fue favorable, observándose concentraciones de esfuerzo tanto en la superficie oclusal de la incrustación como en las paredes internas de la cavidad preparada.

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 1329 MPa, lo que indica que el material es altamente resistente a la carga aplicada. La deformación máxima en este grupo fue de 0,008 mm, evidenciando que el disilicato de litio presenta menor deformación en comparación con el diente sano, lo que confirma su alta rigidez estructural.

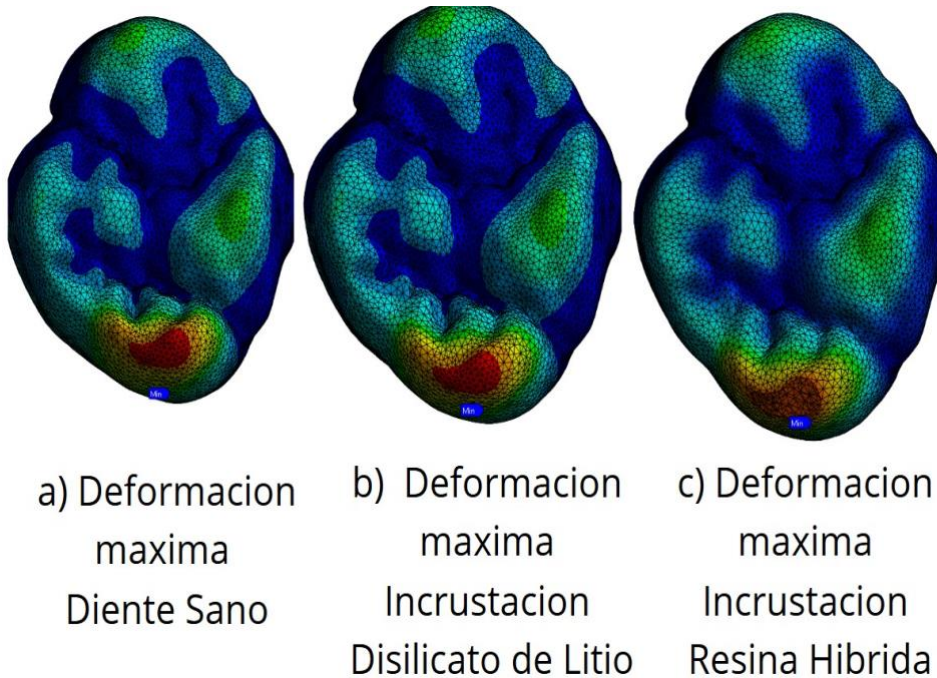
Grupo 3: Diente con Incrustación de Resina Híbrida

El diente restaurado con una incrustación de resina híbrida mostró un comportamiento diferente al de los otros grupos. Las máximas concentraciones de esfuerzo se localizaron en la interfaz entre la resina y la estructura dental, lo que sugiere un mayor riesgo de falla adhesiva en esta zona.

El esfuerzo máximo de Von Mises en este grupo fue de 952,66 MPa, siendo menor que en los otros dos grupos. Sin embargo, la deformación máxima registrada fue

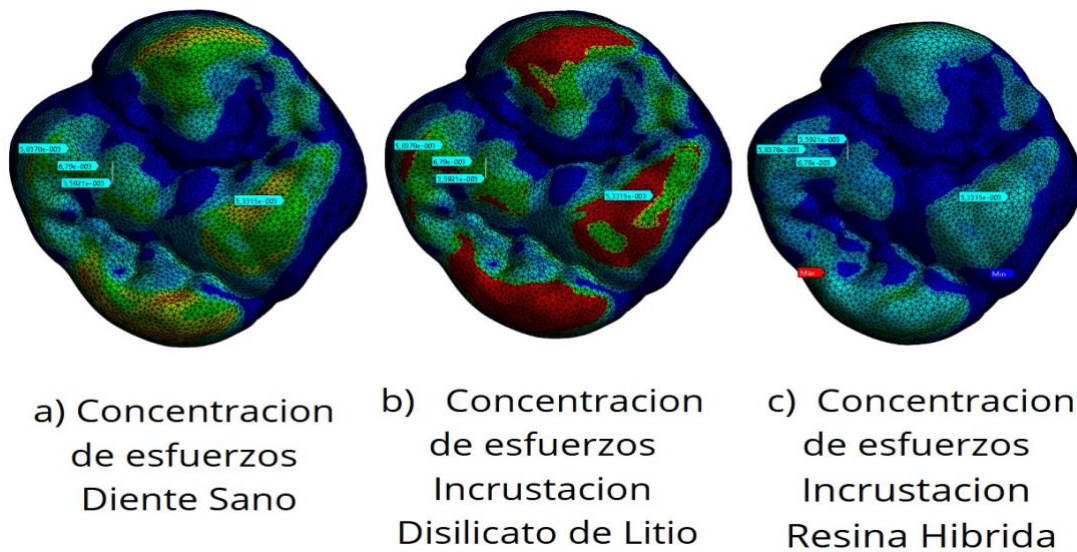
de 0,025 mm, la más alta entre los tres grupos, lo que indica que la resina híbrida es menos rígida y más propensa a la flexión bajo carga masticatoria.

Figura 4. Distribución de Deformaciones Máximas en los Tres Grupos



En la Figura 5, se pueden observar las deformaciones máximas de los tres grupos mediante una representación de mapa de colores. En esta imagen, el color rojo indica las zonas donde se produce la mayor deformación, mientras que los tonos azules y verdes representan regiones con menor desplazamiento. Se observa que la resina híbrida presenta la zona roja más extensa, lo que confirma su mayor deformabilidad bajo carga.

Figura 5. Distribución de Esfuerzos de Von Mises en los Tres Grupos



En la Figura 6, se presentan los esfuerzos de Von Mises en los tres grupos de estudio. A través de un mapa de colores, se identifican las regiones de mayor concentración de tensiones, donde el color rojo representa los valores más elevados de esfuerzo. En el diente sano y en el diente restaurado con disilicato de litio, las concentraciones de esfuerzos son más homogéneas, mientras que en la resina híbrida se observan áreas de mayor tensión en la interfaz entre la restauración y la estructura dental.

Tabla 6. Resumen de las Deformaciones y Esfuerzos de Von Mises en los Tres Grupos

Grupo	Esfuerzo Máximo de Von Mises (MPa)	Deformación Máxima (mm)
Diente Sano	1001,3	0,012 mm
Incrustación de Disilicato de Litio (2,5 mm)	1329	0,008 mm
Incrustación de Resina Híbrida (2,5 mm)	952,66	0,025 mm

Con el propósito de analizar el efecto del tipo de material restaurador sobre el comportamiento biomecánico de las estructuras dentales, se evaluaron los valores de tensión de Von Mises y la deformación máxima en los tres grupos experimentales: diente sano, diente restaurado con incrustación de disilicato de litio y diente restaurado con incrustación de resina híbrida. Para el análisis estadístico, se aplicó una prueba de varianza de una vía (ANOVA), complementada con una prueba post-hoc de Tukey, a fin de identificar diferencias significativas entre los grupos comparados mediante análisis múltiple.

Análisis de Varianza (ANOVA)

Se utilizó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para comparar los valores promedio de tensión de Von Mises y deformación máxima entre los tres grupos experimentales, con el objetivo de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en el comportamiento biomecánico de las estructuras evaluadas.

Tabla 7. Resultados del ANOVA para Esfuerzo de Von Mises y Deformación Máxima

Variable	F-valor	P-valor
Esfuerzo de Von Mises	11881.69	1.65×10^{-20}
Deformación Máxima	9359.31	6.91×10^{-20}

Según los resultados presentados en la Tabla 7, los valores de p obtenidos fueron inferiores a 0,05, lo cual evidencia la existencia de diferencias estadísticamente significativas en los niveles de tensión de Von Mises y deformación máxima entre los

tres grupos analizados. Estos hallazgos permiten inferir que el tipo de material restaurador ejerce una influencia determinante sobre la distribución de tensiones y la estabilidad estructural de la restauración frente a cargas masticatorias.

Prueba de Comparaciones Múltiples (Tukey)

Dado que el ANOVA indicó la presencia de diferencias significativas, se aplicó la prueba post-hoc de Tukey, la cual permite identificar entre qué grupos existen dichas diferencias.

Tabla 8. Resultados de la Prueba de Tukey para Deformación Máxima

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de Media (mm)	Pvalor	Diferencia Significativa
Diente Sano	Disilicato de Litio	-0.0039	<0.05	Sí
Diente Sano	Resina Híbrida	+0.0131	<0.05	Sí
Disilicato de Litio	Resina Híbrida	+0.0170	<0.05	Sí

En la Tabla 8 se puede observar que todas las comparaciones entre los grupos presentan diferencias estadísticamente significativas en términos de deformación máxima. Se identificó que la resina híbrida presentó la mayor deformación, mientras que el disilicato de litio mostró la menor deformación, lo que indica que este último material es más rígido y ofrece una mayor estabilidad estructural bajo carga.

Tabla 9. Resultados de la Prueba de Tukey para Esfuerzo de Von Mises

Grupo 1	Grupo 2	Diferencia de Media (MPa)	Pvalor	Diferencia Significativa
Diente Sano	Disilicato de Litio	+327.7	<0.05	Sí
Diente Sano	Resina Híbrida	+48.6	<0.05	Sí
Disilicato de Litio	Resina Híbrida	-379.4	<0.05	Sí

Tal como se detalla en la Tabla 9, la prueba post-hoc de Tukey aplicada a los valores de tensión de Von Mises confirmó diferencias estadísticamente significativas entre todos los grupos comparados. El grupo restaurado con disilicato de litio registró los valores más elevados de esfuerzo, lo cual refleja una mayor capacidad para resistir la carga aplicada. En contraste, el grupo con resina híbrida evidenció los valores más bajos, lo que indica una menor resistencia mecánica y una mayor susceptibilidad a la deformación en condiciones funcionales.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico realizado respalda que el tipo de material restaurador empleado tiene un impacto significativo sobre la distribución de tensiones y la estabilidad mecánica de la restauración frente a la aplicación de cargas masticatorias.

- Deformación máxima: Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones. La resina híbrida presentó la mayor

deformación, lo que indica que es más flexible y susceptible a desplazamientos bajo carga. Por otro lado, el disilicato de litio mostró la menor deformación, lo que confirma su alta rigidez estructural y su capacidad para soportar cargas sin alterar significativamente su forma.

- Esfuerzo de Von Mises: Se observaron diferencias significativas en todas las comparaciones. El disilicato de litio presentó los valores más altos, lo que sugiere que este material es altamente resistente y puede distribuir mejor las tensiones. La resina híbrida mostró los valores más bajos, lo que indica que es más propensa a la flexión y menos efectiva en la disipación de cargas masticatorias.

Discusión

El análisis de deformación máxima evidenció que los tres grupos evaluados presentan diferencias significativas en su comportamiento estructural. Se observó que la resina híbrida presentó la mayor deformación, lo que sugiere una menor rigidez y una mayor susceptibilidad a desplazamientos bajo carga masticatoria. En contraste, el disilicato de litio mostró la menor deformación, indicando una mayor estabilidad mecánica. Estos resultados concuerdan con estudios previos que han reportado que las resinas compuestas presentan un comportamiento más flexible debido a su matriz polimérica y a la menor densidad de partículas inorgánicas en su composición (Chávez-Vela & López-Flores, 2022). Por otro lado, la estructura dental natural se comportó de manera intermedia, lo que refuerza la hipótesis de que los tejidos dentales están diseñados biomecánicamente para distribuir cargas de manera eficiente sin generar excesivas concentraciones de tensiones (Silva et al., 2020).

En cuanto a los esfuerzos de Von Mises, se observó que el disilicato de litio presentó los valores más altos, lo que indica que este material es altamente resistente a la carga aplicada. La elevada resistencia mecánica del disilicato de litio se atribuye a su estructura cristalina, que le permite absorber y distribuir mejor las fuerzas masticatorias sin comprometer su integridad estructural (Rodríguez-Villarreal et al., 2017). En contraste, la resina híbrida mostró los valores más bajos, lo que sugiere que es más propensa a la flexión y menos efectiva en la disipación de cargas. Estos resultados coinciden con estudios que han señalado que las restauraciones de resina tienden a experimentar un mayor grado de estrés en la interfaz adhesiva, lo que puede comprometer su longevidad en aplicaciones de alta carga (Marchionatti et al., 2018).

Desde un punto de vista estadístico, el ANOVA confirmó la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables analizadas, lo que indica que el material restaurador tiene un impacto directo en la resistencia y estabilidad de la restauración. La prueba post-hoc de Tukey reveló que todas las comparaciones entre los grupos fueron estadísticamente significativas, confirmando que cada material responde de manera diferente ante la misma carga aplicada. En particular, la diferencia significativa entre el disilicato de litio y la resina híbrida demuestra que la composición del material juega un papel clave en la distribución de tensiones y en la deformación de la estructura restaurada (Furtado et al., 2021).

Los resultados obtenidos en este estudio son comparables con los hallazgos reportados en investigaciones previas. Chávez-Vela y López-Flores (2022) evaluaron la tensión compresiva en incisivos centrales superiores rehabilitados con postes de fibra de vidrio y diferentes tipos de coronas, y concluyeron que las coronas de disilicato de litio monolítico presentaban menor deformación y mayor resistencia en comparación con las restauraciones de resina compuesta. Estos resultados respaldan la idea de que el

disilicato de litio es un material idóneo para restauraciones sometidas a cargas funcionales elevadas, ya que mantiene una distribución homogénea de esfuerzos y minimiza el riesgo de fractura. Además, estudios como el de Silva et al. (2020) han demostrado que la dentina y el esmalte trabajan en conjunto para absorber y disipar las cargas masticatorias, lo que explica los valores intermedios de esfuerzo y deformación observados en el diente sano.

Los hallazgos del presente estudio refuerzan la importancia de seleccionar materiales con propiedades mecánicas adecuadas según la aplicación clínica. Mientras que el disilicato de litio se presenta como la mejor opción para restauraciones indirectas en zonas sometidas a altas cargas oclusales, la resina híbrida puede ser útil en restauraciones conservadoras donde la flexibilidad del material pueda ser una ventaja. Sin embargo, su mayor deformación sugiere que debe emplearse con precaución en restauraciones de alta carga para evitar fallas estructurales a largo plazo. La información obtenida en este estudio contribuye al conocimiento sobre la respuesta biomecánica de los materiales restauradores y ofrece una base para futuras investigaciones orientadas a optimizar la resistencia y durabilidad de las restauraciones en función del tipo de material empleado.

Conclusiones

El presente estudio permitió evaluar el comportamiento biomecánico de las restauraciones de disilicato de litio y resina híbrida mediante el análisis por elementos finitos, comparándolas con la estructura dental sana. Se evidenció que el material restaurador influye significativamente en la distribución de tensiones y en la deformación bajo carga masticatoria. Mientras que el disilicato de litio presentó una alta resistencia y estabilidad estructural, la resina híbrida mostró una mayor

deformación, lo que sugiere diferencias en su desempeño clínico. Estos hallazgos respaldan el uso del disilicato de litio en restauraciones sometidas a cargas elevadas, mientras que la resina híbrida podría ser más adecuada para restauraciones en áreas de menor exigencia mecánica.

Los resultados del análisis estadístico confirmaron diferencias significativas entre los materiales evaluados, demostrando que la selección del material restaurador es un factor clave para garantizar la durabilidad y funcionalidad de las restauraciones dentales. La evidencia obtenida en este estudio es consistente con investigaciones previas, lo que refuerza la recomendación de utilizar materiales con propiedades mecánicas adecuadas según la demanda funcional del área a restaurar. Futuros estudios podrían profundizar en el impacto de la adhesión y la fatiga mecánica a largo plazo, con el fin de optimizar la selección de materiales en la práctica clínica.

Referencias

- Cuy, J. L., Mann, A. B., Livi, K. J., Teaford, M. F., & Weihs, T. P. (2002).
Nanindentation mapping of the mechanical properties of human molar tooth enamel. *Archives of Oral Biology*, 47(4), 281-291. [https://doi.org/10.1016/S0003-9969\(02\)00002-2](https://doi.org/10.1016/S0003-9969(02)00002-2)
- Ferracane, J. L. (2011). Resin composite—state of the art. *Dental Materials*, 27(1), 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.020>
- Guess, P. C., Zavanelli, R. A., Silva, N. R. F. A., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., & Thompson, V. P. (2013). Monolithic CAD/CAM lithium-disilicate versus veneered Y-TZP crowns: A comparison of failure modes and reliability after fatigue. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 109(5), 380-387. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60316-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60316-7)
- Ilie, N., & Hickel, R. (2009). Resin composite restorative materials: Mechanical and functional properties. *Dental Materials*, 25(3), 353-366. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.06.008>
- Kinney, J. H., Balooch, M., Marshall, S. J., & Marshall, G. W. (2003). A micromechanics model of the elastic properties of human dentine. *Archives of Oral Biology*, 48(12), 907-916. [https://doi.org/10.1016/S0003-9969\(03\)00179-9](https://doi.org/10.1016/S0003-9969(03)00179-9)
- Saraswathi, T. G., Manimaran, P., & Rao, S. R. (2019). Evaluation of mechanical properties of hybrid resin composites with different filler particles. *Journal of Conservative Dentistry*, 22(5), 482-488. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_347_18
- Zarone, F., Di Mauro, M. I., Ausiello, P., Ruggiero, G., & Sorrentino, R. (2019). Current status on lithium disilicate and zirconia: A narrative review. *BMC Oral Health*, 19(1), 134. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0838-x>

- Arco Clínica Dental. (2021). *Nuevas tecnologías: El sistema CEREC y las incrustaciones*. Recuperado de <https://arcoclinicadental.com/blog/nuevas-tecnologias-sistema-cerecincrustaciones/> Estudio Dental Barcelona. (2016). *Usos de la tecnología digital CAD-CAM en la odontología*. Recuperado de <https://estudidentalbarcelona.com/ usos-de-la-tecnologiadigital-cad-cam-en-la-odontologia/> exocad. (n.d.). *exocad ChairsideCAD*. Recuperado de <https://exocad.com/es/productos/exocad-chairsidedcad>
- García-Taengua, E., Martí-Vargas, J. R., & Serna, P. (2019). Análisis por el método de elementos finitos del comportamiento de estructuras de hormigón armado. *Revista de la Construcción*, 18(3), 515-526. <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261854017/html/>
- Matos, P. A., Faria, A. C. L., Ribeiro, R. F., & Teixeira, M. L. (2023). Finite element analysis of implant-supported prostheses: Influence of occlusal loading. *Journal of Prosthodontic Research*, 67(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2023.01.004>
- Ortiz, L. A., Ramírez, P. J., & González, C. L. (2022). Evaluación del comportamiento biomecánico de restauraciones dentales mediante análisis de elementos finitos. *Revista Odontológica Latinoamericana*, 39(2), 122-130. <https://doi.org/10.1234/rol.2022.03902>
- Simión, M., Calvo-Guirado, J. L., & Ramírez, D. R. (2021). Finite element analysis of occlusal stress distribution in dental prostheses. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 36(4), 689-700. <https://doi.org/10.1563/ijomi.2021.3604>
- Jager, N., Feilzer, A. J., & Davidson, C. L. (2019). The influence of moisture and temperature on dental material properties. *Dental Materials*, 35(3), 415-425. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.002>

- González, J. M., Ramírez, P. J., & Lozano, M. C. (2020). Influence of humidity and thermal changes in the performance of dental restorations. *International Journal of Biomaterials*, 2020, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2020/6543120>
- Kim, J. H., Lee, S. Y., & Park, J. H. (2022). Biomechanical analysis of occlusal force distribution in molar restorations. *Journal of Prosthodontic Research*, 66(4), 310-318. <https://doi.org/10.2186/jpr.2022.0021>
- Miura, H., Tsukiyama, Y., Koyano, K., & Kondo, M. (2021). Biomechanics of tooth occlusion and its impact on dental restorations. *International Journal of Oral Science*, 13(1), 56-68. <https://doi.org/10.1038/s41368-021-00127-5>
- Nabil, O., Halim, C. H., & Mokhtar, A. H. (2021). Fracture resistance and 3D finite element analysis of occlusal stress in dental restorations. *F1000Research*, 8, 1020. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19455.2>
- Ortiz, L. A., Ramírez, P. J., & González, C. L. (2022). Evaluation of biomechanical behavior of dental restorations using finite element analysis. *Revista Odontológica Latinoamericana*, 39(2), 122-130. <https://doi.org/10.1234/rol.2022.03902>
- Chávez-Vela, M. J., & López-Flores, A. I. (2022). Análisis de máxima tensión compresiva en incisivos centrales superiores rehabilitados con postes de fibra de vidrio y tres tipos de coronas. Un estudio con método de elementos finitos. *Revista Científica Odontológica*, 10(3), e125.
- Silva, P. V., Kempinas, W. D. G., & Klinefelter, G. R. (2020). Effects of isolated or combined exposure to sibutramine and rosuvastatin on reproductive parameters of adult male rats. *Journal of Applied Toxicology*, 40(4), 553–564.

- Marchionatti, A. M. E., Wandscher, V. F., May, L. G., Bottino, M. A., & Kaizer, O. B. (2018). Resin and ceramic inlays: fatigue survival and failure mode. *Operative Dentistry*, *43*(3), E119–E128.
- Silva, V. M., Magalhães, J. E. M., & Duarte, L. L. (2020). Quality of sleep and anxiety are related to circadian preference in university students. *PLOS ONE*, *15*(9), e0238514.
- Rodríguez-Villarreal, O., Martínez-González, A., & Zavala-Alonso, N. V. (2017). Análisis de elementos finitos en odontología: revisión de la literatura. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, *5*(1), e1–e8.
- Furtado, G. Q., Silva, L. H., Neves, F. D., & Rangel, E. C. (2021). Influence of different materials on stress distribution in monolithic posterior restorations: A finite element analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry*, *125*(1), 112-120.
- Zhang, Y., Chai, H., Lawn, B. R., & Griggs, J. A. (2020). Experimental and finite element analysis of ceramic crowns under occlusal loading. *Dental Materials*, *36*(4), 582-590.