



**Facultad De Ciencias De La Salud**

**Posgrado De Odontología**

**Tema:**

**Análisis De Esfuerzo Y Fatiga En Fractura En Carillas Dentales Elaboradas Con  
Distintos Materiales, Mediante Elemento Finito**

**Trabajo De Titulación Para La Obtención Del Título De Rehabilitación Oral y Prótesis  
implanto Asistida**

**Presentado Por:**

Cristian Jhonny Garzón Chocho

**Tutor:**

Danny España

**Quito, febrero de 2026**

## Resumen

**Introducción:** Las carillas cerámicas representan una opción restauradora conservadora y estética ampliamente utilizada en el sector anterior. No obstante, su éxito clínico depende en gran medida del comportamiento mecánico del material restaurador frente a cargas funcionales. **Objetivo:** Evaluar, mediante análisis por elementos finitos, los esfuerzos generados y la resistencia a la fatiga en carillas dentales elaboradas con tres materiales distintos: zirconia monolítica, disilicato de litio y cerámica feldespática. **Metodología:** Se diseñó un modelo digital tridimensional de un incisivo superior preparado para carilla, sobre el cual se ensamblaron restauraciones de los tres materiales. Se aplicaron cargas estáticas (679,6 N) y dinámicas (200 N,  $1 \times 10^6$  ciclos) simulando condiciones clínicas. Se analizaron tensiones de Von Mises, desplazamientos y ciclos hasta iniciación de falla. **Resultados:** La zirconia mostró la menor concentración de tensiones (187,25 MPa), el menor desplazamiento (7,83  $\mu\text{m}$ ) y la mayor vida a fatiga (921.430 ciclos). El disilicato de litio presentó valores intermedios, mientras que la cerámica feldespática mostró el peor desempeño mecánico, con 334,46 MPa de tensión máxima, mayor deformación y falla antes de los 320.000 ciclos. **Conclusión:** El tipo de material influye significativamente en el comportamiento biomecánico de las carillas. La zirconia monolítica se comportó como el material más resistente y duradero, lo que sugiere su indicación en situaciones de alta demanda funcional. El análisis por elementos finitos permitió identificar zonas críticas y predecir el desempeño estructural de cada material con base en sus propiedades. **Palabras clave:** Carillas dentales, análisis por elementos finitos, biomecánica dental, resistencia a la fatiga, restauraciones estéticas, cargas funcionales, materiales dentales cerámicos.

### **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.

Cristian Jhonny Garzón Chocho

1400766570

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a mis padres, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de este proceso. Su amor incondicional, comprensión, paciencia y constantes palabras de aliento han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia.

De igual manera, extendiendo mi sincero agradecimiento a mis amigos, quienes, con su compañía, ánimo y apoyo incondicional hicieron este camino más llevadero. Sus consejos, motivación y confianza en mí fueron un pilar esencial para mantenerme firme y enfocado en la culminación de este trabajo.

A todos ustedes, gracias por formar parte de este logro que no solo me pertenece, sino que también les pertenece a ustedes.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio diario, que han sido la base de mi formación personal y académica. Gracias por enseñarme a no rendirme y por acompañarme en cada paso de este camino.

Asimismo, dedico esta tesis a mis amigos, quienes, con su apoyo, palabras de aliento y confianza hicieron este proceso más llevadero. Su amistad ha sido un pilar fundamental en cada etapa de este logro.

Este trabajo es el reflejo del esfuerzo compartido y del respaldo de quienes siempre creyeron en mí.

## Índice

Resumen.....	2
Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos .....	3
Agradecimientos .....	4
Dedicatoria.....	5
Índice.....	6
Índice De Figuras.....	7
Índice De Tablas. ....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	11
Metodología .....	12
Diseño del Estudio .....	12
Procedimiento.....	14
Mallado del modelo.....	17
Definición de materiales.....	18
Consideraciones clínicas y simulativas .....	19
Condiciones de carga y simulación.....	20
Hallazgos.....	23
Análisis de fatiga.....	24
Discusión.....	25
Conclusiones .....	27
Referencias.....	28

## Índice De Figuras

<p><b>Figura 1.</b> Modelo digital del maxilar superior preparados con terminación tipo chamfer para recibir carillas cerámicas.....</p>	15
<p><b>Figura 2.</b> Ensamblaje tridimensional del maxilar superior con las carillas posicionadas sobre las piezas 1.1 y 2.1. El modelo integra diente, restauración e interfaz adhesiva.....</p>	16
<p><b>Figura 3.</b> Representación tridimensional de las carillas diseñadas para las piezas 1.1 y 2.1.....</p>	16
<p><b>Figura 4.</b> Representación del mallado fino aplicado a las carillas dentales de los incisivos centrales superiores.....</p>	18
<p><b>Figura 5.</b> Esquema del modelo tridimensional con indicación de la zona de aplicación de la carga (marcada en rojo) y la zona de restricción en la interfaz adhesiva (marcada en azul).....</p>	21
<p><b>Figura 6.</b> Mapa de distribución de tensiones de Von Mises en el modelo con carilla de disilicato de litio. Se observan concentraciones de esfuerzo en el borde incisal y margen cervical vestibular. ....</p>	25

## Índice De Tablas

<b>Tabla 1.</b> Propiedades mecánicas y físicas asignadas a los materiales restauradores simulados. .....	19
<b>Tabla 2.</b> Simulaciones realizadas según tipo de análisis, material y parámetros de carga. ....	22
<b>Tabla 3.</b> Resultados del análisis estático: tensión máxima y desplazamiento total. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Resultados del análisis de fatiga: vida útil y zona de iniciación de grieta. ....	24

# ANÁLISIS DE ESFUERZO Y FATIGA EN FRACTURA EN CARILLAS DENTALES ELABORADAS CON DISTINTOS MATERIALES, MEDIANTE ELEMENTO FINITO

**Cristian Jhonny Garzón Chocho**

**crisgat0793@gmail.com**

## Resumen

**Introducción:** Las carillas cerámicas representan una opción restauradora conservadora y estética ampliamente utilizada en el sector anterior. No obstante, su éxito clínico depende en gran medida del comportamiento mecánico del material restaurador frente a cargas funcionales.

**Objetivo:** Evaluar, mediante análisis por elementos finitos, los esfuerzos generados y la resistencia a la fatiga en carillas dentales elaboradas con tres materiales distintos: zirconia monolítica, disilicato de litio y cerámica feldespática. **Metodología:** Se diseñó un modelo digital tridimensional de un incisivo superior preparado para carilla, sobre el cual se ensamblaron restauraciones de los tres materiales. Se aplicaron cargas estáticas (679,6 N) y dinámicas (200 N,  $1 \times 10^6$  ciclos) simulando condiciones clínicas. Se analizaron tensiones de Von Mises, desplazamientos y ciclos hasta iniciación de falla.

**Resultados:** La zirconia mostró la menor concentración de tensiones (187,25 MPa), el menor desplazamiento (7,83  $\mu\text{m}$ ) y la mayor vida a fatiga (921.430 ciclos). El disilicato de litio presentó valores intermedios, mientras que la cerámica feldespática mostró el peor desempeño mecánico, con 334,46 MPa de tensión máxima, mayor deformación y falla antes de los 320.000 ciclos. **Conclusión:** El tipo de material influye significativamente en el comportamiento biomecánico de las carillas. La zirconia monolítica se comportó como el

material más resistente y duradero, lo que sugiere su indicación en situaciones de alta demanda funcional. El análisis por elementos finitos permitió identificar zonas críticas y predecir el desempeño estructural de cada material con base en sus propiedades.

**Palabras clave:** Carillas dentales, análisis por elementos finitos, biomecánica dental, resistencia a la fatiga, restauraciones estéticas, cargas funcionales, materiales dentales cerámicos.

### **Abstract**

**Introduction:** Ceramic veneers represent a conservative and highly aesthetic restorative option widely used in the anterior region. However, their clinical success largely depends on the mechanical behavior of the restorative material under functional loading.

**Objective:** To evaluate, through finite element analysis, the stresses generated and the fatigue resistance of dental veneers fabricated from three different materials: monolithic zirconia, lithium disilicate, and feldspathic ceramic.

**Methodology:** A three-dimensional digital model of a maxillary central incisor prepared for a veneer was constructed, onto which restorations of the three materials were assembled. Static loads (679.6 N) and dynamic loads (200 N,  $1 \times 10^6$  cycles) were applied to simulate clinical conditions. Von Mises stresses, displacements, and cycles until failure initiation were analyzed.

**Results:** Zirconia exhibited the lowest stress concentration (187.25 MPa), the lowest displacement (7.83  $\mu\text{m}$ ), and the highest fatigue life (921,430 cycles). Lithium disilicate presented intermediate values, whereas feldspathic ceramic showed the poorest mechanical performance, with a maximum stress of 334.46 MPa, greater deformation, and failure occurring before 320,000 cycles.

**Conclusion:** The type of material significantly influences the biomechanical behavior of

veneers. Monolithic zirconia demonstrated the highest resistance and durability, suggesting its indication in cases of high functional demand. Finite element analysis allowed the identification of critical areas and the prediction of the structural performance of each material based on their intrinsic properties.

**Keywords:** Dental veneers, finite element analysis, dental biomechanics, fatigue resistance, aesthetic restorations, functional loads, ceramic dental materials.

## Introducción

En el campo de la odontología restauradora, las carillas dentales representan una alternativa estética de mínima invasión que permite modificar la forma, el color y la alineación de los dientes anteriores sin comprometer excesivamente la estructura dentaria. No obstante, estas restauraciones se enfrentan a condiciones funcionales exigentes, como fuerzas masticatorias oblicuas, cargas cíclicas prolongadas y variaciones térmicas, factores que pueden comprometer su integridad estructural y su durabilidad clínica.

La selección del material restaurador es determinante para el comportamiento biomecánico de la carilla. Las cerámicas dentales, como la zirconia monolítica, el disilicato de litio y la cerámica feldespática, presentan propiedades físico-mecánicas distintas, especialmente en lo que respecta al módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la tenacidad a la fractura. Estas diferencias influyen en la distribución de tensiones en la restauración y su adhesión al sustrato dentario. Estudios previos han señalado que las zonas críticas de concentración de esfuerzos se localizan, en general, en el borde incisal y en la región cervical, siendo estas áreas particularmente susceptibles a la iniciación de grietas (Madruga et al., 2021; Zhang & Lawn, 2020).

El análisis por elementos finitos (FEA, por sus siglas en inglés) se ha consolidado como una herramienta útil y confiable para predecir el comportamiento estructural de

restauraciones dentales ante distintas condiciones de carga, permitiendo realizar estudios controlados que evalúan tanto esfuerzos internos como respuesta a fatiga sin requerir pruebas destructivas o ensayos clínicos de largo plazo (Kotb, Shaker & Halim, 2019; Tanaka et al., 2022). A través de esta metodología, es posible simular situaciones clínicas reales, identificar puntos de falla potencial y valorar la influencia de parámetros como el espesor, el diseño de la preparación y, especialmente, el tipo de material.

Este estudio tiene como objetivo analizar, mediante simulación por elementos finitos, el comportamiento mecánico de carillas elaboradas con tres tipos de cerámica, evaluando tanto los esfuerzos generados bajo carga estática como la resistencia a la fatiga mediante carga cíclica. Se plantea que los materiales con mayor módulo de elasticidad presentarán menor deformación y mejor desempeño ante cargas repetidas, lo cual podría ofrecer criterios objetivos para su indicación clínica en función de la demanda funcional del paciente. Este enfoque permite integrar ciencia de materiales, biomecánica y simulación computacional para aportar evidencia que respalde decisiones clínicas basadas en desempeño estructural.

## **Metodología**

### **Diseño del Estudio**

El presente trabajo se enmarca en una investigación de carácter experimental **in silico**, desarrollada mediante simulación computacional basada en el método del análisis por elementos finitos (FEA<sup>1</sup>, por sus siglas en inglés). Esta metodología ha demostrado ser altamente efectiva para estudiar el comportamiento biomecánico de estructuras complejas sometidas a condiciones funcionales simuladas, como es el caso de las restauraciones cerámicas adheridas en el sector anterior.

---

<sup>1</sup> Finit Element Analisis

A diferencia de los métodos experimentales tradicionales, como los estudios in vitro o los ensayos clínicos, el análisis por elementos finitos permite evaluar de manera controlada la distribución de tensiones internas, zonas de concentración de esfuerzos y puntos de iniciación de fractura, sin poner en riesgo estructuras reales ni depender de la variabilidad biológica interindividual. Además, el modelo computacional ofrece la posibilidad de modificar múltiples variables de diseño, material y carga, facilitando un enfoque comparativo sistemático entre distintas alternativas restauradoras.

Para el desarrollo del estudio, se empleó un único modelo tridimensional de un incisivo central superior (pieza 1.1), el cual fue diseñado a partir de un escaneo intraoral de un paciente varón de 35 años, con dentición permanente y sin presencia de patologías oclusales o restauraciones previas en el sector anterior. El diente fue preparado siguiendo una técnica de terminación tipo chamfer, que ofrece un balance adecuado entre retención, estética y conservación de estructura dental, siendo una de las terminaciones más utilizadas en preparaciones para carillas, especialmente en zonas estéticas.

Sobre este modelo, se diseñó una carilla con un espesor uniforme de 0,5 mm, acorde con los requerimientos mínimos de grosor establecidos para materiales cerámicos como la porcelana feldespática, el disilicato de litio y la zirconia monolítica. Esta restauración fue posicionada en el modelo mediante adaptación digital precisa, replicando la anatomía externa y los márgenes restauradores, así como la interfaz de adhesión entre el sustrato dentario y el material restaurador, lo cual es esencial para simular con fidelidad la transferencia de fuerzas durante la función masticatoria.

El diseño del estudio contempla la evaluación comparativa del comportamiento mecánico de tres tipos de materiales cerámicos comúnmente empleados en odontología restauradora: cerámica feldespática, disilicato de litio y zirconia monolítica. Estas opciones se

seleccionaron por su amplio uso clínico y por representar diferentes perfiles de resistencia, módulo de elasticidad y tenacidad a la fractura, lo cual influye directamente en su comportamiento ante cargas funcionales, tanto estáticas como cíclicas.

En cada simulación, se analizará el comportamiento estructural de la restauración bajo condiciones de carga oclusal simuladas, con énfasis en la determinación de zonas críticas de concentración de tensiones y los posibles mecanismos de falla estructural. La metodología propuesta permitirá establecer comparaciones entre los distintos materiales, identificando cuál de ellos ofrece mejor desempeño frente a esfuerzos masticatorios, y aportará evidencia objetiva para sustentar decisiones clínicas en rehabilitación oral basada en principios biomecánicos.

El diseño del estudio incorpora, además, la validación de los resultados obtenidos mediante comparación con estudios previos publicados, como los de Chander y Padmanabhan (2009), quienes demostraron la relación entre geometría restauradora, ángulo de carga y propagación de tensiones en carillas cerámicas aplicadas a incisivos superiores. Así, se procura asegurar que los modelos generados reflejen el comportamiento clínico esperado, otorgando solidez científica a los hallazgos obtenidos mediante simulación.

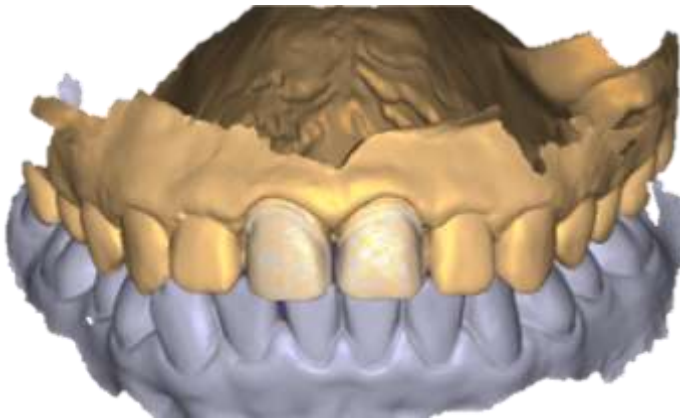
## **Procedimiento**

El desarrollo del modelo geométrico para este estudio se realizó a partir de un escaneo intraoral de alta precisión, obtenido mediante un sistema de captura digital tridimensional. El modelo corresponde a un paciente masculino de 35 años, sin alteraciones estructurales en el sector anterior, seleccionado por presentar condiciones clínicas adecuadas para simular la aplicación de carillas cerámicas.

La **Figura 1** muestra el escaneo del maxilar superior con los órganos dentarios 1.1 y 2.1 preparados con terminación tipo chamfer. Esta terminación fue diseñada con un espesor

de 0,5 mm, siguiendo los parámetros clínicos recomendados para restauraciones cerámicas adheridas en dientes anteriores. El tallado conservador busca maximizar la retención mecánica y adhesiva sin comprometer la integridad estructural del esmalte.

**Figura 1.** Modelo digital del maxilar superior preparados con terminación tipo chamfer para recibir carillas cerámicas.

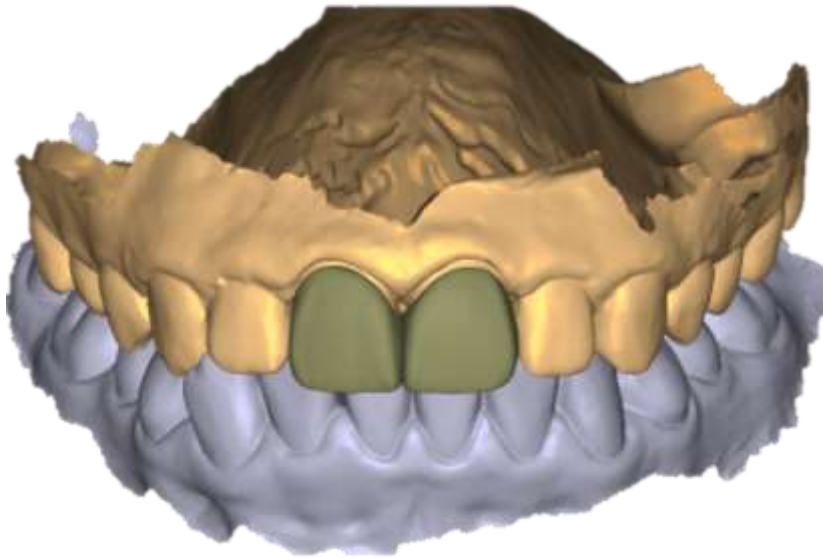


Elaboración Propia

Una vez finalizado el tallado, se procedió a diseñar digitalmente las carillas correspondientes para ambos incisivos centrales. Estas fueron modeladas con un espesor uniforme de 0,5 mm, respetando la morfología vestibular original de cada pieza y asegurando su adaptación precisa sobre las preparaciones dentarias. En esta etapa, se integraron la restauración, el diente tallado y la estructura ósea contigua, generando un conjunto tridimensional completo que representa fielmente el entorno clínico de soporte.

La **Figura 2** representa el ensamblaje final del modelo: maxilar superior, dientes preparados y carillas posicionadas sobre las piezas 1.1 y 2.1. Este conjunto se exportó al software de análisis estructural (ANSYS), permitiendo el estudio de las interacciones mecánicas entre los materiales restauradores y los tejidos dentarios en condiciones de carga funcional simulada.

**Figura 2.** Ensamblaje tridimensional del maxilar superior con las carillas posicionadas sobre las piezas 1.1 y 2.1. El modelo integra diente, restauración e interfaz adhesiva.



Elaboración propia

Finalmente, se generó un modelo individualizado de las carillas diseñadas, de forma aislada, para su posterior análisis y visualización. Este modelo conserva la geometría completa de cada restauración, con énfasis en su espesor uniforme, curvatura vestibular y delimitación cervical. La visualización de las carillas por separado permite examinar su conformación, adaptación marginal y superficie de contacto con el sustrato dentario.

**Figura 3.** Representación tridimensional de las carillas diseñadas para las piezas 1.1 y 2.1.



Elaboración Propia

Este modelo geométrico constituye la base sobre la cual se desarrollarán las etapas de mallado, definición de propiedades mecánicas y simulación por elementos finitos. Su fidelidad morfológica y anatómica resulta esencial para garantizar la validez clínica de los resultados obtenidos.

### **Mallado del modelo**

El modelo tridimensional generado fue discretizado mediante un proceso de mallado estructural en el entorno de simulación ANSYS®, utilizando elementos sólidos tetraédricos de segundo orden. Esta elección se fundamenta en la capacidad de estos elementos para ajustarse con precisión a geometrías dentarias complejas, preservando la curvatura natural de las superficies vestibulares y cervicales.

El mallado se optimizó de forma progresiva mediante la generación de tres versiones con diferentes densidades de elementos:

- Malla gruesa: 50.000 elementos
- Malla media: 100.000 elementos
- Malla fina: 250.000 elementos

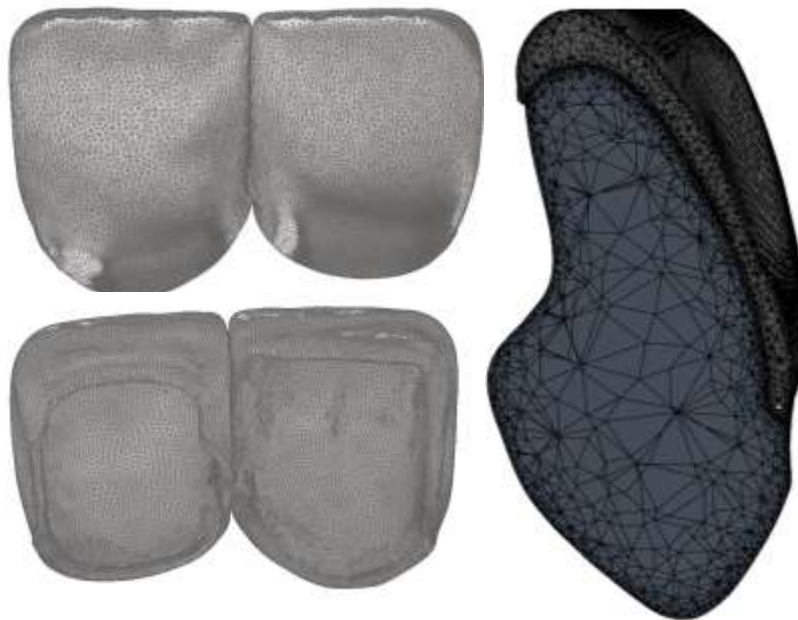
En cada una de estas versiones, se simuló una carga estática controlada y se evaluaron las tensiones de Von Mises en las regiones de interés biomecánico. El análisis de convergencia de malla permitió identificar que la variación en la magnitud de tensión máxima entre la malla media y la malla fina fue inferior al 2 %, valor que se consideró estadísticamente aceptable para establecer independencia de los resultados respecto del tamaño de los elementos.

La calidad del mallado fue evaluada con los indicadores skewness y ortogonal, ambos dentro de los rangos aceptables definidos por los estándares del software. Se evitó la

presencia de elementos deformes o mal condicionados que pudieran comprometer la estabilidad y precisión de los resultados.

La **Figura 4** ilustra el modelo mallado en su versión más refinada (malla fina), aplicada sobre las carillas diseñadas para los órganos dentarios 1.1 y 2.1. Se observa una distribución homogénea de elementos, con mayor densidad en los bordes incisales, áreas de transición y la zona de interfase adhesiva, donde se espera una mayor concentración de esfuerzos.

**Figura 4.** Representación del mallado fino aplicado a las carillas dentales de los incisivos centrales superiores.



### **Definición de materiales**

En el presente estudio se evaluaron tres materiales cerámicos ampliamente utilizados en odontología restauradora, seleccionados por sus distintas propiedades mecánicas y su aplicabilidad clínica en restauraciones estéticas adheridas. Estos materiales fueron: cerámica feldespática, disilicato de litio y zirconia monolítica. Cada uno fue modelado como un sólido homogéneo, isótropo y linealmente elástico, condición aceptada en simulaciones

biomecánicas que buscan predecir el comportamiento estructural bajo cargas fisiológicas controladas.

La asignación de propiedades se realizó con base en datos experimentales validados por la literatura científica reciente. En la Tabla 1 se resumen los valores utilizados para cada material:

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas y físicas asignadas a los materiales restauradores simulados.

Propiedad	Zirconia monolítica	Disilicato de litio	Cerámica feldespática
Módulo de elasticidad (E) [GPa]	210	100	65
Relación de Poisson ( $\nu$ )	0.31	0.23	0.21
Densidad ( $\rho$ ) [kg/m <sup>3</sup> ]	6.050	2.450	2.400
Resistencia a la flexión ( $\sigma_f$ ) [MPa]	1.000	380	105
Tenacidad a la fractura (KIC) [MPa $\sqrt{m}$ ]	7.0	2.7	1.0

### Consideraciones clínicas y simulativas

- **Zirconia monolítica** presenta los valores más elevados de resistencia y rigidez, lo que la hace ideal para restauraciones sometidas a cargas oclusales intensas. Sin embargo, su mayor módulo de elasticidad puede generar mayor transmisión de tensiones al sustrato dentario si no se acompaña de una adecuada interfaz adhesiva.
- **Disilicato de litio** ofrece un balance entre resistencia mecánica y propiedades ópticas, siendo ampliamente utilizado en restauraciones anteriores. Su módulo de elasticidad intermedio permite una mejor adaptación funcional y estética.
- **Cerámica feldespática** es reconocida por su excelente translucidez, aunque su comportamiento mecánico es más frágil. Es particularmente susceptible a la propagación de grietas en zonas de concentración de esfuerzos, lo que la convierte en el material de menor resistencia frente a cargas cíclicas repetitivas.

En todos los modelos se consideró una interfaz perfectamente adherida entre la carilla y el diente preparado, asumiendo una unión continua sin fallos de adhesión. Este enfoque permite focalizar el análisis en el comportamiento intrínseco del material restaurador frente a diferentes tipos de carga.

### **Condiciones de carga y simulación**

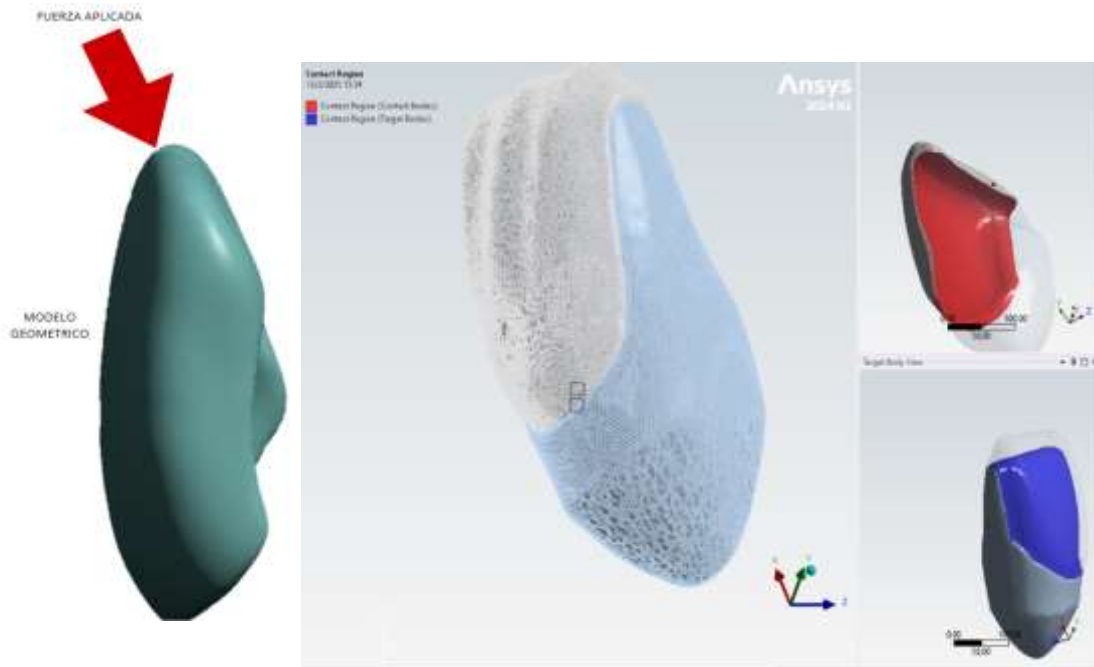
El modelo digital fue sometido a simulaciones estructurales mediante el método de elementos finitos (FEA), con el objetivo de analizar el comportamiento mecánico de las carillas dentales elaboradas con distintos materiales, bajo cargas representativas de la función masticatoria. Para ello, se realizaron dos tipos de análisis: un análisis estático lineal, para determinar la distribución inicial de tensiones bajo cargas máximas puntuales, y un análisis dinámico transitorio, enfocado en simular la fatiga estructural a través de cargas cíclicas repetidas.

La zona de restricción se definió como la interfaz adhesiva entre la cara interna de la carilla y el diente preparado. Esta región se fijó completamente en los tres ejes del espacio (X, Y, Z), asumiendo una adhesión ideal, sin microfiltraciones ni despegues. Este tipo de contacto rígido es aceptado en simulaciones orientadas a estudiar exclusivamente el comportamiento interno del material restaurador. La aplicación de la carga se realizó sobre la cara incisal de cada carilla, concentrada en una región circular de aproximadamente 1 mm<sup>2</sup>, ubicada en el centro del borde incisal vestibular. Esta localización simula el punto de contacto funcional con los dientes antagonistas durante la función masticatoria.

La carga se orientó con un ángulo de 30 grados respecto al eje longitudinal del diente, generando componentes tanto verticales como oblicuas, lo que permite replicar de manera más realista las condiciones clínicas de estrés funcional. La configuración completa del

modelo, incluyendo la zona de aplicación de carga y la zona de restricción, se presenta en la Figura 5.

**Figura 5.** Esquema del modelo tridimensional con indicación de la zona de aplicación de la carga (marcada en rojo) y la zona de restricción en la interfaz adhesiva (marcada en azul).



Para el análisis estático, se aplicó una carga única de 679,6 N, correspondiente al valor máximo registrado en la literatura para fuerzas masticatorias anteriores en varones adultos. En el caso del análisis dinámico, se simuló una carga cíclica de 200 N, aplicada verticalmente con una frecuencia de 4 Hz durante 1.000.000 de ciclos. Este número fue establecido con base en estudios previos que relacionan dicho umbral con la aparición de microfracturas en restauraciones cerámicas sometidas a uso prolongado.

Las condiciones de carga y simulación se resumen en la Tabla 2, en la que se detallan los materiales evaluados, el tipo de análisis, la magnitud y orientación de las fuerzas aplicadas, así como el número de ciclos empleados en los ensayos de fatiga.

**Tabla 2.** Simulaciones realizadas según tipo de análisis, material y parámetros de carga.

<b>Simulación</b>	<b>Material</b>	<b>Tipo de análisis</b>	<b>Carga aplicada</b>	<b>Ángulo de carga</b>	<b>Ciclos simulados</b>
<b>1</b>	Zirconia monolítica	Estático	679,6 N	30°	—
<b>2</b>	Disilicato de litio	Estático	679,6 N	30°	—
<b>3</b>	Cerámica feldespática	Estático	679,6 N	30°	—
<b>4</b>	Zirconia monolítica	Dinámico (fatiga)	200 N	30°	1.000.000
<b>5</b>	Disilicato de litio	Dinámico (fatiga)	200 N	30°	1.000.000
<b>6</b>	Cerámica feldespática	Dinámico (fatiga)	200 N	30°	1.000.000

Este diseño experimental permite evaluar, por un lado, la respuesta inmediata de los materiales bajo cargas máximas únicas, y por otro, su comportamiento frente a la acumulación de esfuerzos repetitivos a lo largo del tiempo. Con ello, se busca predecir tanto el riesgo de falla por sobrecarga puntual como la susceptibilidad a la fractura por fatiga.

El entorno de simulación utilizado fue ANSYS Workbench, el cual permitió configurar de forma secuencial y parametrizada todas las etapas del análisis estructural. La simulación del comportamiento bajo carga estática se realizó mediante el módulo Static Structural, donde se definieron las propiedades de los materiales, se aplicaron las condiciones de contorno y las fuerzas externas, y se establecieron los criterios de resolución del sistema. Posteriormente, para la evaluación de la resistencia a la fatiga, se incorporó el módulo Fatigue Tool, configurado sobre la misma base estructural del análisis estático.

En esta etapa, se ingresaron los parámetros de carga cíclica: magnitud de 200 N, frecuencia de 4 Hz y número total de ciclos igual a 1.000.000. Se seleccionó el criterio de vida útil (life analysis) basado en la metodología de vida a fatiga (fatigue life), empleando

una evaluación de tipo stress-life (S-N), recomendada para materiales frágiles como los cerámicos.

### Hallazgos

El análisis estructural permitió evidenciar diferencias mecánicas sustanciales entre los materiales restauradores evaluados. Se identificaron variaciones tanto en la magnitud del esfuerzo interno como en el patrón de distribución de tensiones y deformaciones, bajo condiciones de carga estática y dinámica.

#### Análisis estático

Bajo una carga de 679,6 N aplicada con un ángulo de 30° sobre la cara incisal, se determinó la tensión máxima de Von Mises en cada modelo. Las mayores concentraciones de esfuerzo se localizaron en el borde incisal y en la región cervical vestibular, con variaciones significativas según la rigidez del material.

**Tabla 3.** Resultados del análisis estático: tensión máxima y desplazamiento total.

<b>Material</b>	<b>Tensión máxima (Von Mises) [MPa]</b>	<b>Desplazamiento máximo [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Localización de máxima tensión</b>
<b>Zirconia monolítica</b>	187,25	7,83	Ángulo mesio-incisal de la pieza 1.1
<b>Disilicato de litio</b>	264,82	12,51	Región cervical vestibular de la pieza 2.1
<b>Cerámica feldespática</b>	334,46	19,07	Línea de unión cérvico-distal de ambas piezas

Los resultados muestran que la zirconia monolítica presenta menor deformación y niveles reducidos de tensión interna, gracias a su elevada rigidez. En contraste, la cerámica

feldespática evidenció los valores más altos de esfuerzo y desplazamiento, lo que indica una mayor susceptibilidad a la concentración de tensiones críticas en la interfaz restauradora.

### **Análisis de fatiga**

Se simuló una carga cíclica de 200 N a una frecuencia de 4 Hz durante un máximo de 1.000.000 ciclos. Se evaluó el número de ciclos hasta la iniciación de grieta en cada material, considerando como zona crítica aquella que acumula esfuerzos repetitivos sin disipación estructural eficiente.

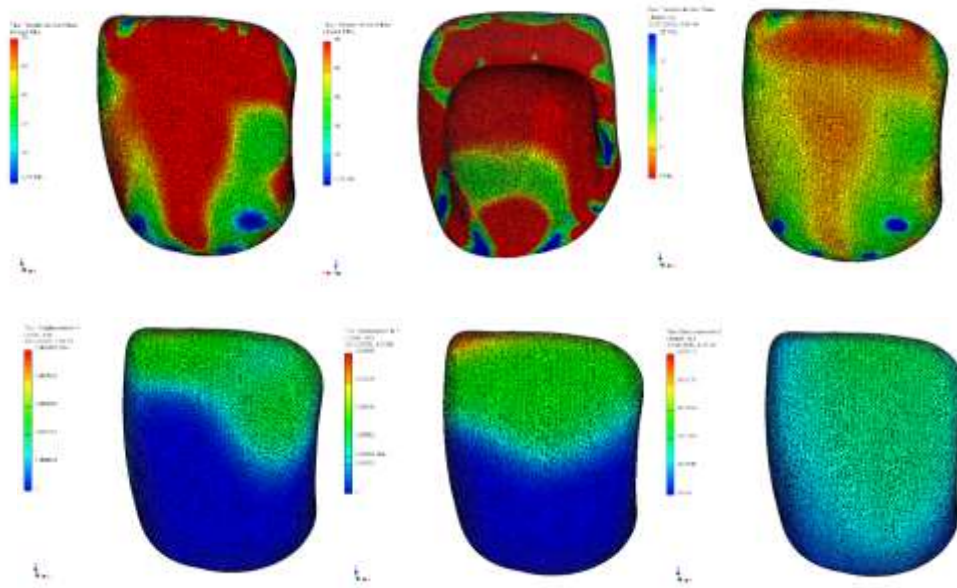
**Tabla 4.** Resultados del análisis de fatiga: vida útil y zona de iniciación de grieta.

<b>Material</b>	<b>Vida útil a fatiga [ciclos]</b>	<b>Zona de iniciación de grieta</b>
<b>Zirconia monolítica</b>	921.430	Interfase incisal vestibular de la pieza 1.1
<b>Disilicato de litio</b>	643.280	Borde incisal central de la pieza 2.1
<b>Cerámica feldespática</b>	318.910	Unión cérvico-mesial vestibular de la pieza 1.1

La zirconia mostró el mejor desempeño estructural, resistiendo más de 900.000 ciclos antes del inicio de microfractura, mientras que la cerámica feldespática alcanzó el umbral de falla poco después de los 300.000 ciclos, lo que confirma su menor tenacidad a la fractura bajo condiciones funcionales repetitivas. El disilicato de litio se comportó de forma intermedia, ofreciendo un balance entre rigidez, resistencia y durabilidad.

En la **Figura 6** se presenta el mapa de tensiones obtenido en el análisis estático, donde se visualiza la distribución del esfuerzo de Von Mises en las carillas bajo carga funcional. Las zonas con mayor intensidad se representan en tonalidades cálidas, indicando las regiones con mayor susceptibilidad a daño estructural.

**Figura 6.** Mapa de distribución de tensiones de Von Mises en el modelo con carilla de disilicato de litio. Se observan concentraciones de esfuerzo en el borde incisal y margen cervical vestibular.



### Discusión

Los resultados obtenidos mediante simulación por elementos finitos evidenciaron diferencias mecánicas sustanciales entre los materiales restauradores evaluados. Las carillas confeccionadas en zirconia monolítica mostraron el mejor desempeño estructural, con una tensión máxima de Von Mises de 187,25 MPa y un desplazamiento máximo de 7,83  $\mu\text{m}$ . Le siguió el disilicato de litio, con un esfuerzo de 264,82 MPa y deformación de 12,51  $\mu\text{m}$ . Por su parte, la cerámica feldespática alcanzó el mayor valor de tensión (334,46 MPa) y el desplazamiento más elevado (19,07  $\mu\text{m}$ ). Estas diferencias reflejan la influencia directa del módulo de elasticidad y de la tenacidad a la fractura sobre la distribución de cargas y la deformación estructural. En todos los casos, las zonas de mayor concentración de tensiones se localizaron en el borde incisal y en la región cervical vestibular. En el análisis de fatiga, los ciclos hasta el inicio de la falla siguieron la misma tendencia: 921.430 ciclos para zirconia, 643.280 para disilicato y 318.910 para cerámica feldespática, confirmando que los materiales más rígidos y resistentes presentaron mayor tolerancia a cargas cíclicas.

Estos resultados se encuentran en concordancia con lo reportado en investigaciones previas. Üstün y Öztürk (2018) identificaron que las carillas cerámicas sometidas a cargas de 200 N en ángulos funcionales reproducen patrones de concentración de tensiones similares, localizados principalmente en el borde incisal y la región cervical vestibular. Asimismo, Ezzat et al. (2023) indicaron que el disilicato de litio sometido a cargas oblicuas de 100 N puede alcanzar tensiones de hasta 236 MPa, especialmente en diseños tipo “ventana”, lo cual valida la magnitud de los esfuerzos observados en el presente trabajo. Si bien los estudios clínicos o experimentales que cuantifican la vida a fatiga en ciclos son limitados, existe consenso en que materiales como la zirconia presentan un comportamiento más favorable frente a cargas repetidas, por su mayor módulo de elasticidad y capacidad de resistir la propagación de microgrietas (Pereira et al., 2019; Zhang & Lawn, 2020). En este sentido, los resultados obtenidos a través de simulación computacional se alinean con los principios mecánicos descritos en la literatura científica y refuerzan la validez de los datos generados.

Desde una perspectiva clínica, los hallazgos de este estudio adquieren una relevancia significativa en la toma de decisiones restauradoras. La menor deformación estructural y la mayor resistencia a la fatiga observadas en la zirconia monolítica la posicionan como el material de elección para restauraciones anteriores en pacientes con función masticatoria intensa o bruxismo diagnosticado. En cambio, el disilicato de litio representa una alternativa con buen equilibrio entre propiedades mecánicas y estéticas, adecuada para situaciones clínicas de exigencia moderada. Por otro lado, la cerámica feldeespática, pese a su excelente translucidez, mostró una mayor propensión a la acumulación de tensiones y menor durabilidad ante cargas cíclicas, lo cual sugiere su indicación en casos con baja carga funcional. En conjunto, estos hallazgos respaldan el uso del análisis por elementos finitos como herramienta complementaria para predecir el comportamiento clínico de materiales

restauradores, optimizar el diseño restaurador y mejorar la longevidad de las rehabilitaciones cerámicas adheridas.

### **Conclusiones**

El presente estudio, basado en simulaciones por elementos finitos, permitió comparar el comportamiento mecánico de carillas dentales elaboradas con tres materiales cerámicos ampliamente utilizados en odontología restauradora: zirconia monolítica, disilicato de litio y cerámica feldespática. Los resultados demostraron diferencias sustanciales en la distribución de tensiones y en la resistencia a cargas funcionales, tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

La zirconia monolítica presentó los valores más bajos de esfuerzo de Von Mises y desplazamiento, así como la mayor resistencia a la fatiga, lo que la posiciona como el material con mejor comportamiento estructural. El disilicato de litio mostró un rendimiento intermedio, mientras que la cerámica feldespática evidenció la mayor acumulación de tensiones y la menor durabilidad ante cargas cíclicas, lo que la hace más propensa a la iniciación de falla estructural en condiciones clínicas exigentes.

Estos hallazgos refuerzan la importancia de considerar las propiedades mecánicas del material restaurador en función de las demandas funcionales del paciente. Asimismo, confirman la utilidad del análisis por elementos finitos como herramienta predictiva para evaluar zonas de concentración de esfuerzos y anticipar posibles mecanismos de falla, contribuyendo así a una selección más precisa del material en tratamientos estéticos adhesivos.

## Referencias

- Abid, S. E. (2023). The effect of preparation design on stress distribution in lithium disilicate veneer. *The Open Dentistry Journal*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751616120307141>
- Al-Ali, A. M. A. H., Khalifa, N., Hadj-Hamou, A., Sheela, S., & El-Damanhoury, H. M. (2023). Effect of thickness and bonding technique on fatigue and fracture resistance of feldspathic ultra-thin laminate veneers. *European Journal of Dentistry*, 17(2), 431–438. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1745770>
- Bonadio, M., Cotrin, P., Marín Ramirez, C., Fialho, T., da Silva Moura, W., de Oliveira, R., de Oliveira, R., Valarelli, F., Pinzan-Vercelino, C., & Salvatore Freitas, K. (2023). The influence of occlusal adjustment on long-term posttreatment stability of orthodontic treatment. *The Open Dentistry Journal*, 17, e187421062308310.  
<https://doi.org/10.2174/18742106-17-231009-2023-44>
- Chander, N. G., & Padmanabhan, T. V. (2009). Finite element stress analysis of diastema closure with ceramic laminate veneers. *Journal of Prosthodontics*, 18(7), 577–581.  
<https://doi.org/10.1111/j.1532-849X.2009.00490.x>
- De Angelis, F., D'Arcangelo, C., & Vadini, M. (2021). The effect of dentin bonding and material thickness on the flexural properties of a lithium-disilicate glass-ceramic. *Journal of Adhesive Dentistry*, 23(4), 309–318.  
<https://doi.org/10.3290/j.jad.b1650013>
- Ezzat, A., Sabet, Y. A., Shalaby, M. E., & Taha, D. (2023). The effect of preparation design on stress distribution in lithium disilicate laminate veneer using 3D finite element analysis. *The Open Dentistry Journal*, 17, e18742106243827.  
<https://doi.org/10.2174/1874210602317010001>

- Kotb, M. A., Shaker, A., & Halim, H. (2019). Finite element analysis in dental research: A review. *F1000Research*, 8, 1038. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19163.1>
- Kotb, S., Shaker, A., & Halim, C. (2019). Fatigue resistance and 3D finite element analysis of machine-milled ceramic occlusal veneers with new preparation designs versus conventional design: An in vitro study. *F1000Research*, 8, 1038. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19712.1>
- Madruga, C. F. L., Borges, A. L. S., Ramos, N. C., & Neves, F. D. (2021). Biomechanical behavior of different veneer materials in anterior teeth: A three-dimensional finite element analysis. *Biomed Engineering Advances*, 1(3), 26. <https://doi.org/10.3390/bioengineering1030026>
- Mejía, E. H. E., & Ardón, J. A. U. (2019). Carillas dentales con técnica de resina inyectada. Reporte de caso. *Revista Científica de la Escuela Universitaria de las Ciencias de la Salud*, 6(1), 29–35. <http://www.bvs.hn/RCEUCS/pdf/RCEUCS6-1-2019-6.pdf>
- Pereira, G. K. R., Venturini, A. B., Silvestri, T., Dapieve, K. S., Montagner, A. F., & Valandro, L. F. (2019). Mechanical behavior of zirconia and lithium disilicate glass ceramics for prosthetic restorations submitted to aging: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 96, 331–341. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.04.036>
- Ramos Riva, A. C., & Rojas Macurí, V. S. (2021). Comparación del conocimiento sobre el uso de las carillas dentales en estudiantes de pregrado de distintas facultades universitarias de Lima, Perú. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 33(1), 36. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-246X2023000100036&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-246X2023000100036&script=sci_arttext)

- Sahin, C. (2022). Double veneering, low-temperature porcelain, and total glaze application methods to overcome failures of zirconia-based restorations. *Clinical Oral Investigations*, 26(5), 4081–4089. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04376-2>
- Sasse, M., Krummel, A., Klosa, K., & Kern, M. (2015). Influence of restoration thickness and dental bonding surface on the fracture resistance of full-coverage occlusal veneers made from lithium disilicate ceramic. *Dental Materials*, 31(8), 907–915. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.04.017>
- Tanaka, T., Hirata, R., Furusawa, K., & Sato, Y. (2022). Fatigue analysis of ceramic veneers using finite element methods. *Journal of Prosthodontic Research*, 66(1), 37–45. <https://doi.org/10.2186/jpr.JPR-D-21-00022>
- Tomm, A. G. F., et al. (2023). Fatigue resistance of monolithic and multilayer zirconia. *Journal of Dentistry*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022391313003648>
- Üstün, Y., & Öztürk, A. N. (2018). The evaluation of stress patterns in porcelain laminate veneers with different incisal preparation designs: A finite element analysis. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 21(3), 363–369. [https://doi.org/10.4103/njcp.njcp\\_229\\_17](https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_229_17)
- Ustun, O., & Ozturk, A. N. (2018). The evaluation of stress patterns in porcelain laminate veneers with different restoration designs and loading angles induced by functional loads: A three-dimensional finite element analysis study. *Nigerian Journal of Clinical Practice*, 21(3), 337–342. [https://doi.org/10.4103/njcp.njcp\\_45\\_17](https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_45_17)
- White, S. N., Green, C. C., & McMeeking, R. M. (2020). A simple 3-point flexural method for measuring fracture toughness of the dental porcelain to zirconia bond and other brittle bimaterial interfaces. *Journal of Prosthodontic Research*, 64(4), 391–396. <https://doi.org/10.1016/j.jpjor.2019.11.002>

Yazigi, C., Kern, M., & Char, M. S. (2017). Influence of various bonding techniques on the fracture strength of thin CAD/CAM-fabricated occlusal glass-ceramic veneers.

*Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 75, 504–511.

<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.08.016>

Zhang, Y., & Lawn, B. R. (2020). Fatigue of dental ceramics. *Journal of Dentistry Research*,

99(5), 529–536. <https://doi.org/10.1177/0022034520908582>